รูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อจุลภูมิอากาศเมือง
กรณีศึกษาย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

เสกสรร วรรณแก้ว

ปริญญาการวางแผนภาคและเมืองมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

รูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อจุลภูมิอากาศเมือง
กรณีศึกษาย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

เสกสรร วรรณแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการวางแผนภาคและเมืองมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

รูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อจุลภูมิอากาศเมือง
กรณีศึกษาย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

เสกสรร วรรณแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการวางแผนภาคและเมืองมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(อาจารย์ ดร.วิทยา ดวงธิมา)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักษณา สัมมานิธิ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.นิกร มหาวัน)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.มานัส ศรีวณิช)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักษณา สัมมานิธิ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง รูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อจุลภูมิอากาศเมืองกรณีศึกษาย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ชื่อผู้เขียน นายเสกสรร วรรณแก้ว

ชื่อปริญญา การวางแผนภาคและเมืองมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.วิทยา ดวงธิมา

บทคัดย่อ

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง คือสภาวะที่อุณหภูมิอากาศในเขตเมืองแตกต่างจากพื้นที่ชนบทหรือพื้นที่ชานเมือง โดยเฉพาะย่านศูนย์กลางเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างอย่างหนาแน่น รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry) หรืออัตราส่วนความสูงอาคารต่อความกว้างถนน นั้นมีผลต่อการไหลเวียนอากาศและการระบายความร้อนในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer: UCL) การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองและรูปแบบการวางตัวของอาคาร ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ และรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งเสริมการระบายอากาศ ด้วยโปรแกรมจำลองสภาพจุลภูมิอากาศ ENVI-met รวมถึงเสนอแนะแนวทางในการวางแผนและออกแบบเมือง เพื่อส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดีในพื้นที่ย่านช้างคลาน

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ย่านช้างคลานในปัจจุบันมีรูปทรงเรขาคณิตเมือง 8 รูปแบบ คือ รูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.3, 1.8, 2.3 และ 4.5 โดยรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน 1.2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด ในช่วงเวลา 06.00 - 20.00 น. 35.46 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุด 0.35 m/s เมื่อพิจารณาถึงสภาวะความสบายเชิงความร้อนปรากฏว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 มีช่วงเวลาที่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับเชิงความร้อนมากที่สุด เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากเงาของอาคารทั้งสองฝั่งของถนนช่วยบดบังรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์

เมื่อปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน โดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้กับพื้นที่วิจัย ณ. ช่วงเวลาที่ทำการวิจัย โดยทดสอบกับรูปทรงเรขาคณิตเมือง 6 รูปแบบ ประกอบด้วยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0, 1.3, 1.9, 2.4 และ 2.9 ทั้งแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ และทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ที่มีอาคารสูง 14.00 เมตร ทั้งสองฝั่งของถนน และถนนกว้าง 14.40 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 35.01 องศาเซลเซียส มีศักยภาพในการลดอุณหภูมิอากาศมากที่สุด มีความเร็วลมเฉลี่ย 0.41 m/s แต่ในแง่สภาวะความสบายเชิงความร้อนปรากฏว่า

รูปทรงเรขา 2.9 มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนมากที่สุด การศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองและการวางตัวของกลุ่มอาคาร โดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร ช่วยให้การระบายอากาศมีประสิทธิภาพดีขึ้น อุณหภูมิอากาศลดต่ำลง และการเพิ่มพืชพรรณบริเวณทางเดินเท้าสามารถช่วยปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนให้ดีขึ้นได้

Title	URBAN GEOMETRY EFFECTS ON URBAN MICROCLIMATE:THE CASE STUDY OF CHANG KLAN AREA, CHIANG MAI PROVINCE.
Author	Mr.Seksan Wannakaew
Degree	Master of Urban and Regional Planning in Environmental and Urban Planning
Advisor Committee Chairperson	Dr. Wittaya Daungthima

ABSTRACT

An urban heat island (UHI) is an urban area or metropolitan area that is warmer than the surrounding rural areas, especially the high-density buildup areas in the city. Urban geometry or height and width ratio (h/w) Influence urban airflow and cooling of the urban microclimate in urban canopy layer (UCL). This research aims to study urban geometry and orientation of buildings influencing air temperature in the ChangKlan area, Chiangmai Province, as well as urban geometry that promotes ventilation using environmental simulation model equipment ENVI-met. Included are recommendation of planning and design to promote good air quality in Chang Klan area.

The study found that there are eight urban geometric in the ChangKhlan area, namely 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.3, 1.8, 2.3 and 4.5. The urban geometry on Chang Klan Road 1.2 has the lowest average temperature was 35.46 °C during 06.00 am. - 8.00 pm. The highest average wind speed is 0.35 m/s. Considering thermal comfort, it appears that urban geometry 4.5 has the highest hours of thermal acceptable ranges in summer.

When improving urban geometry on Changklan Road. The Building Control Act was applied to the research area at the time of research. Tested with five urban geometric, including urban geometry 1.0, 1.3, 1.9, 2.4 and 2.9 along the north-south road and east – west road. The urban geometry 1.9, with a height of 14.00 meters on both sides of the road and 14.40 meters wide, had an average temperature of

35.01 ℃. It has the potential to reduce air temperature the most with average wind speed at 0.41 m/s. However, in terms of thermal comfort, it appears that urban geometry 2.9 has the physiologically equivalent temperature (PET) highest hours of thermal acceptable ranges in summer. Studies show that improved urban geometry using building blocks according to Building Control Act can improves ventilation efficiency and lower air temperature. The addition of vegetation on the pedestrian sidewalk area can also improve the thermal comfort.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ตามเป้าหมาย เพราะได้รับคำแนะนำและความอนุเคราะห์ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ อันประกอบด้วย

คุณพ่อ คุณแม่ ภรรยา และครอบครัวอันเป็นที่รักทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนปัจจัยในการส่งเสริมการเรียนมาโดยตลอด รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงาน

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการหลายเดือนและต้องอาศัยการค้นคว้าข้อมูลจากหน่วยงาน และองค์กรต่างๆ ประกอบด้วย สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับข้อมูลภูมิสารสนเทศ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ขอบคุณอาจารย์ ดร.มานัส ศรีวณิช ที่อนุเคราะห์เครื่องตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา พร้อมทั้งคุณชินดนัย ตันสกุลและคุณพิชามญชุ์ ลี่ทองอิน ที่ให้คำแนะนำในการใช้งานแบบจำลองสภาพภูมิอากาศและการปรับแก้แบบจำลอง

ขอบคุณบุคลากรของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ อาจารย์อำนาจ ชิดทอง ที่ช่วยเหลือทางด้านเทคนิคการใช้งาน Google cloud compute engine ในการประมวลผลแบบจำลอง รวมถึงบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ช่วยประสานงานต่างๆ

อย่างไรก็ตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สามารถสำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วิทยา ดวงธิมา ผศ.ดร. ลักษณา สัมมานิธิ อาจารย์ ดร.นิกร มหาวัน และอาจารย์ ดร.มานัส ศรีวณิช ที่ให้คำปรึกษาจนสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วง อีกทั้ง รศ. ดร. ปรานอม ตันสุขานันท์ ที่ให้คำชี้แนะให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและสามารถนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอนาคตต่อไป

สุดท้ายนี้ หากมิได้กล่าวขอบคุณได้ครบถ้วน หรือขาดตกบกพร่องประการใด กระผมนายเสกสรร วรรณแก้ว ผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เสกสรร วรรณแก้ว

เมษายน 2561

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ค

ABSTRACT ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง 1

สารบัญภาพ ..... จ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.4 คำถามการวิจัย 4

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.5.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ 4

1.5.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา 4

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัยและการศึกษาความหมายที่เกี่ยวข้อง 8

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 11

2.1 ภูมิอากาศเมือง (Urban Climate) 11

2.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศเมือง 12

2.1.2 การจำแนกเขตภูมิอากาศความร้อน (Thermal climate zone classification) 17

2.2 ปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island: UHI) 29

2.2.1 สาเหตุของเกาะความร้อนเมือง (Causes of the Urban Heat Island) 31

2.2.2 ลักษณะของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง 45

หน้า

2.3 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่ 50
2.3.1 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองเชิงพื้นที่ของเมืองเชียงใหม่ 50
2.3.2 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองเชิงเวลาของเมืองเชียงใหม่ 56
2.4 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองและภาวะโลกร้อน 57
2.4.1 ผลกระทบของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง 58
2.4.2 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ 60
2.5 สภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) 60
2.6 การศึกษาสภาพภูมิอากาศเมืองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 64
2.6.1 โปรแกรม ENVI-met 4.0 65
2.6.2 แบบจำลอง Screening Tool for Estate Environment Evaluation (STEVE) 83
2.6.3 แบบจำลอง MITRAS 84
2.6.4 แบบจำลอง SOlar and Long Wave Environmental Irradiance Geometry (SOLWEIG) 85
2.6.5 แบบจำลอง Single-layer urban canopy model (SLUCM) 87
2.6.6 แบบจำลอง Surface Urban Energy and Water Balance Scheme 89
2.6.7 แบบจำลอง TEB (Town Energy Balance) 91
2.7 การปรับเทียบและยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง (Calibration and Validation of simulation model) 95
2.7.1 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) 95
2.7.2 การยืนยันแบบจำลอง (Validation of simulation model) 95
2.8 กฎหมายและข้อกำหนดควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคาร 97
2.8.1 กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518 97

2.8.2 กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518 99

2.8.3 กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 103

2.8.4 กฎกระทรวงฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 106

2.8.5 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 109

2.8.6 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 114

2.8.7 เทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ เรื่อง กำหนดบริเวณห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิด หรือบางประเภท ในท้องที่ตำบลศรีภูมิ ตำบลสุเทพ ตำบลช้างม่อย ตำบลพระสิงห์ ตำบลช้างคลาน และตำบลหายยา ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ.2557 (ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2558)..... 116

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 118

2.9.1 Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate118

2.9.2 Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil 120

2.10 กรอบแนวคิดงานวิจัย 123

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 125

3.1 โครงการศึกษานำร่อง เพื่อการทดลองใช้เครื่องมือวิจัยก่อนลงพื้นที่ศึกษา..... 125

3.2 ขอบเขตเชิงพื้นที่..... 127

3.2.1 การเลือกพื้นที่ศึกษา..... 127

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล 128

3.3.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) 128
3.3.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) 129
3.4 เครื่องมือการศึกษา 132
3.4.1 เครื่องมือในการเก็บข้อมูล 132
3.4.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล 133
3.5 กระบวนการทางเทคนิคการวิจัย 134
3.5.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม 134
3.5.2 จำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน 135
3.5.3 การสร้างแบบจำลองจุลภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา 135
3.5.4 การปรับแก้แบบจำลอง 144
3.5.5 การปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงจากกฎหมายควบคุมอาคาร 147
3.5.6 ผลที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง 148
4.5.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการศึกษา สรุป และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา 148
4.5.8 วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) 150
4.6. สรุปขั้นตอนการวิจัยรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 152
บทที่ 4 ผลการวิจัย 156
4.1 วิเคราะห์สภาพเชิงพื้นที่ และกิจกรรมในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน 156
4.1.1 สภาพเชิงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษา 156
4.1.2 กิจกรรมการใช้พื้นที่ในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่ 163
4.2 การประเมินผลกระทบทางสภาพจุลภูมิอากาศเมืองจากอิทธิพลเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่ 166
4.2.1 เรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่ 166
4.1.2 สภาพจุลภูมิอากาศเมืองจากอิทธิพลเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่ 178

4.2.3 วิเคราะห์ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort index)..... 200
4.2.4 การพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศ..... 202
4.3 การประเมินผลกระทบทางสภาพจุลภูมิอากาศเมืองจากอิทธิพลเรขาคณิตเมือง ตามกฎหมายควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่..... 205
4.3.1 กฎหมายและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ในพื้นที่ศึกษา..... 205
4.3.2 การปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร 209
4.3.3 ผลกระทบของเรขาคณิตเมืองต่อสภาพอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน..... 218
4.3.4 วิเคราะห์ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort index)..... 240
4.3.5 การพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศ..... 243
4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุง แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก..... 245
บทที่ 5..... 247
สรุปผลการวิจัย..... 247
5.1 รูปทรงเรขาคณิตเมืองและรูปแบบการวางตัวของอาคาร ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน..... 247
5.2 รูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งเสริมการระบายอากาศ และนำไปสู่ความสามารถในการลดอุณหภูมิของพื้นที่ย่านช้างคลาน..... 249
5.3 เสนอแนะแนวทางในการวางแผนและออกแบบเมืองที่ส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดี ในพื้นที่ย่านช้างคลาน..... 250
5.3.1 องค์ประกอบทางกายภาพของเมือง..... 250
5.3.2 พื้นที่สีเขียวและพืชพรรณในเมือง..... 252
5.4 สรุปผลการวิจัย..... 259

5.5 การอภิปรายผลการวิจัย 259
5.6 ปัญหาและข้อจำกัดในการวิจัย 260
5.7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป 261
บรรณานุกรม 264
ประวัติผู้วิจัย 266

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 แสดงเกณฑ์การจำแนกเขตภูมิอากาศในท้องถิ่น โดยใช้ลักษณะทางเรขาคณิตเมืองและพื้นผิว 22

2 ค่าของคุณสมบัติความร้อนการแผ่รังสีและการเผาผลาญพลังงานของมนุษย์ ของเขตภูมิอากาศในท้องถิ่น ค่าทั้งหมดเป็นตัวแทนในระดับท้องถิ่น 23

3 แสดงการจัดกลุ่มตัวแปรทางสัณฐานวิทยาเมือง 3 ปัจจัย 26

4 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานความร้อนของวัสดุระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท 38

5 แสดงค่าการปลดปล่อยรังสีของพื้นผิวปกคลุมดินประเภทต่าง 41

6 แสดงอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายมนุษย์ในกิจกรรมต่างๆ 44

7 การวิเคราะห์ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองของอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศ 49

8 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของความเข้มของเกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่ 57

9 แสดงการเปรียบเทียบซอร์ฟแวร์จำลองสภาพอากาศ 94

10 แสดงค่าจากการวิเคราะห์ The coefficient of determination (R^2), The Root Mean quare Error (RMSE) และ The Willmott's index of agreement (d) จากงานวิจัยอื่น 96

11 แสดงรายละเอียดและที่มาของข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) 131

12 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแบบจำลองกับการตรวจวัดภาคสนาม ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ (statistical test Validation) 146

13 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแบบจำลองกับการตรวจวัดภาคสนาม ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ (statistical test Validation) 147

14 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) ของแนวถนนเหนือ - ใต้ 176

15 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) ของแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 177

16 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้ 179

17 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก - ตะวันตก 180

18 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 183

19 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 184

20 แสดงค่าความเร็วลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 187

21 แสดงค่าความเร็วลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 188

22 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้ (หน่วยเป็นองศา โดยทิศเหนือ = 0 และ 360 องศา) 192

23 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก (หน่วยเป็นองศา โดยทิศเหนือ = 0 และ 360 องศา) 193

24 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้ 197

25 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 198

26 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของเรขาคณิตเมืองสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ 201

27 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของเรขาคณิตเมืองสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศตะวันออก-ตะวันตก 201

28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 204

29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก 204

30 แสดงระยะร่นของอาคารจากถนนสาธารณะในพื้นที่ศึกษา 208

31 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงด้วยกฎหมาย ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 216

32 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงด้วยกฎหมาย ตามแนวถนน ตะวันออก – ตะวันตก 217

33 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน 220

34 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของย่านช้างคลาน 222

35 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน 224

36 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน 226

37 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน 228

38 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน 230

39 แสดงการเปรียบเทียบทิศทางลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน 232

40 แสดงการเปรียบเทียบทิศทางลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของย่านช้างคลาน 233

41 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน 236

42 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของย่านช้างคลาน 238

43 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของจากอิทธิพลการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ 242

44 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของจากอิทธิพลการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก 242

45 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน (Thermal Discomfort) จากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 244

46 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุง แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก 246

47 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและความเร็วลม ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.2 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 249

48 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้ 256

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวทวีปและระดับโลกกับผลลัพธ์จากการจำลองสภาพภูมิอากาศโดยธรรมชาติและความร้อนจากกิจกรรมการปล่อยความร้อนของมนุษย์(Anthropogenic heat) และอุณหภูมิจากการสังเกตการณ์ในปี ค.ศ. 1906 ถึง 2005 (เส้นสีดำ) 1

2 แผนที่แสดงที่ตั้งพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 6

3 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา พื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 7

4 รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry) 9

5 อัตราส่วนความสูงอาคารต่อความกว้างถนน(Aspect ratio or height and width ratio) 9

6 การระบายอากาศในลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน 12

7 แสดงลักษณะของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดลม 13

8 ลักษณะการไหลเวียนของกระแสลม ทั้ง 4 ลักษณะ 14

9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อภูมิอากาศเมือง 16

10 แสดงส่วนประกอบของเมืองที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศภายในเมือง 17

11 ตัวแปรในการจำแนกเขตภูมิอากาศเมือง (Urban climate zones: UCZs) 18

12 แสดงภาพ UC-AnMap for Arnhem with the legend of climatopes and four designated areas (TL means thermal load; DP means dynamic potential). 19

13 แสดงลักษณะพื้นที่ของสิ่งก่อสร้างเมือง(Built type) และประเภทของสิ่งปกคลุมดิน(Land cover type) 21

14 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมือง (Natural environment and urban morphometric features) ที่ส่งผลต่อภูมิอากาศเมือง 25

15 แผนผังค่าคะแนน (Factor score) ของ 3 ปัจจัยใหม่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง 25

16 แผนที่สภาพสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง (Urban thermal environmental map, UTE Map) ที่แตกต่างทางปริมาณความร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ 29

17 แสดงการสะท้อนและกักเก็บความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในพื้นที่ถนนระหว่างอาคาร (Street canyon หรือ Urban canyon) ในเวลากลางวัน 31

18 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์กับความยาวคลื่นที่เข้าถึงพื้นผิวโลก (ความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์อาจแตกต่างกันมากกว่าช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 250-2500 nm.(Nanometer)) 32

19 แสดงการก่อรูปของปรากฏการณ์ในเมืองและถนนที่มีอาคารสูงขนาบทั้งสองด้านของถนนซึ่งเปรียบเสมือนหุบเขาในพื้นที่ธรรมชาติที่มีโรงงานอุตสาหกรรม 33

20 ผลกระทบของรูปแบบอาคารต่อการไหลเวียนของลมและการส่องแสงของดวงอาทิตย์ 34

21 แสดงลักษณะการไหลของกระแสลมแบบ Venturi Effect 35

22 แสดงลักษณะการไหลของกระแสลมแบบ Cross – Venturi Effect 35

23 แสดงการเปรียบเทียบการแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ของพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบทในวันที่อากาศปลอดโปร่ง 37

24 แสดงลักษณะพื้นผิว และกระบวนการคายระเหย 40

25 แสดงกระบวนการที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศเมือง 40

26 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงระยะเวลา 100 ปี ของเมืองหลวงขนาดใหญ่ในทวีปเอเชีย a) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเมืองหลวงขนาดใหญ่ในทวีปเอเชีย และ b) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่โดยรอบเมืองหลวงขนาดใหญ่ในทวีปเอเชีย 42

27 ลักษณะปรากฏการณ์เกาะความร้อนในชั้นเรือนยอดและในชั้นเหนือเรือนยอดของเมือง 45

28 แสดงภาพตัดขวางของเมืองและลักษณะเส้นกราฟอุณหภูมิของเมืองและพื้นที่ชนบท 47

29 แผนที่เส้นชั้นอุณหภูมิเท่า แสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ UHI ในบรรยากาศในช่วงกลางคืน 47

30 แผนภูมิแสดงการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิระหว่างวันในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง 48

31 แสดงภาพถ่ายทางอากาศของเมืองเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2497 – 2551 50

32 a) พื้นที่ Built- up area ปี พ.ศ.2543, b) พื้นที่ Built- up area ปี พ.ศ.2549 51

33 ภาพแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวเมืองเชียงใหม่ กับความหนาแน่นอาคาร อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน และอัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน 52

34 ภาพแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวเมืองเชียงใหม่ กับดัชนีผลต่างน้ำ (NDWI), ดัชนีผลต่างพืชพรรณ(NDVI) 52

35 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ ปี พ.ศ.2543-2549 53

36 แสดงเกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่ ช่วงปี พ.ศ.2544 และปี พ.ศ.2553 54

37 แสดงแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map) ของเมืองเชียงใหม่ใน ปี 2552 55

38 แสดงความเข้มข้นของเกาะความร้อนในเวลา 24 ชั่วโมง ตามฤดูกาลของเมืองเชียงใหม่ 56

39 แสดงงานวิจัยที่ใช้เกณฑ์การประเมินสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคาร ที่ได้รับอิทธิพลจากรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา 62

40 แสดงรูปแบบการคำนวณความต่างเชิงปริมาณของมุมฉากแบบ Arakawa C-grid 66

41 แสดงรูปแบบการจำลองสภาพภูมิอากาศของโปรแกรม ENVI-Met 67

42 แสดงรูปแบบกริดเซลล์ในแนวตั้ง a) กริดเซลล์ telescoping b) เซล์ขนาดคงที่ 67

43 แสดงการตั้งค่า (File header) เพื่อสร้างลักษณะกายภาพของพื้นที่ศึกษาบนโมดูล์ Space 68

44 ตัวอย่างการจำลองสภาพของเมือง ในโปรแกรม ENVI-met 69

45 แสดงตัวแปร และสมการย่อยของโปรแกรม ENVI-Met 69

46 แสดงการสร้างแบบจำลองต้นไม้ ภายในแบบจำลองโปรแกรม ENVI-met 81

47 การศึกษาภูมิอากาศเมืองโดยใช้ ENVI-met ทั่วโลก 83

48 แสดงสัญลักษณ์ของโปรแกรม MITRAS 84

49 The SOLWEIG team. Fredrik, Björn, Sofia, Deepak and Rogardt 85

50 แสดงสัญลักษณ์ของโปรแกรม SOLWEIG 86

51 แสดงแผนผัง (Flowchart) การคำนวณของโปรแกรม SOLWEIG-model ซึ่ง Ψ คือภาพของปัจจัยที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในสมการคำนวณฟลักซ์ของรังสี ทั้ง 6 ทิศทาง 86

52 รูปแบบการคำนวณฟลักซ์และอุณหภูมิของพลังงานสำหรับแบบจำลอง SLUCM 87

53 แสดงรูปแบบการคำนวณฟลักซ์ความร้อนบริเวณหุบเขาเมือง แบบ 2 มิติ 88

54 แผนผังแสดงโครงสร้างสมการแบบจำลอง SUEWS ภายในกริดเซลล์ 90

55 แสดงลักษณะพื้นผิวเมืองทั้ง 7 พื้นผิว ของแบบจำลอง SUEWS 91

56 รูปแบบการคำนวณบรรยากาศของแบบจำลอง TEB ที่แสดงสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากการตรวจวัดและแบบจำลอง ในระดับ Local scale 92

57 รูปแบบการคำนวณพลังงานความร้อนพื้นผิวของแบบจำลอง TEB บริเวณเรขาคณิตเมือง โดยวิเคราะห์อิทธิพลที่เกิดจากพื้นผิว หลังคา ผนัง และถนน ในระดับ Micro scale 92

58 ผังเมืองรวมจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 98

59 แผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518 101

60 แสดงที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก กำหนดความสูงอาคารไม่เกิน 15 เมตร ของกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 102

61 แสดงที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก กำหนดความสูงอาคารไม่เกิน 12 เมตร ของกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 102

62 แสดงที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ที่ห้ามมิให้สร้างอาคารเพื่อการอยู่อาศัยประเภทห้องชุด อาคารชุด หอพัก หรือโรงแรม ที่มีพื้นที่เกิน 1,000 ตารางเมตร และมีความสูงไม่เกิน 12 เมตร ของกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 103

63 ระยะร่นของอาคารจากแนวถนนสาธารณะ ทั้ง 3 กรณี 112

64 แผนผังเทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ พ.ศ. 2557 แสดงขอบเขตพื้นที่ควบคุมอาคาร ทั้ง 4 พื้นที่ และขอบเขตพื้นที่ศึกษา 117

65 รูปทรงเรขาคณิตเมือง และค่า Sky view factor และการทิศทางการวางตัวของอาคารต่อแสงอาทิตย์ 118

66 การตั้งค่าสภาพอากาศของแบบจำลอง โปรแรม ENVI-met เวอร์ชั้น 3.0 119

67 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีระวิทยา ตามทิศทางการวางตัวของอาคารแนวทิศเหนือ –ทิศใต้ และ ทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.5, 1, 2 และ 4 119

68 a) การตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนาม เหนือพื้นดิน 1.6 เมตร b) ตำแหน่งของจุดตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา c) ตารางแสดงลักษณะทางกายภาพของจุดตรวจวัดภาคสนาม 121

69 แสดงขนาดพื้นที่ของแบบจำลอง ในศูนย์กลางเมืองกูรีตีบา ประเทศบราซิล 121

70 กรอบแนวคิดการวิจัย รูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 124

71 แสดงการจำลองสภาพเรขาคณิตเมือง(Urban Geometry) ตามสภาพกายภาพของพื้นที่ศึกษาในปัจจุบัน 126

72 กำหนดพื้นที่ศึกษา ออกเป็น 4 ส่วน ตามแนวถนนช้างคลาน และถนนลอยเคราะห์ 128

73 แสดงเครื่องวัดระยะเลเซอร์ Leica DISTO รุ่น D210 (Accuracy ± 1.0 มม.) 132

74 แสดงลักษณะ Fish lane Izawaopt KSW-4 ขนาด Ø 24 mm. 132

75 ภาพแสดงเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา a) LUTRON WBGT-2010SD และ b) TESTO 435-2 data logger 133

76 a) การตั้งเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological measurements) 135

77 แสดงการตั้งค่าแบบจำลองสามมิติของพื้นที่ย่านช้างคลาน 136

78 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศลงในโปรแกรม ENVI-met 137

79 แสดงภาพแบบจำลองสามมิติ ย่านช้างคลาน โดยสร้างแบบจำลองถอยร่นออกไป 1 เท่า และทิศทางลมที่พัดเข้าสู้แบบจำลอง 137

80 ลักษณะกายภาพของย่านช้างคลานและแบบจำลองสามมิติย่านช้างคลาน 138

81 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิอากาศ วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย 139

82 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย 139

83 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย 140

84 แผนภูมิแสดงความเร็วลม วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย 140

85 การตั้งค่าอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 141

86 แสดงการตั้งค่าสภาพอากาศและค่าต่างๆ ของแบบจำลองสภาพอากาศย่านช้างคลาน ที่ผ่านการปรับแก้แบบจำลอง และยืนยังความเชื่อมั่นด้วยกระบวนการทางสถิติ 142

87 ภาพแสดงอินเตอร์เฟสของ ENVI-met สำหรับประมวลผลแบบจำลองย่านช้างคลาน 143

88 แสดงการเปรียบเทียบแนวโน้มค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแบบจำลองกับการตรวจวัดภาคสนาม ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ 145

89 อุณหภูมิอากาศของแบบจำลองครั้งที่ 4 และอุณหภูมิอากาศของการตรวจวัดสภาพอากาศภาคสนาม 147

90 การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม RayMan model เพื่อคำนวณสภาวะความสบายเชิงความร้อนรายชั่วโมง 149

91 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพอากาศต่ออุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา 150

92 กระบวนการทางเทคนิคการวิจัย (Technical flow chart) 151

93 ขั้นตอนการวิจัยรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 153

94 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 157

95 a) ภาพแสดงสัดส่วนพื้นพื้นที่อาคารคลุมดินต่อพื้นที่ว่าง ในเขตพื้นที่ศึกษา 157

96 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์อาคารของพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 158

97 แผนที่แสดงจำนวนชั้นของอาคารในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 159

98 แผนที่แสดงประเภทอาคาร ในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 160

99 แผนที่แสดงวัสดุอาคารในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 161

100 แสดงแผนที่ระดับความสูงพื้นที่ ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ที่มา : ผู้วิจัย 162

101 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 4.00 -8.00 น. 164

102 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 8.00 - 12.00 น. 164

103 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 8.00 - 12.00 น. 165

104 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 16.00 - 20.00 น. 165

105 ภาพแสดงอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนนตามแนวถนนเหนือ-ใต้ 6 รูปแบบ 166

106 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 0.8 167

107 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A) b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A) 167

108 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.2 168

109 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.40 b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 168

110 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.0 169

111 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.30 b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 169

112 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.3 170

113 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.37 b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 170

114 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 4.5 171

115 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.16 b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 171

116 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 2.3 172

117 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.28 b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 172

118 ภาพแสดงอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนนตามแนวถนนตะวันออก-ตะวันตก 2 รูปแบบ 173

119 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.8 174

120 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.38 b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 174

121 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 0.7 175

122 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.35
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 175

123 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 179

124 แสดงอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก - ตะวันตก 180

125 ภาพแสดงอุณหภูมิอากาศย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น. 181

126 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 183

127 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 184

128 ภาพแสดงความชื้นสัมพัทธ์อากาศย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น. 186

129 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 188

130 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 189

131 แสดงการจำลองความเร็วลมในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ในวันที่ 24 เมษายน 256 เวลา 16.00 น. 190

132 ภาพแสดงความเร็วลม ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น. 191

133 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 192

134 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 193

135 แสดงการจำลองทิศทางลมในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ในวันที่ 24 เมษายน 256 เวลา 16.00 น. 194

136 ภาพแสดงทิศทางลม ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น. 195

137 แสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ 197

138 แสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 198

139 ภาพแสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น. 199

140 แสดงอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน 202

141 แสดงการควบคุมความสูงในระยะ 100 เมตร จากที่ดินสถาบันศาสนา โดยกำหนดความสูงที่ 12.00 เมตร 206

142 แสดงตำแหน่งอาคารที่มีการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแบบจำลองโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั้น 4 210

143 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ 211

144 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ 212

145 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ 213

146 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.4 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ 214

147 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.9 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ 215

148 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 220

149 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก 222

150 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 224

151 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก 226

152 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 228

153 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก 230

154 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนทิศทางลมในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 232

155 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนทิศทางลมในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก 234

156 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 237

157 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ 239

158 แสดงอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารในแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ 240

159 แสดงอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารในแนวถนนทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก 241

160 แสดงการเปรียบเทียบพันธุ์ไม้ระหว่างต้นตะแบกและต้นฟิลด์เมเปิล 253

161 แสดงการเพิ่มพืชพรรณบริเวณทางเดินเท้าทั้งสองฝั่งของถนนช้างคลาน a) แสดงตำแหน่งต้นไม้ในมุมมอง 2 มิติ b) แสดงตำแหน่งต้นไม้ในมุมมอง 3 มิติ 253

162 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า 254

163 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า 254

164 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า 255

165 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า 255

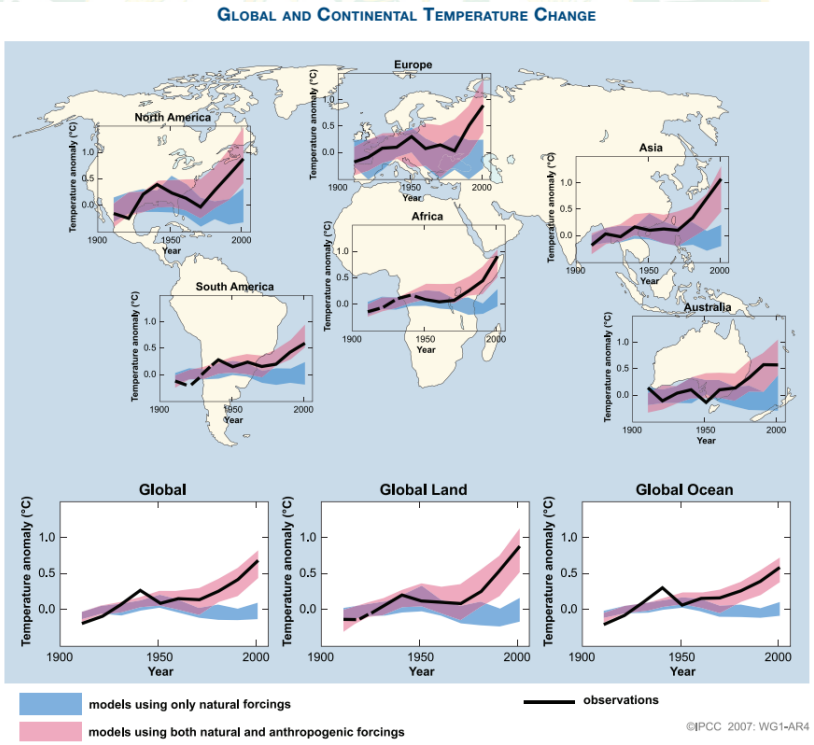
166 แสดงการเปรียบเทียบสภาวะความสบายเชิงความร้อนระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มพืชพรรณบริเวณทางเดินเท้า 256

แผนผังแสดงรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ 258

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา นับถึง พ.ศ. 2548 อากาศใกล้ผิวดินทั่วโลกโดยเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น 0.74 ± 0.18 องศาเซลเซียส ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ของสหประชาชาติได้สรุปไว้ว่า “จากการสังเกตการณ์การเพิ่มอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกที่เกิดขึ้นตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 (ประมาณตั้งแต่ พ.ศ. 2490) ค่อนข้างแน่ชัดว่าเกิดจากการเพิ่มความเข้มของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นผลในรูปของปรากฏการณ์เรือนกระจก” (Solomon et al., 2007) เมื่อพิจารณาจากเมืองขนาดใหญ่ทั่วโลก พบว่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่เมืองมีแนวโน้มสูงขึ้น และมีความแตกต่างระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่โดยรอบ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเรียกว่าปรากฏการณ์ “ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง Urban Heat Island (UHI)”



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวทวีปและระดับโลกกับผลลัพธ์จากการจำลองสภาพภูมิอากาศโดยธรรมชาติและความร้อนจากกิจกรรมการปล่อยความร้อนของมนุษย์ (Anthropogenic heat) และอุณหภูมิจากการสังเกตการณ์ในปี ค.ศ. 1906 ถึง 2005 (เส้นสีดำ)
ที่มา : Solomon et al. (2007)

การขยายตัวของเมืองในประเทศไทยไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะในกรุงเทพมหานครเท่านั้น แต่ยังรวมถึงเมืองขนาดใหญ่ที่อยู่ตามภูมิภาคต่างๆเช่น เชียงใหม่ นครราชสีมา ขอนแก่น ฯลฯ ด้วย (ธนกฤต, 2545) จากการพัฒนาเมืองนี้ทำเกิดเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเมือง รูปทรงเรขาคณิต-เมือง (Urban geometry), ชนิดของพื้นผิว (Land cover types) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) (Oke, 1982) ซึ่งหนึ่งในสาเหตุของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban heat island: UHI) ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศเมือง (Urban Climate) คือ รูปทรงเรขาคณิต-เมือง ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นเฉพาะ (Local atmospheric zones) เช่น การสะท้อนและการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในพื้นที่ถนนระหว่างอาคาร (Street canyon หรือ Urban canyon) ในเวลากลางวัน การกักเก็บความร้อนในพื้นที่ว่างระหว่างอาคาร และการพัดพาของลมในเขตเมือง ที่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศในชั้นเรือนยอดเมือง (Urban canopy layer, UCL) (Oke, 1987) ที่เป็นชั้นบรรยากาศที่กระทบต่อความสบายของมนุษย์ (Human comfort) และอนามัยสิ่งแวดล้อมของเมือง (Environmental health of the city)

เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่ เป็นเมืองศูนย์กลางความเจริญทางภาคเหนือของประเทศไทย มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจ เป็นศูนย์กลางการศึกษา การคมนาคม อีกทั้งยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง ประกอบกับมีลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น (Hot-humid climate) หรือภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อน (Tropical savanna climate หรือ Tropical wet and dry climate) ส่งผลให้พื้นที่ศูนย์กลางเมืองมีอุณหภูมิอากาศสูงยิ่งขึ้น จากการศึกษาของ วันเพ็ญ และคณะ (2553) พบว่า ลักษณะเชิงพื้นที่ของเกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่มีลักษณะที่เป็นศูนย์กลางเดียว โดยมีค่าความร้อนที่ 36 - 39 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสูงสุดของปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban heat island intensities) ของเมืองเชียงใหม่พบในฤดูหนาวและฤดูร้อน มีความเข้มข้นเท่ากับ 2 และ 1.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าในฤดูฝนมีค่าความเข้มข้นสูงสุด 1 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าฤดูหนาวมีความแตกต่างของอุณหภูมิของเมืองและชนบทมากที่สุด และจากผลการศึกษาของ มานัส (2553) พบว่าพื้นที่เมืองเชียงใหม่ย่านใจกลางเมืองเป็นพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องมาจากเป็นพื้นที่เมืองที่มีสัดส่วนพื้นที่อาคารคลุมดิน และความหนาแน่นของเมืองสูง โดยเฉพาะพื้นที่พาณิชยกรรมย่านช้างคลาน ซึ่งเป็นย่านการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจที่สำคัญของเมืองเชียงใหม่ตั้งแต่สมัยอดีตจนถึงปัจจุบัน

ย่านช้างคลานมีความเปลี่ยนแปลงจากอดีตไปมาก มีการสร้างโรงแรมขนาดใหญ่และเกสต์-เฮาส์หลายแห่ง เนื่องจากเป็นพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำปิง มีโรงแรมในยุคแรกๆ คือ โรงแรมพรพิงค์และโรงแรมเพชรงาม ต่อมาไม่นาน (พ.ศ. 2548-2550) ได้มีการสร้างโรงแรมสูงระดับ 5 ดาวอีกหลายแห่ง เช่น โรงแรมแชงกรีล่า และโรงแรมเดอะเจดีย์ ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่สถานกงสุลอังกฤษในอดีต (หอจดหมายเหตุแห่งชาติ, 2542) ประกอบกับย่านช้างคลานเป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีการกำหนดความสูงของ

อาคารและอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor Area Ratio : FAR) ที่ชัดเจน (ผังการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่พ.ศ. 2555) ทำให้พื้นที่บริเวณนี้มีการสร้างอาคารคอนกรีตสูงจำนวนมาก อันเป็นสาเหตุให้เกิดลักษณะหุบเขาเมือง (Urban canyon) อีกทั้งแนวถนนหลักอยู่ในทิศทางที่ขวางลม ส่งผลให้ไม่สามารถระบายความร้อนออกจากพื้นที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากในพื้นที่อื่น

ผลจากการทบทวนวรรณกรรมก่อให้เกิดความสนใจในการศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมือง (อัตราส่วนระหว่างความสูงอาคารและความกว้างของถนน รวมถึงศึกษาการเรียงตัวของอาคารและถนนที่มีผลต่อการไหลเวียนของกระแสลม) ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิของพื้นที่ โดยเลือกพื้นที่ย่านช้างคลานเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยของ วันเพ็ญ และคณะ (2553) และ มานัส (2553) ว่าเป็นพื้นที่ย่านใจกลางเมืองที่มีอุณหภูมิสูง แต่ยังไม่มีการศึกษาที่ระบุชัดถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากปัจจัยของรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่มีผลต่ออุณหภูมิของพื้นที่ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นกระบวนการที่ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างของถนนและรูปแบบการเรียงตัวของอาคาร ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน ตลอดจนการศึกษารูปทรงของอาคารและรูปแบบการวางตัวของอาคาร ที่ส่งเสริมการระบายอากาศในพื้นที่ระหว่างอาคาร นำไปสู่ความสามารถลดอุณหภูมิของพื้นที่ย่านช้างคลาน เพื่อนำไปสู่การเสนอแนะแนวทางและมาตรการในการวางแผนและออกแบบเมือง ที่ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตที่ดีของประชากรเมืองต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองและรูปแบบการวางตัวของอาคาร ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน

2) ศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งเสริมการระบายอากาศ และนำไปสู่ความสามารถในการลดอุณหภูมิของพื้นที่ย่านช้างคลาน

3) เสนอแนะแนวทางในการวางแผนและออกแบบเมืองที่ส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดี ในพื้นที่ย่านช้างคลาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เข้าใจถึงรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของพื้นที่ศึกษาและอุณหภูมิในพื้นที่ย่านพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากของย่านช้างคลาน ตามกฎกระทรวงให้ใช้บังคับ ผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

2) ข้อเสนอแนะด้านรูปแบบของรูปทรงเรขาคณิตที่เหมาะสม ที่ส่งเสริมคุณภาพอากาศและนำไปสู่ความสามารถในการลดอุณหภูมิของพื้นที่ย่านช้างคลาน

3) เสนอแนะแนวทางในการวางแผนและออกแบบเมืองที่ส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดีในพื้นที่ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเป็นพื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ตามกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

1.4 คำถามการวิจัย

การวิจัยรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อจุลภูมิอากาศเมือง กรณีศึกษาย่านช้าง-คลาน จังหวัดเชียงใหม่ มีการตั้งคำถามของการวิจัย ดังนี้

“อุณหภูมิอากาศบริเวณทางเดินเท้าเหนือพื้นผิว 1.80 เมตร จะลดลง เมื่อรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban geometry) มีค่าน้อยลงหรือไม่”

จากคำถามการวิจัยดังกล่าว สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรในการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

เมื่อ ตัวแปรต้น คือ รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban geometry)

ตัวแปรอิสระ คือ สภาพจุลภูมิอากาศบริเวณทางเดินเท้า ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (Temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity), ความเร็วลม (Wind speed), ทิศทางลม (Wind direction) และอุณหภูมิการแผ่รังสี (Radiant temperature)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

การวิจัยครั้งนี้กำหนดให้พื้นที่ย่านพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากตามแนวถนนช้างคลานเป็นพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นพื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ภายใต้กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมถึงลักษณะทางกายภาพของอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างของถนน รูปแบบการเรียงตัวของอาคาร

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ ณ พิกัด 500018.87 ม. ตะวันออก และ 2076934.20 ม. เหนือ (WGS 1984 UTM ZONE 47 N) สภาพทั่วไปของพื้นที่เป็นที่ราบ ทางทิศตะวันออกของคูเมืองเชียงใหม่ พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในพื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ย่านช้างคลาน มีพื้นที่ประมาณ 0.166992 ตารางกิโลเมตร (166,992 ตารางเมตร) ตั้งอยู่บนถนนช้างคลาน และถนนท่าแพซอย 1 (ทิศทางการวางตัวของถนนทิศเหนือ – ทิศใต้) ถนนลอยเคราะห์ และถนนเจริญประเทศซอย 6 (ทิศทางการวางตัวของถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก) (ภาพที่ 2 และภาพที่ 3)

1.5.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองของพื้นที่ย่านพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากของย่านถนนช้างคลานจังหวัดเชียงใหม่ ครอบคลุมเนื้อหา ดังนี้

1) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพเชิงพื้นที่ ได้แก่ รูปทรงและการวางตัวอาคาร ความกว้างของถนน สิ่งปกคลุมดิน และการใช้ประโยชน์อาคาร

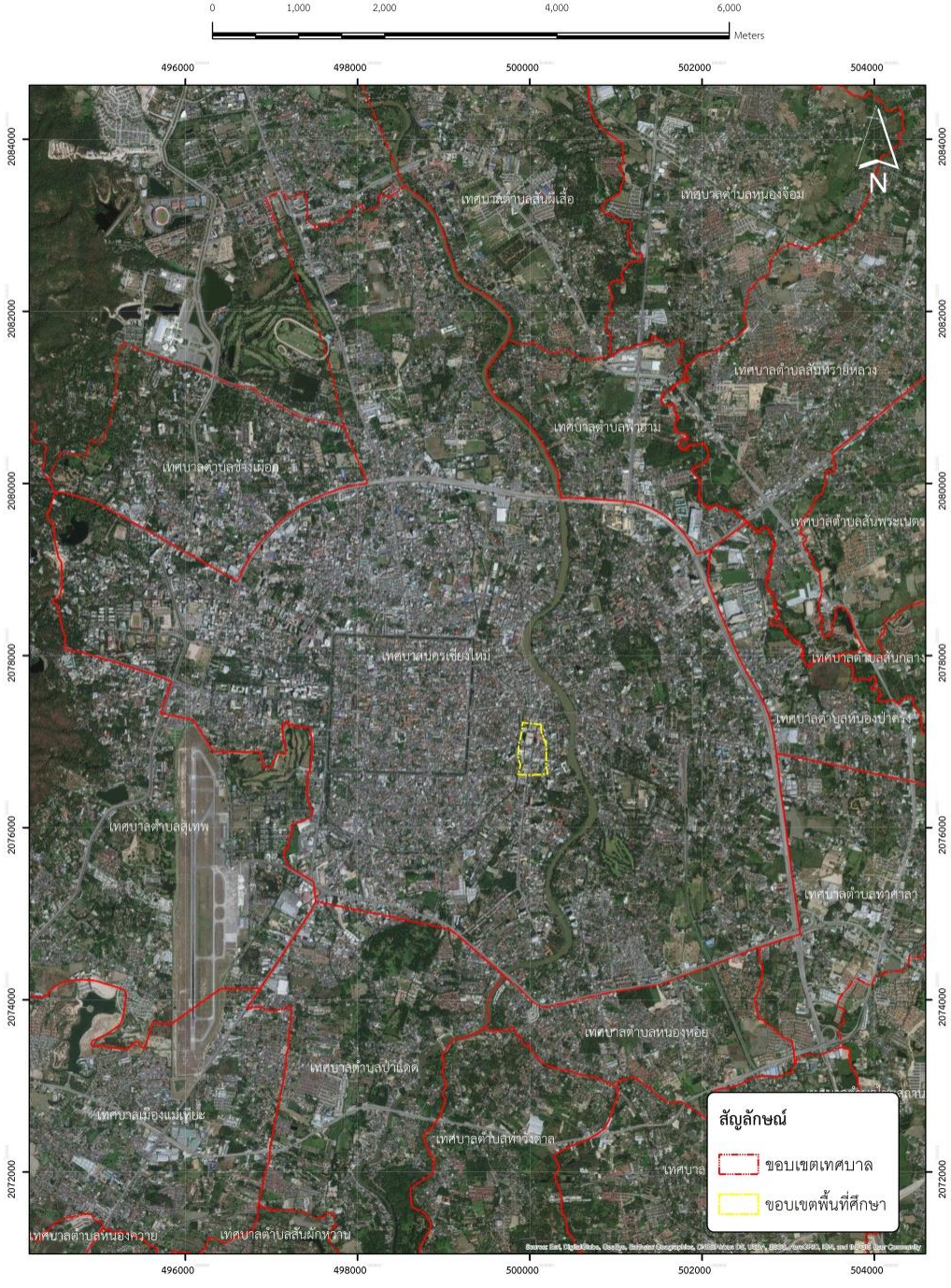
2) การวิเคราะห์ลักษณะปัจจัยภูมิอากาศเฉพาะท้องถิ่น (Local atmospheric zones) ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity), ความเร็วลม (Wind speed), ทิศทางลม (Wind direction) และอุณหภูมิการแผ่รังสี (Radiant temperature)

3) การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สภาพอากาศ เพื่อประมวลผลแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงของอาคารและความกว้างของถนน ที่ส่งผลต่อลักษณะภูมิอากาศเฉพาะท้องถิ่น (Local atmospheric zones) ด้วยโปรแกรม Envi-met เวอร์ชั่น 4.0 ในสภาพปัจจุบัน

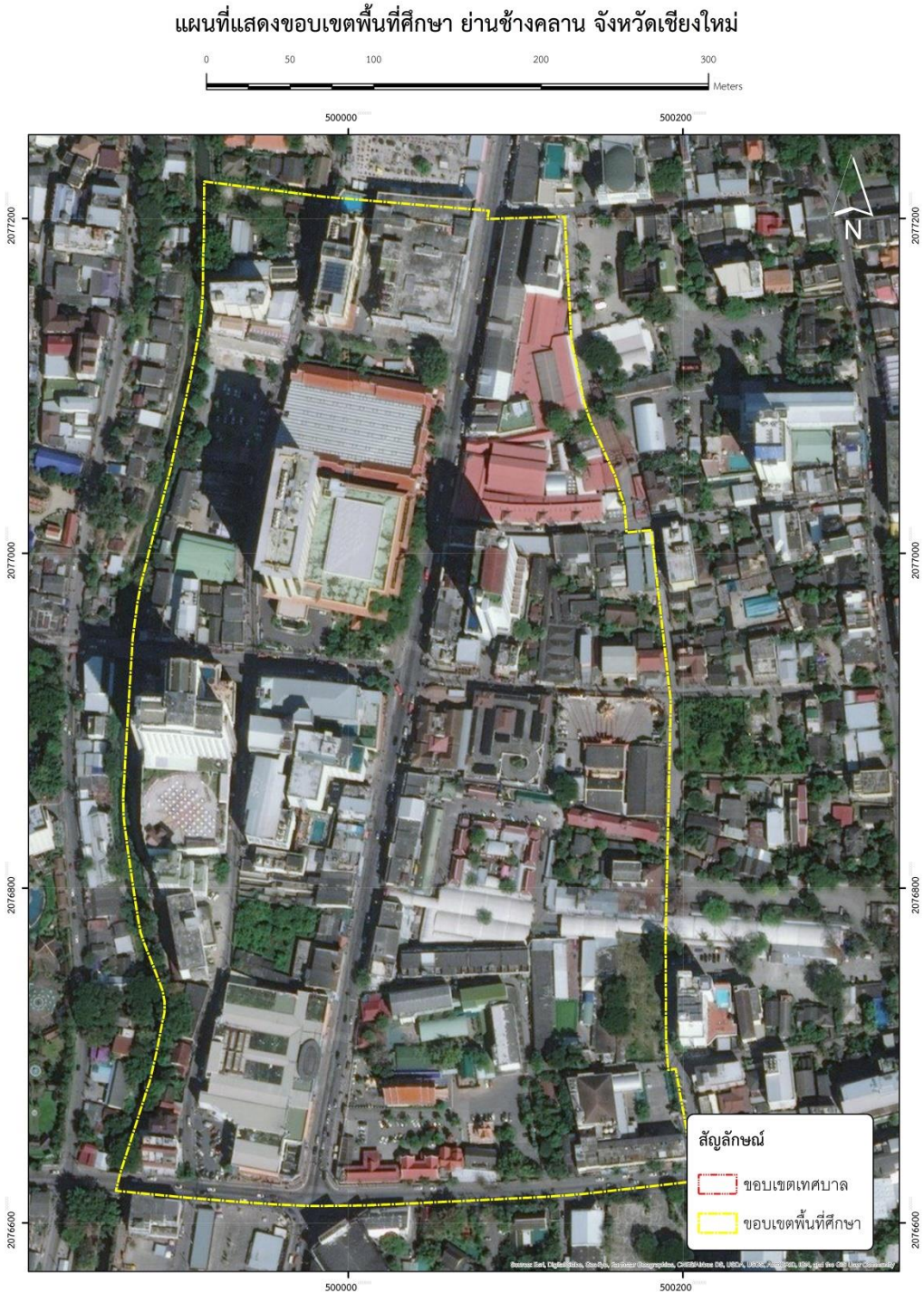
4) การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สภาพอากาศ เพื่อประมวลผลแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงของอาคารที่ได้รับการปรับปรุง โดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารและความกว้างของถนน ที่ส่งผลต่อลักษณะภูมิอากาศเฉพาะท้องถิ่น (Local atmospheric zones) ด้วยโปรแกรม Envi-met เวอร์ชั่น 4.0

5) การวิเคราะห์ลักษณะภูมิอากาศเฉพาะท้องถิ่น (Local Atmospheric zones) ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง เพื่อการเสนอแนะแนวทางการออกแบบและวางแผนพื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อลดอุณหภูมิอากาศพื้นที่

แผนที่แสดงที่ตั้งพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงที่ตั้งพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 3 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา พื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ผู้วิจัย

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัยและการศึกษาความหมายที่เกี่ยวข้อง

1) เมือง หมายถึง พื้นที่ตั้งของกลุ่มชุมชนที่มีประชากรอยู่อาศัยอย่างหนาแน่น ประกอบอาชีพและกิจกรรมทางเศรษฐกิจนอกภาคเกษตรกรรมเป็นหลัก ซึ่งมีความพร้อมด้านสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ เพื่อรองรับการอยู่อาศัยของประชากรในระดับสูง (อนุศาสน์, 2554)

2) จุลภูมิอากาศเมือง (Urban microclimate) หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่น (Local atmospheric zones) หรือ **เขตภูมิอากาศท้องถิ่น (LOCAL CLIMATE ZONES)** หมายถึง สภาพภูมิอากาศในพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถถูกเปลี่ยนแปลงได้โดยองค์ประกอบภูมิทัศน์ของพื้นที่ลักษณะเชิงพื้นที่เมืองแต่ละเมืองทำให้เกิดภูมิอากาศเฉพาะที่แตกต่างกัน (Brown et al., 1995; Stewart, 2011)

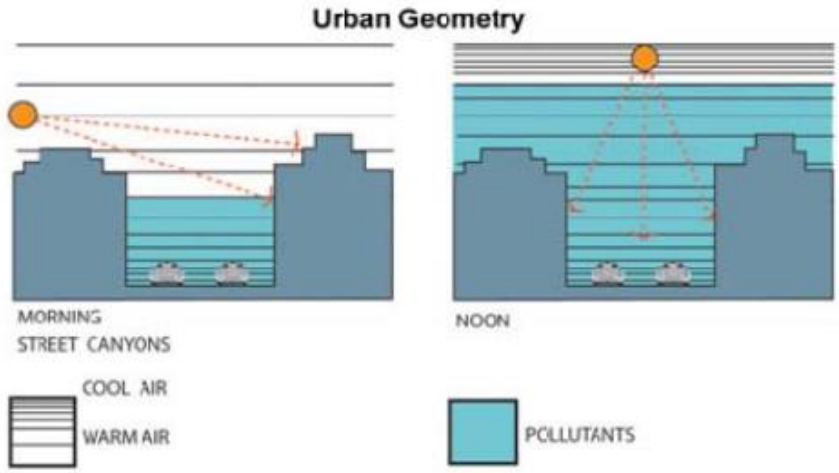
3) รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry) หรือ **อัตราส่วนความสูงอาคารต่อความกว้างถนน (Aspect ratio or height and width ratio: h/w ratio)** หมายถึง ความสูงอาคารในรูปแบบตั้งฉากกับพื้น ทั้งสองฝั่งของถนน และความกว้างโดยรวมของช่องจราจร เกาะกลาง และทางเดินเท้า อย่างไรก็ตามในความหมายที่เกี่ยวข้องกับการหาอัตราส่วนความสูงอาคารต่อความกว้างถนน พบว่าการศึกษาที่เกี่ยวข้องมีการใช้นามศัพท์ที่แตกต่างกัน เช่น

รูปทรงเมือง (Urban form) หมายถึง รูปทรงของเมืองที่เกิดจากการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์รวมไปถึงลาน พื้นที่ว่าง และเส้นทางสัญจรภายในเมือง (ธราวุฒิ, 2556)

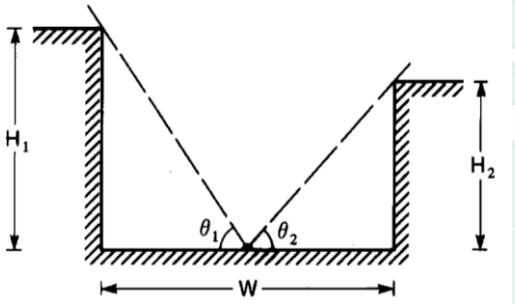
รูปร่างของเมือง (Urban geometry) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะเกาะความร้อนเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลากลางคืน รูปร่างของเมืองจะเป็นปัจจัยที่กำหนดทิศทางการหันอาคารและช่องว่างระว่างอาคารในเมือง โดยรูปร่างของเมืองมีอิทธิพลต่ออัตราการไหลของลม (Wind flow) การดูดซับพลังงาน (Energy absorption) และความสามารถของพื้นผิวในการปลดปล่อยรังสีช่วงคลื่นยาว (Long-wave radiation) กลับไปสู่พื้นที่ว่าง (สุดารัตน์ และคณะ, 2558)

ช่องว่างถนนระหว่างอาคารของเมือง หรือ หุบเขาเมือง (Urban canyon หรือ Street canyon หรือ Urban street canyon) หมายถึง ลักษณะถนนที่มีอาคารสูงรายล้อมทั้งสองฝั่งของถนน (ชินดนัย, 2557)

คำศัพท์ที่ยกตัวอย่างมาทั้งหมดนั้นสื่อความหมายถึง ที่ว่างระหว่างอาคารกับสิ่งปลูกสร้างโดยรอบ โดยทั่วไปจะใช้อาคารริมถนนและพื้นที่ถนนเป็นตัวแทนที่ชัดเจนของพื้นที่ในลักษณะดังกล่าว (ภาพที่ 4) ซึ่งพื้นที่ลักษณะนี้มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเมืองที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการใช้คำศัพท์ในงานวิจัยเล่มนี้จะใช้คำว่า “รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry)” ในการอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานและผลการวิจัย รวมถึงเรื่องอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของพื้นที่ระหว่างอาคารกับสิ่งปลูกสร้างโดยรอบ ต่อไป



ภาพที่ 4 รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry)
ที่มา : มนตรี (2546)



ภาพที่ 5 อัตราส่วนความสูงอาคารต่อความกว้างถนน(Aspect ratio or height and width ratio)
ที่มา : Oke (1988)

4) การจัดวาง (Orientation) หมายถึง การจัดวางอาคารตามแนวถนนในแต่ละทิศทาง โดยในงานวิจัยครั้งนี้มีการจัดวางแนวถนนทั้งหมด 2แบบ คือ การจัดวางในแนวทิศเหนือ –ทิศใต้, การจัดวางในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

5) พื้นที่พาณิชยกรรม หมายถึง พื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ที่กำหนดไว้ในแผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินตามที่ได้จำแนกท้ายกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 ปรับปรุงครั้งที่ 3

6) กริดเซลล์ หมายถึง ตาราง หรือ ตะแกรง หรือ หรือ ช่อง โดยมีลักษณะเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยด้านกว้างและด้านยาว และเชื่อมต่อกันอย่างน้อย 2 หน่วยขึ้นไป

ในงานวิจัยนี้ “กริดเซลล์” หมายถึง พื้นที่ขนาด 5x5x6 เมตร จำนวน 1,537,600 หน่วย ที่เชื่อมต่อกันเป็นทรงลูกบากศ์ ที่มีด้านกว้างรวม 1,240 เมตร ด้านยาวรวม 1,240 เมตร และสูงรวม 168 เมตร ในโมดูล์ Space ของโปรแกรม ENVI-met โดยแต่ละกริดเซลล์จะถูกกำหนดให้เป็นลักษณะทางกายภาพ หรือพื้นที่ว่าง ตามสภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา

7) กฎหมายควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคาร หมายถึง กฎหมาย หรือมาตรฐาน หรือบรรทัดฐานที่มีผลบังคับใช้มีสาระเกี่ยวกับการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินและการควบคุมอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง ในช่วงระยะเวลาที่ทำงานวิจัย (พ.ศ. 2560 - 2561)

โดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำกฎหมายเกี่ยวกับการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่

1. กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2555
2. กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

กฎหมายควบคุมอาคาร ได้แก่

1. กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2533) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีสาระเกี่ยวกับการควบคุมอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ และมีการแก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวงฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540)
2. กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีสาระเกี่ยวกับการควบคุมที่ว่าง ระยะร่น และแนวอาคาร และมีการแก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวงฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550) ในสาระที่เกี่ยวกับระยะร่นระหว่างอาคาร
3. เทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ เรื่อง กำหนดบริเวณห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิด หรือบางประเภท ในท้องที่ตำบลศรีภูมิ ตำบลสุเทพ ตำบลช้างม่อย ตำบลพระสิงห์ ตำบลช้างคลาน และตำบลหายยา ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2557 (ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2558)

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษารูปแบบของอาคารและสิ่งปลูกสร้างที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของพื้นที่เมืองในระดับย่าน นั้นมีปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ศึกษารูปแบบการเรียงตัวของอาคาร อุณหภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อพื้นที่ศึกษา และทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศเมือง (Urban climate) และทำความเข้าใจถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลผลต่ออุณหภูมิอากาศของเมือง ซึ่งขอบเขตในการศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมการศึกษาเรื่องความสูงของอาคาร รูปแบบการเรียงตัวของอาคาร ความกว้างของเขตทาง และกระแสลม เพื่อหาแนวทางในการลดอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษา โดยตัวแปรที่สำคัญในการศึกษานี้คือ ความสูงของอาคาร ความกว้างของเขตทาง ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการไหลเวียนของลมที่จะนำพาความร้อนออกไปจากพื้นที่ศึกษา

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่

1. ภูมิอากาศเมือง (Urban Climate) โดยศึกษาปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อภูมิอากาศในพื้นที่เมือง ทั้งต้นกำเนิดความร้อน กระบวนการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ซึ่งมีอิทธิพลต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่เมือง
2. เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island) ปรากฏการณ์ที่เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดจากลักษณะทางกายภาพของเมืองที่ทำให้เมืองเกิดการสะสมความร้อนที่มากกว่าพื้นที่โดยรอบ

2.1 ภูมิอากาศเมือง (Urban Climate)

การเปลี่ยนแปลงบทบาทของพื้นที่ชนบท (Rural Area) มาเป็นพื้นที่เมือง (Urban Area) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศเมือง (Urban ecosystem) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเมือง การเดินทางสัญจร และสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศเมือง (Urban climate change) นอกจากนี้แล้ว เมืองแต่ละเมืองมีตัวแปรควบคุมภูมิอากาศเมืองที่เป็นลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน ที่ขึ้นอยู่กับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (Geographical location) ขนาดเมือง (City size) ช่วงเวลาและฤดูกาล (Time and season) อิทธิพลของสภาวะอากาศระดับภูมิภาคต่อลักษณะเมฆและลม (Synoptic weather) บทบาทเมือง (City function) และรูปแบบเมือง (City form) ทำให้เมืองมีสภาพภูมิอากาศที่เป็นรูปแบบเฉพาะของแต่ละเมือง และส่งผลต่อการใช้ชีวิตและสุขภาพของประชาชนในพื้นที่อีกด้วย

2.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศเมือง

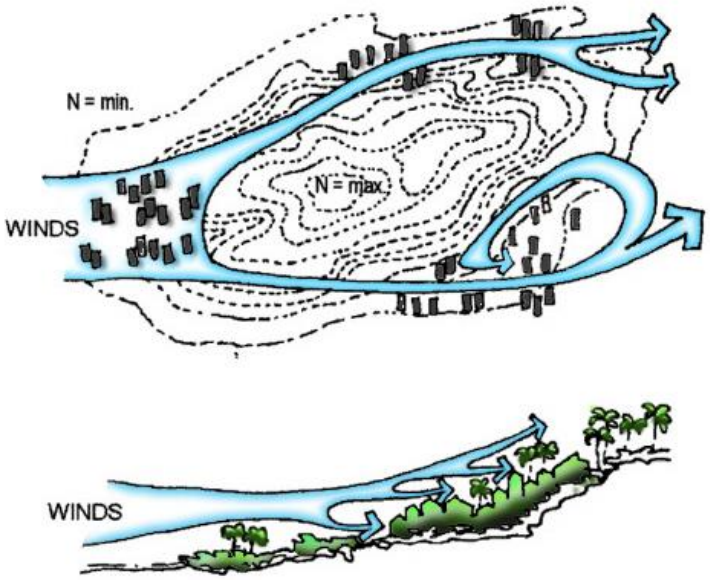
เมืองแต่ละเมืองมีลักษณะเฉพาะที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อภูมิอากาศเมืองก็แตกต่างกันเช่นเดียวกัน โดยสามารถแบ่งปัจจัยที่มีผลต่ออิทธิพลต่อภูมิอากาศเมืองออกเป็น 5 กลุ่มได้ (อนุศาสน์, 2554) ดังนี้

1) สภาพอากาศระดับภูมิภาค (Synoptic weather)

ปัจจัยที่สำคัญอย่างที่ตั้งของเมือง สภาพอากาศและฤดูกาลมีอิทธิพลต่อการภูมิอากาศเมือง ทั้งยังไม่สามารถควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้

1.1) ปริมาณเมฆที่ปกคลุม (Cloud cover) ในวันที่มีสภาวะเมฆปกคลุมมาก การแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังพื้นโลกก็จะน้อยลงไปด้วย เนื่องจากเมฆที่ปกคลุมนั้นมีการดูดซับและสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ออกไปสู่ชั้นบรรยากาศนั้นเอง ในทางกลับกันในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งหรือมีเมฆน้อย ความร้อนก็จะเกิดในเมืองมากขึ้น ความรุนแรงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

1.2) ลม (Wind) ลมเป็นปัจจัยที่สำคัญในการช่วยระบายอากาศและพัดพามลพิษให้ออกไปจากเมืองแต่ในพื้นที่เมืองประกอบด้วยพื้นผิวที่มีความหลากหลาย อาคารและสิ่งปลูกสร้างมีความซับซ้อนกว่าในพื้นที่ชนบท ทำให้กีดขวางการไหลเวียนของกระแสลมที่พัดผ่านเมือง ส่งผลให้ความเร็วของลมลดลง แตกต่างจากพื้นที่ชนบทที่มีลักษณะของอาคารราบกว่า รวมทั้งลักษณะพื้นผิวที่ขัดขวางการไหลของลมน้อยกว่า ทำให้ลมช่วยกระจายความร้อนได้ดีกว่า ดังนั้นการวางผังควรคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศ เพราะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการไหลเวียนของลม (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การระบายอากาศในลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน
ที่มา : Givoni (1998)

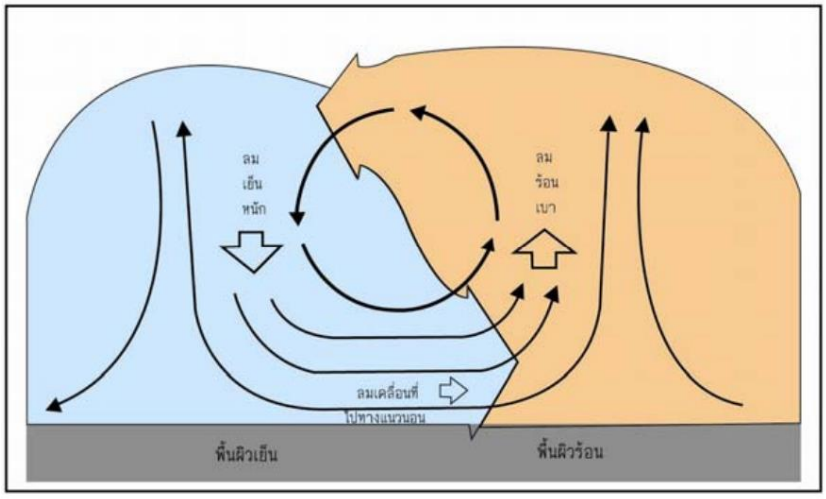
การไหลเวียนของกระแสลมเกิดจากแรงขับเคลื่อน 2 ประเภท ได้แก่ ความแตกต่างของความกดอากาศ(Pressure Differential) และ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Differential)

1.2.1) ความแตกต่างของความกดอากาศ (Pressure Differential)

อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว ทำให้มีความหนาแน่นลดลง และเป็นผลให้ความกดอากาศน้อยลงด้วย อากาศเย็นบริเวณใกล้เคียงซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า จะเกิดการเคลื่อนที่เข้ามาบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่าการเคลื่อนที่ของอากาศ เนื่องจากสองแห่งมีความกดอากาศต่างกันทำให้เกิดลม

1.2.2) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Differential)

การเคลื่อนไหวของอากาศอย่างเบาบางทำให้เกิดการสลายของเกาะความร้อนเมืองได้ ยิ่งความเร็วลมสูงขึ้นก็จะส่งผลทำให้เกิดเกาะความร้อนเมืองลดลงหรือถูกสลายไปด้วย ความเร็วลมที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของเมืองด้วยเช่นกัน การเคลื่อนที่ไปทางราบของอากาศเป็นผลที่เกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอของความร้อนที่อากาศได้รับ ทำให้อุณหภูมิของอากาศในระดับเดียวกันแตกต่างกัน เมื่ออากาศเย็นที่หนักกว่าผลักดันให้อากาศร้อนร้อนที่เบากว่าลอยตัวขึ้น อากาศเย็นก็จะเคลื่อนไปในแนวราบเพื่อแทนที่อากาศร้อนเกิดเป็นกระแสลม (มนตรี, 2546) (ภาพที่ 7) ซึ่งพื้นที่ที่มีการหมุนเวียนอุณหภูมิดังกล่าวมักเกิดขึ้นในพื้นที่สีเขียวที่มีขอบเขตติดต่อกับพื้นที่เมือง หรือบริเวณชานเมือง



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดลม
ที่มา : มนตรี (2546)

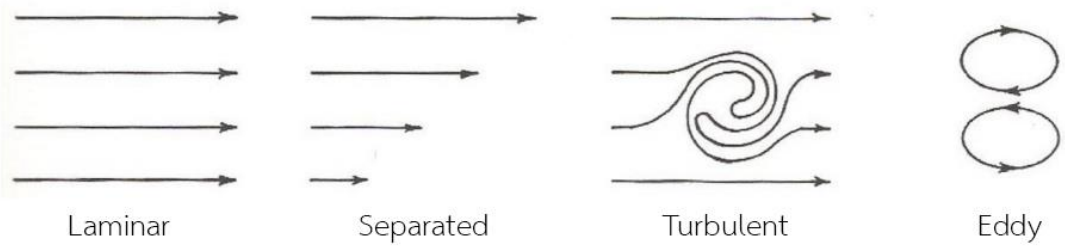
ลักษณะการไหลเวียนของกระแสลม สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะ ได้แก่

(1) แบบ Leninar คือ กระแสลมที่พัดอย่างอิสระด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอ และไหลเวียนโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

(2) แบบ Separated คือ กระแสลมที่พัดผ่านพื้นดิน, ต้นไม้, สิ่งก่อสร้างซึ่งทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ผิววัตถุ (friction) ซึ่งทำให้ความเร็วของกระแสลมในแต่ละระดับความสูงไม่สม่ำเสมอ

(3) แบบ Turbulent หมายถึง การพัดของกระแสลมที่มีความแปรปรวน โดยทั่วไปลมที่พัดผ่านวัตถุต่างๆ ในสภาพแวดล้อมหนึ่งๆ มักจะเป็นการพัดแบบ turbulent เป็นส่วนใหญ่

(4) แบบ Eddy คือ ลมหมุนที่เกิดจากการพัดแบบ turbulent



ภาพที่ 8 ลักษณะการไหลเวียนของกระแสลม ทั้ง 4 ลักษณะ
ที่มา : ชูเกียรติ (2553)

กระบวนการการไหลเวียนอากาศใกล้พื้นดิน มีความสำคัญต่อสภาพอากาศของบริเวณนั้นๆ ความเร็วลมถูกใช้เป็นตัววัดการไหลเวียนอากาศ ในเวลาเดียวกันมันยังแสดงว่า สภาพแวดล้อมเป็นสิ่งที่ดึงหรือผลักมวลอากาศในพื้นที่ที่มีการก่อสร้างซึ่งต่างจากพื้นที่เปิดโล่ง คือ มีการคาดการณ์ว่าความเร็วลมใกล้พื้นดินจะลดลงโดยเฉลี่ย 20-30% ในทันทีทันใดนั้นพื้นที่โดยรอบ ของโครงสร้างตึกเดี่ยวๆ และพื้นที่ถนนอาจมีความเร็วของกระแสลมเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนทิศทางของกระแสลมที่มาปะทะตัวอาคาร ลงสู่บริเวณพื้นที่โดยรอบของอาคารทำให้เกิดลมกรรโชกแรง และลมที่พัดผ่านมาตามแนวถนน เป็นช่องทางการไหลเวียนของลม (wind channel) รวมถึงลมที่พัดผ่านช่องว่างระหว่างอาคารส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ช่องลม (venturi effect) ทำให้ลมมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะสัมพันธ์กับผลกระทบในบริเวณนั้น ปัจจุบันได้มีการวัดลมอย่างต่อเนื่องตามข้อตกลงระหว่างประเทศ ซึ่งสถานีที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด คือ 10 เมตร เหนือพื้นดิน (ชูเกียรติ, 2553)

อย่างไรก็ตามการเลือกที่ตั้งเพื่อการออกแบบเมือง ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เช่น ในกรณีที่เป็นพื้นที่ที่มีอากาศเย็น ควรมีการออกแบบการจัดวางองค์ประกอบต่างๆ ให้ลมมีกำลังน้อยลง เพื่อไม่ให้มีอากาศเย็นเกินไป แต่หากเป็นพื้นที่ที่มีอากาศร้อน โดยเฉพาะภูมิอากาศร้อนชื้น (Hot and humid) ควรจัดวางองค์ประกอบต่างๆ เพื่อให้ลมสามารถไหลเวียนได้ดี เพื่อบรรเทาอากาศที่ร้อน นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดการบริโภคพลังงานได้อีกด้วย (Givoni, 1998)

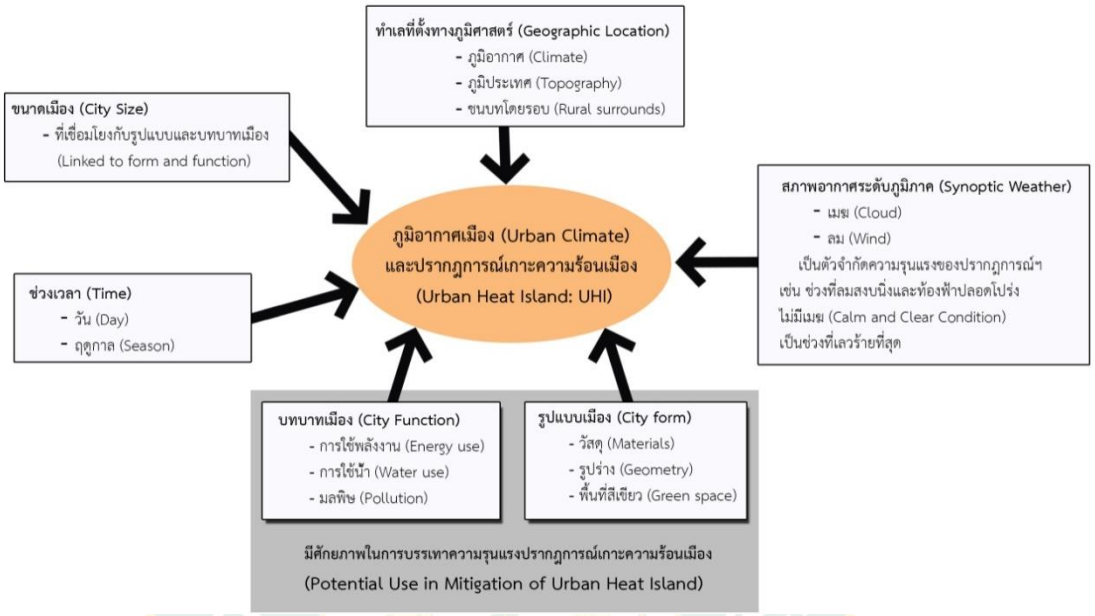
2) ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และลักษณะภูมิประเทศ (Geographic and Topography) ก็มีผลต่อภูมิอากาศเมือง เช่น แหล่งน้ำขนาดใหญ่มีอุณหภูมิปานกลางและสามารถสร้างกระแสลมที่จะพาความร้อนออกจากเมืองได้ ภูเขาใกล้เคียงอาจจะปิดกั้นลมที่จะพัดเข้าสู่เมือง หรืออาจสร้างรูปแบบของกระแสลมที่จะพัดผ่านเมืองก็เป็นได้ (สุดารัตน์ และคณะ, 2558)

3) ฤดูกาล (Season) นอกจากปริมาณความร้อนจากแหล่งกำเนิดที่เกิดจากมนุษย์สร้างขึ้นและจากแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ ทั้งยังมีอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูกาลต่างๆด้วย ที่เห็นได้ชัดเจน คือ ฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังนี้

3.1) ปริมาณความร้อนที่เมืองได้รับในฤดูหนาว เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั้นน้อยกว่าในช่วงฤดูร้อน ดังนั้นช่วงฤดูหนาวจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่าในช่วงฤดูร้อน จึงทำให้ปริมาณความร้อนในเมืองส่วนใหญ่จะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่

3.2) ปริมาณความร้อนที่เมืองได้รับในฤดูร้อนความร้อน เมืองจะได้รับในปริมาณมากจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) เป็นหลักรองลงมาคือ ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ วัสดุก่อสร้างภายในเมืองมีการดูดซับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

4) ขนาดเมือง (City size) ในเมืองขนาดใหญ่การขยายตัวตามกายภาพของเมืองย่อมส่งผลให้เกิดการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น มีความต้องการใช้พลังงาน (Energy consumption behavior) เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดเกาะความร้อนในชั้นบรรยากาศซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมในชีวิตประจำวันของมนุษย์จากหลายๆ กิจกรรม ซึ่งล้วนเป็นกิจกรรมที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของเมือง โดยคาดการณ์พลังงานทั้งหมดที่เกิดจากการใช้เครื่องปรับอากาศในการทำ ความร้อนและการทำความเย็น (Heating and cooling) ความร้อนจากการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า (Running appliances) การคมนาคมขนส่ง (Transportation) และกระบวนการทางอุตสาหกรรม (Industrial process) โดยการใช้พลังงานในอาคารและในภาคการคมนาคมขนส่ง ซึ่งล้วนก่อให้เกิดความร้อนที่เข้มข้น (สุดารัตน์ และคณะ, 2558)



ภาพที่ 9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อภูมิอากาศเมือง
ที่มา : Voogt (2002) อ้างถึงใน สุดารัตน์ และคณะ (2558)

ในปี 1991 Marsh (1991) ได้จำแนกเมืองตามลักษณะพื้นผิวปกคลุมออกเป็น 6 ส่วน เนื่องจากพื้นที่แต่ละส่วนของเมืองมีลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่แตกต่างกัน จึงมีพื้นผิวปกคลุมที่ที่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน ซึ่งมีอิทธิพลต่อการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) การไหลของอากาศ (Air flow) และมลพิษทางอากาศ (Air pollution) ดังนี้

1) พื้นที่เมืองเก่า (Old Inner City) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีพื้นผิวดาดแข็งปกคลุมมากกว่า 90% การไหลของอากาศต่ำ มลพิษทางอากาศปานกลางโดยจะขึ้นอยู่กับทิศทางลม

2) พื้นที่อาคารสูง (High Rise Inner City) มีพื้นผิวดาดแข็งปกคลุมมากกว่า 90% ปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แตกต่างไปตามขนาด และรูปทรงอาคารบริเวณนั้นการไหลของอากาศรุนแรง

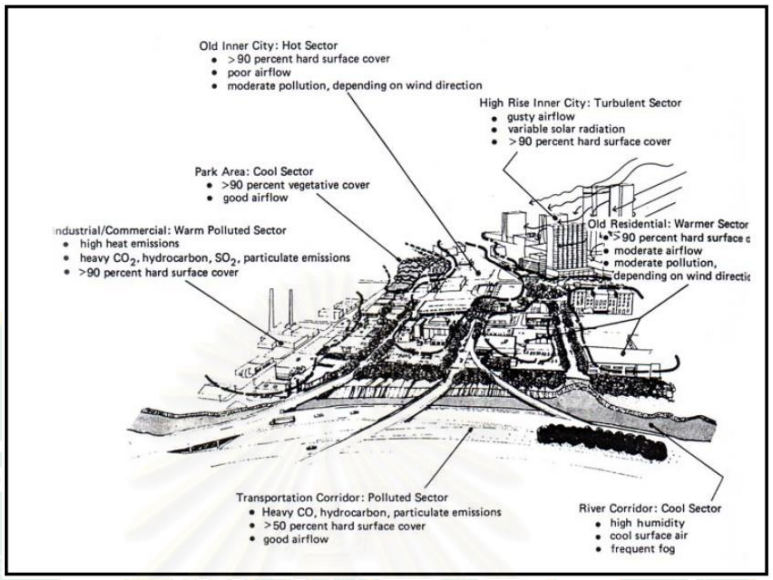
3) พื้นที่พักอาศัยเก่า หรือพื้นที่อาคารไมสูงมาก (Old Residential) ปริมาณพื้นผิวดาดแข็งปกคลุม มากกว่า 90% การไหลของอากาศปานกลาง มลพิษปานกลางโดยขึ้นอยู่กับทิศทางลม

4) บริเวณเส้นทางแม่น้ำ (River Corridor) เป็นส่วนที่เย็นในเมือง มีปริมาณความชื้นสูงและมีหมอก อากาศเหนือพื้นผิวเย็น

5) บริเวณเส้นทางสัญจร (Transportation Corridor) มีมลพิษทางอากาศฝุ่น มีปริมาณพื้นผิวดาดแข็งปกคลุมมากกว่า 50% การไหลของอากาศดี

6) พื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่เศรษฐกิจ (Industrial /Commercial) ปริมาณพื้นผิวดาดแข็งปกคลุมมากกว่า 90 % มีการปล่อยความร้อน (Heat Emissions) สูง มีมลพิษทางอากาศ ฝุ่นละออง

7) พื้นที่สวนสาธารณะ (Park Area) ปริมาณพืชพันธุ์ปกคลุมมากกว่า 90% การไหลของอากาศดี



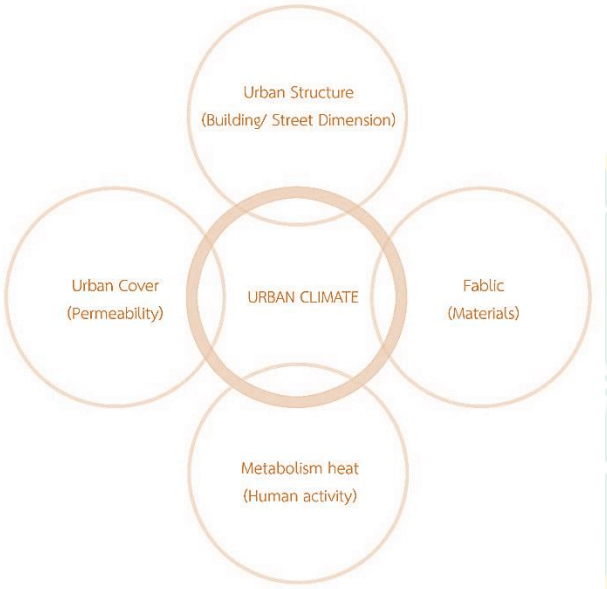
ภาพที่ 10 แสดงส่วนประกอบของเมืองที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศภายในเมือง
ที่มา : Marsh (1991)

2.1.2 การจำแนกเขตภูมิอากาศความร้อน (Thermal climate zone classification)

1) การจำแนกเขตภูมิอากาศท้องถิ่นในอดีต

ในอดีตการจำแนกเขตภูมิอากาศเมืองทั้งหมดถูกกำหนดขึ้นอย่างไม่เป็นทางการและยังไม่มีการกำหนดแนวทางการจำแนกภูมิอากาศเมืองขึ้นอย่างเป็นที่แน่ชัด ในปี ค.ศ. 1965 Chandler ผู้ริเริ่มศึกษาการจำแนกสภาพภูมิอากาศของเมือง เขาแบ่งมหานครลอนดอนเป็นสี่ภูมิภาคท้องถิ่นด้วยสภาพอากาศ ภูมิศาสตร์กายภาพ และรูปทรงของสิ่งก่อสร้าง (Chandler et al., 1965) หลังจากนั้น ในปี 1978 Jr. ได้จำแนกพื้นที่เมืองและชนบท ของเมืองเซนต์หลุยส์, รัฐมิสซูรี ประเทศสหรัฐอเมริกา ออกเป็น 12 เขต โดยใช้นัยสำคัญของลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา (meteorologically significant) พบว่าปัจจัยด้านพืชพรรณในเมือง และลักษณะทางกายภาพของอาคาร มีผลต่อสภาพภูมิอากาศเมืองอย่างมีนัยสำคัญ (Jr., 1978) ต่อมาในปี 1991 Ellefsen ได้คิดค้นระบบการจำแนกพื้นที่ในระดับย่านเรียกว่า เขตภูมิภาคเมือง (urban terrain zones) โดยพิจารณาจากเรขาคณิตเมือง เส้นทางสัญจร และวัสดุอาคาร ใน 10 เมืองของประเทศสหรัฐอเมริกาและได้มีการแบ่งลักษณะของอาคารออกเป็น 2 รูปแบบ คือ Attached และ Detached (Ellefsen et al., 1991)

ในเวลาต่อมา Oke (2004) นำหลักการการจำแนกเขตภูมิอากาศความร้อนของ Auer (1978) และ Ellefsen (1990) มาพิจารณาร่วมกันและได้ออกแบบหลักเกณฑ์การแบ่งขอบเขตของเมือง เพื่อให้การตั้งเครื่องตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่เมืองสะดวกมากขึ้น Oke ได้แบ่งเขตภูมิภาคอากาศที่มีลักษณะเดียวกัน (Homogenous Regions) ออกเป็น 7เขต เรียกว่า เขตภูมิอากาศเมือง (Urban climate zones: UCZs) ซึ่งนับตั้งแต่พื้นที่ชานพื้นเมืองไปยังพื้นที่เมืองที่มี การพัฒนาอย่างหนาแน่น โดยพิจารณาจากโครงสร้างของเมือง (อาคาร และถนน), สิ่งปกคลุมพื้นผิว, วัสดุอาคาร ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์(Metabolism heat) และศักยภาพในการปรับเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศของเมือง (ภาพที่ 11)

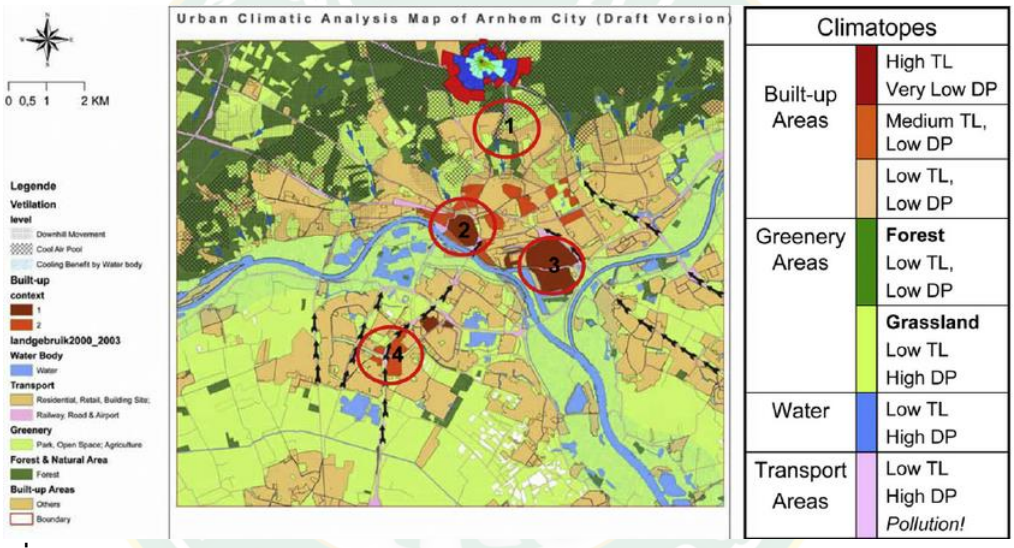


ภาพที่ 11 ตัวแปรในการจำแนกเขตภูมิอากาศเมือง (Urban climate zones: UCZs)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Oke (2004)

ในปี 2012 Loridan ได้พัฒนาการจำแนกภูมิอากาศเมืองโดยพิจารณาจากค่าการแลกเปลี่ยนพลังงานของพืชและพื้นผิวสิ่งก่อสร้างของเมือง เรียกว่า urban zones for characterizing energy partitioning หรือ UZEs โดยหลักการนี้สามารถแบ่งเขตภูมิอากาศได้โดยปริมาณการรับรังสีจากแสงอาทิตย์ได้ (Loridan et al., 2012)

ในต่างประเทศการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินมักจะมีเกณฑ์การแบ่งแยกระหว่างพื้นที่เมืองและสภาพแวดล้อมชนบท ตัวอย่างเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา มี National Land Cover Dataset (NLCD) สำหรับจำแนกสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 16 ประเภท โดยมี 4 ประเภทที่เป็นลักษณะภูมิอากาศเมืองแบบตะวันออก (Homer et al., 2007)

ในบางประเทศของทวีปยุโรปการแบ่งเขตภูมิอากาศ (Climatope) (ภาพที่ 12) นั้นจำแนกด้วยภูมิประเทศเมืองและภูมิอากาศเมือง เช่น กระแสลมในท้องถิ่น อุณหภูมิ การใช้ประโยชน์ที่ดิน อาคาร พื้นผิว และความหนาแน่นประชากร มีวัตถุประสงค์ส่วนใหญ่เพื่อการวางแผนเมือง ((Wilmers et al., 1991); (Scherer et al., 1999)) โดยการแบ่งเขตภูมิอากาศ (Climatope) นั้นจะใช้ข้อมูล เพื่อเผยให้เห็นสภาพอากาศที่เฉพาะของสถานที่ในท้องถิ่น ในปี 1991Wilmers et al. จำแนกภูมิอากาศในเมืองฮันโนเวอร์, เยอรมนี, โดยใช้หลักเกณฑ์จากพืชพรรณ โครงสร้างพื้นผิว และประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 9 เขตภูมิอากาศท้องถิ่นเช่นเดียวกันกับ (Scherer et al., 1999) ศึกษาและจำแนกเขตภูมิอากาศของเมืองบาเซิล ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ออกหลากหลายแบบโดยใช้ลักษณะการระบายอากาศและลักษณะสิ่งปกคลุมดิน



ภาพที่ 12 แสดงภาพ UC-AnMap for Arnhem with the legend of climatopes and four designated areas (TL means thermal load; DP means dynamic potential).
ที่มา : Chao Rena et al. (2012)

จากการศึกษาการจำแนกประเภทภูมิอากาศท้องถิ่นก่อนหน้านี้ล้วนมีจุดมุ่งหมายเพื่อการศึกษาและสังเกตการณ์ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในหลายประเทศทั่วโลก ซึ่งมีประเด็นที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม ประการที่หนึ่ง การจำแนกประเภทภูมิอากาศไม่ได้พิจารณาคุณสมบัติของสภาพของภูมิอากาศอย่างครบถ้วน ซึ่งควรพิจารณาปัจจัยด้านกายภาพของโครงสร้างของเมือง (อาคารและถนน), สิ่งปกคลุมพื้นผิว, วัสดุอาคาร และความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ประการที่สอง ไม่มีการศึกษาปัจจัยด้านภูมิทัศน์ชนบท จากการศึกษาของ Chandler (1965), Jr. (1978), Ellefsen (1991) และ Oke (2004) ทั้งหมดล้วนให้ศึกษาถึงรูปทรงของสิ่งปลูกสร้าง การพัฒนาเมืองสมัยใหม่ ที่เป็นย่านที่มีความสำคัญด้านเศรษฐกิจ ประการที่สาม แนวคิดเรื่องการแบ่งเขตภูมิอากาศ

(Climatope) เป็นแนวคิดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเมืองต่างๆได้มากที่สุด เนื่องจากในพื้นที่หรือลักษณะกายภาพของเมืองก็มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการตั้งเกณฑ์เพื่อจำแนก หรือการเปรียบเทียบจึงเป็นไปได้ยาก

2) การจำแนกเขตภูมิอากาศท้องถิ่นระบบใหม่

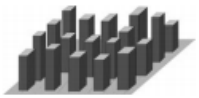
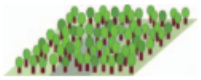
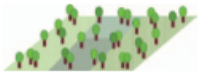
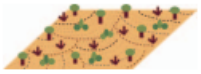
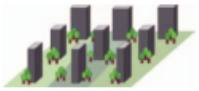
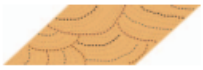
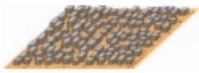
Grigg (1965) ได้เสนอว่าหลักเกณฑ์การจำแนกเขตภูมิอากาศควรพิจารณาหลายปัจจัยของเมืองรวมถึงพื้นที่ชนบทโดยรอบด้วย และสามารถใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวนี้เพื่อประเมินปรากฏการณ์เกาะความร้อนได้ในเชิงปริมาณตามคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศแบบพื้นผิวระดับท้องถิ่นในทุกๆเมืองด้วย

การจำแนกประเภทของกลุ่มตัวอย่างตามหลักวิทยาศาสตร์นั้นจะเป็นกลุ่มหลักก่อน และจากนั้นจะแบ่งกลุ่มย่อยรองลงมา (Black et al., 1952) ซึ่งการจำแนกเขตภูมิอากาศจึงมิได้เริ่มจากการพิจารณาสิ่งปลูกสร้าง (structural) หรือลักษณะพื้นผิว (surface cover characteristics) แต่เริ่มจากวัสดุอาคาร (building materials) หรือปริมาณการปล่อยความร้อนจากมนุษย์ (anthropogenic heat emissions) โดยใช้ฐานข้อมูลเชิงปริมาณจากการสำรวจและแบบจำลองจากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา การตรวจวัดและการประมาณค่าจากเรขาคณิตเมือง (geometric), ความร้อน (thermal), การแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ (radiative), กระบวนการเผาผลาญพลังงาน (metabolic) และคุณสมบัติพื้นผิวปกคลุม (surface cover) ที่ถูกรวบรวมจากเขตพื้นที่เขตเมืองและชนบททั่วโลก จากการศึกษาของ Anderson et al. (1976), Ellefsen et al. (1991) Häubi et al. (1980) Jr. (1978) และ Theurer (1999) ประกอบกับการทบทวนวรรณกรรมภูมิอากาศในเชิงประจักษ์ เช่น Grimmond et al. (1999), Wierngа (1993) รวมถึงข้อมูลเชิงปริมาณของวัสดุอาคาร (fabric) ลักษณะพื้นผิว (texture) และลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) Brunn et al. (1983), Kostof et al. (1991), O'Connor et al. (1983), Potter et al. (1998) และ Vance et al. (1990) เพื่อนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลกลางในการสร้างมาตรฐานการจำแนกเขตภูมิอากาศท้องถิ่น หลังจากนั้นแต่ละประเภทจะถูกกำหนดชื่อ ความหมายอย่างเหมาะสมและนำเสนอใน The international climate community

2.1) เขตภูมิอากาศท้องถิ่น (Local Climate Zones : LCZs)

การจำแนกเขตภูมิอากาศนั้นจะพิจารณาในระดับท้องถิ่น และสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ ดังนั้นการกำหนดขอบเขตของเขตภูมิอากาศจึงมีปัจจัยที่สำคัญ เช่น พื้นผิวปกคลุม สิ่งปลูกสร้าง วัสดุ และกิจกรรมของมนุษย์ เขตภูมิอากาศแต่ละประเภทสามารถคลอบคลุมพื้นที่ในแนวราบได้หลายตารางเมตรไปจนถึงตารางกิโลเมตรได้และมีลักษณะเฉพาะของแต่ละประเภท ซึ่งจะปรากฏเด่นชัดในเวลากลางคืนที่พื้นผิวปกคลุมแห้ง ลมสงบ และท้องฟ้าปลอดโปร่ง

ลักษณะอุณหภูมิเหล่านี้ยังคงมีอยู่ตลอดทั้งปีและเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือระบบนิเวศของเมือง (เช่นสวนสาธารณะศูนย์การค้า) biomes ธรรมชาติ (เช่นป่าไม้ทะเลทราย) และที่ดินทางการเกษตร (เช่นสวนผลไม้ตัดทุ่งนา) โดยมีเกณฑ์การจำแนกดัง (ภาพที่ 13 และตารางที่ 1)

Built types	Definition	Land cover types	Definition
1. Compact high-rise 	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	A. Dense trees 	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
2. Compact midrise 	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	B. Scattered trees 	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
3. Compact low-rise 	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	C. Bush, scrub 	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
4. Open high-rise 	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	D. Low plants 	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
5. Open midrise 	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	E. Bare rock or paved 	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
6. Open low-rise 	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	F. Bare soil or sand 	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
7. Lightweight low-rise 	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	G. Water 	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
8. Large low-rise 	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	**VARIABLE LAND COVER PROPERTIES**	
		Variable or ephemeral land cover properties that change significantly with synoptic weather patterns, agricultural practices, and/or seasonal cycles.	
9. Sparsely built 	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	*b. bare trees*	Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.
		s. snow cover	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
10. Heavy industry 	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	*d. dry ground*	Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.
		w. wet ground	Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.

ภาพที่ 13 แสดงลักษณะพื้นที่ของสิ่งก่อสร้างเมือง(Built type) และประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover type)

ที่มา : Stewart et al. (2012)

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์การจำแนกเขตภูมิอากาศในท้องถิ่น โดยใช้ลักษณะทางเรขาคณิตเมืองและพื้นผิว

Local climate zone (LCZ)	Sky view factor[a]	Aspect ratio[b]	Building surface fraction[c]	Impervious surface fraction[d]	Pervious surface fraction[e]	Height of roughness elements[f]	Terrain roughness class[g]
LCZ 1	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8
Compact high-rise							
LCZ 2	0.3–0.6	0.75–2	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7
Compact midrise							
LCZ 3	0.2–0.6	0.75–1.5	40–70	20–50	< 30	3–10	6
Compact low-rise							
LCZ 4	0.5–0.7	0.75–1.25	20–40	30–40	30–40	>25	7–8
Open high-rise							
LCZ 5	0.5–0.8	0.3–0.75	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6
Open midrise							
LCZ 6	0.6–0.9	0.3–0.75	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6
Open low-rise							
LCZ 7	0.2–0.5	1–2	60–90	< 20	<30	2–4	4–5
Lightweight low-rise							
LCZ 8	>0.7	0.1–0.3	30–50	40–50	<20	3–10	5
Large low-rise							
LCZ 9	> 0.8	0.1–0.25	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6
Sparsely built							
LCZ 10	0.6–0.9	0.2–0.5	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6
Heavy industry							
LCZ A	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8
Dense trees							
LCZ B	0.5–0.8	0.25–0.75	<10	<10	>90	3–15	5–6
Scattered trees							
LCZ C	0.7–0.9	0.25–1.0	<10	<10	>90	<2	4–5
Bush, scrub							
LCZ D	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3–4
Low plants							
LCZ E	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1–2
Bare rock or paved							
LCZ F	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	< 0.25	1–2
Bare soil or sand							
LCZ G	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	–	1
Water							

[a] Ratio of the amount of sky hemisphere visible from ground level to that of an unobstructed hemisphere

[b] Mean height-to-width ratio of street canyons (LCZs 1–7), building spacing (LCZs 8–10), and tree spacing (LCZs A–G)

[c] Ratio of building plan area to total plan area (%)

[d] Ratio of impervious plan area (paved, rock) to total plan area (%)

[e] Ratio of pervious plan area (bare soil, vegetation, water) to total plan area (%)

[f] Geometric average of building heights (LCZs 1–10) and tree/plant heights (LCZs A–F) (m)

[g] Davenport et al.'s (2000) classification of effective terrain roughness (z_0) for city and country landscapes. See Table 5 for class descriptions

ที่มา : Stewart et al. (2012)

ตารางที่ 2 ค่าของคุณสมบัติความร้อนการแผ่รังสีและการเผาผลาญพลังงานของมนุษย์ ของเขตภูมิอากาศในท้องถิ่น ค่าทั้งหมดเป็นตัวแทนในระดับท้องถิ่น

Local climate zone (LCZ)	Surface admittance[a]	Surface albedo[b]	Anthropogenic heat output[c]
LCZ 1	1,500–1,800	0.10–0.20	50–300
Compact high-rise			
LCZ 2	1,500–2,200	0.10–0.20	<75
Compact midrise			
LCZ 3	1,200–1,800	0.10–0.20	<75
Compact low-rise			
LCZ 4	1,400–1,800	0.12–0.25	<50
Open high-rise			
LCZ 5	1,400–2,000	0.12–0.25	<25
Open midrise			
LCZ 6	1,200–1,800	0.12–0.25	<25
Open low-rise			
LCZ 7	800–1,500	0.15–0.35	<35
Lightweight low-rise			
LCZ 8	1,200–1,800	0.15–0.25	<50
Large low-rise			
LCZ 9	1,000–1,800	0.12–0.25	<10
Sparsely built			
LCZ 10	1,000–2,500	0.12–0.20	>300
Heavy industry			
LCZ A	unknown	0.10–0.20	0
Dense trees			
LCZ B	1,000–1,800	0.15–0.25	0
Scattered trees			
LCZ C	700–1,500	0.15–0.30	0
Bush, scrub			
LCZ D	1,200–1,600	0.15–0.25	0
Low plants			
LCZ E	1,200–2,500	0.15–0.30	0
Bare rock or paved			
LCZ F	600–1,400	0.20–0.35	0
Bare soil or sand			
LCZ G	1,500	0.02–0.10	0
Water			

[a] Ability of surface to accept or release heat (J m^{-2} $s^{-1/2}$ K^{-1}). Varies with soil wetness and material density. Few estimates of local-scale admittance exist in the literature; values given here are therefore subjective and should be used cautiously. Note that the "surface" in LCZ A is undefined and its admittance unknown.

[b] Ratio of the amount of solar radiation reflected by a surface to the amount received by it. Varies with surface color, wetness, and roughness.

[c] Mean annual heat flux density (W m^{-2}) from fuel combustion and human activity (transportation, space cooling/heating, industrial processing, human metabolism). Varies significantly with latitude, season, and population density.

ที่มา : Stewart et al. (2012)

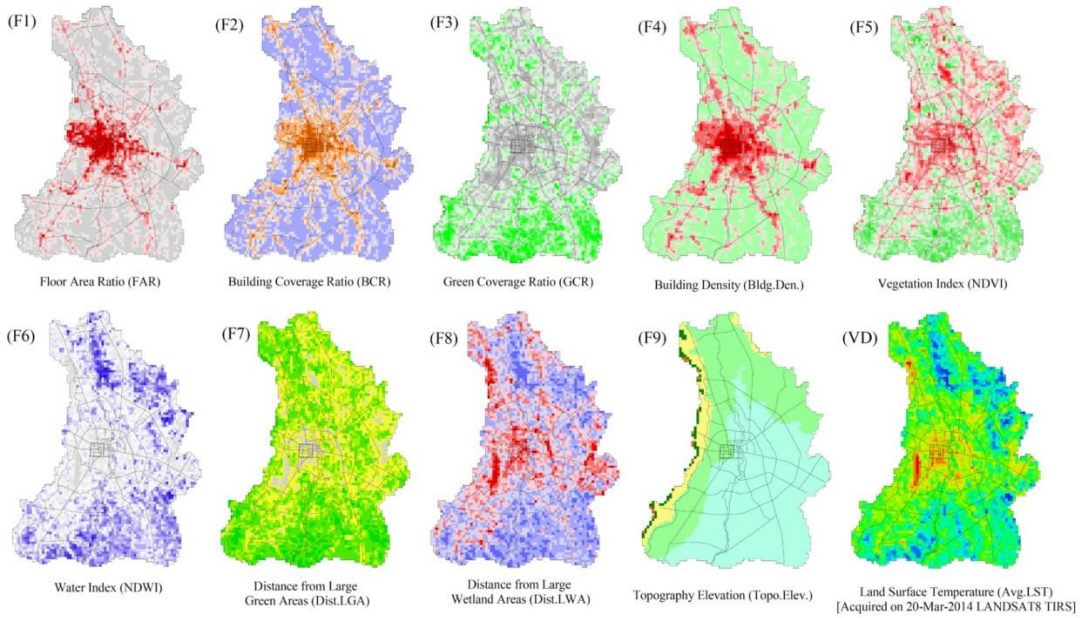
จากการจำแนกเขตภูมิอากาศ พบว่าการจำแนกโดยใช้พื้นผิว โครงสร้าง และสิ่งปกคลุม มี 15 ประเภท และการจำแนกโดยใช้วัสดุก่อสร้างและการปล่อยความร้อนจากมนุษย์ มี 2 ประเภท รวมทั้งสิ้น 17 เขตภูมิอากาศ และแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ ประเภทที่ 1-10 เป็นพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้าง และ ประเภท A - G เป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างขนาดเล็ก มีพืชพรรณและสิ่งปกคลุมตามธรรมชาติ ซึ่งประเภทของสิ่งปกคลุมดินสามารถจำแนกออกเป็นคุณสมบัติตามฤดูกาล

ในประเทศไทย มานัส และคณะ (2559) ได้ศึกษาจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ (Homogenous surface) ทางความเสถียรเชิงความร้อนพื้นผิวเพื่อกำหนดความแตกต่างของเขตบรรยากาศประจำถิ่นในเมืองเชียงใหม่ โดยปัจจัยทางด้านคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมือง (Urban morphometric features) ที่เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อความแตกต่างทางภูมิทัศน์เมือง (Urban landscape) ที่ส่งผลต่อภูมิอากาศเมือง (Urban microclimate modification) โดยเฉพาะภูมิอากาศชั้นเรือนยอด (Canopy layer) ที่ประกอบด้วยกลุ่มปัจจัยสำคัญ ได้แก่

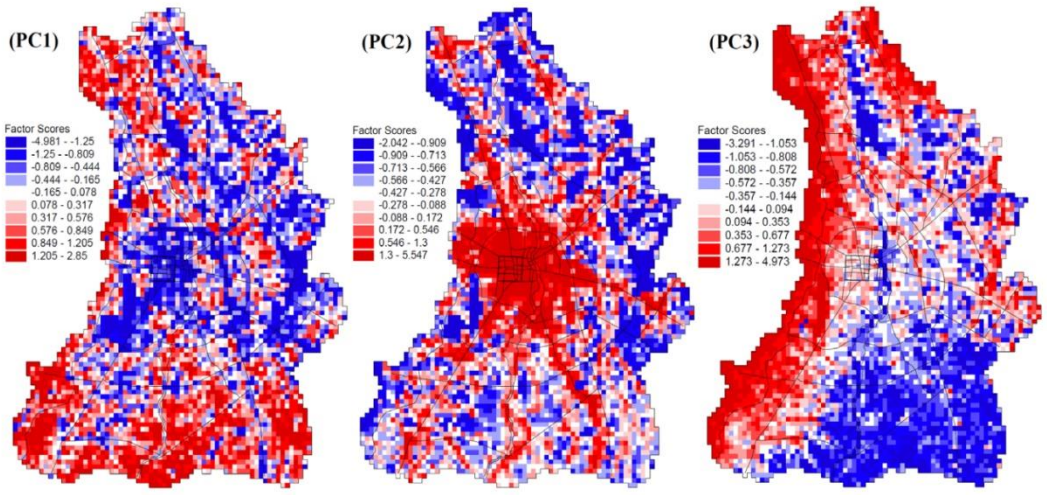
1) โครงสร้างเมือง (Urban structure) เช่น อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor area ratio, FAR), อัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (Building coverage ratio, BCR), ความหนาแน่นอาคาร (Building density), ความสูงต่ำทางภูมิประเทศ (Topographic elevation) (ภาพที่ 14)

2) สิ่งปกคลุมเมือง (Urban cover and fabric) เช่น อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (Green coverage ratio, GCR), ดัชนีความเขียว (Greenery index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index, NDVI), ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index) ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำ (Normalized difference water index, NDWI) ที่ประเมินจากเทคนิคการสำรวจระยะไกล (Remote sensing technique) (ภาพที่ 15)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ประยุกต์ใช้เทคนิคทางสถิติ (Statistical analysis) ด้านการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) เพื่อที่จะจับกลุ่มหรือรวมแปรทางสัณฐานวิทยาเมืองที่มีความสัมพันธ์ไว้ในกลุ่มเดียวกัน และเพื่อใช้ตรวจสอบโครงสร้างของชุดตัวแปรในการอธิบายความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) จากตัวแปรทางสัณฐานวิทยาเมือง ด้วยวิธี KMO (Kaiser-Meger-Olkin) พบว่าตัวแปรทางสัณฐานวิทยาเมือง 9 ตัวแปรสามารถจัดเป็นปัจจัยใหม่ 3 ปัจจัย (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 14 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาเมือง (Natural environment and urban morphometric features) ที่ส่งผลต่อภูมิอากาศเมือง
ที่มา : มานัส และคณะ (2559)



ภาพที่ 15 แผนผังค่าคะแนน (Factor score) ของ 3 ปัจจัยใหม่ด้านสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและสัณฐานวิทยาเมือง
ที่มา : มานัส และคณะ (2559)

ตารางที่ 3 แสดงการจัดกลุ่มตัวแปรทางสัณฐานวิทยาเมือง 3 ปัจจัย

การสร้างปัจจัย (Component)	**ตัวแปรทางสัณฐานวิทยาเมือง 9 ตัวแปร**		**หมายเหตุ**
	จำนวน	**ตัวแปร ***	
1.ปัจจัยที่ 1	3	1.1 ดัชนีความเขียว (Greenery index, NDVI) 1.2 อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (GCR) 1.3 ความใกล้ไกลพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ (Dist.LGA)	* จัดเรียงตัวแปรที่มีค่า Factor loading สูง (ใกล้ +1 หรือ ใกล้ -1)
2.ปัจจัยที่ 2	3	2.1 อัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (BCR) 2.2 ความหนาแน่นอาคาร (Bldg.Den.) 2.3 อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (FAR)	
3.ปัจจัยที่ 3	3	3.1 ความสูงต่ำทางภูมิประเทศ (Topo.Elev.) 3.2 ดัชนีความชุ่มน้ำ (Water index, NDWI) 3.3 ความใกล้ไกลพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ (Dist.LWA)	

ที่มา : มานัส และคณะ (2559)

เขตเมืองที่มีความคล้ายกันเชิงพื้นที่ (Spatial homogeneity) ทางคุณสมบัติสัณฐานวิทยาเมือง ตั้งแต่เขตเมืองต่อเนื่องไปยังเขตชนบท มีทั้งหมด 8 กลุ่มพื้นที่ และพบว่าเขตภูมิอากาศความร้อนที่ตัวแปรมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีนัยสำคัญทางสถิติเพียงแค่ 4 ตัวแปร ได้แก่ ความใกล้-ไกลจากพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่, ดัชนีความชุ่มน้ำ, ความใกล้-ไกลพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ และอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน จากลักษณะพื้นที่ที่เป็นพื้นที่โล่งและประกอบด้วยพื้นดาดแข็ง (Hardscape) และที่ดินเปิด (Bare soils) เช่น พื้นสนามบินนานาชาติจังหวัดเชียงใหม่, ลานกิจกรรมคอนกรีตนาดใหญ่ของห้างสรรพสินค้าและไฮเปอร์มาร์เก็ต, การขุดถมดินเพื่อการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ เป็นต้น

ผลการศึกษาพบว่าการจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ทางความเสถียรความร้อนพื้นผิวพื้นที่เมืองเชียงใหม่ โดยการสร้างแผนที่สภาพสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง (Urban thermal environmental map, UTEMap) (ภาพที่ 16) ทำให้พบเขตบรรยากาศประจำถิ่นทั้งสิ้น 8 เขต ที่มีการกระจายตัวแบบลำดับชั้นต่อเนื่องจากในตัวเมืองถึงพื้นที่ชานเมือง หากเรียงลำดับตามปริมาณความร้อนด้วยอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย ดังนี้

Town center climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 6 (LAZ-6) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 20.88 ตารางกิโลเมตร บริเวณแกนเมือง เป็นเขตพื้นที่เมืองที่มีความเปราะบางสูงทางอุณหภูมิ (Highly temperature sensitive urban area) ในย่านเมืองเก่าที่ประกอบด้วยสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นด้วยปริมาณความร้อนสูงสุด มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 34.49 องศาเซลเซียส

Large impervious surface climatop หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 3 (LAZ-3) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 15.30 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 34.28 องศาเซลเซียส เป็นเขตที่มีความร้อนพื้นผิวสูงจากการปกคลุมด้วยวัสดุดาดแข็งขนาดใหญ่ เช่น สนามบินนานาชาติจังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์ประชุมและแสดงสินค้านานาชาติเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา สนามกีฬาสมโภชเชียงใหม่ 700 ปี ห้างสรรพสินค้า ไฮเปอร์มาร์เก็ต เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่มีลานคอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อนสูงและแผ่ความร้อนในตอนกลางคืน

Linear town climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 8 (LAZ-8) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 54.36ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 33.30 องศาเซลเซียสเป็นพื้นที่เมืองส่วนต่อขยายจากบริเวณแกนเมืองที่มีการใช้ที่ดินความหนาแน่นสูง การพัฒนาตามแนวถนน (Linear or ribbon development) กระจายตัวไปตามโครงข่ายถนนสายหลักที่เชื่อมโยงไปยังศูนย์กลางอำเภอข้างเคียง อาคารสูงสองฟากฝั่งแนวถนนมีลักษณะคล้ายหุบเขา เรียกว่า หุบเขาถนน (Street canyon) หรือ หุบเขาเมือง (Urban canyon) มีความรุนแรงทางมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียงสูงจากปริมาณจราจรหนาแน่น การระบายอากาศตามธรรมชาติ (Natural ventilation) ทำได้น้อยหากหุบเขาวางตัวขวางทิศทางลมประจำและหุบเขามีความสูงมากทำให้ปริมาณของความหยาบพื้นผิว (Surface roughness) ที่สูง ประกอบกับการกักเก็บความร้อนของวัสดุอาคารจากแสงแดดที่ส่องลงไปในหุบเขาในช่วงกลางวัน จะเป็นตัวเสริมให้ปริมาณความร้อนเพิ่มความรุนแรงขึ้น

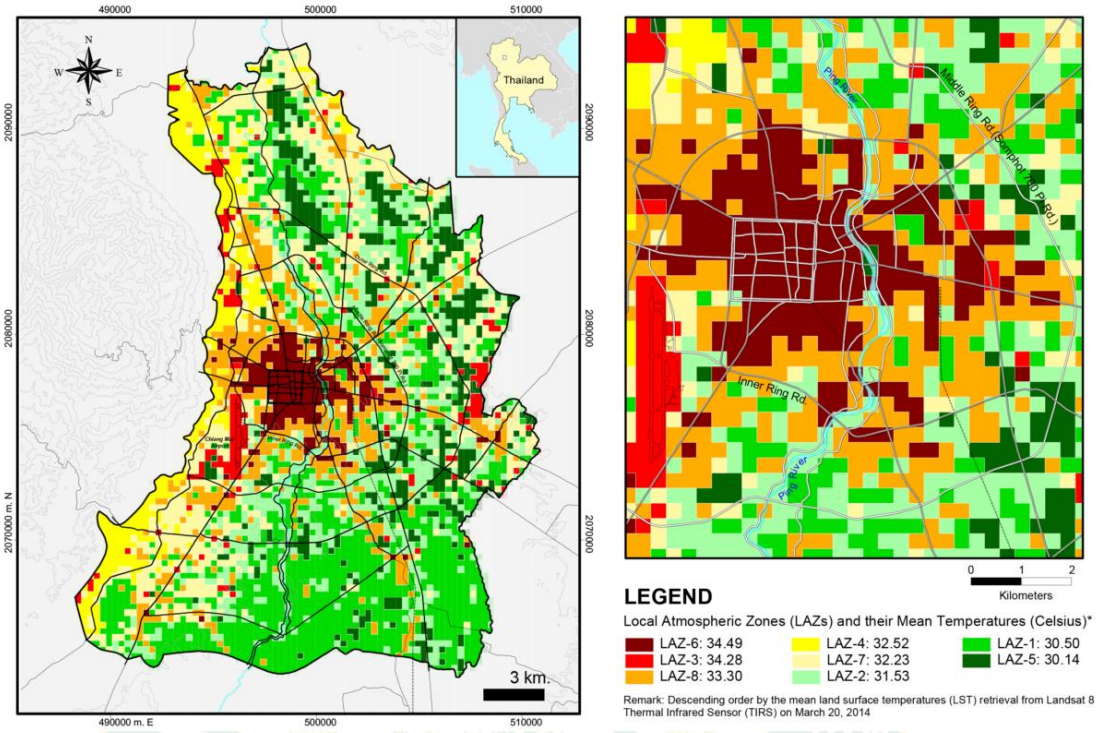
Forest climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 4 (LAZ-4) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 36.45 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ป่าเต็งรังตามเนินเขาหรือสันเขาที่แห้งแล้งในฤดูร้อนของดอยสุเทพ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 32.52 องศาเซลเซียส เป็นพื้นที่แหล่งความเย็น (Cooling areas)ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ใกล้เขตอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย หย่อมสีเขียว (Green patch หรือ Forest patch) ขนาดใหญ่ต้นกำเนิดของต้นน้ำลำธารลำห้วย เช่น ห้วยแก้ว ห้วยช่างเคี่ยน เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งต้นน้ำลำธารที่ไหลลงสู่แม่น้ำปิง ที่ควรส่งเสริมให้เกิดโครงข่ายสร้างพื้นฐานสีเขียว (Blue-green infrastructure network) เป็นพื้นที่สีเขียวที่เชื่อมโยงถึงกัน (Green Corridor)

Greenery town climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 7 (LAZ-7) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 74.88 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 32.23 องศาเซลเซียสเป็นเขตที่มีความหนาแน่นของการพัฒนาเมืองปานกลางด้วยอาคารบ้านเรือนที่มีความสูงประมาณ 1-3 ชั้น มีพื้นที่โล่งบริเวณรอบอาคาร และมีพื้นที่สีเขียวที่มีความสมบูรณ์จำนวนมากจาก ต้นไม้ใหญ่ พื้นที่รกร้างรอการพัฒนาสนามกอล์ฟ และสวนไม้ผลโดยเฉพาะต้นลำไย

Suburban climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 2 (LAZ-2) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 70.56 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 31.53 องศาเซลเซียส การใช้พื้นที่แบบผสมเพื่ออยู่อาศัยในเขตชานเมืองและรองรับการขยายตัวของเมือง ลักษณะของชุมชนที่อยู่อาศัยที่มีระยะเดินทางไม่ไกลจากพื้นที่เมือง และอยู่ไม่ห่างจากพื้นที่ชนบทเกษตรกรรม เรียกว่า ชั้นขอบเขตชนบท (Rural boundary layer) ซึ่งมีบทบาทสำคัญเป็นพื้นที่แหล่งความเย็นทางด้านตะวันออกของศูนย์กลางเมืองเชียงใหม่ ส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่บนพื้นที่ในฝั่งตะวันออกแม่น้ำปิงตามถนนวงแหวนรอบกลาง (ถนนสมโภชเชียงใหม่ 700 ปี) ถึงถนนรอบเมืองเชียงใหม่ และตามถนนสายรองในชุมชน ที่พื้นที่สีเขียวและต้นไม้ใหญ่ในปัจจุบันของชุมชนควรได้รับการอนุรักษ์

Suburban cultivation climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 1 (LAZ-1) ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 112.86 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 30.50 องศาเซลเซียส เป็นพื้นที่ชุมชนชนบทเกษตรกรรมในที่ลุ่มต่ำน้ำท่วมถึงกระจายตัวอยู่ทางด้านทิศใต้ในเขตอำเภอหางดงและอำเภอสารภี เป็นพื้นที่แหล่งความเย็นที่เกิดจากการเพาะปลูกทำการเกษตรที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นทุ่งนาที่มีการทำนาปรังในช่วงฤดูร้อน และค่อนข้างผันผวนตามปัจจัยทางความต้องการทางการตลาด

Cultivation climatope หรือ เขตบรรยากาศประจำถิ่นแบบที่ 5 (LAZ-5) เป็นเขตพื้นที่เมืองที่มีความเปราะบางเล็กน้อยทางอุณหภูมิ (Slightly temperature-sensitive urban area) ส่วนใหญ่อยู่ตามแนวชายขอบเมือง(Downtown fringe) (ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 46.17 ตารางกิโลเมตร) เป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาหนาแน่นน้อยซึ่งประสบปัญหาด้านปริมาณความร้อนเล็กน้อยด้วยอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 30.14 องศาเซลเซียส โดยพื้นที่นี้เป็นเขตการเปลี่ยนผ่านที่สำคัญระหว่างพื้นที่เปราะบางทางสภาพภูมิอากาศกับพื้นที่นอกเมืองที่มีความสำคัญทางสภาพภูมิอากาศในช่วยบรรเทาผลกระทบจากปริมาณความร้อนเมือง ที่มาจากประสิทธิภาพการทำความเย็น (Cooling effect) จากแหล่งน้ำผิวดินรวมทั้ง แม่น้ำ ลำคลอง พื้นที่ชุมน้ำ และหนองบึง ที่ควรได้รับการคุ้มครองรักษาและเพิ่มการเชื่อมโยงพื้นที่สีเขียวรอบๆ แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญในเมือง นอกจากนี้การให้อนุญาตสร้างอาคารควรเน้นควบคุมขนาดพื้นที่อาคารคลุมดิน และจัดการอาคารที่จะเกิดขึ้นมาใหม่อย่างเข้มงวด



ภาพที่ 16 แผนที่สภาพสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อนเมือง (Urban thermal environmental map, UTE Map) ที่แตกต่างทางปริมาณความร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่
ที่มา : มานัส และคณะ (2559)

2.2 ปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island: UHI)

ในปี 1918 Luke Howard ได้ศึกษาความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศบริเวณชานกรุงลอนดอน (Landberg, 1981) ซึ่งต่อมาเรียกว่า ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban heat island: UHI) หมายถึง มลภาวะทางความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ เป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิเมืองสูงกว่าชนบท ปรากฏการณ์นี้ได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และทำให้ประชาชนเมืองเกิดปัญหาสุขภาพอีกด้วย (J., 2000)

ปรากฏการณ์นี้สามารถพบได้ในเมืองใหญ่ทั่วไปในทวีปยุโรป อเมริกาเหนือ เอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทย โดยเฉพาะประเทศไทยจากรายงานผลการวิจัยของศูนย์ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ร่วมกับมหาวิทยาลัยเคอิโอะ ประเทศญี่ปุ่น แสดงแนวโน้มที่ประมาณได้ว่า ในช่วงเวลาประมาณ 50 ปีที่ผ่านมาอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเดือนของกรุงเทพมหานครมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับโตเกียว วอชิงตันดีซี และอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกแล้ว พบว่า กรุงเทพมหานครมีอัตราการเพิ่มมลภาวะทางความร้อนในอัตราที่เร็วกว่าในเมืองอื่นๆ (จริยา, 2542) และสำนักงานอุตุนิยมวิทยาญี่ปุ่นได้เปิดเผยผลการวิเคราะห์ผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island: UHI) บริเวณใจกลางเมืองใหญ่

ด้วยแบบจำลองด้านภูมิอากาศแบบใหม่ ซึ่งรวบรวมผลกระทบจากความร้อนที่ปล่อยจากไอเสียรถยนต์ ความร้อนจากรังผึ้งเครื่องปรับอากาศ และความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวดินจากการพัฒนาเมือง ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในกรุงโตเกียว เมืองโอซะกะ และเมืองนะโงะยะ เพิ่มขึ้นประมาณ 3 องศาเซลเซียสตลอดศตวรรษที่ผ่านมา ซึ่งสาเหตุหลักไม่เพียงแต่เกิดจากปรากฏการณ์โลกร้อน แต่ยังเกิดจากสาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนด้วย (สุดารัตน์ และคณะ, 2558)

สาเหตุสำคัญที่ส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะร้อนนั้นจะเกิดขึ้น เมื่อนิเวศวิทยาทางธรรมชาติถูกปรับมาเป็นแหล่งกสิกรรม และถูกแทนที่ด้วยชุมชนเมืองที่มีการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน และใช้ทรัพยากรพลังงานต่างๆ ที่ปลดปล่อยพลังงานความร้อนและมลพิษออกมา

นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ในสิ่งก่อสร้างต่างๆ มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ทั้งยังความร้อนที่ออกจากไอเสียจากรถยนต์ กิจกรรมการใช้พลังงานต่างๆ ของมนุษย์ในครัวเรือน และโรงงาน ที่ปล่อยพลังงานความร้อนและสร้างมลภาวะออกมา เหล่านี้ก็ช่วยเพิ่มระดับความร้อนและความเลวร้ายของสภาพอากาศได้อีกเช่นกัน ตัวอาคารสูงๆ นอกจากจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับความร้อนแล้ว ยังเป็นตัวขวางกั้นลมที่จะคอยช่วยพัดระบายความร้อนออกจากชุมชนเมืองอีกด้วย และต้นไม้ที่ถูกตัดโค่นเพื่อการก่อสร้าง ซึ่งคอยทำหน้าที่ตามสมดุลธรรมชาติในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คอยเป็นตัวดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์เคมีก็ลดน้อยลงมาก และเมื่อขาดต้นไม้คอยกำบังแสงก็จะส่องกระทบกลายเป็นความร้อนอยู่ในวัตถุนั้นแล้วถ่ายเทเข้าสู่อากาศอีกที ทั้งนี้ยังไม่รวมกับผลกระทบจากโลกร้อนหรือความร้อนที่มากับปรากฏการณ์เรือนกระจกเพราะเมื่อเมืองมีมลพิษ มีคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงพอที่จะเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเฉพาะพื้นที่ ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในอากาศก็จะคอยดูดซับความร้อน ซึ่งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนให้สูงขึ้นอีกเป็นเท่าตัว และเมื่ออากาศร้อน คนก็หาทางออกด้วยการใช้พลังงานเพื่อสร้างความเย็นจึงทำให้ปัญหาย่ำแย่ลงไปอีก

การเพิ่มขึ้นของเกาะความร้อนจะผันแปรไปตามขนาดของเมืองและสภาพภูมิอากาศและภูมิภาคนั้นๆเป็นที่สังเกตได้ว่า ความสัมพันธ์ของการก่อตัวของพลังงานความร้อนภายในเมืองมักจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรง เมื่อเทียบกับการเกิดบริเวณแถบชานเมือง และอุณหภูมิที่สูงมีความสัมพันธ์กับขนาดของเมือง จำนวนประชากรและผลการเจริญเติบโตของเมือง (Oke, 1995)

ปัญหาเกาะความร้อนที่รุนแรงได้เกิดขึ้นในหลายเมืองใหญ่ ทั้งกรุงเทพฯ โตเกียว หรืออย่างที่ชิคาโก้ในปี ค.ศ. 1995 ได้คร่าชีวิตผู้คนราว 700 ราย และในกรุงปารีสในปี ค.ศ. 2003 ครั้งนั้นมีการสูญเสียถึง 10,000 ราย จึงได้เกิดการรณรงค์ที่ Toronto ขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงโศกนาฏกรรมดังกล่าว ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาจึงได้มีมาตรการต่างๆ เพื่อให้ประชาชนได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และได้มีการ

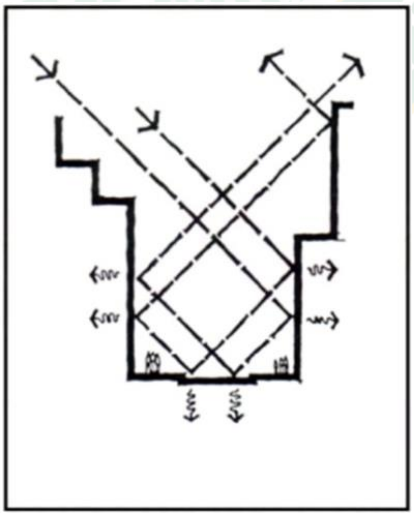
รณรงค์ให้มีการจัดสรรพื้นที่สีเขียว สำหรับปลูกต้นไม้บนอาคารเพื่อป้องกันรังสีไวโอเลต รวมทั้งลดความร้อน (สุดารัตน์ และคณะ, 2558)

2.2.1 สาเหตุของเกาะความร้อนเมือง (Causes of the Urban Heat Island)

สาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองมีหลายสาเหตุ ที่สามารถรับรู้ได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง เป็นผลจากอิทธิพลของคุณสมบัติเฉพาะตัวของโครงสร้างทางพื้นที่ของสิ่งปกคลุมพื้นผิวซึ่งอาจแยกออกได้ใน 3 ลักษณะ คือ รูปทรงของเมือง (Urban geometry) ชนิดของพื้นผิว (Land cover types) และการใช้ที่ดิน (Land use)

1) รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry)

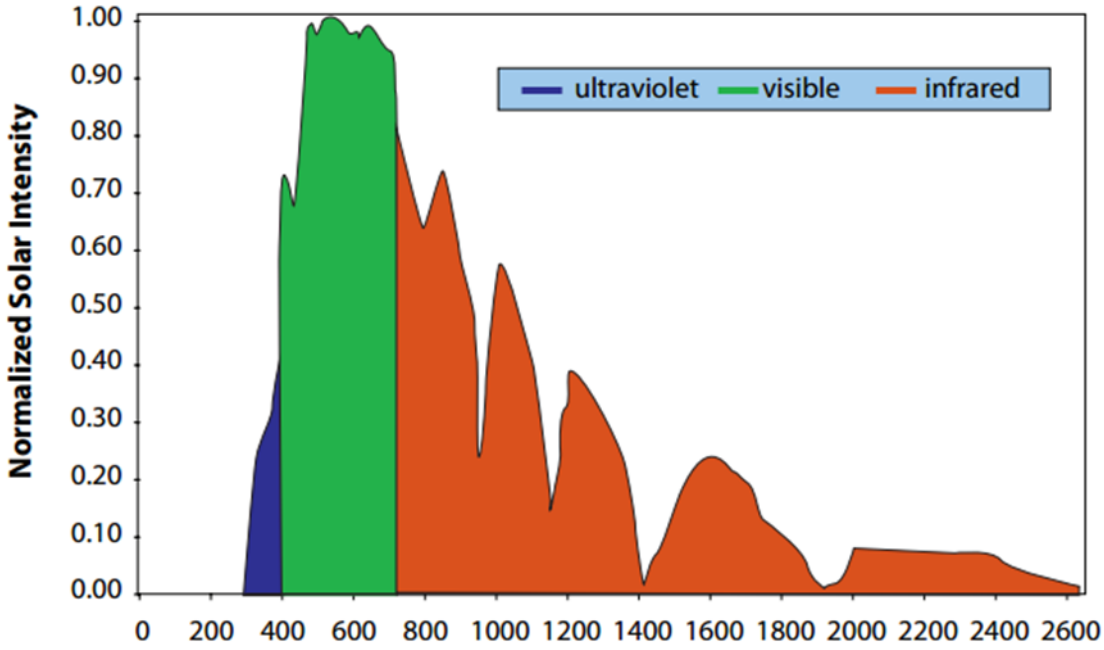
การพัฒนาเมืองย่อมมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของเมือง เช่น วัสดุอาคาร รูปทรงเรขาคณิตเมือง และทิศทางการวางตัวของอาคาร เป็นต้น ซึ่งในพื้นที่เมืองวัสดุอาคารมีความสามารถในการดูดซับความร้อน (Thermal absorption) ได้ดีในเวลากลางวัน รวมไปถึงการสะท้อนความร้อนไปยังพื้นผิวอื่นๆที่อยู่บริเวณใกล้เคียงด้วย (ภาพที่ 17) และความร้อนดังกล่าวจะถูกปลดปล่อยกลับสู่สภาพแวดล้อมในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิเมืองสูงกว่าพื้นที่ว่างรอบๆอาคารที่อยู่ใกล้เคียง และสะสมเป็นมวลความร้อนขนาดใหญ่ (Large thermal masses) ที่ไม่สามารถระบายความร้อนออกไปได้ง่ายเนื่องจากโครงสร้างเมืองที่กีดขวางของกลุ่มอาคารดังกล่าว โดยเฉพาะในช่วงหลังจากพระอาทิตย์ตกประมาณ 2-3 ชั่วโมง ส่งผลให้อากาศในบริเวณพื้นที่เมืองจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศในพื้นที่ชนบท



ภาพที่ 17 แสดงการสะท้อนและกักเก็บความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในพื้นที่ถนนระหว่างอาคาร (Street canyon หรือ Urban canyon) ในเวลากลางวัน

ที่มา : M. (1995) อ้างถึงใน มนตรี (2546)

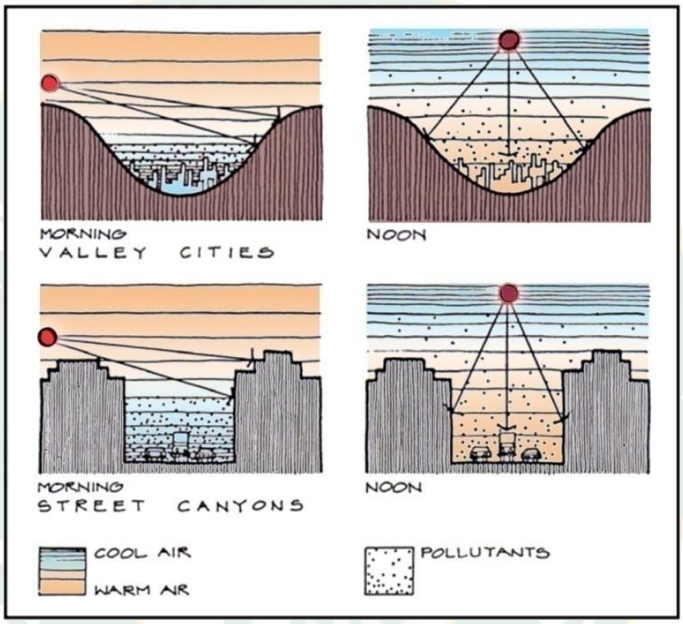
การปลดปล่อยรังสีช่วงคลื่นยาว (Long-wave radiation) กลับไปสู่พื้นที่ว่าง เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงพื้นผิวโลกเป็นในรูปรังสีอัลตราไวโอเลตมีความยาวช่วงคลื่นที่น้อยกว่า 400 nm. หลังจากนั้นแสงจะสะท้อนออกจากพื้นผิวในรูปพลังงานอินฟราเรด มีความยาวช่วงคลื่นในช่วง 700 – 2,000 nm. ขึ้นไป (ภาพที่ 18) และสะท้อนอยู่ในพื้นที่ว่างระหว่างอาคาร ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนขึ้น ซึ่งอัตราส่วนการสะท้อนความร้อนของพลังงานดวงอาทิตย์จากพื้นผิวมีมากกว่า ดังนั้นการสะท้อนแสงอาทิตย์จึงมีความสัมพันธ์กับ สีของวัสดุ พื้นผิวสีเข้มมักมีค่าการสะท้อนความร้อนที่ต่ำกว่าพื้นผิวสีอ่อนกว่า



ภาพที่ 18 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์กับความยาวคลื่นที่เข้าถึงพื้นผิวโลก (ความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์อาจแตกต่างกันมากกว่าช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 250-2500 nm.(Nanometer))
ที่มา : Wong (2008)

การสะสมความร้อนของวัสดุอาคารในตอนกลางวัน เนื่องจากการสะท้อนของพลังงานอิน-ฟาเรดของผนังอาคารด้านที่รับแสงอาทิตย์ไปยังอาคารอีกฝั่งหนึ่งของถนน ซึ่งยังไม่ได้รับแสงอาทิตย์ เช่น ในตอนช่วงเช้าผนังตึกด้านทิศตะวันออกจะรับแสงอาทิตย์แล้วปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงคลื่นอินฟาเรดออกสู่บรรยากาศ แต่เนื่องจากพื้นที่มีความหนาแน่นของอาคาร พลังงานอินฟาเรดที่ปล่อยออกมาจะถูกสะท้อนไปยังผนังอาคารตรงข้ามและกักอยู่ในช่องระหว่างอาคารตลอดทั้งวัน หลังจากนั้นความร้อนดังกล่าวจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศของเมืองในเวลากลางคืน ส่งผลให้อากาศเหนือศูนย์กลางของเมืองจะอุ่นกว่าอากาศเหนือชนบทโดยรอบ (มนตรี, 2546)

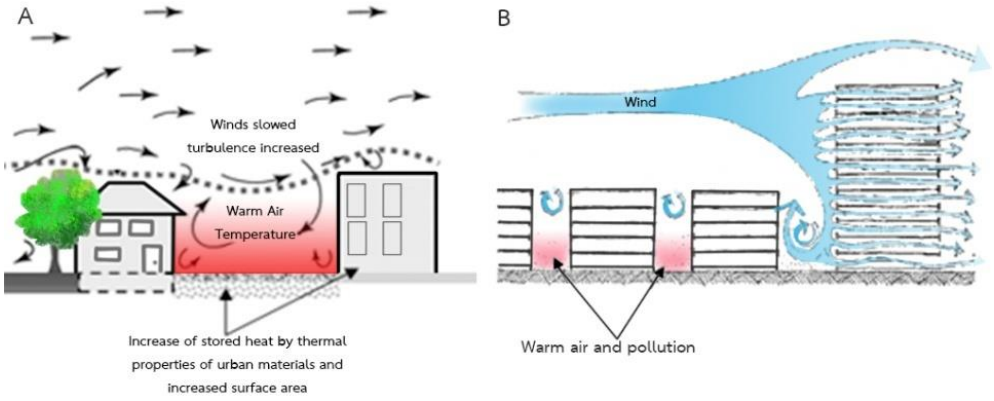
จากการศึกษาของ Spirn (1984) กล่าวว่า ปรากฏการณ์เกาะความร้อน ทำให้เมืองเกิดการสะสมความร้อน และมลพิษทางอากาศที่มีสาเหตุมาจากลักษณะทางกายภาพของถนน คือ ถนนที่มีอาคารสูงขนาบทั้งสองฝั่งของถนน ซึ่งเปรียบเสมือนหุบเขาในพื้นที่ธรรมชาติ ทำให้ไม่สามารถกระจายความร้อนและมลพิษทางอากาศออกไปจากพื้นที่ได้ Spirn ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์นี้ในเมืองสตุทท์การ์ท ประเทศเยอรมัน (Stuttgart, Germany) ซึ่งเมืองตั้งอยู่ในหุบเขาและเป็นเมืองอุตสาหกรรม ส่งผลให้เมืองนี้เป็นที่เก็บกักความร้อนและมลพิษขนาดใหญ่ ซึ่งอุณหภูมิในช่วงเช้าจะเย็นกว่าและจะเพิ่มปริมาณความร้อนในช่วงเที่ยงวัน เนื่องจากมลพิษที่ถูกเก็บกักไว้ในหุบเขานั้นเอง (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 แสดงการก่อรูปของปรากฏการณ์ในเมืองและถนนที่มีอาคารสูงขนาบทั้งสองด้านของถนน ซึ่งเปรียบเสมือนหุบเขาในพื้นที่ธรรมชาติที่มีโรงงานอุตสาหกรรม
ที่มา : Spirn (1984) อ้างถึงใน มนตรี (2546)

นอกจากนี้ Spirn (1984) พบว่า “การระบายอากาศของบริเวณถนนขึ้นอยู่กับความกว้างของถนน (Street width) ความสูงและรูปทรงของอาคารที่อยู่โดยรอบ และการจัดวาง (Orientation) ทิศทางของถนนที่สัมพันธ์กับทิศทางลมเมื่อถนนขนานกับทิศทางลม ความเร็วลมก็สามารถระบายอากาศออกไปได้ดีด้วย ในเขตภูมิอากาศร้อนและแห้งแล้ง (Hot and dry regions) ต้องมีการคำนึงถึงการระบายอากาศ เพื่อให้ลมในช่วงหัวค่ำสามารถพัดพาความร้อนที่สะสมไว้ในช่วงกลางวันตามอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของลมสามารถใช้การออกแบบอาคารเข้าไปช่วย เพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดีขึ้น

ความหนาแน่นของเมืองและอาคารมีผลต่อประสิทธิภาพในการระบายอากาศ (Ventilation) บริเวณถนน ซึ่งผลกระทบนี้มีปัจจัยด้านกายภาพเข้ามาเกี่ยวข้อง การระบายอากาศสามารถระบายได้ดี แม้ว่าจะมีอาคารกระจุกตัวอย่างหนาแน่น ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ทั้งในรูปแบบที่มีอาคารสูงและอาคารต่ำผสมผสานกันไป โดยทั่วไป การทำให้พื้นที่เมืองมีความแน่นและเต็มไปด้วยอาคารจะเป็นขัดขวางการระบายและอากาศและความเร็วลม อย่างไรก็ตามความเร็วลมก็ขึ้นอยู่กับด้านกายภาพที่หลากหลายด้าน เช่น ความกว้างของถนน การจัดวางแนวถนน การจัดวางกลุ่มอาคารที่ตอบสนองต่อทิศทางของลมด้วย ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดความหนาแน่นของเมืองที่มีผลต่อความเร็วลม คือ ความสูงอาคาร และระยะทางที่ลมเดินทาง และสิ่งที่สำคัญกว่านั้นคือ ความสูงอาคารที่แตกต่างกันในละแวกเดียวกัน (ชินดนัย, 2557) (ภาพที่ 20) นอกจากนั้น ปัจจัยที่บดบังการมองเห็นท้องฟ้า หรือ "sky view factor (SVF)" ที่เพิ่มขึ้นของรูปทรงเรขาคณิตในเมืองส่งผลให้ช่องว่างระหว่างอาคารลดลงเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลงเช่นกัน (อนุศาสน์, 2554)



ภาพที่ 20 ผลกระทบของรูปแบบอาคารต่อการไหลเวียนของลมและการส่องแสงของดวงอาทิตย์
ที่มา : Givoni (1998)

ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

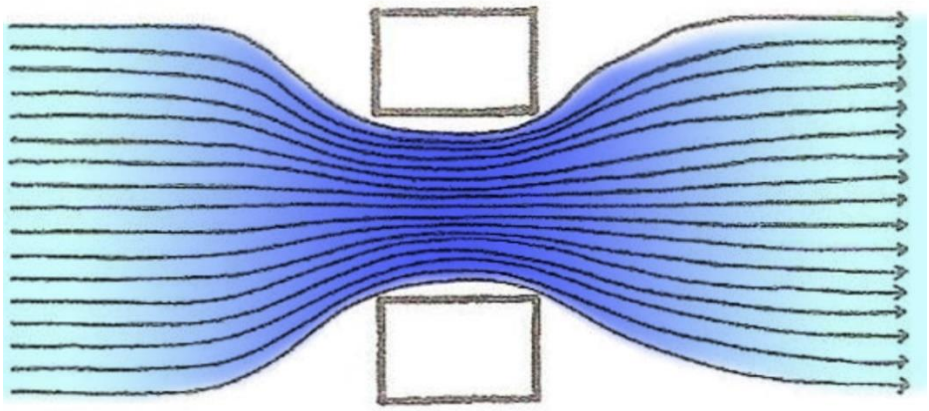
- อากาศสามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิหรือความกดอากาศ โดยอากาศจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิต่ำไปยังอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ

- แรงเฉื่อยการไหล (Inertia Effect) อากาศมีแรงเฉื่อยที่พยายามบังคับให้อากาศไหลไปในทิศทางเดิมเมื่อปะทะกับวัตถุสำหรับหลักการนี้ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนคือ เมื่อลมปะทะกับอาคารจะเกิดบริเวณความกดอากาศสูงด้านปะทะลม และความกดอากาศต่ำด้านใต้ลมวิ่งพื้นที่ ความกดอากาศต่ำนี้จะค่อยน้อยลงตามระยะห่างจากอาคารด้วยแรงเฉื่อยในการบังคับแนวการไหลของอากาศให้กลับมาเป็นแนวเดิม

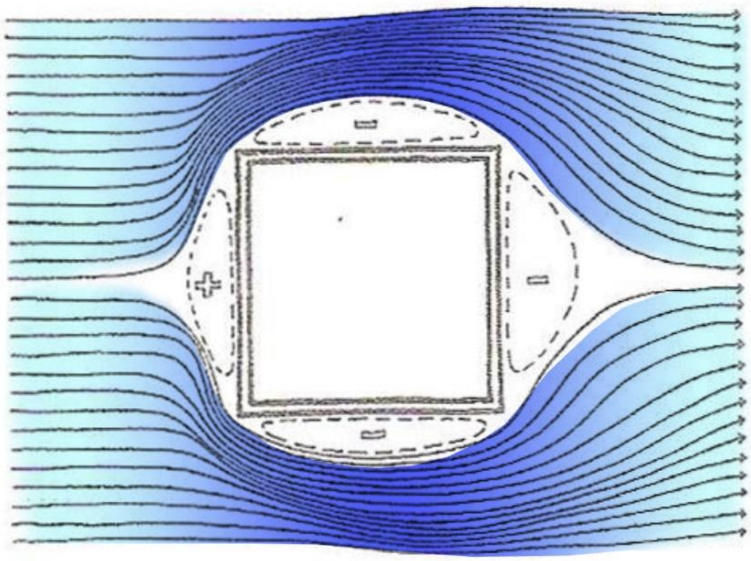
- Bemoulli Effect เมื่ออากาศผ่านวัตถุทำให้แนวการไหลเปลี่ยนแปลงมีผลให้ ความดันอากาศลดลงอันเนื่องมาจากอากาศมีอัตราเร่งหรือมีความเร็วเพิ่มขึ้น

- Venturi Effect เมื่ออากาศผ่านช่องเปิดขนาดเล็กจะถูกบีบให้มีอัตราเร่งหรือความเร็วลมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 21)

- Cross – Ventilation เมื่อมีทางเข้าและออกของลมโดยจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อเป็นการไหลจากความกดอากาศสูงมากไปหาความกดอากาศต่ำมาก ซึ่งเป็นช่องเปิดที่อยู่ผนังตรงคนละด้านกัน (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 21 แสดงลักษณะการไหลของกระแสลมแบบ Venturi Effect
ที่มา : ชูเกียรติ (2553)



ภาพที่ 22 แสดงลักษณะการไหลของกระแสลมแบบ Cross – Venturi Effect
ที่มา : ชูเกียรติ (2553)

2) สิ่งปกคลุมพื้นผิว (Land cover)

การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของแผ่นดินจากการพัฒนาเมือง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ความแตกต่างของคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานและปลดปล่อยพลังงานของวัตถุพื้นผิว (Thermal Admittance) ซึ่งวัสดุปกคลุมพื้นผิวของเมืองส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของคอนกรีตหรือยางมะตอยที่มีค่า Thermal Admittance มากกว่าวัสดุปกคลุมพื้นผิวธรรมชาติ เช่น ดิน พืช น้ำ ผลจากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วัสดุปกคลุมพื้นผิวเมืองดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันได้ในอัตราส่วนที่มากกว่าวัสดุปกคลุมพื้นผิวธรรมชาติที่เป็นส่วนประกอบของพื้นที่ชนบทเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เวลากลางคืนพื้นผิวของเมืองปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เก็บไว้ในตอนกลางวันออกสู่บรรยากาศได้มากกว่าวัสดุปกคลุมพื้นผิวธรรมชาติ (วันเพ็ญ, 2555)

สิ่งปกคลุมดินมีผลต่อภูมิอากาศเมือง เช่น อิทธิพลของชนิดของพื้นที่ผิวที่มีต่อการเกิดขึ้นของเกาะความร้อน เป็นผลมาจากความแตกต่างกันของวัตถุพื้นผิวในเมืองกับวัตถุพื้นที่ในชนบท พื้นผิวในเมืองส่วนใหญ่จะถูกปกคลุมด้วยคอนกรีต หรือพื้นผิวถนนยางมะตอย (Asphalt) ส่วนพื้นผิวในชนบทส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยวัตถุธรรมชาติ เช่น ดิน พืช หรือ น้ำ ซึ่งวัตถุต่างๆ มีคุณสมบัติในการดูดซับ (thermal absorption) และสะสมพลังงาน (thermal capacity) โดยวัสดุในพื้นที่เมืองมีคุณสมบัติในการดูดซับและสะสมพลังงานที่มากกว่าวัตถุพื้นที่ในชนบท ประกอบกับพื้นผิวในเมืองมีความชื้นที่น้อยกว่าพื้นผิวที่ปกคลุ่มในชนบท ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงนำไปสู่ความแตกต่างของอุณหภูมิของพื้นที่ทั้งสองบริเวณ (Robert, 1995)

2.1) คุณสมบัติของวัสดุเมือง

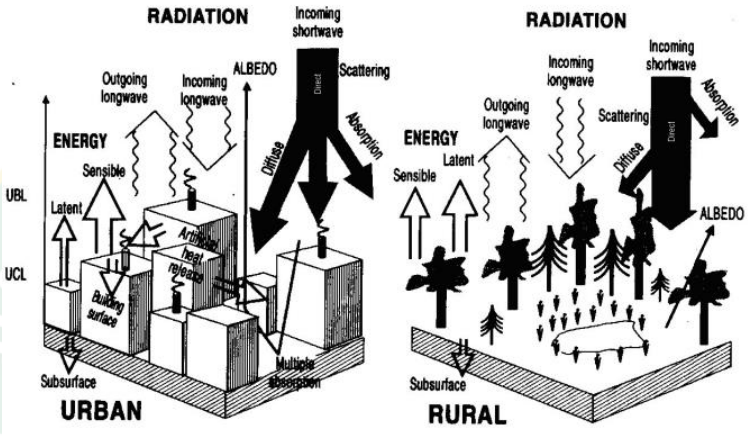
คุณสมบัติของวัสดุในเมืองโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์การแผ่รังสีความร้อน และการกักเก็บความร้อน ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเมืองคุณสมบัติหรือลักษณะของวัสดุพื้นผิวที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ(Thermal Characteristic) ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ จะเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ อาจมีการจำแนกได้กว้างๆ ออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

2.1.1) พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูง (High Albedo) คือพื้นผิวเมื่อได้รับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ จะมีการสะท้อนรังสีในสัดส่วนที่สูงกว่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณความร้อนที่สะท้อนจากพื้นผิวชนิดนี้ (Robinette, 1972) วัสดุซึ่งมีคุณสมบัติเช่นนี้ คือ พื้นผิวคอนกรีต และพื้นผิวดิน

2.1.2) พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำ (Low Albedo) คือพื้นผิวเมื่อได้รับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ จะมีการสะท้อนรังสีในสัดส่วนที่ต่ำกว่าการดูดซับความร้อนของวัสดุ ซึ่งมีผลให้ค่าการปล่อยความร้อนหรืออัตราการฉายแสง (Emissivity) สูงด้วย ดังนั้นจึงส่งผล

ให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงด้วย (Robinette, 1972) วัสดุซึ่งมีคุณสมบัติเช่นนี้ คือ พื้นผิวยางมะตอย

2.1.3) พื้นผิวที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณ (Vegetation Cover) ถึงแม้ว่าพื้นผิวที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณ เมื่อได้รับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะมีคุณสมบัติในการสะท้อนต่ำและมีค่าในการดูดซึมความร้อนสูง แต่ความร้อนที่ดูดซึมเขาไปนั้น พืชพรรณจะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารและการคายน้ำ ทำให้ความร้อนที่ปล่อยคืนสู่สภาพแวดล้อมมีปริมาณต่ำ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นลดลงด้วย



ภาพที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบการแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ของพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบทในวันที่อากาศปลอดโปร่ง
ที่มา : Oke (1987)

พื้นที่ในเขตเมืองมักจะมีวัสดุพื้นผิวมีอัตราการสะท้อน (Albedo) ต่ำกว่าพื้นที่ในเขตชนบท ดังนั้นพื้นที่เมืองโดยทั่วไปจึงมีอัตราการสะท้อนน้อยลง และดูดซับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากขึ้น การดูดซับความร้อนส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นผิว ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองขึ้น การสะท้อนแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลักของอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติการเปล่งรังสีความร้อนซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสามารถในพื้นผิวของการผลัดความร้อนหรือคายความร้อน พื้นผิวที่มีค่าการเปล่งรังสีสูงจะมีอุณหภูมิต่ำ เพราะสามารถคายความร้อนได้ดี คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองคือคุณสมบัติในการกักเก็บความร้อน วัสดุในการก่อสร้างหลายชนิด เช่น หิน เหล็ก มีการกักเก็บความร้อนที่สูงกว่าวัสดุที่ใช้ในพื้นที่ชนบท เช่น ดิน ทราย (ตารางที่ 4) ดังนั้นในพื้นที่เมืองจะกักเก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ในโครงสร้างพื้นฐานของเมือง ดังนั้นเมืองมหานครจึงสามารถดูดซับและกักเก็บความร้อนได้เป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมในชนบท (W., 2004)

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานความร้อนของวัสดุระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท

Surface	Heat capacity	Thermal admittance	Surface	Heat capacity	Thermal admittance
Rural			Urban		
Peat soil	0.58	190	wood	1.52	535
Sandy soil	1.28	620	Brick	1.37	1065
Clay soil	1.42	600	Glass	1.66	1110
Concrete	2.11	1785	Concrete	2.11	1785
Asphalt	1.94	1205	Asphalt	1.94	1205

ที่มา : Oke (1981) อ้างถึงใน วันเพ็ญ และคณะ (2553)

สิ่งปกคลุมดินมีผลต่อระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ความแตกต่างกันของวัตถุพื้นผิวในเมืองกับวัตถุพื้นที่ในชนบท พื้นผิวในเมืองส่วนใหญ่จะถูกปกคลุมด้วยคอนกรีตหรือพื้นผิวถนนยางมะตอย (asphalt) ส่วนพื้นผิวในชนบทส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยวัตถุธรรมชาติ เช่น ดิน พืช หรือ น้ำ ซึ่งวัตถุต่างๆ มีคุณสมบัติในการดูดซับ (thermal absorption) และสะสมพลังงาน (thermal capacity) ที่แตกต่างกันกระบวนการที่สำคัญ ได้แก่

(1) การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflected Solar radiation) เป็นกระบวนการที่พื้นผิวหรือวัตถุต่างๆ เมื่อได้รับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้ว จะเกิดการสะท้อนของพื้นผิวหรือวัตถุ (ซึ่งบางส่วนอาจมีการดูดซับโดยพื้นผิว หรือวัตถุนั้น) รังสีที่สะท้อนขึ้นมานั้นจะกลายเป็นรังสีคลื่นยาวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ แต่จะเป็นพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณที่เกิดการสะท้อนนั้นสูงขึ้นได้ พื้นผิวหรือวัตถุที่มีสีอ่อน ผิวเรียบและแห้งจะสะท้อนรังสีได้ดีกว่าพื้นผิวที่สีเข้ม ผิวขรุขระและเปียก

(2) การแผ่รังสีพื้นผิวและวัตถุ (Terrestrial radiation) เป็นกระบวนการถ่ายทอดพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งมีการจัดระดับตามความยาวคลื่นของแสงนั้น การดูดซับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะแปลงรังสีนั้นเป็นพลังงานความร้อนซึ่งทำให้พื้นผิว และบรรยากาศของเมืองร้อนขึ้น

(3) การดูดซับ (Absorption) คุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดมีความสามารถดูดซับและกักเก็บความร้อนต่างกัน โดยวัสดุที่มีมวลมากจะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนัก

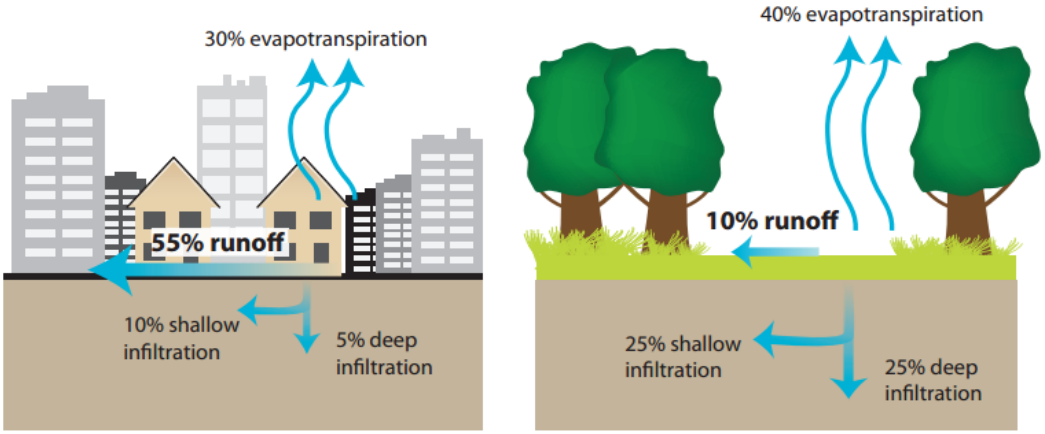
และความหนาแน่นสูง ซึ่งจะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก เช่น อิฐมอญฉาบปูน จากพื้นฐานกลไกการถ่ายเทความร้อน คือ ความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นสำหรับอาคารในพื้นที่เมืองมีการใช้วัสดุมวลสูง ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิภายในอาคารที่มีการปรับอากาศจะน้อยกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร ส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่บริเวณภายในอาคาร

(4) กระบวนการนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการสัมผัสกันระหว่างวัตถุ หรือสสารต่างๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันกัน ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่ร้อนไปยังวัตถุที่เย็นกว่า ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนนี้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิของวัตถุทั้งสองก็จะเท่ากัน ซึ่งการนำความร้อนเป็นพื้นฐานในการรับรู้ความร้อนและความเย็น เช่น เมื่อเราถือก้อนน้ำแข็ง ความร้อนจะไหลจากมือเราไปยังก้อนน้ำแข็ง เนื่องจากมือเรามีอุณหภูมิสูงกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิที่มือลดลง ในขณะที่ก้อนน้ำแข็งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและละลายไปเป็นน้ำ เป็นต้น

(5) กระบวนการระเหยของน้ำ (Evaporation) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สามรถลดความร้อนของสภาพแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมนั้นมีอุณหภูมิลดลง ด้วยความชื้นในบรรยากาศที่เกิดจากการระเหยของน้ำในสภาพแวดล้อมนั้นๆในพื้นที่เมืองซึ่งเต็มไปด้วยพื้นผิวดาดแข็ง หลังคาที่มีการระบายน้ำได้ดี และมีระบบระบายน้ำเสียที่ดี สิ่งเหล่านี้ทำให้ฝนที่ตกลงมาถูกระบายออกจากพื้นที่เมืองไปอย่างรวดเร็ว โดยไม่ได้ถูกกักเก็บไว้ที่พื้นผิวในระดับพื้นดินของเมืองเลย ส่งผลให้ความชื้นสัมพันธ์ในพื้นที่เมืองมีน้อยกว่าพื้นที่เขตชานเมืองหรือชนบท พืชพรรณมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปรากฏการณนี้ เนื่องจากเมื่อพืชพรรณได้รับรังสีจากแสงอาทิตย์จะนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง(Photosynthesis) และคายน้ำและความชื้นออกมาสู่พื้นที่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลเวียนของความร้อน นอกจากนี้ร่มเงาของต้นไม้จะช่วยลดอัตราการดูดซึมรังสีของพื้นผิวด้วย ในช่วงเวลากลางคืน พื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณจะช่วยในการระบายความร้อนจากการปลดปล่อยความร้อนของอาคารและสิ่งปลูกสร้างเมืองที่มีการระบายความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ (ภาพที่ 24)

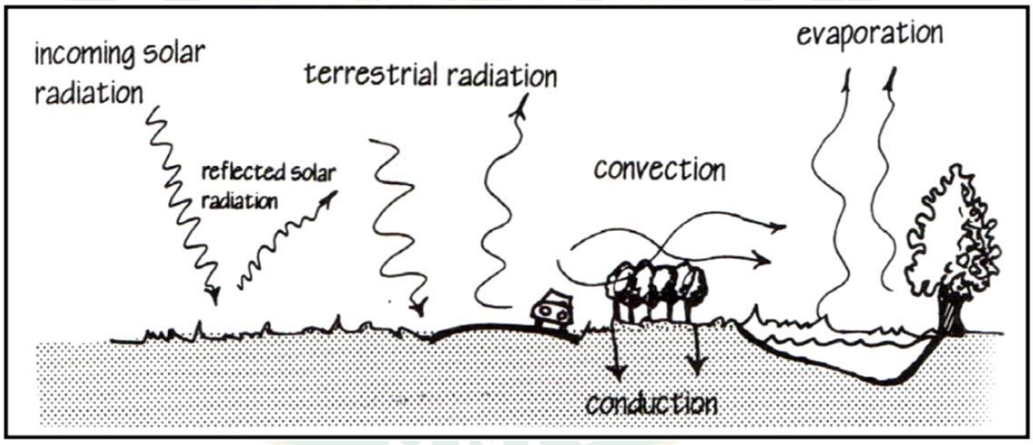
การถ่ายทอดพลังงานในสภาพแวดล้อม (ภาพที่ 25) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเปรียบเทียบความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าว ระหว่างพื้นดาดแข็งและพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณ ในกรณีที่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์และการแผ่รังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าเท่ากันพบว่าการแผ่รังสีและการพาความร้อนของพื้นผิวที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณต่ำกว่าพื้นดาดแข็ง โดยการใช้ความร้อนในกระบวนการระเหยของน้ำในพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณมีค่าสูงกว่าพื้นดาดแข็ง ซึ่งมีค่าเป็น 0 ในขณะที่พื้นดาดแข็งนั้นมีการกักเก็บความร้อน และนำความร้อนในเนื้อวัสดุได้สูงกว่าพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณ ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เหลือจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศนั้น พื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณจึงมีพลังงานความร้อนต่ำกว่าพื้นดาดแข็ง (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 24 แสดงลักษณะพื้นผิว และกระบวนการคายระเหย

ที่มา : Wong (2008)



ภาพที่ 25 แสดงกระบวนการที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศเมือง

ที่มา : Robert (1995)

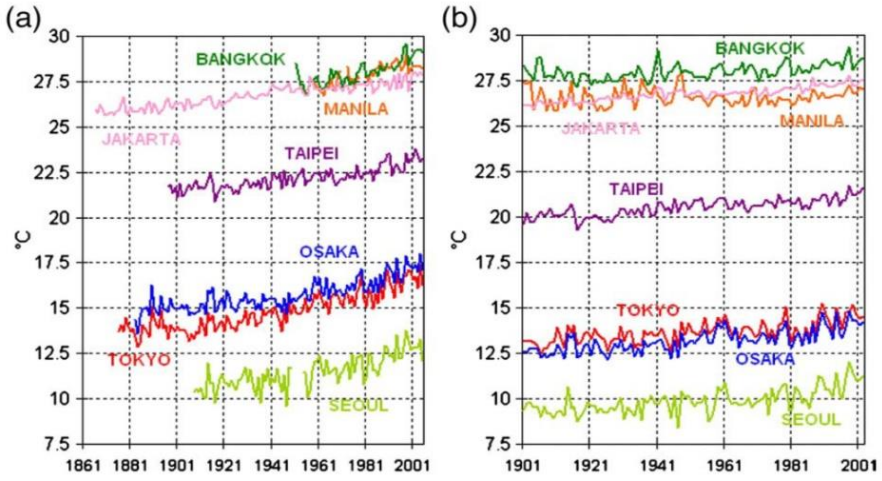
ตารางที่ 5 แสดงค่าการปลดปล่อยรังสีของพื้นผิวปกคลุมดินประเภทต่าง

Substance	Thermal Conductivity	Volumetric Heat Capacity
Air		
Still (at 10°C)	0.025	0.0012
Turbulent	3,500-35,00	0.0012
Water		
Still (at 4°C)	0.6	4.18
Stirred	350.00 (approx)	4.18
Ice (at -10°C)	2.24	1.93
Snow (fresh)	0.08	0.21
Sand (quartz)		
Dry	0.25	0.9
15% moisture	2	1.7
40% moisture	2.4	2.7
Clay (non organic)		
Dry	0.25	1.1
15% moisture	1.3	1.6
40% moisture	1.8	3
Organic Soil		
Dry	0.02	0.2
15% moisture	0.04	0.5
40% moisture	0.21	2.1
Asphalt	0.8-1.1	1.5
Concrete	0.9-1.3	1.6

ที่มา : Marsh (1991)

3) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use)

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในเมือง ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเมือง ทำให้พื้นที่สีเขียวและพื้นที่โล่งภายในเขตเมือง ถูกเปลี่ยนมาเป็นอาคารต่าง ๆ เพื่ออยู่อาศัย และพาณิชย-กรรมมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวอาคารและอุณหภูมิของอากาศภายในเมืองการเปลี่ยนแปลงเมืองมีการดูดซับและสะสมความร้อนเป็นจำนวนมาก รวมถึงมีการคายความร้อนจากการสะสมความร้อนของวัสดุในเวลากลางวันออกสู่บรรยากาศอย่าง รวมถึงความร้อนที่ถูกปล่อยออกจากท่อเสียของยานพาหนะเพื่อการสัญจรที่มีจำนวนมากในเมือง ความร้อนที่ปล่อยออกจากกิจกรรมด้านอุตสาหกรรม และความร้อนจากเครื่องปรับอากาศ ล้วนเป็นพลังงานความร้อนที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในเมืองโดยตรง (จารุวรรณ, 2554) ในปี 2009 Kataoka และคณะ ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมืองหลวงและพื้นที่โดยรอบเมืองในทวีปเอเชีย ช่วงระยะเวลา 100 ปี ช่วงระยะเวลาปี ค.ศ. 1901-2001 พบว่าอุณหภูมิภายในเมืองขนาดใหญ่ ได้แก่ กรุงเทพมหานคร (ประเทศไทย), เมืองมานิลา (ประเทศฟิลิปปินส์), เมืองจาร์กาต้า (ประเทศอินโดนิเซีย), เมืองไทเป (ประเทศไต้หวัน), เมืองโตเกียวและเมืองโอซาก้า (ประเทศญี่ปุ่น) และกรุงโซล (ประเทศเกาหลีใต้) มีแนวโน้มสูงกว่าพื้นที่โดยรอบเมืองอย่างชัดเจน) มีสาเหตุจากการความเข้มข้นของกิจกรรม และความหนาแน่นที่เน้นการใช้ที่ดินให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการสร้างอาคารที่สูงขนาดใหญ่ ส่งผลให้เกิด การเปลี่ยนแปลงสัณฐานเมือง (Urban morphology) หรือรูปแบบเมือง(Urban form) ที่เกิดขึ้นจากผลกระทบของการพัฒนาเมือง (Urban development) อย่างรวดเร็วและไม่มีการวางแผน



ภาพที่ 26 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงระยะเวลา 100 ปี ของเมืองหลวงขนาดใหญ่ในทวีปเอเชีย a) อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเมืองหลวงขนาดใหญ่ในทวีปเอเชีย และ b) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่โดยรอบเมืองหลวงขนาดใหญ่ในทวีปเอเชีย

ที่มา : Kataoka et al. (2009)

ความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Heat) การทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ในเมืองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในเมืองซึ่งมีปัจจัยที่ส่งเสริมให้มีความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ อยู่ 4 ประการใหญ่ ดังนี้

3.1) ความหนาแน่นของประชากร ในบริเวณเมืองที่มีประชากรหนาแน่นมากอุณหภูมิจากกิจกรรมของมนุษย์ย่อมมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ ภาวิณี และคณะ (2557) พบว่าเมืองใหญ่อย่างกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีความหนาแน่นของประชาชนสูงขึ้นจะส่งผลต่อความร้อนของมนุษย์อย่างมีนัยสำคัญและนำไปสู่ปัญหาการเกิดสภาวะเกาะความร้อนเมืองได้

3.2) การเดินทางสัญจร การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ และความร้อนที่สำคัญของเมือง ก๊าซ และฝุ่นละอองที่มีอนุภาคต่างๆ ที่เป็นพิษที่แขวนลอยปะปนอยู่ในอากาศเหนือเมืองมีปริมาณสูงกว่าในพื้นที่ชนบทมากเป็น 10 เท่า (M., 1995) มลภาวะและปรากฏการณ์เรือนกระจก มลภาวะจากรถยนต์ การก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งสิ่งที่ปะปนในอากาศเหนือเมืองเหล่านี้เป็นตัวขัดขวาง และสะท้อนความร้อนกลับคืนสู่บรรยากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเมืองสูงขึ้นเนื่องจากความร้อนไม่สามารถระบายออกสู่ชั้นบรรยากาศเมืองได้ ก่อให้เกิดเป็นปรากฏการณ์เรือนกระจก (ธนกฤต, 2545) ความร้อนที่เกิดจากการจราจรอาจจำแนกเป็น 2 ประเภท ตามแหลงความร้อนที่เกิดขึ้นจากการจราจรได้แก่ ความร้อนที่เกิดทางตรง และความร้อนที่เกิดทางอ้อม

3.2.1) ความร้อนที่เกิดทางตรง ในกระบวนการสันดาป (combustion) ของเครื่องยนต์จะมีการปล่อยความร้อนและมลพิษออกสู่อากาศโดยตรงซึ่งมีก๊าซที่เป็นอันตรายออกมาด้วย เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรคาร์บอน และอนุภาคที่เป็นพิษต่างๆ ซึ่งรังสีจากดวงอาทิตย์ที่เป็นรังสีคลื่นสั้นนั้นสามารถผ่านเข้ามาในบรรยากาศของเมืองได้ พื้นผิวและองค์ประกอบต่างๆ ในเมืองที่ได้รับการแผ่รังสีก็จะกักเก็บความร้อนไว้ และแผ่รังสีกลับสู่บรรยากาศเมืองอีกครั้งในลักษณะรังสีคลื่นยาว ซึ่งไม่สามารถผ่านมลพิษและอนุภาคที่เจือปนอยู่ในชั้นบรรยากาศเหนือเมืองได้ จึงสะท้อนกลับมาอีกครั้ง ทำให้บริเวณถนนไม่สามารถกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นได้จึงส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณถนนสูงขึ้น (Spirn, 1984)

3.2.2) ความร้อนที่เกิดทางอ้อม วัสดุในการก่อสร้างถนน เช่น คอนกรีต และแอสฟัลต์มีความสามารถในการดูดซับความร้อน สะท้อนความร้อน จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ในปริมาณมาก นอกจากนี้การสัญจรของรถยนต์ในความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอยังก่อให้เกิดการเสียดสีระหว่างยางล้อรถยนต์กับพื้นผิวถนนทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของถนนสูงขึ้นจึงก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศได้เช่นเดียวกัน (Spirn, 1984)

(1) ความร้อนที่ปล่อยมาจากอาคารต่างๆ ภายในอาคารจะมีอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องทำความเย็น ซึ่งความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เหล่านี้จะออกจากอาคารสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ (M., 1995)

(2) กระบวนการเมตาบอลิซึม ความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากสิ่งมีชีวิตอัตราการเผาผลาญอาหารของคน และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในเมืองก็มีผลกระทบต่อการเพิ่มปริมาณความร้อนร่างกายนั้นจะขึ้นกับกิจกรรมที่กระทำอยู่ ยิ่งมีการเคลื่อนไหวที่รุนแรง ความร้อนที่ปล่อยออกมาก็ยิ่งมากด้วย โดยความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมา วัดเป็น Metabolic หรือหน่วย Met โดย 1 Met = 58.2 W/m^2จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณประชากรในเมืองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเมืองด้วย (สุนทร และคณะ, 2546)

ตารางที่ 6 แสดงอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายมนุษย์ในกิจกรรมต่างๆ

กิจกรรม	Metabolic Rate (Met)
นอนพัก	0.8
นั่งพักผ่อน	1.0
กิจกรรมที่นั่งอยู่กับที่ (สำนักงาน, โรงเรียน, บ้านพักอาศัย)	1.2
ยืนพัก	1.2
กิจกรรมเบา, ยืน, ทำงานในอุตสาหกรรมเบา	1.6
กิจกรรมปานกลาง, ยืน (งานในโรงงาน, คุมเครื่องจักร)	2.0
กิจกรรมหนัก (คุมเครื่องจักรขนาดใหญ่)	3.0

ที่มา : สุนทร และคณะ (2536)

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้เกิดปัญหาของเมืองอื่นๆตามมา เช่น ความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ปริมาณมลพิษทางอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของภูมิอากาศเมือง (Urban climate change) เช่น อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชุ่มชื้น (Humidity) ความเร็วลม (Wind speed) ทิศทางลม (Wind direction) และการส่งผ่านความร้อนหรือการแผ่รังสี (Radiant temperature) ย่อมได้รับผลกระทบไปด้วย อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban heat island, UHI) เป็นปรากฏการณ์ที่พื้นที่บริเวณศูนย์กลางเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่บริเวณชานเมืองหรือพื้นที่ชนบทโดยรอบ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบเมืองนี้สร้างผลกระทบต่อสภาวะอากาศโดยเฉพาะระดับ “ชั้นเรือนยอดเมือง” หรือ “Urban canopy layer (UCL)” ที่มีความสูงของชั้นตามแนวตั้ง (Vertical scale) เฉลี่ยประมาณไม่กี่เมตรจากพื้นโดยไม่เกินระดับความสูงของหลังคาหรือดาดฟ้าอาคาร หรือ ชั้นที่ถูกครอบครองโดยมนุษย์ (the Layer of human occupation) (Oke, 1995)

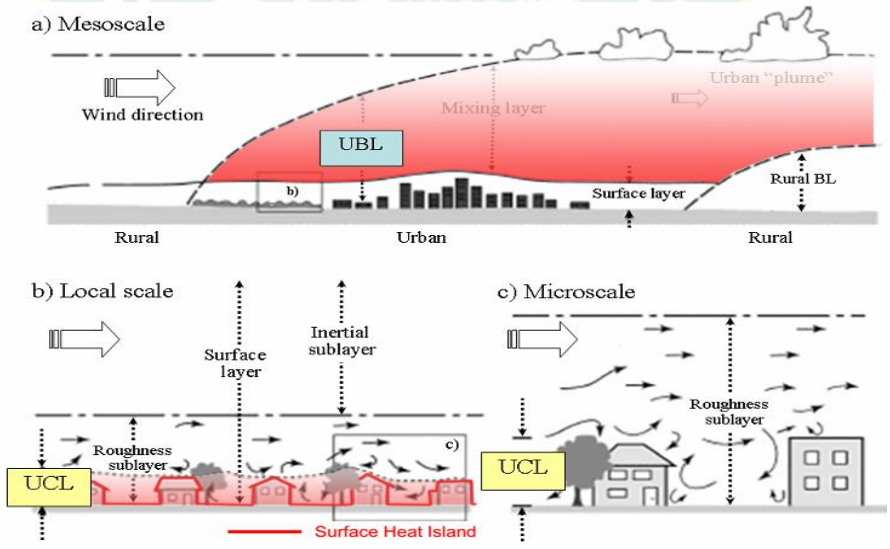
2.2.2 ลักษณะของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

ลักษณะของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (ธนกฤต, 2545) สามารถแยกพิจารณาใน 2 ลักษณะ คือ

1) ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในแนวตั้ง (Vertical patterns) หรือ ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในบรรยากาศ (Atmospheric; UHI) สามารถแบ่งออกเป็นสองระดับประกอบด้วย

1.1) เกาะความร้อนบริเวณบรรยากาศผิวพื้น หมายถึงบรรยากาศที่อยู่ในระดับพื้นดินสูงขึ้นไปถึงระดับหลังคาของอาคาร เรียกว่า บรรยากาศในชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer: UCL) บรรยากาศชั้นเรือนยอดของเมืองถูกควบคุมการเปลี่ยนแปลงด้วยลักษณะของพื้นผิวของสิ่งก่อสร้าง เช่น ชนิด รูปทรง สีของวัตถุพื้นผิว ที่อยู่ในพื้นที่ระดับเล็กระหว่างอาคารสองอาคาร ไปถึงกลุ่มอาคารที่มีไม่กี่หลัง

1.2) เกาะความร้อนบริเวณบรรยากาศในชั้นเหนือเรือนยอดของเมือง (Urban Boundary Layer: UBL) คือบรรยากาศที่อยู่เหนือระดับหลังคาของอาคารในพื้นที่ขึ้นไป ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากสภาพสิ่งปกคลุมพื้นผิวร่วมกับกิจกรรมการใช้ที่ดินในพื้นที่ หรือสรุปได้ว่าอุณหภูมิอากาศในระดับชั้นเหนือเรือนยอดของเมืองส่งผลมาจากบรรยากาศชั้นเรือนยอด (วันเพ็ญ และคณะ, 2553) โดยทั่วไปชั้นนี้จะมีความสูงขึ้นไปในบรรยากาศได้ถึง 1,500 เมตร จากพื้นผิวโลก การตรวจวัดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในแนวดิ่ง จะวัดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครือข่ายของสถานีตรวจวัดอากาศ



ภาพที่ 27 ลักษณะปรากฏการณ์เกาะความร้อนในชั้นเรือนยอดและในชั้นเหนือเรือนยอดของเมือง
ที่มา : Oke (1982)

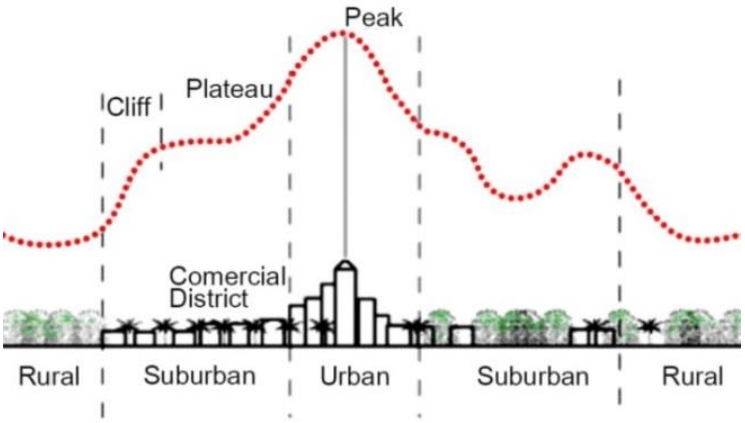
2) ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในแนวราบ (Horizontal patterns) หรือปรากฏการณ์เกาะความร้อนพื้นผิว (Surface: UHI) คือปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเมือง ความรุนแรงจะแปรเปลี่ยนไปตามฤดู เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ สิ่งปกคลุมดิน และสภาพอากาศ เป็นผลให้ปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่พื้นผิวเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากในหน้าร้อนท้องฟ้าโปร่งและลมสงบ รังสีจากดวงอาทิตย์จึงทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงกระทบพื้นผิวได้มากอีกทั้งไม่มีกระแสลมช่วยพาความร้อนออกจากเมืองไปสู่ชนบท ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเมืองและชนบทเพิ่มสูงขึ้นในหน้าร้อน (วันเพ็ญ และคณะ, 2553)

การตรวจวัดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในแนวราบ สามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข และการประมาณบนพื้นฐานของการทดลอง นักวิจัยส่วนใหญ่ใช้การรับรู้จากระยะไกล (remote sensing) เพื่อประมาณอุณหภูมิของพื้นผิว ข้อมูลที่บันทึกได้ทั้งจากอากาศยานหรือดาวเทียมจะได้รับการปรับเทียบเพื่อผลิตเป็นภาพเชิงความร้อน

ในกรณีของปรากฏการณ์เกาะความร้อนในแนวราบ อาจพิจารณารูปแบบได้ ดังนี้

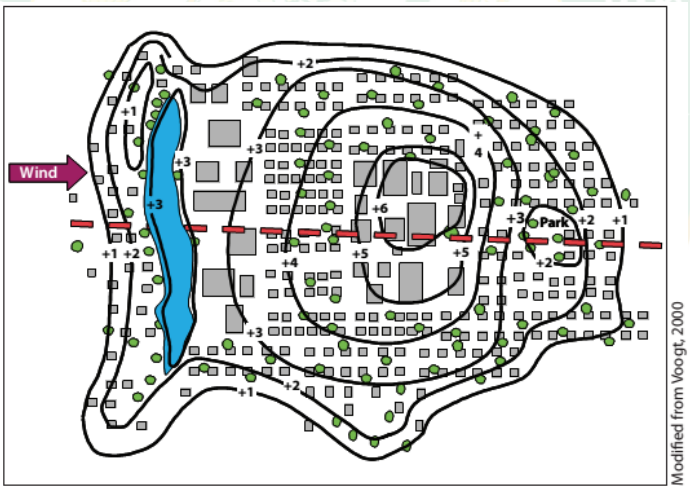
2.1) รูปแบบเกาะความร้อนเมืองเชิงพื้นที่

Oke (1987) อธิบายลักษณะรูปแบบของอุณหภูมิไว้เป็น 3 ลักษณะว่าพื้นที่ชนบทโดยรอบเมืองจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเทียบพื้นที่ส่วนอื่นๆของเมือง พื้นที่ถัดมาจากพื้นที่ชนบทเป็นบริเวณที่เป็นเขตติดต่อระหว่างชนบทและชานเมืองเส้นอุณหภูมิจะมีลักษณะสูงขึ้นเหมือนรูปหน้าผา (Cliff) ซึ่งเป็นบริเวณที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น/ลดลงอย่างรวดเร็ว บริเวณชานเมืองเข้าไปจนถึงเขตเมืองเส้นอุณหภูมิจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแบบที่ราบสูง (Plateau) และพื้นที่ในเขตเมืองเส้นอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมีจุดสูงสุด (Peak) ในบริเวณใจกลางเมืองซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นทั้งสิ่งปลูกสร้างและกิจกรรมต่างๆ ที่ส่งเสริมให้อุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวร้อนที่สุด (ภาพที่ 28) พื้นที่สวนสาธารณะในเมืองจะแสดงให้เห็นว่ามีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นที่เมืองรอบๆอย่างชัดเจน อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะแตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งอาจมากกว่า 4 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร (ปริญญา, 2553) ในขณะที่ข้อมูลจากการศึกษาพบว่าความแตกต่างของระดับความรุนแรงและความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองมีผลมาจากอิทธิพลของแหล่งน้ำ พืชพรรณ และพื้นที่โล่ง ซึ่งทำให้อุณหภูมิในบริเวณโดยรอบเย็นกว่าพื้นที่เมืองทั่วไป (Oke, 1987) และ (Yamashita, 1996)



ภาพที่ 28 แสดงภาพตัดขวางของเมืองและลักษณะเส้นกราฟอุณหภูมิของเมืองและพื้นที่ชนบท
ที่มา : Oke (1987) อ้างถึงใน Wong (2008)

เมื่อนำข้อมูลมาเขียนแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map) จะได้แผนที่ที่มีลักษณะของเส้นอุณหภูมิเท่า เหมือนรูป“โดม” หรือ“เกาะ”(ภาพที่ 29) (เส้นประสีแดงแสดงแนวการวัดอุณหภูมิ)

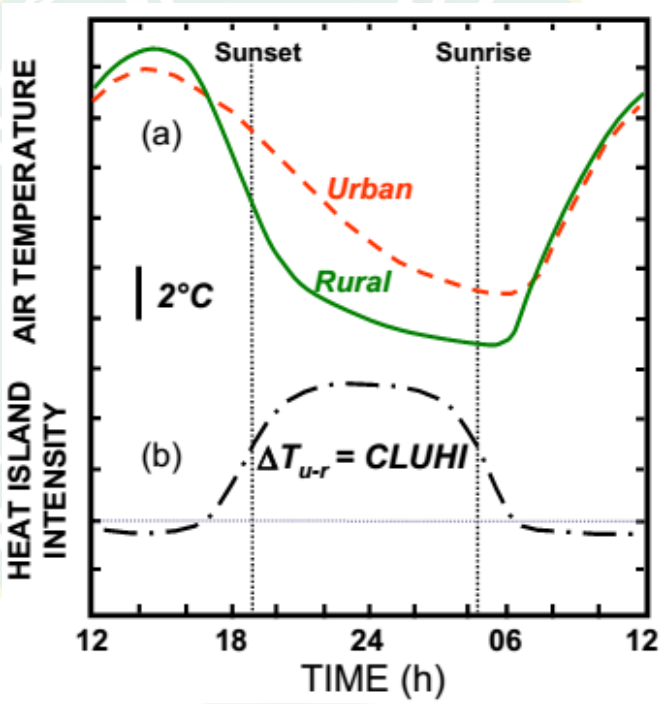


ภาพที่ 29 แผนที่เส้นชั้นอุณหภูมิเท่า แสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ UHI ในบรรยากาศในช่วงกลางคืน
ที่มา : Wong (2008)

2.2) รูปแบบเกาะความร้อนเมืองเชิงเวลา

ความแตกต่างของอุณหภูมิเมืองกับชนบทที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในเชิงเวลาสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงในเวลา 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคือ ความสมดุลของพลังงานความร้อนระหว่างเมืองกับชนบท ซึ่งนำไปสู่ความแตกต่างกันของอัตราการร้อนและอัตราการเย็นของพื้นผิวในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง (Oke, 1987)

2.2.1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใน 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองจะเข้มข้นในสภาวะอากาศที่ ท้องฟ้าโปร่งและไม่มีลม เมื่อใช้อุณหภูมิของพื้นที่ชนบทเป็นข้อมูลฐาน ก็จะเห็นความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงในเมือง เริ่มขึ้นในตอนเช้าหลังพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดของวัน เรียกว่าเป็นช่วงเวลาของกระบวนการทำความร้อนของเมือง (Heating Process) และกระบวนการเย็นตัวของพื้นผิว (Cooling process) เกิดขึ้นหลังจากที่อุณหภูมิถึงจุดสูงสุดของวันแล้วอุณหภูมิจะเริ่มลดลง หลังจากพระอาทิตย์ตกต่อเนื่องไปประมาณ 2-5 ชั่วโมง วัตถุพื้นผิวของเมืองซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนได้ดีจะค่อยๆ ปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ดูดซับไว้คืนสู่บรรยากาศของเมือง (วันเพ็ญ และคณะ, 2553) ซึ่งนำไปสู่ความแตกต่างของอุณหภูมิในเมืองที่มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่โดยรอบ (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 30 แผนภูมิแสดงการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิระหว่างวันในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง
ที่มา : Wong (2008)

2.2.2) การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลโดยสภาวะอากาศเป็นปัจจัยหลักให้การกำหนดค่าสูงสุดของ ระดับความเข้มข้นของเกาะความร้อน (Jauregui, 1997) ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของพื้นเมืองและชนบทพบในฤดูหนาว สาเหตุที่สำคัญคือความแตกต่างของสิ่งปกคลุมดิน

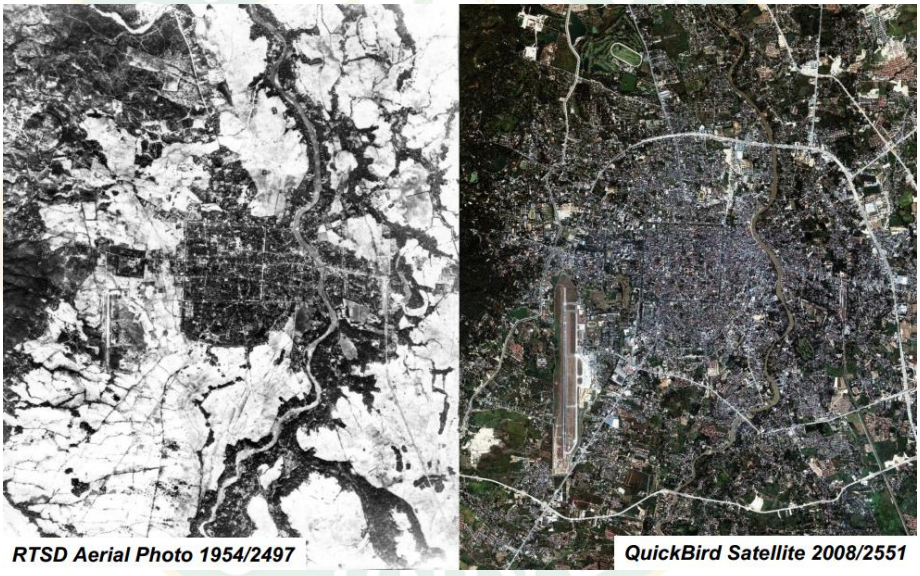
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองของอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศ

คุณลักษณะ (Feature)	**อุณหภูมิพื้นผิว (Surface UHI)**	**อุณหภูมิอากาศ (Atmospheric UHI)**
การเปลี่ยนแปลง (Temporal development)	เกิดขึ้นตลอดทั้งเวลากลางวันและกลางคืน โดยจะรุนแรงในช่วงเวลากลางวันและในช่วงฤดูร้อน	อาจจะน้อยหรือไม่มีอยู่ในระหว่างวัน
ความรุนแรงสูงสุด (Peak intensity)	ความแตกต่างตามลักษณะเชิงพื้นที่ : กลางวัน : 18-27 °F (10-15 °C) กลางคืน : 9-18 °F (5-10 °C)	การเปลี่ยนแปลงรูปแบบน้อย: กลางวัน : -1.8-5.4 °F (-1-3 °C) กลางคืน : 12.6-21.6°F (7-12 °C)
วิธีการวิเคราะห์ (Identification method)	การวัดทางอ้อม (Indirect measurement) : การวัดจากระยะไกล (Remote sensing) ซึ่งได้จากภาพถ่ายดาวเทียม	การวัดทางตรง (Direct measurement) : สถานีตรวจอากาศ (Fixed weather stations), เคลื่อนที่สำรวจ (Mobiletraverses), แบบจำลองกับพื้นที่ขนาดเล็ก (Small-scale modelling) หรือการจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer simulations)
การแสดงผลลัพธ์ (Typical depiction)	ภาพความร้อน (Thermal image)	แผนที่การไหลของอุณหภูมิ (Isotherm map), การประเมินสภาวะน่าสบาย (Thermal comfort indices) และกราฟอุณหภูมิ (Temperature graph)

ที่มา : สุดารัตน์ และคณะ (2558)

2.3 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่

เมืองเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงซึ่งไหลผ่านใจกลางเมืองในแนวเหนือใต้ มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 25.4 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20.1 องศาเซลเซียส ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นเมืองที่เป็นศูนย์กลางความเจริญของภาคเหนือของประเทศไทย ทั้งด้านเศรษฐกิจ ด้านการศึกษา ด้านการคมนาคม อีกทั้งเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง ก่อให้เกิดอาชีพและรายได้ อันเป็นสาเหตุทำให้เกิด การอพยพแรงงานเข้าสู่เมืองเชียงใหม่ทั้งคนท้องถิ่น ต่างจังหวัด และชาวต่างชาติ ส่งผลให้เมืองเชียงใหม่มีการพัฒนาเมือง และความหนาแน่นทั้งสิ่งปลูกสร้างและจำนวนประชากร ทั้งยังความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นด้วย (ภาพ 31)

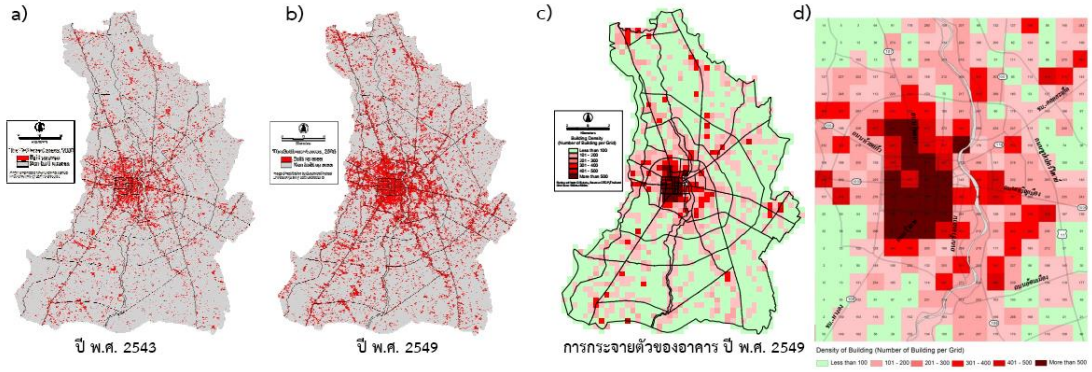


ภาพที่ 31 แสดงภาพถ่ายทางอากาศของเมืองเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2497 – 2551
ที่มา : มานัส (2553)

2.3.1 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองเชิงพื้นที่ของเมืองเชียงใหม่

Srivanit (2012) ศึกษาเรื่องผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับลักษณะเชิงพื้นที่ต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเมืองเชียงใหม่ ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) จากข้อมูลคลื่นอินฟาเรดความร้อน (Thermal infared Band) จากดาวเทียม LANDSAT เพื่อศึกษาปัจจัยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับปัจจัยเชิงพื้นที่ ได้แก่ ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI), ดัชนีผลต่างน้ำ (NDWI), ตังบ่งชี้ค่าระดับความหนาแน่นของเมืองโดยใช้ F.A.R. และ B.C.R. พบว่าเมืองเชียงใหม่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จากเดิมในปี พ.ศ.2543 มีพื้นที่อาคารคลุมดิน 43.6 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 49.2 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ.2549 การ

กระจายตัวของอาคารในศูนย์กลางเมืองเพิ่มขึ้นมากที่สุดย่าน (ภาพที่ 32) จากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การเกษตรเป็นพื้นที่เมือง นอกจากนั้นรัฐบาลยังมีนโยบายให้ย้ายโรงงานจำนวนมากออกไปยังพื้นที่ชาญเมือง ทำให้เมืองเชียงใหม่ศูนย์เสียพื้นที่สีเขียวที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมชั้นดีไป เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของเมืองเพิ่มสูงขึ้น



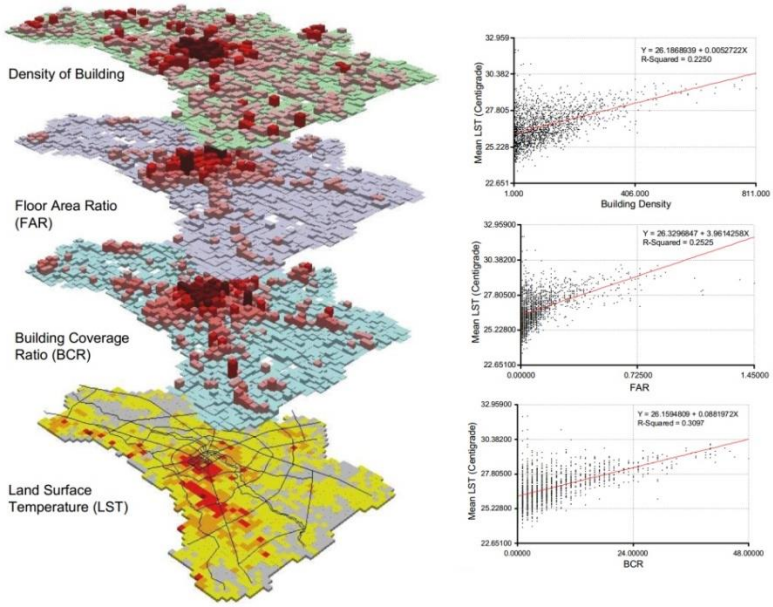
ภาพที่ 32 a) พื้นที่ Built- up area ปี พ.ศ.2543, b) พื้นที่ Built- up area ปี พ.ศ.2549 c) การกระจายตัวของอาคาร ปี พ.ศ.2549, d) ภาพขยายการกระจายตัวของอาคารในศูนย์กลางเมืองเชียงใหม่

ที่มา : Srivanit (2012)

อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor area ratio: FAR) ซึ่งในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พบว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ในปัจจุบันอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดินไม่สูงมาก โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยที่ 0.104 : 1 และสูงสุดที่ 1.110 : 1 พื้นที่ที่มีสัดส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดินสูงมากกว่า 0.561 : 1 กระจุกตัวอยู่ในย่านพื้นที่ชั้นใน คือ ย่านเมืองเก่า ย่านช้างคลาน ริมถนนท่าแพ ย่านวัวลาย แนวถนนโชตนา ถนนห้วยแก้ว และถนนสุเทพ เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นชุมชนที่มีการตั้งถิ่นฐานมายาวนาน ตั้งแต่การสร้างเมืองเชียงใหม่ และการพัฒนาเมืองหลักในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติที่ 4-5 บริเวณดังกล่าวประกอบด้วยบ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ โรงแรม ร้านค้าและห้างสรรพสินค้า เป็นจำนวนมาก ถึงแม้จะมีอาคารขนาดใหญ่ในพื้นที่ แต่อาคารเหล่านี้ก็ยังมีพื้นที่บริเวณภายนอกอาคารที่กว้างขวาง ทำให้อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดินไม่สูงมาก

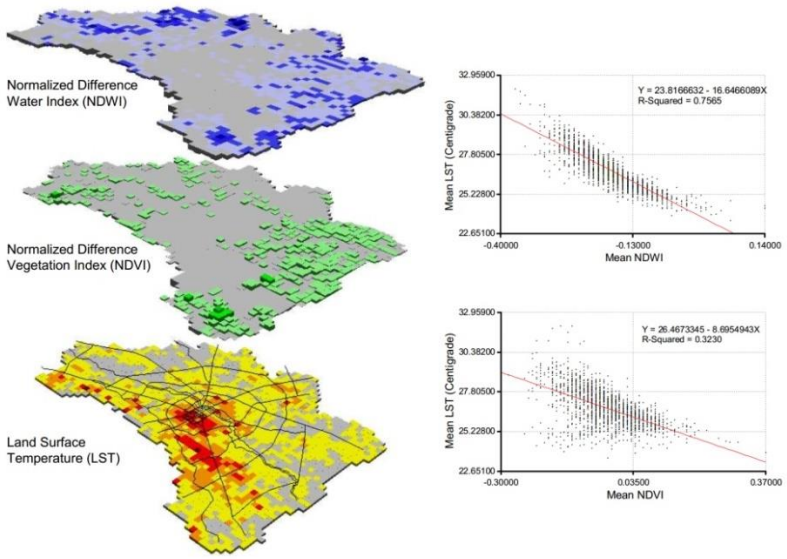
อัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (BCR) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งแสดงถึงพื้นที่อาคารที่ปกคลุมพื้นที่ดิน โดยค่าเฉลี่ยอัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดินของพื้นที่ในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ มีค่าเท่ากับ 6.733 ซึ่งมีค่าที่อยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ในเขตผังเมืองรวมประกอบด้วยที่ดินซึ่งเป็นที่ว่างและพื้นที่เกษตรกรรม และป่าไม้จำนวนมาก ส่งผลให้พื้นที่ในย่านดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงมากกว่าพื้นที่โดยรอบเมือง (ภาพที่ 33) ขณะที่พื้นที่ชาน

เมืองซึ่งมีพื้นที่เกษตรกรรมและในบริเวณที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ จะลักษณะของพื้นดินที่สะท้อนให้เห็นว่ามีส่วนของน้ำปะปนอยู่มากในพื้นที่ทางตอนใต้ของเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ (ภาพที่ 34)



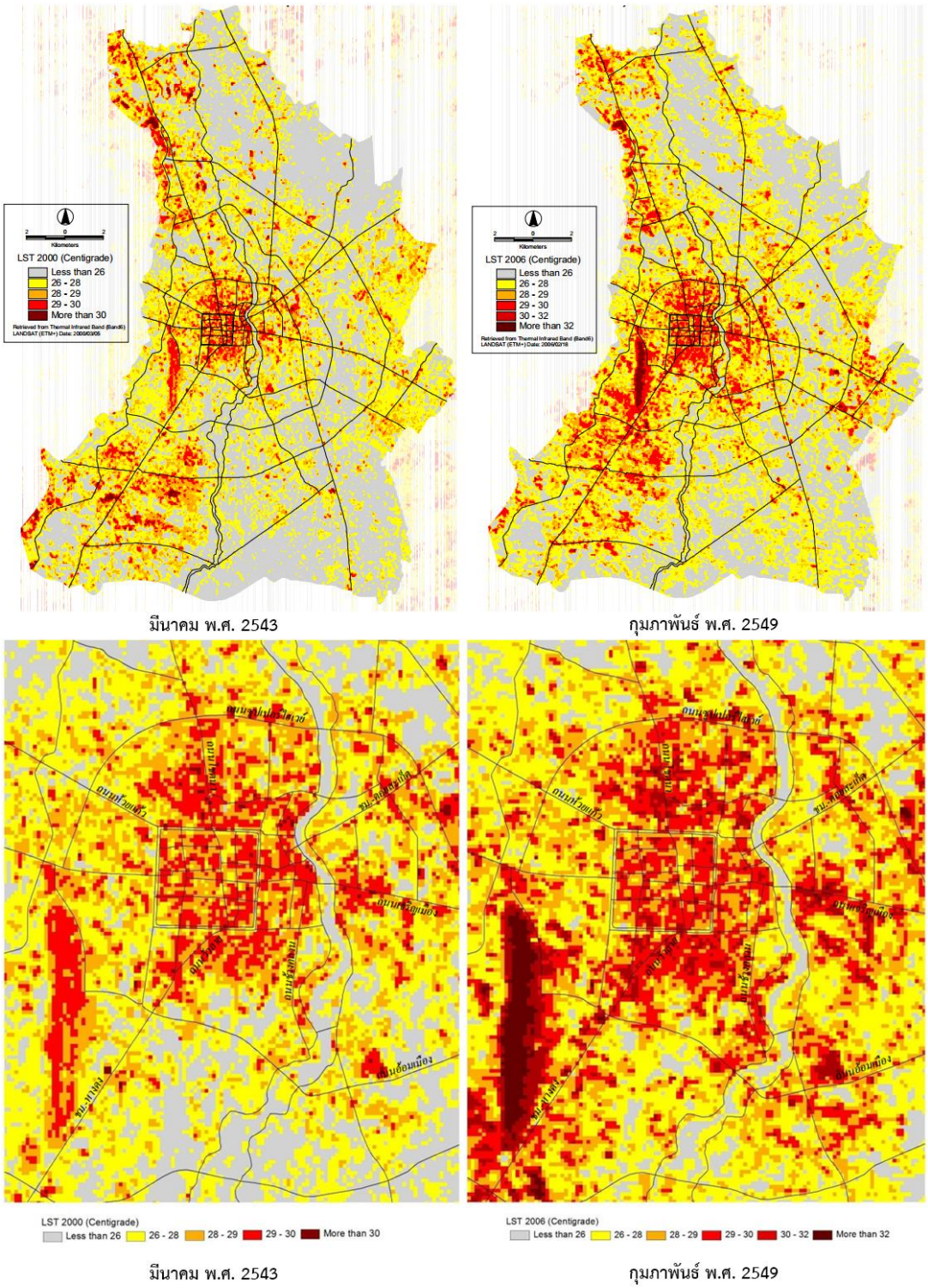
ภาพที่ 33 ภาพแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวเมืองเชียงใหม่ กับความหนาแน่นอาคาร อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน และอัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน

ที่มา : มานัส (2553)



ภาพที่ 34 ภาพแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวเมืองเชียงใหม่ กับดัชนีผลต่างน้ำ (NDWI), ดัชนีผลต่างพืชพรรณ(NDVI)

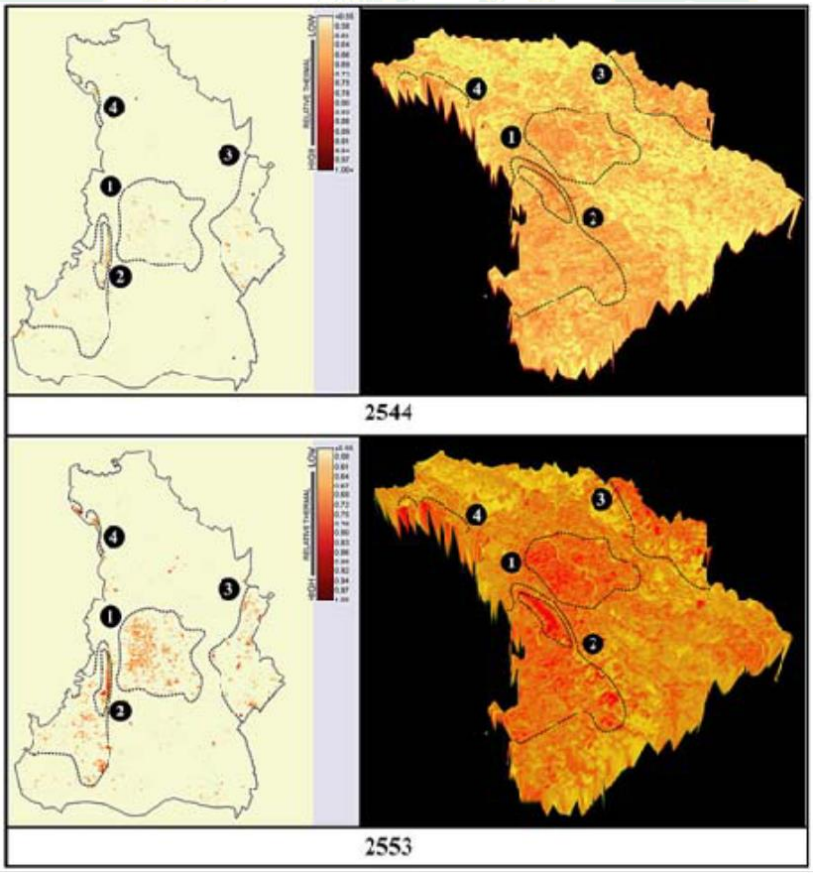
ที่มา : มานัส (2553)



ภาพที่ 35 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ ปี พ.ศ.2543-2549

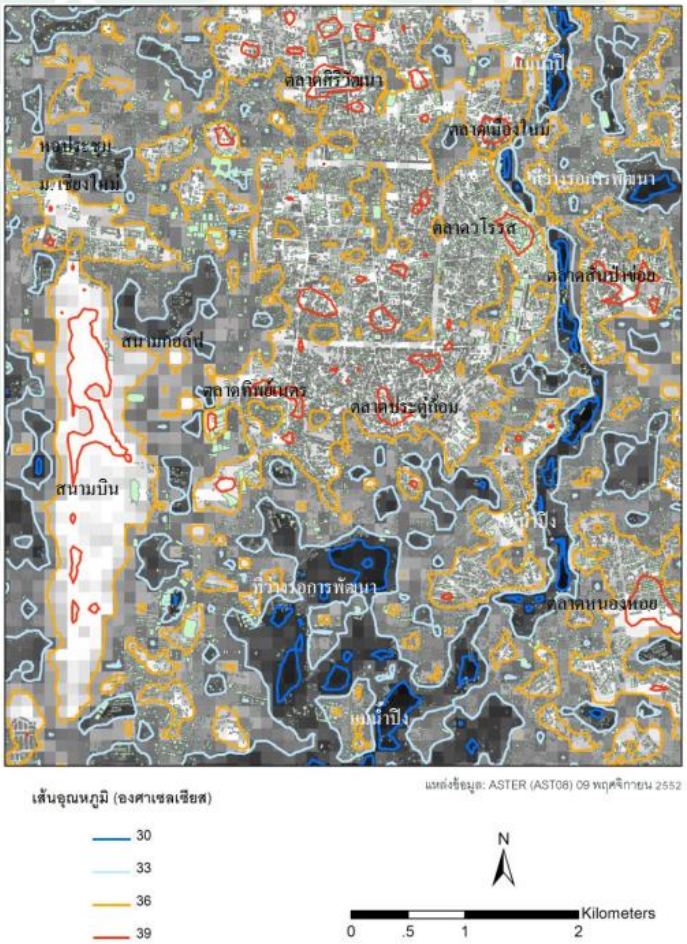
ที่มา : มานัส (2553)

อนุศาสน์ (2554) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวเมือง และความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพของเมือง ได้แก่ ลักษณะพื้นที่สีเขียว, รูปแบบอาคาร, พื้นที่ถนน และพื้นที่น้ำ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 ของพื้นที่เมืองเชียงใหม่ ระหว่าง ป พ.ศ. 2544 และ ปพ.ศ. 2553 จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปัจจัยในการพัฒนาเมืองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมืองเชียงใหม่ ได้แก่ รูปแบบของอาคาร(พื้นที่อาคารปกคลุมดิน, ปริมาตรอาคาร) รองลงมาคือพื้นที่ถนน และปัจจัยที่มีผลต่อการลดลดลงของอุณหภูมิเมือง ได้แก่ พื้นที่สีเขียว รองลงมาคือแหล่งน้ำ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับลักษณะอาคารที่เป็นพื้นที่อาคารปกคลุมดิน (2 มิติ) กับปริมาตรอาคาร (3 มิติ) ทำให้ทราบว่าการพัฒนาเมืองในแนวราบมีผลทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงกว่าการพัฒนาเมืองในแนวดิ่ง 0.342 องศาเซลเซียส หรือมีอุณหภูมิเพิ่มสูงกว่าการพัฒนาเมืองในแนวดิ่งถึง 36% เมื่อมีการพัฒนาเมืองโดยมีพื้นที่ใช้สอยรวม 6000 ตารางเมตรเท่ากัน อีกทั้งยังพบว่าปี พ.ศ. 2553 มีความไวต่อสิ่งกระตุ้นที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมากกว่าปี พ.ศ. 2544 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสภาวะโลกร้อนที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 36 แสดงเกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่ ช่วงปี พ.ศ.2544 และปี พ.ศ.2553
ที่มา : อนุศาสน์ (2554)

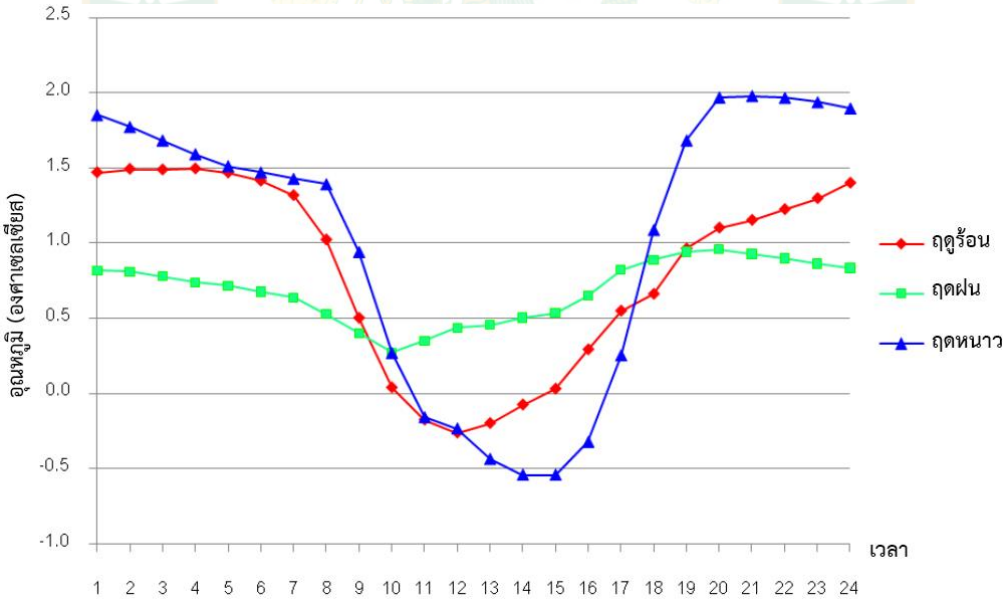
ในปี 2557 วันเพ็ญ และคณะ อธิบายการเกิดเกาะความร้อนเมืองเชิงพื้นที่ของเมืองเชียงใหม่ว่า การพัฒนาขยายตัวจากพื้นที่เมืองเก่าออกสู่พื้นที่โดยรอบด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศใต้ ยกเว้นด้านทิศตะวันตกเป็นอุทยานแห่งชาติสุเทพ-ปุย ที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูง เมืองไม่สามารถขยายตัวออกไปได้ ส่งผลดีทำให้เมืองเชียงใหม่มีพื้นที่ธรรมชาติก่อให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศระหว่างพื้นที่เมืองกับพื้นที่ข้างเคียงทางทิศตะวันตก ประกอบกับพื้นที่เมืองเชียงใหม่มีขนาดเล็กและพื้นที่พัฒนาค่อนข้างเกาะกลุ่ม ดังนั้นรูปแบบเส้นอุณหภูมิเท่าจึงมีลักษณะเป็นศูนย์กลางเดียว โดยมีอุณหภูมิประมาณ 30-39 องศาเซลเซียส บริเวณที่พบได้แก่ สนามบินเชียงใหม่และที่ตั้งของตลาดต่างๆ เช่น ตลาดศรีวัฒนา ตลาดเมืองใหม่ ตลาดวโรรส และตลาดหนองหอย ส่วนบริเวณย่านที่พักอาศัยมีอุณหภูมิต่ำกว่า 36 องศาเซลเซียส ในขณะที่พื้นที่อุณหภูมิต่ำสุดของเมือง พบในพื้นที่บริเวณแม่น้ำปิงและพื้นที่ข้างเคียง (ภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 แสดงแผนที่เส้นอุณหภูมิเท่า (Isotherm map) ของเมืองเชียงใหม่ใน ปี 2552
ที่มา : วันเพ็ญ และคณะ (2557)

2.3.2 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองเชิงเวลาของเมืองเชียงใหม่

ความเข้มข้นสูงสุดของสภาวะเกาะความร้อน (urban heat island intensities) ในเมืองเชียงใหม่พบในช่วงเวลา 20.00 น.ของช่วงฤดูหนาว และฤดูฝน ซึ่งเป็นเวลาหลังจากพระอาทิตย์ตกประมาณ 2 ชั่วโมง มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 2 และ 1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ฤดูร้อนมีค่าความเข้มข้นสูงสุด 1.5 องศาเซลเซียส พบในเวลาประมาณ 02.00 น. ซึ่งห่างจากเวลาพระอาทิตย์ตกถึง 8 ชั่วโมง ในขณะที่ช่วงเวลากลางวันพบในช่วงเวลาบ่าย อุณหภูมิในพื้นที่เมืองจะต่ำกว่าอุณหภูมิในพื้นที่ชนบทรอบเมือง โดยช่วงเวลาที่อุณหภูมิเมืองต่ำกว่าชนบทรอบเมืองมากที่สุดเท่ากับ 0.5 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 15.00 น. ของฤดูหนาว ในขณะที่ฤดูร้อนอุณหภูมิเมืองต่ำกว่าชนบทรอบเมืองมากที่สุด เท่ากับ 0.3 องศาเซลเซียส พบในเวลาเที่ยงวัน โดยในช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. ถึง 16.00 น เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิเมืองต่ำกว่าชนบทรอบเมือง อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูฝนพบว่าอุณหภูมิในเมืองสูงกว่าอุณหภูมิในชนบทรอบเมืองตลอด 24 ชั่วโมง หากพิจารณาความต่างของค่าเกาะความร้อนในรอบ 1 วัน พบว่า ฤดูหนาวมีความแตกต่างของอุณหภูมิของเมือง และชนบทรอบเมืองมากที่สุด โดยค่าความต่างเท่ากับ 2.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความแตกต่างของเกาะความร้อนในฤดูร้อน และฤดูฝน ในรอบ 1 วัน มีค่าเท่ากับ 1.8 องศาเซลเซียส และ 0.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 38)



ภาพที่ 38 แสดงความเข้มข้นของเกาะความร้อนในเวลา 24 ชั่วโมง ตามฤดูกาลของเมืองเชียงใหม่
ที่มา : วันเพ็ญ และคณะ (2553)

จารุวรรณ (2554) ได้ศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนและวิเคราะห์ปัจจัยการเกิดเกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่ โดยการตั้งสถานีวัดอุณหภูมิอากาศร่วมกับใช้รถยนต์เคลื่อนที่บนถนนสุเทพ (หลังมหาวิทยาลัยเชียงใหม่), ถนนช้างคลาน (ย่านไนท์บาร์ซ่า) และถนนนิมมานเหมินท์ เพื่อวัดอุณหภูมิและเปรียบเทียบอุณหภูมิกับสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอหางดง ในฤดูหนาว(กุมภาพันธ์ 2554) และฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม 2554) พบว่า พื้นที่ที่มีความเข้มของเกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island Intensity; UHII) เฉลี่ยสูงสุดคือถนนสุเทพ มีค่าเท่ากับ 1.56 องศาเซลเซียส แต่พบค่าความเข้มของเกาะความร้อนเมืองสูงสุดบริเวณถนนช้างคลาน มีค่าเท่ากับ 4.32 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของความเข้มของเกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่

	ถนนนิมมานเหมินท์	ถนนสุเทพ	ถนนช้างคลาน
Average	1.35	1.56	0.91
Maximum	3.23	2.5	4.32

ที่มา : จารุวรรณ (2554)

2.4 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองและภาวะโลกร้อน

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในพื้นที่ที่มีการพัฒนามากเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมในชนบท เกาะความร้อนเมืองเกิดจากการพัฒนา การเปลี่ยนแปลงในการแผ่รังสีและคุณสมบัติทางความร้อนของโครงสร้างพื้นฐานในเมือง และสิ่งปลูกสร้างซึ่งมีผลต่อสภาพอากาศ เช่น อาคารสูงสามารถชะลออัตราการระบายความร้อนของเมืองในเวลากลางคืน ปรากฏการณ์เกาะความร้อนยังได้รับอิทธิพลจากสภาพที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของเมือง รูปแบบสภาพอากาศในท้องถิ่น การเปลี่ยนแปลงรูปแบบกิจกรรมของมนุษย์ ฤดูกาล และการพัฒนาเมืองแบบกระจาย (Urban sprawl) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เกิดจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองจะมีขนาดเล็ก เช่น เมืองเป็นตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศท้องถิ่นที่เกิดจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง มีพื้นฐานแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะถูกจำกัดในขนาดของท้องถิ่นและความรุนแรงจะลดลงตามระยะทางของแหล่งที่มา การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Global climate changes) เช่น ที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของความรุนแรงของดวงอาทิตย์หรือความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) จะไม่ได้จำกัดอยู่เพียงท้องถิ่นหรือภูมิภาค การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ฝน ลม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจมีผลมาจากปัจจัย (อนุศาสน์, 2554) ดังต่อไปนี้

1) ปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น การเปลี่ยนแปลงความเข้มของดวงอาทิตย์หรือการผันแปรของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

2) กระบวนการทางธรรมชาติภายในระบบภูมิอากาศ เช่น การเปลี่ยนแปลงในการไหลเวียนของน้ำทะเลในมหาสมุทร

3) กิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การเผาขยะมูลฝอย และกระบวนการเป็นเมือง (Urbanization)

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมักถูกเรียกแทนกับคำว่า “ภาวะโลกร้อน” แต่ตามที่สถาบันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (Nation Academy of Sciences) คำว่า “การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ” นิยมนำมาใช้เรียก“ภาวะโลกร้อน” เนื่องจากจะสื่อถึงการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ นอกเหนือจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ปัญหาภาวะโลกร้อนคือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้พื้นผิวโลก และในชั้นต่ำสุดของบรรยากาศซึ่งสามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในสภาพภูมิอากาศโลก ภาวะโลกร้อนเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุทั้งทางธรรมชาติและเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ในการใช้คำว่า “ภาวะโลกร้อน” มักจะหมายถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ภาวะโลกร้อนถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลก ซึ่งมากับการเปลี่ยนแปลงในปริมาณฝน ระดับน้ำทะเลและอื่นๆ (อนุศาสน์, 2554)

2.4.1 ผลกระทบของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

เราอาจแบ่งผลกระทบจากการที่อุณหภูมิในเขตเมืองสูงขึ้นเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1) ผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน

จากการที่พื้นที่เมืองมีอุณหภูมิสูงขึ้นและลักษณะสภาพอากาศบริเวณศูนย์กลางเมืองไม่ก่อให้เกิดความรู้สบายของผู้อยู่อาศัยและทำกิจกรรมในพื้นที่เมือง ปัญหาดังกล่าวได้ก่อให้เกิดผลกระทบในระดับบุคคลอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลกระทบดังกล่าวมีความสัมพันธ์ต่อสุขภาพร่างกายของคนที่ดำเนินชีวิตอยู่ภายในเมืองอันก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพร่างกายและสุขภาพจิตใจ หากพิจารณาสภาวะปกติอุณหภูมิร่างกายมนุษย์จะอยู่ที่ระหว่างประมาณ 37-39 องศา-เซลเซียส ซึ่งตามปกติแล้วร่างกายจะรักษาอุณหภูมิทั่วตัวขณะสุขภาพดีโดยลดความร้อนที่เพิ่มขึ้นผ่านการมีเหงื่อไหล ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิรอบตัวสูงขึ้น ความสามารถของร่างกายในการควบคุมอุณหภูมิของตัวเองจะเสื่อมลงและทำให้ร่างกายอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถควบคุมสมดุลได้ ทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยต่างๆ ตามมา (ภาวิณี และคณะ, 2556) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กและผู้สูงอายุ ที่ผ่านมาในอดีตคลื่นความร้อนในเขตเมืองได้คร่าชีวิตคนไปแล้วจำนวนมาก เช่น เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 คลื่นความร้อนกระหน่ำตอนกลางของประเทศสหรัฐอเมริกา มีผู้เสียชีวิตรวมกันกว่าพันคน โดยเฉพาะในเมืองชิ

คาโกแห่งเดียวมีผู้เสียชีวิตรวม 465 คน อุณหภูมิที่สูงขึ้นในฤดูร้อนนี้จะเพิ่มอันตรายมากขึ้นหากความชื้นในอากาศมีสูง ซึ่งเป็นภาวะที่พบบ่อยในประเทศไทย (วิษณุ, 2556)

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงเป็นที่มาของคำว่า “ร้อนอบอ้าว” สาเหตุเกิดจาก การที่เหงื่อจะช่วยระบายความร้อนส่วนเกินออกไปจากร่างกาย แต่หมายความว่าอากาศจะต้องสามารถรับเอาปริมาณไอน้ำ (เหงื่อที่ระเหยออกไป) ไว้ได้ ยิ่งในอากาศมีความชื้นมากเท่าไรก็หมายความว่าอากาศมีความสามารถรับไอน้ำได้น้อยลง เมื่อร่างกายไม่สามารถขับเหงื่อออกจากร่างกายได้ ร่างกายก็มีความร้อนสูงซึ่งอันตรายมาก นอกจากอันตรายจากความร้อนโดยตรงแล้ว ผลกระทบต่อสุขภาพทางอ้อมอันเนื่องมาจากความร้อนที่สูงขึ้นยังทำให้ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซพิษต่างๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับของอุณหภูมิ ทำให้หมอกควันและโอโซน (ซึ่งเป็นก๊าซพิษ) มากขึ้น (อนุศาสน์, 2554)

อาการเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นกับประชาชนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้ดังนี้

1.1) อาการเจ็บป่วยทั่วไป

- ผื่นที่เกิดจากความร้อน เป็นการแพ้ทางผิวหนังที่เกิดโดยเหงื่อไหลมากเกินไป มีลักษณะเป็นตุ่มแดงเล็กๆ ที่ทำให้คันหรือเป็นเม็ดพองเล็กๆ ขึ้นตามหน้าคอ หน้าอก ตอนบนหรือใต้ราวนม บริเวณโคนขาพับหรือถุงอัณฑะ เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้แก่คนทุกวัย แต่โดยทั่วไปเกิดแก่เด็กเล็ก ผื่นที่เกิดจากความร้อนนี้เรียกกันว่า “ผด” ด้วย

- การเป็นตะคริวที่เกิดจากความร้อนเป็นอาการกระตุกของกล้ามเนื้อที่ทำให้เจ็บปวดตามปกติจะเกิดที่ท้องน้อย แขนหรือขา อาการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นหลังจากทำกิจกรรมที่ทำให้เหนื่อยมากในสิ่งแวด ล้อมที่ร้อน การเป็นตะคริวจากความร้อนเกิดขึ้นจากการขาดน้ำเพราะสูญเสียปฏิกิริยาอิเลคโทรไลท์จากมีเหงื่อไหลและความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ การเป็นตะคริวจากความร้อนอาจเป็นอาการของความอ่อนเพลียที่เกิดจากความร้อน

- โรคเครียด หงุดหงิด ปวดศีรษะ อาจดูเป็นเรื่องธรรมดาที่คิดว่าเกิดขึ้นได้กับทุกคน แต่ปัจจัยด้านอากาศที่ร้อนชื้น อาจทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ หงุดหงิด นอนไม่หลับ ฉุนเฉียว โมโหได้ง่ายขึ้น

1.2) อาการเจ็บป่วยที่ต้องการปฐมพยาบาล

- อาการหน้ามืดจากความร้อนและเป็นลมสืบเนื่องจากเลือดที่ไหลไปเลี้ยงสมองมีปริมาณลดลง ความร้อนเป็นสาเหตุให้เลือดไหลไปที่ผิวหนังเพิ่มขึ้นและไหลไปรวมที่ขา ซึ่งสามารถทำให้ความดันโลหิตตกลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความรู้สึกมึนศีรษะก่อนจะเป็นลม

1.3) อาการเจ็บป่วยรุนแรง

- อาการหน้ามืดวิงเวียนเป็นความฉุกเฉินทางการแพทย์และต้องการความดูแลอย่างรีบด่วน อาการหน้ามืดวิงเวียนเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิทั่วร่างกายสูงกว่า 40.5

องศาเซลเซียส และระบบต่างๆ ภายในร่างกายเริ่มไม่ทำงาน อวัยวะหลายส่วนในร่างกายเกิดปัญหาเนื้อเยื่อเสียหาย และอุณหภูมิร่างกายต้องลดลงอย่างรวดเร็ว อาการหน้ามืดวิงเวียนเป็นความฉุกเฉินทางการแพทย์ ซึ่งควรขอความช่วยเหลือทางการแพทย์โดยทันที โดยควรทำให้ผู้ป่วยตัวเย็นและให้การปฐมพยาบาล

2.4.2 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

การที่อุณหภูมิในเขตเมืองร้อนขึ้นทำให้ความต้องการด้านพลังงานเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อทำให้อากาศเย็นลง จากผลการศึกษาในเมืองแคลิฟอเนีย พบว่าทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 3% การใช้พลังงานมากขึ้นนอกจากจะหมายถึงการสูญเสียเงินตรามากขึ้นแล้ว ผลของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากน้ำมันหรือถ่านหินเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องมีการปล่อยสารก่อมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามไปด้วยจึงยิ่งซ้ำเติมปัญหามลพิษ ในอากาศให้รุนแรงมากขึ้นไปอีก นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา ในแมลงพาหะนำโรคบางชนิด เช่น ยุงอาจมีการแพร่พันธุ์มากขึ้น ซึ่งก็จะทำให้โรคระบาดบางชนิดควบคุมได้ยากขึ้นหรืออาจจะทำให้มีผู้ป่วยและเสียชีวิตเพิ่มขึ้นด้วย (อนุศาสน์, 2554)

2.5 สภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort)

ผลกระทบของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองร่วมกับการศึกษาสภาวะน่าสบายภายนอกอาคาร (Outdoor thermal comfort studies) จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกที่มีค่าสูงขึ้นทำให้การใช้พื้นที่ภายนอกอาคารลดลง ประชากรเกินครึ่งของประชากรโลกอาศัยอยู่ในเมืองโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ย่านใจกลางเมือง (Downtown areas) มีความเสี่ยงต่อสภาพอากาศที่รุนแรง จากสถานการณ์เหล่านี้จึงมีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ในการวางแผนและออกแบบเมือง (Urban planning and design) ปรับปรุงพื้นที่เหล่านี้ให้มีคุณภาพที่ดีต่อการอยู่อาศัยในพื้นที่เมือง ดังนั้นการศึกษาสภาพอากาศเฉพาะท้องถิ่น (Microclimate) ด้านความรู้สึกสบายเชิงความร้อนของประชาชนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมืองในเขตอากาศร้อนชื้น (Hot and Humid Climate) ที่มีการศึกษาประเด็นเหล่านี้น้อยมาก

ความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort)” ได้ให้คำนิยามจากสมาคมวิศวกรรมการปรับอากาศแห่งอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE) ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-92 (ASHRAE, 1992; สุรัตน์, 2550) หมายถึงสภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจต่อสภาวะอากาศแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายเชิงความร้อน

ความสบายเชิงความร้อนจะขึ้นอยู่กับตัวแปร 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ความเร็วลม (Air speed) อุณหภูมิการแผ่รังสี (Radiant temperature) ระดับกิจกรรม (Activity level) ที่ส่งผลต่ออัตราการเผาผลาญพลังงาน และระดับฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing insulation) (Fanger, 1970) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้นักวางแผนและนักออกแบบเมืองสามารถปรับเปลี่ยนและปรับปรุงพื้นที่เมืองได้ โดยการวางแผนและออกแบบเมืองที่เหมาะสมเพื่อให้คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายต่อการอยู่อาศัย ในพื้นที่ภายนอกและกึ่งภายนอกอาคารได้ จากการศึกษาของ Johansson et al. (2014) พบว่า ยังไม่มีเกณฑ์การประเมินที่ถูกกำหนดเพื่อใช้สำรวจสภาวะน่าสบายภายนอกอาคาร ที่ผ่านมาการศึกษาสภาวะน่าสบายภายนอกอาคาร นักวิจัยประยุกต์ใช้ดัชนีการประเมินสภาวะน่าสบายที่ออกแบบเพื่อสำรวจภายในอาคารเป็นหลัก และในปี ค.ศ. 2008 มาตรฐานแนวทางด้านวิศวกรรมประเทศเยอรมัน (German engineering guidelines VDI 3787) ได้พัฒนาดัชนีความสบายเชิงความร้อนที่เรียกว่า “อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET)” ขึ้นมาใช้ ในปัจจุบันตัวชี้วัดสำหรับการประเมินสภาวะน่าสบาย (Thermal comfort indices) ในงานวิจัยภายนอกอาคารใช้เกณฑ์การประเมิน “ค่าความสมดุลของอุณหภูมิร่างกาย” (Physiologically equivalent temperature, PET) มากที่สุด ตัวชี้วัดที่ถูกใช้รองลงมาคือ “ค่าอุณหภูมิตัวแทน” (Standard effective temperature, SET) และ “ค่าการโหวตเฉลี่ยของความรู้สึกเชิงความร้อน” (Predicted mean vote, PMV) การเปรียบเทียบความแตกต่างในการค่าตัวชี้วัด PET และ SET ตัวชี้วัดทั้งสองสามารถคำนวณได้จากค่าความสมดุลทางความร้อนของร่างกายกับสภาพแวดล้อม แต่สิ่งที่แตกต่างกันในการของตัวชี้วัดสองตัวนี้ คือ

1) การค่าการระเหยของเหงื่อทางผิวหนังและการถ่ายเทความร้อนที่ผิวหนัง โดยที่ SET จาก Gagge two-node model (Gagge, 1971) PET จาก the Munich Energy-balance Model for Individual (MEMI) (Höppe, 2002)

2) ลักษณะสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้ในการสร้างมาตรฐานทางสภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมจริงที่ใช้กำหนดค่าตัวชี้วัดใน SET มาจากค่าการระเหยของเหงื่อและค่าการถ่ายเทความร้อนทางผิวหนังซึ่งเป็นค่าเดียวที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % ในขณะที่ค่าการระเหยของเหงื่อ ค่าการถ่ายเทความร้อนทางผิวหนังและค่าอุณหภูมิร่างกายคนที่ใช้กำหนดตัวชี้วัดใน PET มีค่าที่แตกต่างกัน โดยค่าความชื้นของสภาพแวดล้อมที่ใช้ใน PET สมมติความดันของไอน้ำ (Vapor pressure) ในอากาศที่ 12 เฮกโตพาสคาล (hPa) (สุดารัตน์ และคณะ, 2558)

จากผลการเปรียบเทียบการนำตัวชี้วัดทั้งสองตัวไปใช้ประเมินค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิที่ผิวหนังเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ค่าต่างๆ พบว่า ค่าอุณหภูมิที่ผิวหนังสำหรับตัวชี้วัด SET จะ

มีความแปรปรวนสูงกว่าค่าอุณหภูมิที่ผิวหนังของตัวชี้วัด PET เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น สำหรับค่าPMV เป็นค่าที่ใช้ประเมินสภาวะน่าสบายเชิงอุณหภูมิโดยค่าความรู้สึกสภาวะน่าสบายถูกแบ่งเป็นช่วงการวัดเป็นระดับต่างๆ ปัญหาที่พบในการใช้ค่า PMV เพื่อศึกษาสภาวะน่าสบายภายนอกอาคาร คือ ค่า PMV ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ไม่ดีพอต่อการรับรู้ของคน (Chen et al., 2012; Höppe, 2002; Johansson et al., 2014) นอกจากนี้ตัวชี้วัด PMV และค่า PET ถูกสร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่การแลกเปลี่ยนพลังงานของร่างกายที่สภาวะคงที่ดังนั้นการทดสอบค่าตัวชี้วัดดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมในการนำไปประเมินสภาวะน่าสบายในช่วงระยะเวลาที่สั้น (Johansson et al., 2014)

City and climate	Urban area	Season	Survey method	Thermal comfort assessment	Analysis method	Behaviors	Factors determining comfort	Levels of consideration	Source
Cambridge, UK; Temperate	Open spaces	Spring, summer, winter	Interview, attendance counting	PMV/PPD	Regression, frequency distribution	Attendance	Environmental stimulation, thermal history	Physical, physiological, psychological	Nikolopoulou, Baker, and Steemers (2001)
Montreal, Canada; Temperate	Plazas, public squares	Spring, summer, autumn	Observation, presence counting	No	Multiple regression, ANOVA test	Sitting, standing, smoking	Temperature, sun	Climatic	Zacharias, Stathopoulos, and Wu (2001)
Gothenburg, Sweden; Temperate	Urban park	Summer, autumn	Interview, questionnaires, vote	PMV	Regression, frequency distribution	Stay and rest	Microclimatic condition, thermal expectation	Physical, physiological, psychological	Thorsson, Lindqvist, and Lindqvist (2004)
Kassel, Germany; Temperate	Open spaces near a bistro	Spring, summer	Observation, presence counting	PET	Regression	Attendance	Temperature, solar radiation, wind speed, expectation	Physiological, expectation	Katzschner (2006)
Satellite city of Tokyo, Japan; Temperate	Park, square	Spring	Interview, questionnaires, unobtrusive observation	PET	Frequency distribution, regression	Various	Weak relation	Physiological, social	Thorsson et al. (2007)
Athens, Greece; Temperate	Neighborhood square, seashore place	Four seasons	Interview, questionnaires, observation	No	Regression	Presence, sitting	Temperature, solar radiation	Meteorological, social,	Nikolopoulou and Lykoudis (2007)
Gothenburg, Sweden; Temperate	Square, park, courtyard, plaza	Four seasons	Observation, interview	No	Multiple regression	Attendance, various behaviors	Clearness, temperature, wind speed	Meteorological, functional, psychological	Eliasson et al. (2007)
Taichung, Taiwan; Subtropical	Public square	Four seasons	Observation, questionnaires	PET	Regression	Attendance	Temperature, solar radiation	Physiological, psychological, behavioral	Lin (2009)

ภาพที่ 39 แสดงงานวิจัยที่ใช้เกณฑ์การประเมินสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคาร ที่ได้รับอิทธิพลจากรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา
ที่มา : Chen et al. (2012)

การศึกษาสภาวะน่าสบายภายนอกอาคารมีความซับซ้อนมากกว่าการสำรวจสภาวะน่าสบายภายในอาคาร เนื่องจากสภาวะน่าสบายภายนอกอาคารเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ค่าความเร็วลม และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ การเลือกตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือในการตรวจวัดสภาพอากาศควรคำนึงถึงการป้องกันไม่ให้เครื่องมือได้รับแสงแดดหรือโดนฝนโดยตรง ความร้อนจากดวงอาทิตย์สามารถส่งผลต่อการอ่านค่าของตัวเซนเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นซึ่งก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ ISO 7726 (1998) กำหนดระยะความสูงที่ติดตั้งเครื่องมือควรอยู่สูงจากระดับพื้นดินที่ 0.6 เมตรสำหรับการนั่ง และที่ระดับ 1 เมตรสำหรับการยืนของคน (Johansson et al., 2014) ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน(Mean Radiant Temperature, T_{mrt}) เป็นตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาสภาวะน่าสบาย การหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (T_{mrt}) มีสองวิธี คือ

1) การค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่พื้นผิวโดยรอบและค่ามุมองศาของคนที่กระทำกับพื้นผิวนั้นๆ แสดงในสมการที่ 1

2) การค่าจากการใช้เครื่องมือวัด Globe thermometer แสดงในสมการที่ 3

ในสมการที่ 1 การค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนหาได้จากความสัมพันธ์ของระยะมุมองศาที่คนกระทำกับพื้นผิวใดๆ และค่าอุณหภูมิที่พื้นผิวนั้น โดยคนที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวจะรู้สึกร้อนกว่าคนที่ยืนอยู่ห่างจากพื้นผิว ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างคนกับพื้นผิวเท่ากันคนที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวที่มีค่าอุณหภูมิสูงจะรู้สึกร้อนกว่ายืนอยู่ใกล้กับพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การวัดค่าอุณหภูมิที่พื้นผิวสามารถใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal infrared camera) เพื่อใช้วิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมต่อความรู้สึกสบายของคนในสภาพแวดล้อมนั้น (Kataoka et al., 2009) สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนโดยใช้ Globe thermometer ในสมการที่ 3 ตัว globe สีดำในการค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Tmrt) (Johansson et al., 2014)

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\left(S_{srt}/\left(\varepsilon_p \sigma\right)\right)} - 273.15 \qquad \text{Eq. 1}$$

$$S_{str} = \alpha_k \sum_{i=1}^{6} K_i F_i + \alpha_p \sum_{i=1}^{6} L_i F_i \qquad \text{Eq. 2}$$

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273.15)^4 + \frac{1.335 \times 10^8 V_a^{0.71}}{\varepsilon D^{0.4}}\left(T_g - T_a\right)\right]^{1/4} - 273.15 \qquad \text{Eq. 3}$$

เมื่อ T_{mrt} คือ ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (K^{-4}), S_{str} คือ ค่ารังสีความร้อนที่ถูกดูดซับทางผิวหนัง $(W.m^{-2})$, ε_p คือ ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนของร่างกายคน (มีค่าเท่ากับ 0.97), σ คือ ค่าคงที่ Stefan–Boltzmann (5.67×10^{-8} $W.m^{-2}.K^{-4}$)., K_i คือ ค่ารังสีความร้อนช่วงคลื่นสั้น โดยที่ i = 1-6 ($W.m^{-2}$), F_i คือ ค่ามุมองศาที่คนกระทำกับพื้นผิวใดๆ โดยที่ i = 1-6 ($W.m^{-2}$), α_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนสำหรับการแผ่รังสีความร้อนช่วงคลื่นสั้น (มีค่าเท่ากับ 0.7) (สุดารัตน์ และคณะ, 2558)

นอกจากอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน และความเร็วลม เป็นปัจจัยสำคัญต่อการศึกษาสภาวะน่าสบายภายนอกอาคาร การวัดค่าความเร็วลมภายนอกอาคารเป็นเรื่องยากกว่าการวัดความเร็วลมภายในอาคาร เนื่องจากลมสามารถเปลี่ยนทิศทางและความเร็วได้ตลอดเวลา ดังนั้นการวัดทิศทางลมควรใช้เครื่องมือที่สามารถวัดทิศทางและความเร็วลมได้ในระดับ 3 มิติและมีการให้ค่าข้อมูล (Response time) อย่างรวดเร็ว เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมในปัจจุบันมีข้อจำกัดของช่วงสเกล (Scale) ในการอ่านค่าความเร็วลมทำให้ผลของค่าความเร็วลมที่ได้มีค่าความแปรปรวน

(Uncertainty) สูง ซึ่งทำให้เกิดค่าความผิดพลาด (Error) ในการวิเคราะห์ค่าสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคารนอกจากวิธีการใช้เครื่องมือวัดค่าความเร็วลมในสถานที่จริงแล้ว หลายงานวิจัยใช้โปรแกรมการพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics, CFD) เพื่อศึกษาความเร็วลมและทิศทางลมภายในเมืองที่ส่งผลต่อความน่าสบาย (Blocken et al., 2012; Yoshie et al., 2007) การใช้โปรแกรม CFD สามารถช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือวัดค่าความเร็วลมในสถานที่จริง หลายงานวิจัยได้พิสูจน์ให้เห็นว่าผลการจำลองของโปรแกรม CFD ให้ค่าใกล้เคียงกับผลจากการทดลองในที่จริงซึ่งสามารถยอมรับได้ (Huang et al., 2005; Mochida et al., 2008) สำหรับการศึกษารูปแบบและทิศทางลมที่เกิดขึ้นในระดับทางเดินเท้า (Pedestrian level) Ranolds-Averaged Navier-Stokes (RANs) กับ $k-\varepsilon$ turbulence โมเดลถูกใช้มากที่สุด (Moonen et al., 2012) อย่างไรก็ตามการจำลองโดยใช้โปรแกรม CFD ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความแม่นยำ (Accuracy) ของผลการจำลอง เนื่องจากการสร้างเงื่อนไขสำหรับการตั้งค่าในโมเดล ดังนั้นการใช้ CFD เพื่อวิเคราะห์ผลจำเป็นต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ (Calibration) ของค่าตั้งต้นและทำการเปรียบเทียบ (Validation) ผลการจำลองให้ได้ค่าใกล้เคียงกับผลที่เก็บจากการสำรวจในพื้นที่ใช้งานจริง (Chen et al., 2002)

2.6 การศึกษาสภาพภูมิอากาศเมืองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

การศึกษาสภาพภูมิอากาศเมืองด้วยการลงพื้นที่ศึกษาจะมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศเมืองมีหลายตัวแปร อีกทั้งปัจจัยด้านกายภาพของพื้นที่ศึกษา รวมถึงเครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยามีราคาแพง ปัจจุบันการศึกษาสภาพภูมิอากาศเมืองด้วยการสร้างแบบจำลอง (Model) ทางคอมพิวเตอร์ (Arnfield, 2003 ; Santamouris, 2016) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและได้รับการยอมรับในหลายๆประเทศ โดยเฉพาะประเทศในแถบทวีปยุโรปและทวีปอเมริกา แบบจำลองนั้นจะถูกสร้างขึ้นจากซอร์ฟแวร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้อัลกอริทึมทางคณิตศาสตร์ (Huttner S., 2012) ในบางซอร์ฟแวร์สามารถจำลองปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศเมือง หรือในบางซอร์ฟแวร์สามารถจำลองสภาพบรรยากาศ มลภาวะ หรือสิ่งแวดล้อมในระดับย่านได้ (EPA, 2015) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ และเพื่อหาแนวทางป้องกันหรือมาตรการแก้ไขปัญหาสภาพบรรยากาศและสิ่งแวดล้อมภายในเมืองอย่างเหมาะสมต่อไป

จากการตื่นตัวกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ทำให้ในปัจจุบันมีการสร้างซอร์ฟแวร์เพื่อศึกษาสภาพอากาศในระดับเมืองและระดับย่านเป็นจำนวนมาก ทั้งจากหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านสิ่งแวดล้อมในหลายๆประเทศ นักวิชาการที่ศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ หรือแม้กระทั่งบริษัทเอกชน ส่งผลให้ซอร์ฟแวร์แต่ละตัวมีความสามารถที่เฉพาะตามแต่วัตถุประสงค์ของผู้พัฒนา ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนความสูงของอาคาร

ต่อความกว้างถนน และรูปแบบการเรียงตัวของอาคาร ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลานโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยจึงได้ตรวจเอกสารเกี่ยวกับซอร์ฟแวร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษา ดังนี้

2.6.1 โปรแกรม ENVI-met 4.0

ENVI-met Simulation model ซอร์ฟแวร์จำลองสามมิติ ENVI-Met (Bruse et al., 1998) เริ่มพัฒนาในปี 1995 โดย Michael Bruse ณ. Ruhr-University Bochum, Germany ENVI-met เป็นฟรีแวร์ (เวอร์ชั่น 4 Beta) ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 32 bits สำหรับการศึกษาด้านสถาปัตยกรรม การออกแบบอาคารสมัยใหม่ ภูมิสถาปัตยกรรม และจำลองสภาพอากาศจุลภาคของเมือง (ENVI-Met, 2015) รวมถึงปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยาที่เกิดขึ้นในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง(Urban Canopy Layer : UCL) และชั้นเหนือเรือนยอดของเมือง (Urban Boundary Layer : UBL) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Erell et al., 2014; Huttner S., 2012) ในปี 2010 มีผู้ลงทะเบียนเข้าใช้งาน ENVI-met มากกว่า 1,700 คน ทั่วโลก และถูกใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับภูมิอากาศเมืองในหลายๆ ประเทศ เช่น เมืองเทรียร์ ประเทศเยอรมัน (Trier, Germany), เมืองลิสบอน ประเทศโปตุเกส (Lisbon, Portugal), กรุงไคโร ประเทศอียิปต์ (Cairo, Egypt), เมืองเซาเปาโล ประเทศบราซิล (Sao Paulo, Brazil), ประเทศสิงคโปร์(Singapore), และเมืองโคลัมโบ ประเทศศรีลังกา (ColomboSri, Lanka) เป็นต้น (Huttner S., 2012)

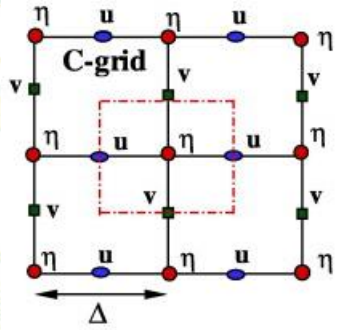
โปรแกรม ENVI-Met ทำงานโดยใช้หลักการอุณหพลศาสตร์พื้นฐานและการถ่ายเทความร้อน (The fundamentals of thermodynamics and heat transfer หรือ CFD (Computational Fluid Dynamics)) (Ng et al., 2012; Shahidan et al., 2012; Wong et al., 2007) ซึ่งต้องประกอบด้วยนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศของพื้นที่ในวันและช่วงเวลาที่ศึกษา ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความเร็วลม (Wind speed) ทิศทางลม (Wind Velocity) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) อุณหภูมิดิน (ความลึก 3 ระดับ) (Soil Temperature profile) และลักษณะกายภาพของพื้นที่ศึกษา เช่น อาคาร (Building) วัสดุอาคาร (Building material) พื้นผิวปกคลุมดิน (Ground surface) ต้นไม้ (tree) แหล่งน้ำ (Water surface) และฐานข้อมูลของโปรแกรม (Database) เพื่อจำลองสภาพภูมิอากาศให้เหมือนหรือใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด (Chen et al., 2012) หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองมาปรับเทียบกับค่าข้อมูลที่ตรวจวัดมาจากพื้นที่ศึกษา (Site measurement) โดยสามารถใช้วิธีทางสถิติหาค่าสัมประสิทธิ์ (The coefficient of determination), ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (the Root Mean Square Error), ค่า R2 (R-Squared) และค่า *d* (The Willmott's index of agreement) เพื่อเปรียบเทียบ (Calibration)

และตรวจสอบ (Validation) ความถูกต้องของแบบจำลองด้วย และสามารถนำไปวิเคราะห์ค่าสภาวะความสบายเชิงความร้อน (outdoor thermal comfort) ได้

โปรแกรม ENVI-Met ได้แบ่งออกเป็น 2 เวอร์ชั้น คือ เวอร์ชั้นสำหรับผู้เชียวชาญ (Expert version) สำหรับผู้พัฒนาและภาคธุรกิจ ซึ่งจะมีค่าลิขสิทธิ์ในการใช้งานโปรแกรม และเวอร์ชั้นพื้นฐาน (Basic version) ซึ่งเป็นฟรีแวร์ แต่จะจำกัดการใช้งานในบางคำสั่ง

1) การคำนวณความความแตกต่างของสภาพอากาศโปรแกรม ENVI-Met

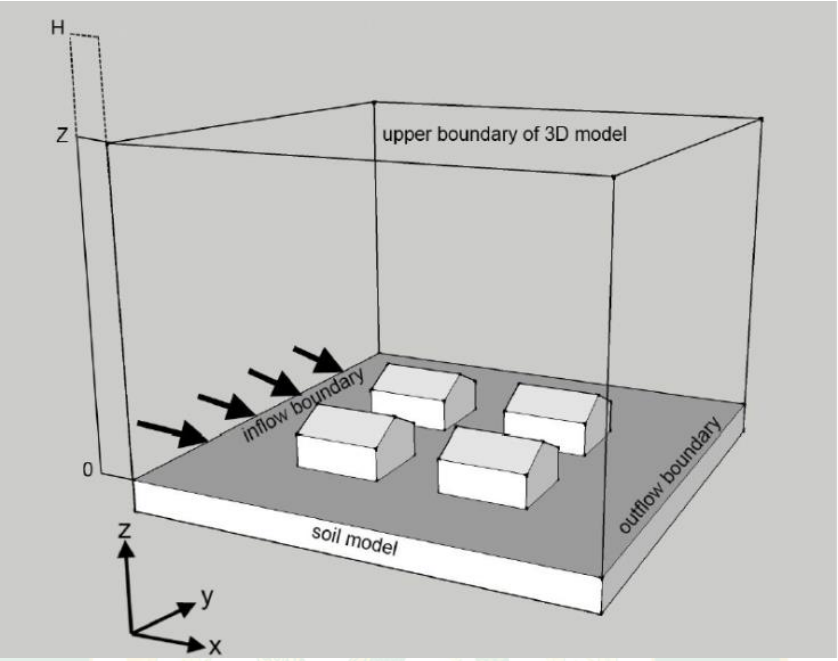
โปรแกรม ENVI-Met ใช้การนำเข้าข้อมูลรูปแบบกริด (Grid) 3 มิติ และใช้เทคนิคการแบบ Arakawa C-grid เพื่อคำนวณสภาพอากาศของแต่ละกริดในแบบจำลอง และแก้ไขสมการเชิงอนุพันธ์บางส่วนของแบบจำลองด้วยวิธี the Finite Difference Method (FDM) (ENVI-Met, 2015) (ภาพที่ 40)



ภาพที่ 40 แสดงรูปแบบการคำนวณความต่างเชิงปริมาณของมุมฉากแบบ Arakawa C-grid
ที่มา : Arakawa et al. (1977)

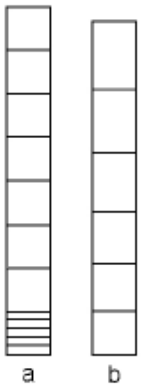
โปรแกรม ENVI-Met จะประกอบด้วยแบบจำลองย่อย ทั้งหมด 3 แบบจำลอง ซึ่งจะมีการประมวลผลที่เกี่ยวโยงต่อกัน ประกอบด้วย ขอบแบบจำลอง 1 มิติ (1 Dimension: Boundary model), แบบจำลองสภาพอากาศ 3 มิติ (3 Dimension: Atmospheric model) และ แบบจำลองดิน 3มิติ/1มิติ (3 Dimension/1 Dimension soil model) (ภาพที่ 41) ขอบแบบจำลอง 1 มิติจะใช้สำหรับเป็นค่าสภาวะแวดล้อมเริ่มต้นของแบบจำลองและกำหนดขอบเขตของรูปแบบบรรยากาศ 3 มิติ เริ่มจากระดับพื้นผิวดิน (z = 0) ถึงความสูง H = 2500 เมตรเหนือระดับพื้นดิน โดยพื้นที่แบบจำลองสามมิติถูกกำหนดเป็นกริดเซลล์ตารางสี่เหลี่ยมผืนผ้า (I x J x K) ดังสมการ $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z$ โดยพื้นที่ในแนวราบ Δx และ Δy เป็นค่าคงที่ของกริดเซลล์ และระยะห่างแนวนอนของกริดเซลล์ Δz สามารถตั้งค่าได้แบบคงที่หรือแบบ telescoping ได้ ในแนวตั้งทุกกริดเซลล์จะมีความสูงเท่ากัน Δz ยกเว้นกริดเซลล์ล่างสุด ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 5 กริดเซลล์ย่อย ดังนั้นกริดเซลล์ย่อยแนวตั้งเหล่านี้มีจะมีค่าเท่ากับ $0.2 \cdot \Delta z$. เนื่องจากกริดเซลล์ดังกล่าวอยู่ติดกับแบบจำลองดิน ซึ่งจะมีกระบวณการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างบรรยากาศและพื้นดิน ที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อภูมิอากาศ

จุลภาค เพื่อให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ในกรณีของกริด telescoping จะเพิ่มความสูงของกริดเซลล์ Δz ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองมีความสูงเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 42) (Huttner S., 2012)



ภาพที่ 41 แสดงรูปแบบการจำลองสภาพภูมิอากาศของโปรแกรม ENVI-Met
ที่มา : Huttner S. (2012)

แบบจำลองดินนั้นจะถูกใช้เพื่อคำนวณอุณหภูมิ การสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ กริดเซลล์จะมีจำนวนเท่ากับ I x J x N โดย N คือ กริด telescoping จำนวน 14 กริดเซลล์ ลึกลงไปจากระดับพื้นผิวดิน 1.75 เมตร การอุณหภูมิ และการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ จะคำนวณในแนวแกน Z (Z-axis) เท่านั้น จากเหตุผลดังกล่าวนี้ แบบจำลองดินจึงถูกกำหนดให้เป็น แบบจำลอง 1 มิติ ถึงแม้จะมีลักษณะเป็น 3 มิติก็ตาม



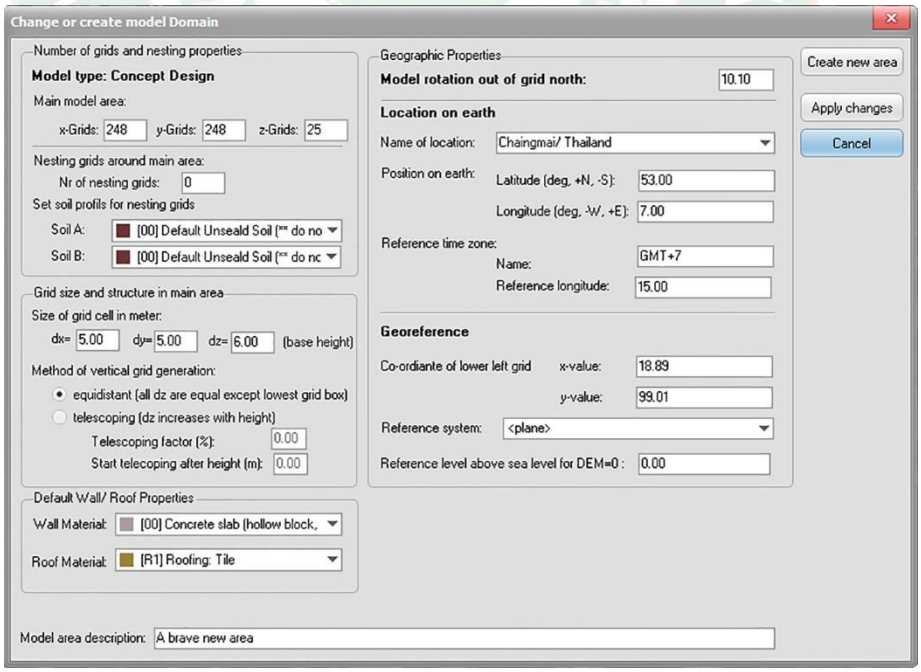
ภาพที่ 42 แสดงรูปแบบกริดเซลล์ในแนวตั้ง a) กริดเซลล์ telescoping b) เซล์ขนาดคงที่
ที่มา : Huttner S. (2012)

2) การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรมจำลอง ENVI-met

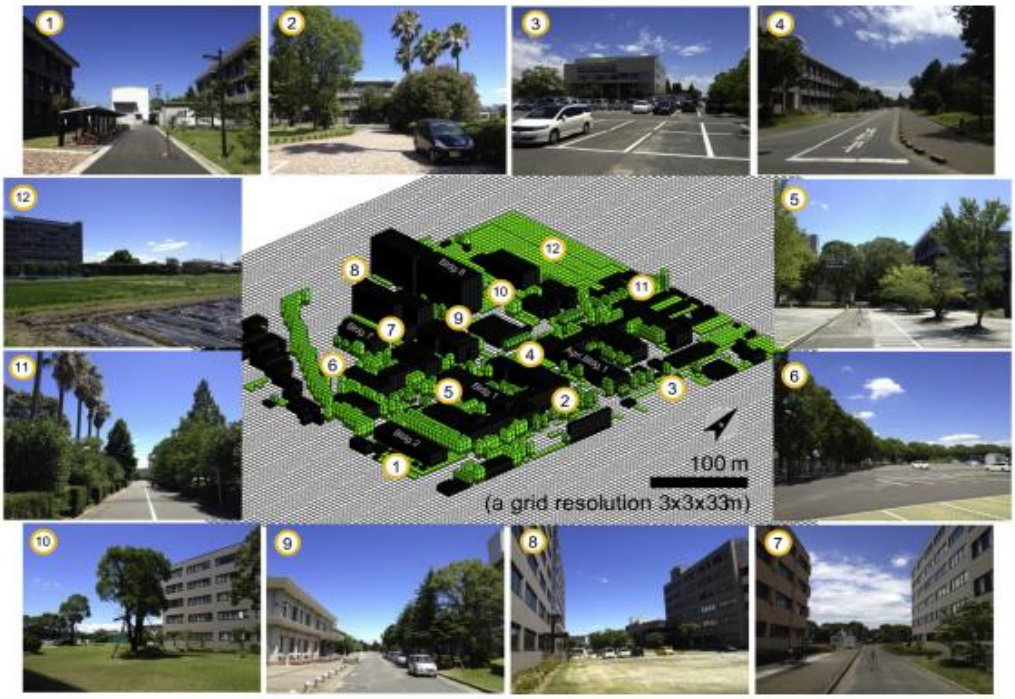
การสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในโปรแกรม ENVI-Met นั้นจะประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน คือ ข้อมูลลักษณะกายภาพของพื้นที่ศึกษา (Area Input File), ข้อมูลการตั้งค่าสภาพแวดล้อมเริ่มต้น (Configuration File) และฐานข้อมูล (Database)

2.1) การนำเข้าข้อมูลลักษณะกายภาพของพื้นที่ศึกษา (Area Input File) การนำเข้าข้อมูลลักษณะกายภาพของพื้นที่ศึกษานั้นจะสร้างขึ้นบนโมดูล์ Space จะเป็นการสร้างสภาพของพื้นที่ศึกษา เช่น อาคาร(รูปทรง และความสูง) ถนน(ความกว้าง และวัสดุ) ชนิดพื้นผิวปกคลุม รวมไปถึงต้นไม้ ในขั้นตอนนี้สามารถนำภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งการสร้างแบบจำลองได้ (Huttner S., 2012; Salata et al., 2016)

การตั้งค่า (File header) เป็นขั้นตอนการกำหนดขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูงของกริดเซลล์ รวมถึงกำหนดขนาดของแบบจำลอง สามารถรองรับแบบจำลองสูงสุดขนาด 250 X 250 X 30 กริดเซลล์ และกำหนดแกนพิกัดบนพื้นโลก (The coordinate axes) (ภาพที่ 43) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าแบบจำลองควรมีการขยายพื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษาออกไปอย่างน้อย 1 เท่า เพื่อลดความแปรปรวนของบริเวณขอบแบบจำลอง และวิเคราะห์ผลกระทบจากพื้นที่ใกล้เคียงที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษาด้วย เพื่อให้การประมวลผลที่ถูกต้องที่สุด (Srivanit et al., 2013) (ภาพที่ 44)

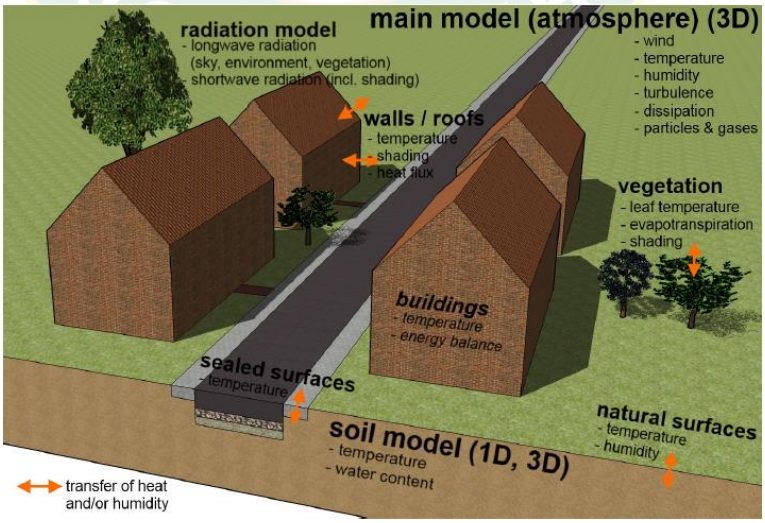


ภาพที่ 43 แสดงการตั้งค่า(File header) เพื่อสร้างลักษณะกายภาพของพื้นที่ศึกษาบนโมดูล์ Space
ที่มา : ENVI-Met (2015)



ภาพที่ 44 ตัวอย่างการจำลองสภาพของเมือง ในโปรแกรม ENVI-met
ที่มา : Srivanit et al. (2013)

2.1.1) การสร้างลักษณะทางกายภาพของแบบจำลอง (Model physics) ในการศึกษาสภาพภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ มีตัวแปรที่มีอิทธิผลต่อการประมวลผล (Bruse et al., 1998) ดังภาพที่ 45 สำหรับตัวแปรแต่ละตัวนั้นมีสมการย่อยเพื่อการคำนวณค่าที่ต่อเนื่องกันในทุกๆกริดเซลล์



ภาพที่ 45 แสดงตัวแปร และสมการย่อยของโปรแกรม ENVI-Met
ที่มา : Huttner S. (2012)

(1) อาคารและแผงพลางแสง (Building and Facade)

การจำลองสภาพภูมิอากาศจุลภาคของเมืองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นมีจำเป็นต้องวิเคราะห์อิทธิพลของอาคารที่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศ (Ali-Toudert et al., 2006) ขนาดและรูปทรงของอาคารจะมีอิทธิพลต่อการไหลเวียนของกระแสลมในเขตเมือง การได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงวันของถนน และส่งผลอย่างมากต่อความสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ นอกจากนั้นสีและพื้นผิวของอาคารยังมีการดูดซับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ และปลดปล่อยความร้อนออกสู่พื้นที่ข้างเคียงด้วย ซึ่งโครงสร้างและวัสดุของแผงพลางแสงเป็นสิ่งที่ส่งผลต่อปริมาณการสะสมความร้อน และถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

ในโปรแกรม ENVI-Met เวอร์ชั้น 4.0 นั้นจะคำนวณอุณหภูมิของพื้นผิวนอกอาคาร อุณหภูมิพื้นผิวหลังคา บนพื้นฐานของสมดุลพลังงานในสภาวะที่คงที่(simple steady-state energy balance.) โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของอัตราส่วนรังสีสะท้อน (albedo) สภาพการเปล่งรังสี (emissivity) และค่า U-value ในกรณีการถ่ายเทความความร้อนระหว่างอาคารกับอากาศโดยรอบ ก็มีรูปแบบการคำนวณในลักษณะเดียวกัน ดังสมการที่ 4

$$Q_{sw,net}^{abs} + Q_{lw,net}^{abs} - \varepsilon f \sigma T_w^4 - C_P \rho_w K_h^w \frac{T_w - T_{w+1}}{Dx} - \frac{\lambda_w}{d(T_w - T_{w,i})} = 0 \qquad \text{Eq. 4}$$

ที่มา : (Huttner S., 2012)

$Q_{sw,net}^{abs}$ และ $Q_{lw,net}^{abs}$ คือ การดูดซับรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาว $[W_{m^{-2}}], \varepsilon_f$ คือ สภาพการเปล่งรังสี(%) ของส่วนหน้าของอาคาร

σ คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนในสภาวะคงที่ ของกฎสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ (The Stefan-Boltzman constant) มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} w/m^2.K^4$ (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2555)

T^w คือ อุณหภูมิของส่วนหน้าอาคาร หน่วยเป็น เคลวิน (Kelvin : K)

C_p คือ ปริมาณความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ $(1200[j(kgK)^{-1}])$

ρ_w คือ ความหนาแน่น $[kgm^{-3}]$ ของส่วนหน้าอาคาร

K_h^w คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน $[m^2 s^{-1}]$ บริเวณผนังอาคารและหลังคา

T_{w+1} คือ อุณหภูมิอากาศ (*K*) ที่กริดเซลล์ถัดจากส่วนหน้าของอาคาร

D_x คือ ระยะ(m)ระหว่างส่วนหน้าอาคารถึงจุดศูนย์กลางของกริดเซลล์ถัดไป

λ_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน $[\mathrm{W}(m^2K)^{-1}]$ ของผิวหน้าอาคาร

$T_{w,i}$ คือ อุณหภูมิ(*K*) ของพื้นผิวด้านในของผนัง

การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผนังด้านนอกและด้านในจะถูกควบคุมด้วยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน $\lambda_w.\lambda_w$ ซึ่งมีค่าไม่เท่ากับ U-value (การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศ

ภายในกับภายนอก และยังรวมถึงความต้านทานการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวที่ติดกับชั้นอากาศทั้งภายในและภายนอกด้วย) โดยอุณหภูมิภายในอาคารจะมีค่าคงที่ และผนังด้านมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศภายในอาคาร ดังนั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนจะขึ้นอยู่กับการไล่ระดับอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนังหรือส่วนหลังคาเท่านั้น

เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิของส่วนหน้าอาคารที่แม่นยำมากขึ้น ถึงแม้ว่าคุณสมบัติของการกักเก็บความร้อนของวัสดุจะไม่ถูกนำมาในสมการ จึงมีการชดเชยค่ารังสีคลื่นสั้น $Q_{sw,net}^{abs}$ ที่ถูกดูดซึมเข้ามาด้วยผนัง ให้มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าที่แท้จริง สำหรับหลังคาซึ่งมีความสามารถในการเก็บความร้อนที่ต่ำกว่าผนังมากจึงไม่มีค่าการดูซับรังสีคลื่นสั้น

การปริมาณการคำนวณดูดซับรังสีคลื่นยาว $Q_{lw,net}^{abs}$ สำหรับผนังหรือกำแพง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 นี้

$$Q_{lw,net}^{abs} = \varepsilon_f\,((1-svf)\left(\frac{1}{3}\,Q_{lw,ground} + \frac{2}{3}Q_{lw,buildings}\right) + svf\left(\frac{1}{2}\,Q_{lw,sky} + \frac{1}{2}Q_{lw,ground}\right)) \quad \text{Eq. 5}$$

และหลังคา ดังสมการที่ 6 นี้

$$Q_{lw,net}^{abs} = \varepsilon_f((1-svf)Q_{lw,buildings} + svf\,Q_{lw,sky}) \quad \text{Eq. 6}$$

ที่มา *: (*Huttner S., 2012*)*

svf คือ ปัจจัยการมองบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) สามารถได้จากสัดส่วนการบดบังของอาคารต่อการเปิดมุมมองสู้ท้องฟ้าในตำแหน่งเซลล์กึ่งกลางระหว่างอาคาร

$Q_{lw,ground}$ คือ รังสีคลื่นยาวที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นดิน

$Q_{lw,buildings}$ คือ รังสีคลื่นยาวที่ถูกปล่อยออกมาจากอาคารอื่นๆ

$Q_{lw,sky}$ คือ รังสีคลื่นยาวจากชั้นบรรยากาศ

สำหรับการคำนวณรังสีคลื่นยาวที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นผิวปกคลุมดินและอาคาร สามารถหาได้จาก ค่าเฉลี่ยรวมของพื้นผิวปกคลุมดิน / อุณหภูมิองค์ประกอบส่วนหน้าของอาคาร ภายในแบบจำลองของพื้นที่ศึกษาสามารถได้จากสมการที่ 7

$$Q_{lw,ground} = \varepsilon_g\sigma\overline{T_g^4} \quad \text{และ} \quad Q_{lw,buildings} = \varepsilon_g\sigma\overline{T_f^4} \quad \text{Eq. 7}$$

และรังสีคลื่นยาวที่มาจากชั้นบรรยากาศ ($Q_{lw,sky}$) สามารถคำนวณจากอุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์ และจากการตั้งค่า Parameters ของแบบจำลอง

จากสมการที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้น ยังมีข้อบกพร่องในบางประการ เช่น ขาดการคำนวณการเก็บกักความร้อนของผนังหรือหลังคา อันเนื่องมาจากสองสาเหตุ คือ 1.เมื่อแสงแดดสัมผัสกับผนังและหลังคา จะได้รับรังสีคลื่นสั้นโดยตรง ส่งผลให้อุณหภูมิของผนังและหลังคาเพิ่มสูงขึ้นมากเกินไป

เมื่อผนังและหลังคาไม่ถูกแสงแดดอุณหภูมิก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการปลดปล่อยพลังงานจากอาคารออกสู่ชั้นบรรยากาศในเวลากลางคืน เป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองจึงไม่สามารถจำลองได้ ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวของข้อแรกนั้นสามารถทำได้โดยการการได้รับปริมาณรังสีคลื่นสั้น $Q_{sw,net}^{abs}$ จากแสงแดดเพียง 50% เท่านั้น

(2) กระแสลม (Wind flow)

การเกิดลมและการเคลื่อนที่ของลมเป็นผลมาจากความแตกต่างของความกดอากาศซึ่งสามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีทางฟิสิกส์ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับความทรงตัวของสภาพอากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิ สิ่งกีดขวาง และสภาพความขรุขระของผิวพื้นการจำลองทิศทางและความเร็วลม ในโปรแกรม ENVI-Met สามารถโดยใช้สมการ The three-dimensional non-hydrostatic Navier-Stokes ต่อไปนี้

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \acute{p}}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(K_m\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_m\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}(K_m\frac{\partial u}{\partial z}) +f\left(v-v_g\right)-S_u(x,y,z) \quad \text{Eq. 8}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \acute{p}}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(K_m\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_m\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}\left(K_m\frac{\partial v}{\partial z}\right) +f(u-ug)-\mathrm{Sv}(x,y,z) \quad \text{Eq. 9}$$

$$\frac{\partial w}{\partial \mathrm{t}}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}= -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \acute{p}}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial x}\left(K_m\frac{\partial w}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_m\frac{\partial w}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_m\frac{\partial w}{\partial z}\right) -S_w(x,y,z) \quad \text{Eq. 10}$$

$\acute{p}$ คือ ความกดอากาศในพื้นที่ศึกษา และ K_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนภายในพื้นที่ศึกษา u_g และ v_g เพื่ออธิบายการม้วนตัวของลมในระดับใกล้พื้นผิวและการต้านทานจากแรงอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมุนของโลก เรียกว่า แรงคอริออลิส (Coriolis Force) สามารถเขียนสมการแรงของคอริออลิส ได้ดังนี้ $f = 2\Omega \sin \phi$ เมื่อ $\Omega = 7 \cdot 10^{-5} s^{-1}$ คือ ความเร็วของการหมุนของโลก และ ϕ คือ ตำแหน่งละติจูด (Latitude) ของแบบจำลอง โดยในโปรแกรม ENVI-Met การค่าคอริออลิสจะถูกปิดการใช้งานเป็นค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง

S_u, S_v และ S_w ลักษณะกายภาพของพื้นที่ ที่มีอิทธิพลต่อการไหลของลม เช่น พืชพรรณต่างๆ หรือสิ่งกรีดขวางที่อากาศสามารถผ่านได้บางส่วน เมื่ออากาศไหลผ่านสิ่งกีดขวางที่มีช่องว่างจะเกิดความกดอากาศไล่ระดับไปตามทิศทาง i การไหลของลม u_i ($u_i = u, v, w$ และ $i = 1,2,3$) ที่ถูกกำหนดขึ้น อิทธิพลการไล่ระดับความกดอากาศของลมสามารถอธิบายได้ ดังนี้

$$S_{u_i}(x,y,z) = \overline{\frac{\partial_{p''}}{\partial_{x_i}}}\Big|_p = c_{d,p} LAD(x,y,z) u_i W(x,y,z) \qquad \text{Eq. 11}$$

LAD คือ ความหนาแน่นของใบไม้ (m^2/m^3)

$c_{d,p}$ คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านเชิงกลของใบไม้ (ถูกกำหนดค่า = 0.2) โดยใช้ทฤษฎีการประมาณของบุสสิเนส (The Boussinesq-approximation) เพื่อลดความหนาแน่น ใช้ค่า p จากสมการนาเวียร์-สโตกส์ (The Navier-Stokes) นำมาใช้กับ The Einstein summation ได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial_u}{\partial_t} + u_i \frac{\partial_u}{\partial_{x_i}} = -\frac{\partial_{\acute{p}}}{\partial_x} + K_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial_{x_i^2}} \right) + f(v - v_g) - S_u \qquad \text{Eq. 12}$$

$$\frac{\partial_v}{\partial_t} + u_i \frac{\partial_v}{\partial_{x_i}} = -\frac{\partial_{\acute{p}}}{\partial_y} + K_m \left(\frac{\partial^2 v}{\partial_{x_i^2}} \right) + f(u - u_g) - S_v \qquad \text{Eq. 13}$$

$$\frac{\partial_w}{\partial_t} + u_i \frac{\partial_w}{\partial_{x_i}} = -\frac{\partial_{\acute{p}}}{\partial_z} + K_m \left(\frac{\partial^2 w}{\partial_{x_i^2}} \right) + g \frac{\theta(z)}{\theta_{ref}(z)} - S_w \qquad \text{Eq. 14}$$

เนื่องจากอากาศเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้(Incompressible fluid) จึงจำเป็นต้องมีสมการต่อเนื่องเพิ่มเติม ดังนี้

$$\frac{\partial_u}{\partial_x} + \frac{\partial_v}{\partial_y} + \frac{\partial_w}{\partial_z} = 0 \qquad \text{Eq. 15}$$

$W(x,y,z)$ คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมในกริดเซลล์ อธิบายได้ดังสมการนี้

$$W(x,y,z) = \sqrt{u^2(x,y,z) + v^2(x,y,z) + w^2(x,y,z)} \quad \text{Eq. 16}$$

(3) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and humidity)

อุณหภูมิศักย์เท่า(The Potential Temperature) θ สามารถคำนวณได้โดยสมการ The combined advection-diffusion ดังนี้

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} + u_i\frac{\partial^2\theta}{\partial_{x_i}} = K_h\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial_{x_i^2}}\right) + \frac{1}{c_p\rho}\frac{\partial R_{lw}}{\partial_z} + Q_\theta \quad \text{Eq. 17}$$

Q_θ คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและพืชพรรณ

K_h คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความปั่นป่วนของการแลกเปลี่ยนความร้อน

$\frac{1}{c_p\rho}\frac{\partial R_{lw}}{\partial_z}$ คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศเนื่องจากความแตกต่างของรังสีคลื่นยาว (Long wave radiation)

ความชื้นสัมพัทธ์สามารถคำนวณได้โดยสมการ The advection-diffusion ดังสมการที่ 18 นี้

$$\frac{\partial_q}{\partial_t} + u_i\frac{\partial^2 q}{\partial_{x_i}} = K_q\left(\frac{\partial^2 q}{\partial_{x_i^2}}\right) + Q_q \quad \text{Eq. 18}$$

Q_q คือ การแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างอากาศกับพืชพรรณ

K_q คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความปั่นป่วนของการแลกเปลี่ยนความชื้น

โดยในโปรแกรม ENVI-Met ไม่มีการการเปลี่ยนสถานะของเหลวจากน้ำไปเป็นไอน้ำ ทำให้ผลของแบบจำลองมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าสภาพความเป็นจริง

(4) ความปั่นป่วนของบรรยากาศ (Atmospheric turbulence)

โปรแกรม ENVI-Met ใช้รูปแบบการคำนวณความปั่นป่วนของบรรยากาศแบบ 1.5-Order turbulence closure model โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Mellor et al. (1974) และ Yamada. (1982.) และได้เพิ่มสมการอีกสองสมการสำหรับการคำนวณความปั่นป่วน(E) และการกระจายตัวของบรรยากาศ ($\in$)

$$\frac{\partial E}{\partial t} + u_i\frac{\partial E}{\partial_{x_i}} = K_E\left(\frac{\partial^2 E}{\partial_{x_i^2}}\right) + Pr - Th + Q_e - \in \quad \text{Eq. 19}$$

และ

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = K_\epsilon \left(\frac{\partial^2 \epsilon}{\partial_{x_i^2}} \right) + c_1 \frac{\epsilon}{E} Pr - C_3 \frac{\epsilon}{E} Th - C_2 \frac{\epsilon^2}{E} + Q_\epsilon \quad \text{Eq. 20}$$

ค่าคงที่ c_1, c_2 และ c_3 ที่ใช้เป็นค่าตั้งต้นของแบบจำลองในโปรแกรม ENVI-Met จากการศึกษาของ Launder and Spalding (Launder et al., 1974)

$$c_1 = 1.44, \quad c_2 = 1.92, \quad c_3 = 1.44$$

อย่างไรก็ตามลักษณะการไหลเวียนแบบพิเศษจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ การกำหนดค่า *Pr* และ *Th* ใช้แสดงผลและการกระจายความปั่นป่วนของพลังงานอันเนื่องมาจากกระแสลมหลายกระแสที่มีความแตกต่างด้านความเร็ว อาจมีความแตกต่างด้านทิศทางด้วย(Wind shearing) *Pr* และการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ (Thermal stratificatio) *Th* ดังสมการที่ 21 และ 22

$$Pr = K_m \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad \text{Eq. 21}$$

$$Th = \frac{g}{\theta_{ref}(z)} K_h \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad \text{Eq. 22}$$

$\theta_{ref}(z)$ คือ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ขอบเขตการไหลเข้าของกระแสลมที่ความสูง z และในกรณีที่สภาวะอากาศคงที่ไม่จำเป็นที่จะต้องหาค่า Th ก็ได้

พืชพรรณนับเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อความปั่นป่วนของกระแสลมในระดับจุลภูมิอากาศ ซึ่งความปั่นป่วนที่เกิดจากพืชพรรณ (Q_E) และการลดระดับความปั่นป่วนของบรรยากาศจากพื้นที่ขนาดใหญ่สู่พื้นที่ขนาดเล็กบริเวณใบไม้ (Q_ϵ) (Liu et al., 1996) สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ 23 และ 24

$$Q_E = c_{d,f} LAD(z) \cdot W^3 - 4_{c_{d,f}} LAD(z) \cdot |W| \cdot E \quad \text{Eq. 23}$$

$$Q_\epsilon = 1.5 c_{d,f} LAD(z) \cdot W^3 - 6_{c_{d,f}} LAD(z) \cdot |W| \cdot \epsilon \quad \text{Eq. 24}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจะได้มาจาก $E - \epsilon$ จากทฤษฎี The assumption of the isotropy of local turbulence สามารถได้ ดังนี้

$$K_m = c_\mu \frac{E^2}{\epsilon}$$
$$K_h = K_q = 1.35 K_m$$
$$K_E = \frac{K_m}{\sigma_E}$$
$$K_\epsilon = \frac{K_m}{\sigma_\epsilon}$$

C_μ= 0.09, σ_E=1 และ σ_ϵ=1.3 โดยค่าตั้งต้นเหล่านี้ยังเป็นที่อาจต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะการไหลแบบพิเศษของแบบจำลองด้วย

(5) การแผ่รังสี (Radiation)

การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อจุลภูมิอากาศเมือง การการได้รับรังสีคลื่นสั้น(Incoming shortwave Radiation) และฟลักซ์ของรังสีคลื่นยาว(long wave Radiation fluxe) ในโปรแกรม ENVI-Met โดยใช้หลักการคำนวณแบบ Two-stream approximation ร่วมกับสมการเชิงประจักษ์จากการทดลองของ Taesler and Anderson (Taesler et al., 1984)

การได้รับรังสีของชั้นบรรยากาศ อธิบายได้โดยการดูดซับรังสีและสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซของชั้นบรรยากาศที่ต่างกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับความกว้างของแสงภายในชั้นบรรยากาศ ประกอบกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณของฝุ่นละอองที่ลอยในอากาศ (Aerosols) , ปริมาณไอน้ำ (Water vapors), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide), โอโซน (Ozone) และก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) เพื่อการคำนวณฟลักซ์รังสีที่แม่นยำ จึงจำเป็นต้องทราบการกระจายตัวของฝุ่นละออง และก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ เพื่ออธิบายการเล็ดรอดและการดูดกลืนแสงสะสมบางส่วน แต่โปรแกรม ENVI-Met ใช้การประมาณค่าที่ซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่งจะคำนวณเฉพาะไอน้ำเท่านั้น

ภายในแบบจำลอง ชั้นความสูง n (ชั้นของกริดเซลล์ในแต่ละชั้นความสูง) ปริมาณการรับรังสีคลื่นยาว (Incoming long wave radiation) ที่ความสูงของกริดเซลล์ Z (G. W. Paltridge et al., 1977) สามารถได้ดังสมการ 25

$$Q_{lw}^{\downarrow}(z) = \sum_{n=1}^{N} \sigma T^4(n) \left[\epsilon_n(m + \Delta m) - \epsilon_n\ (m)\right] \qquad \text{Eq. 25}$$

m คือ ปริมาณไอน้ำในชั้นบรรยากาศระหว่างความสูง (Z) และขอบล่างของแบบจำลอง (n)

$m + \Delta m$ คือ ปริมาณไอน้ำในชั้นบรรยากาศระหว่างความสูง(Z) และขอบบนของแบบจำลอง (n)

ϵ_n คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของชั้นความสูง n

การคำนวณหา ϵ_n อ้างอิงจากสูตรเอมพิริคัล (empirical formula) จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณไอน้ำเพื่อใช้ในการ (Kuhn, 1963)

การแผ่รังสีคลื่นสั้นที่เข้ามาจากขอบด้านบนของแบบจำลองสามารถคำนวณได้โดยผลรวมความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ I_0 จากความยาวคลื่นแสง $\lambda = 0.29\ \mu m$ ถึง $\lambda = 4.0\ \mu m$ ดังสมการที่ 26

$$Q_{sw}^{*} = \int_{0.29}^{4.0} I_0(\lambda)\ exp\{-\alpha_R(\lambda)m + \alpha_M(\lambda)m\}d\lambda \qquad \text{Eq. 26}$$

มวลอากาศทางแสง m ขึ้นอยู่กับความสูงของดวงอาทิตย์ h ดังสมการที่ 27

$$m = \begin{cases} \frac{1}{\sin h} & if\ h{>}10 \\ 1.22\left(\frac{1.0144}{\sin(h+1.44)} - 0.49\right) & if\ h \leq 10 \end{cases} \qquad \text{Eq. 27}$$

$\alpha_R(\lambda) = 0.00816 \cdot \lambda^{-4}$ และ $\lambda_M = \lambda^{-1.3}\beta_t r$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์สำหรับ Rayleigh และ Mie scattering และมีค่า $0.004 \leq \beta_t r \leq 1$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความทึบ ปริมาณรังสีคลื่นสั้นสัมบูรณ์โดยตรงจากแสงอาทิตย์ทั้งหมด $R_{sw,dir}^{0}$ จะได้โดยสมการ 28

$$Q_{sw,dir}^{0} = Q_{sw}^{*} - Q_{sw,abs}. \qquad \text{Eq. 28}$$

$Q_{sw,abs}$ คือ รังสีคลื่นสั้นที่ถูกดูดซับไว้โดยไอน้ำในอากาศ (Liljequist, 2006) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 29

$$Q_{sw,abs} = 70 + 2.8 \cdot e_{2m} \cdot m \qquad \text{Eq. 29}$$

e_{2m} คือ ความดันไอน้ำใน [hPa] เหนือพื้นดินประมาณ 2 เมตร

การแผ่รังสีคลื่นสั้นในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ขึ้นอยู่กับรังสีคลื่นสั้นโดยตรงจากแสงอาทิตย์และความสูงของดวงอาทิตย์ h

$$Q_{sw,dif}^{0} = R_{sw,dir}^{0} \sin h \left(\frac{\Upsilon(h)}{1-\Upsilon(h)}\right) \qquad \text{Eq. 30}$$

และ

$$\Upsilon(h) = \frac{1}{1+8(\sin h)^{0.7}} \qquad \text{Eq. 31}$$

ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม การคำนวณปริมาณการแผ่รังสีและรับรังสีโดยตรงจากแสงอาทิตย์ จึงจำเป็นต้องการประยุกต์ใช้สมการ จากการศึกษาของ Taesler and Anderson (Taesler et al., 1984)

$$Q_{sw,dir}^{0}(clouds) = Q_{sw,dir}^{0}\left(1 - \frac{N}{8}\right) \qquad \text{Eq. 32}$$

$$Q_{sw,dif}^{0}(clouds) = \left(\frac{Q_{sw,dir}^{0} \sin h}{1-\Upsilon(h)}\right)\left(\frac{a_s - 1}{a_s a_c - 1}\right) - Q_{sw,dir}^{0}(clouds) \sin h \qquad \text{Eq. 33}$$

N คือ เมฆที่ปกคลุม ใน 1/8 ส่วน

a_c คือ ค่าการสะท้อนรังสีของเมฆ

a_s คือ ค่าการสะท้อนรังสีของพื้นดิน

ภายในพื้นที่แบบจำลองฟลักซ์ (fluxes) ของรังสีจะถูกแก้ไขโดยการแรเงา (บางส่วน) จากอาคารและพืชพรรณ :ซึ่งการปรับแก้ค่ารังสีคลื่นคลื่นยาวและรังสีคลื่นสั้นนี้สามารทำได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ $\boldsymbol{\sigma}$ ที่มีค่าระหว่าง 0 (ฟลักซ์ของรังสีที่ถูกบดบังทั้งหมด) ถึง 1 (ฟลักซ์ของรังสีที่ไม่ถูกบดบัง) ปัจจัยที่บดบังการมองเห็นท้องฟ้า (Sky view factor) σ_{svf} สามารถวัดค่าได้โดยสัดส่วนท้องฟ้าจากศูนย์กลางของกริดเซลล์ ในแต่ละกริดเซลล์ จากสมการที่ 34 ดังนี้

$$\sigma_{svf} = \frac{1}{360}\sum_{\pi=0}^{360} \cos\omega(\pi) \qquad \text{Eq. 34}$$

ω คือ มุมตัดสูงสุดของทิศทางเชิงพื้นที่ π

นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์อื่น เช่น อิทธิพลโดยตรงที่ได้รับจากพืชพรรณ $\sigma_{sw,dir}$, การกระจายของรังสีคลื่นสั้น $\sigma_{sw,dif}$, การเพิ่มขึ้น $\sigma_{lw}^{\uparrow}$ และลดลง $\sigma_{lw}^{\downarrow}$ ของรังสีคลื่นยาว

$$\sigma_{sw,dir} = exp\big(F \cdot LAI^{*}(z)\big)$$
$$\sigma_{sw,dir} = exp\left(F \cdot LAI\big(z, z_p\big)\right)$$
$$\sigma_{lw}^{\uparrow} = exp\big(F \cdot LAI(0, z)\big)$$
$$\sigma_{lw}^{\downarrow} = exp\left(F \cdot LAI\big(z, z_p\big)\right)$$

LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบในแนวดิ่งของพืชพรรณจากระดับ z ถึงระดับสูงสุดของต้นไม้z_p หรือต่ำสุดถึงระดับพื้นดิน $z = 0$ สำหรับรังสีคลื่นสั้น LAI^{*} ใช้แทนค่า LAI โดยนำค่า LAI^{*}(มุมอุบัติการณ์ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ) ไปในสมการ

การคำนวณปริมาณรังสีคลื่นสั้นรวม สามารถได้โดยสมการที่ 35

$$Q_{sw}(z) = \sigma_{sw,dir}(z)Q_{sw,dir}^{0} + \sigma_{sw,dif}(z)\sigma_{sw,dif}^{0} + \Big(1 - \sigma_{svf}(z)\Big)Q_{sw,dir}^{0} \cdot \bar{a} \qquad \text{Eq. 35}$$

$Q_{sw,dir}^{0}$ คือ รังสีคลื่นสั้นที่ได้รับโดยตรงจากแสงอาทิตย์ และ $Q_{sw,dif}^{0}$ คือ การแผ่รังสีคลื่นสั้น ณ บนสุดของพื้นที่แบบจำลอง และ $\bar{a}$ คือ ค่าเฉลี่ยการสะท้อนของผนังทั้งหมดภายในพื้นที่แบบจำลอง

ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวสามารถได้ดังสมการที่ 36 และ 37

$$Q_{lw}^{\downarrow}(z) = \sigma_{lw}^{\downarrow}(z, z_p) Q_{lw}^{\downarrow,0} + \left(1 - \sigma_{lw}^{\downarrow}(0, z)\right) \in_f \sigma_B \bar{T}_{f+}^4 + \left(1 - \sigma_{svf}(z)\right) Q_{lw}^{\leftrightarrow} \quad \text{Eq. 36}$$

$$Q_{lw}^{\uparrow}(z) = \sigma_{lw}^{\uparrow}(0, z) \in_s \sigma_B T_0^4 + \left(1 - \sigma_{lw}^{\uparrow}(0, z)\right) \in_f \sigma_f \bar{T}_{f-}^4 \quad \text{Eq. 37}$$

$\bar{T}_{f-}^4$ และ $\bar{T}_{f+}^4$ คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิใบไม้จากลำดับต่ำสุด และไล่ระดับไปสู่ด้านบนสุดตามลำดับ ของต้นไม้

$\in_s$ และ $\in_f$ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวและใบไม้

T_0 คือ อุณหภูมิพื้นผิว

$R_{lw}^{\leftrightarrow}$ คือ ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในแนวนอนจากผนังหรือกำแพงในบริเวณโดยรอบ

σ_B คือ ค่าคงที่ตามกฎ The Stefan-Boltzmann : $\sigma_B = 5.67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$

(6) แบบจำลองดิน (Soil model)

แบบจำลองดินของโปรแกรม ENVI-Met จะคำนวณอุณหภูมิและความชื้นของดินลงไปที่ความลึก 1.75 เมตร สำหรับดินในชั้นความลึกมากกว่า 1.75 เมตรนั้น ความแปรปรวนของอุณหภูมิและความชื้นไม่มีผลกระทบต่อบรรยากาศ แต่ละกริดเซลล์ในแนวนอนจะประกอบไปด้วยชั้นดิน 14 ชั้น ในความลึกที่แตกต่างกัน แต่ละชั้นจะเรียงตัวจากชั้นบนสู่ชั้นล่างและมีความลึกเพิ่มมากขึ้น โดยชั้นบนสุดจะมีความหนาเพียง 1 เซนติเมตร ชั้นล่างสุดมีความหนา 50 เซนติเมตร ในแบบจำลองดินจะคำนวณเฉพาะอุณหภูมิและความชื้นในแนวตั้งเท่านั้น(1D model) อุณหภูมิดิน T_s และปริมาตรน้ำ η สามารถคำนวณได้โดย สมการที่ 38 และ 39

$$\frac{\partial T_s}{\partial_t} = K_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} \quad \text{Eq. 38}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = D_\eta \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} + \frac{\partial K_\eta}{\partial_z} - S_\eta(z) \quad \text{Eq. 39}$$

K_s คือ ค่าการกระจายความร้อนคงที่ของดิน

η คือ ความชุ่มชื้นของดินทั้งหมดในแบบจำลอง

(7) แบบจำลองพืชพรรณ (Vegetation model)

แบบจำลองพืชพรรณภายในแบบจำลองโปรแกรม ENVI-met นั้นมีความสัมพันธ์กับโดยตรงกับบรรยากาศ เช่นเดียวกันกับแบบจำลองดิน และแบบจำลองรังสี

ในโปรแกรม ENVI-met 3.1 แบบจำลองต้นไม้นั้นมีลักษณะเป็นแท่ง (Columns) โดยต้นไม้จะประกอบด้วยฐานข้อมูล 2 ส่วน ประกอบด้วย ช่วงความสูงของต้นไม้ Z_p และความหนาแน่นของพื้นที่ใบ (Leaf area Density : LAD) แบ่งย่อยออกเป็น 9 ชั้น (ภาพที่ 40) ความสูงของแต่ละชั้น

สามารถเขียนเป็นสมการ $Z_{pl} = \frac{Z_p}{9}$, ความลึกสูงสุดของรากพืช $-Z_p$ และความหนาแน่นของรากพืช (Root area density: RAD) ก็มีลักษณะการจำลองเช่นเดียวกัน

ฟลักซ์ความร้อนโดยตรง $J_{f,h}$, ฟลักซ์การระเหยของน้ำ $J_{f,evap}$ และฟลักซ์การคายน้ำ $J_{f,trans}$ ความสัมพันธ์ระหว่างพืชและบรรยากาศสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$J_{f,h} = 1.1 r_a^{-1}(T_f - T_a) \quad \text{Eq. 40}$$

$$J_{f,evap} = r_a^{-1}\Delta q \delta_c f_w + r_a^{-1}(1-\delta_c)\Delta q \quad \text{Eq. 41}$$

$$J_{f,trans} = \delta_c (r_a + r_s)^{-1}(1-f_w)\Delta q \quad \text{Eq. 42}$$

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ, T_f คือ อุณหภูมิใบไม้, q_a คือ ความชื้นจำเพาะอากาศ ,Δq คือ ความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์, $\Delta q = q^* T_a - q_a \cdot q^*$ คือ ปริมาณความอิ่มตัวของ q ที่ผิวใบไม้, δ_c คือ การคายระเหยตามความน่าจะเป็น ($\delta_c = 1$) หรือ ($\delta_c = 0$) และ r_a คือ ความต้านทานอากาศพลศาสตร์ตามเส้นผ่าศูนย์กลางของใบไม้ D และ W ความเร็วลม (H. Braden. 1982 อ้างถึงใน Huttner S. (2012))

$$r_a = A\sqrt{\left(\frac{D}{W}\right)} \quad \text{Eq. 43}$$

ค่าพารามิเตอร์ A จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของพันธุ์ไม้ ตัวอย่าง เช่น ต้นสน $A = 87\ s^{0.5}m^{-1}$, หญ้าและต้นไม้ผลัดใบ $A = 200\ s^{0.5}m^{-1}$ และ D คือ ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง

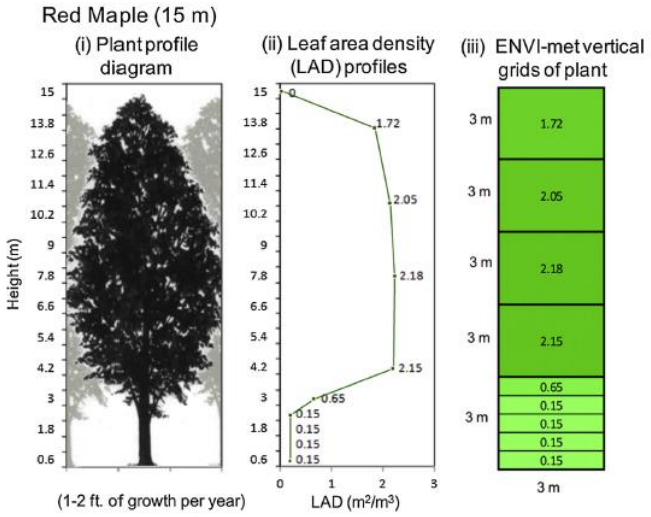
ปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมการคายระเหยของพืช คือ ปากใบ (Stomata) ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศและใบ โดยค่าความต้านทานของใบไม้ r_s สามารถวัดได้จากระดับของปากใบที่เปิด วิธีการคำนวณค่าความต้านทานของใบไม้อ้างอิงจากการศึกษาของ Deardoff (1978) (อ้างถึงใน Huttner S. (2012)) และวิธีการ r_s จากความสัมพันธ์ของรังสีคลื่นสั้น ปริมาณน้ำในดิน ร่วมกับความหนาแน่นของรากพืชและสภาพทั่วไปของรากพืช

ในแบบจำลอง ENVI-met 3.1 หรือในเวอร์ชั่นที่สูงกว่า สมการที่กล่าวมาข้างต้นจะถูกแทนที่ด้วยสมการแบบจำลอง $A-gs$ ที่ซับซ้อนมากขึ้น จากการศึกษาของ Jacobs (1994) (อ้างถึงใน Huttner S. (2012)) แบบจำลอง $A-gs$ ใช้อัตราการสังเคราะห์แสง (A_n) ร่วมกับการคายความร้อนจากปากใบ ($gs\ [mms^{-1}]$) ของพืช เพื่อการคายระเหย (M. Bruse, 2004) ซึ่งความสัมพันธ์พื้นฐานของแบบจำลองสามารถสรุปได้ ดังนี้

$$g_s = 1.6\ \frac{A_n}{C_s - C_i} \quad \text{Eq. 44}$$

โดย C_s และ C_i คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) บริเวณผิวใบและภายในใบไม้ และความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานและการคายความร้อนของปากใบ อธิบายได้ดังสมการที่ 46

$$r_s = \frac{1}{g_s} \cdot 1000 \qquad \text{Eq. } 45$$



ภาพที่ 46 แสดงการสร้างแบบจำลองต้นไม้ ภายในแบบจำลองโปรแกรม ENVI-met
ที่มา : Srivanit et al. (2013)

(8) พื้นผิวดิน (Ground surfaces)

การอุณหภูมิ T_0 บริเวณพื้นผิวแบบจำลอง จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับสมการสมดุลพลังงานที่ระดับพื้นดิน ซึ่งสามารถได้จากสมการที่ 46

$$Q_{sw,net} + R_{lw,net}(T_0) - G(T_0) - H(T_0) - LE(T_{0,q_o}) = 0 \qquad \text{Eq. } 46$$

$Q_{sw,net}$ คือ รังสีคลื่นสั้นสุทธิที่พื้นผิว, $Q_{lw,net}$ คือ รังสีคลื่นยาวสุทธิที่พื้นผิว, G คือ ฟลักซ์ความร้อนของดิน, H คือ ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) : เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป แต่สถานะยังคงเดิม และ LE คือ ฟลักซ์ของความร้อนแฝง

ประกอบกับ $R_{sw,dir}\ (z = 0)$ และ $Q_{sw,dif}(z = 0)$ คือ รังสีคลื่นสั้นโดยตรงและการแพร่ของรังสีคลื่นสั้นบริเวณพื้นผิวแบบจำลอง *ดังนั้น* $Q_{sw,net}$ จะสามารถได้ดังสมการที่ 47

$$Q_{sw,net} = \left[\cos\beta^* \cdot Q_{sw,dir}(z = 0)\right](1 - a_s) \qquad \text{Eq. } 47$$

β^* คือ มุมระหว่างรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงและพื้นผิว จาก Lambert's cosine law และ a_S คือ การสะท้อนแสงของพื้นผิว (Albedo) ที่ไม่ดูดซับแสง สำหรับดินประเภทอื่นๆ ทั้งหมด ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของดวงอาทิตย์กับปริมาณน้ำในดินบนชั้นบนสุดของดิน

สมดุลพลังงานของรังสีคลื่นยาวบริเวณพื้นผิว แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังสมการที่ 48, 49 และ 50 ดังนี้

$$Q_{lw,net}(T_0) = \sigma_{svf} Q_{lw,net}^{free}(T_0) + \left(1 - \sigma_{svf}\right) Q_{lw,net}^{screened}(T_0) \quad \text{Eq. 48}$$

$Q_{lw,net}^{sky}$ คือ รังสีคลื่นยาวจากบางส่วนของท้องฟ้าที่ไม่มีสิ่งบดบัง

$Q_{lw,net}^{screened}$ คือ รังสีคลื่นยาวจากส่วนที่ถูกบดบัง เช่น บริเวณที่ถูกบดบังจากต้นไม้หรืออาคาร สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$Q_{lw,net}^{sky}(T_0) = \sigma_{lw}^{\downarrow}(0, z_p)\left(Q_{lw}^{\downarrow} - \varepsilon_s \sigma T_0^4\right) + \left(1 - \sigma_{lw}^{\downarrow}(0, z_p)\right) \frac{\varepsilon_v \varepsilon_s}{\varepsilon_v + \varepsilon_s - \varepsilon_v \varepsilon_s} \left(\sigma \bar{T}_v^4 - \sigma \bar{T}_0^4\right) \quad \text{Eq. 49}$$

$$Q_{lw,net}^{screened}(T_0) = \frac{\varepsilon_w \varepsilon_s}{\varepsilon_w + \varepsilon_s - \varepsilon_w \varepsilon_s} \quad \text{Eq. 50}$$

$\varepsilon_s \varepsilon_v$ และ ε_w คือ การแผ่รังสีของพื้นผิว, พืชพรรณและผนังอาคาร

T_f คือ อุณหภูมอพื้นผิวของพืชพรรณ

T_w คือ อุณหภูมิพื้นผิวของผนึง

ความปั่นป่วนของฟลักซ์สามารถคำนวณได้โดย H และ LE ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความปั่นป่วน โดย K_h คือ ความชื้นของพื้นผิว และ K_q คือ บรรยากาศของกริดเซลล์ชั้นล่างสุด สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ 51 และ 52

$$\mathrm{H}(T_0) = \rho c_p K_h^0 \frac{T_0 - \theta_{k=1}}{0.5 \Delta z_{k=1}} \quad \text{Eq. 51}$$

$$LE(T_0, q_0) = \rho L(T_0) K_q^0 \frac{q_0 - q_{k=1}}{0.5 \Delta z_{k=1}} \quad \text{Eq. 52}$$

และ $L(T_0) = \left(2.501 - 0.00237(T_0 - 273.15)\right) \cdot 10^6$

ค่าฟลักซ์ความร้อนจากพื้นดิน (L) สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 53

$$G(T_0) = \lambda_s (k = 1) \frac{T_0 - T_{k=-1}}{0.5 \Delta z k=-1} \quad \text{Eq. 53}$$

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่าโปรแกรม ENVI-met เป็นโปรแกรมจำลองสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีนักวิจัยใช้เพื่อศึกษาสภาพภูมิอากาศของเมืองทั่วโลก ทั้งทวีปอเมริกา-อเมริกาใต้ ทวีปยุโรป ทวีปเอเชีย ทวีปออสเตรเลีย โปรแกรม ENVI-met เปิดให้มีการดาวน์โหลดและวีดีโอสอนการใช้งานในเบื้องต้น อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่ใช้โปรแกรม ENVI-met เผยแพร่เป็นจำนวนมากในฐานข้อมูลงานวิจัยออนไลน์



ภาพที่ 47 การศึกษาภูมิอากาศเมืองโดยใช้ ENVI-met ทั่วโลก
ที่มา : www.envi-met.com

ข้อดี : โปรแกรม ENVI-met สามารถจำลองสภาพภูมิอากาศเมืองในระดับ Localscale - Microscale ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงผลของปัจจัยสภาพอากาศได้หลายปัจจัย รวมถึงมลพิษทางอากาศ อีกทั้งเป็นฟรีแวร์ (ENVI-met เวอร์ชั่น 4.0) เปิดให้นักวิจัยดาวน์โหลดมาใช้ศึกษาได้

ข้อเสีย : การประมวลผลของแบบจำลองใช้เวลานานมาก จำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่เสถียร และต้องการทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์สูง

2.6.2 แบบจำลอง Screening Tool for Estate Environment Evaluation (STEVE)

STEVE พัฒนาโดย Department of Building, School of Design and Environment, National University Of Singapore เป็นเครื่องมือที่ใช้เฉพาะกับโครงการอสังหาริมทรัพย์ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โปรแกรม Sketch up โดย STEVE สามารถคาดคะเนอุณหภูมิต่ำสุด, อุณหภูมิเฉลี่ย และ อุณหภูมิสูงสุด ของจุดที่ศึกษาภายในเมือง โดยอุณหภูมิในจุดนั้นจะได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมและสามารถกำหนดแนวกันชน (Buffer zone) ผลการคำนวณจาก STEVE จะถูกใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อสร้าง

แผนที่อุณหภูมิ อีกทั้งสามารถคำนวณปัจจัยความเร็วลมที่แตกต่างกันเพื่อให้มีการคาดการณ์อุณหภูมิที่แม่นยำขึ้น แต่ไม่สามารถแสดงผลลัพธ์ด้านความเร็วลมได้ (Wong et al., 2009)

ข้อดี : เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาเพื่อคาดคะเนอุณหภูมิพื้นผิวเฉพาะจุดที่สนใจ เหมาะสำหรับโครงการอสังหาริมทรัพย์

ข้อเสีย : แสดงผลลัพธ์ได้เฉพาะอุณหภูมิเท่านั้น

2.6.3 แบบจำลอง MITRAS

โปรแกรม MITRAS ถูกพัฒนาขึ้นโดย The MeMi group develops and applies numerical models (Schlünzen et al., 2003) ในสถาบันอุตุนิยมวิทยา มหาวิทยาลัยฮัมบูร์ก (Universität Hamburg) ประเทศเยอรมนี ร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ โดยมีพื้นฐานการพัฒนามาจากโปรแกรม METRAS โปรแกรม MITRAS เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองระบบ M-SYS ที่มีศักยภาพในการจำลองการแพร่กระจายของมลภาพิศทางอากาศในระดับ Mesoscale ในขณะที่โปรแกรม MITRAS มีความสามารถในการจำลองสภาพอากาศในระดับ Localscale - Microscale ตั้งแต่ 100x100 ตารางเมตร สามารถดูการไหลเวียนของกระแสลมรอบๆอาคารหนึ่งหลัง ไปจนถึงพื้นที่ขนาด 1000x1000 ตารางเมตร โปรแกรม MITRAS มีรูปแบบการคำนวณสมการแบบ 3D non-uniform vertical grid ที่สามารถปรับความละเอียดของกริดเซลล์ในพื้นที่วิจัย และปรับลดความละเอียดของกริดเซลล์ในพื้นที่รอบๆ ได้ โปรแกรม MITRAS สามารถจำลองตัวแปรสภาพอากาศ ลม อุณหภูมิ ความชื้น เมฆ-ปริมาณน้ำฝน และความเข้มข้นของตัวทำนาย ในด้านลักษณะกายภาพของเมือง กรณีของอาคารและสิ่งปลูกสร้างจะคำนวณโดยการปิดกั้นทิศทางการไหลของลมโดยใช้รูปทรงของอาคาร ส่วนต้นไม้จะใช้การคำนวณความหนืดสำหรับพืช ในส่วนของอิทธิพลของพื้นผิว (น้ำ, ดิน, หญ้า) ที่มีผลต่อการสะท้อนรังสีและฟลักซ์ ยังไม่มีการปรับปรุงแก้ไขในเวอร์ชั่นปัจจุบัน ในพื้นที่รอบขอบแบบจำลอง (The lateral model boundaries) สามารถกำหนดทิศทางการไหลข้าวของกระแสลม ซึ่งสามารถทำการศึกษาสถานการณ์การปล่อยมลพิษทางอากาศได้ (เช่น NOx, O3, SO2 , NH3, Pb, nitrate, sulphate)



ภาพที่ 48 แสดงสัญลักษณ์ของโปรแกรม MITRAS

ที่มา : Schlünzen et al. (2003)

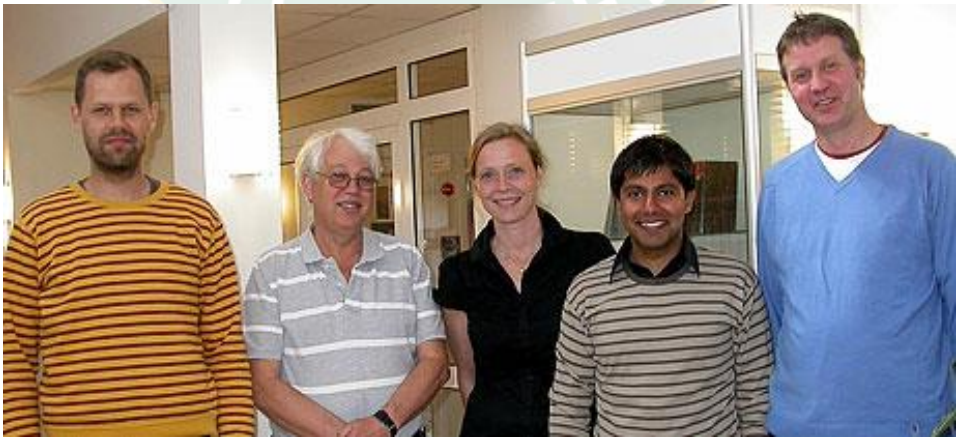
ข้อดี : เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีลักษณะเด่นในการจำลองการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศ

ข้อเสีย : MITRAS ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในองค์กรและผู้ร่วมพัฒนาเท่านั้น

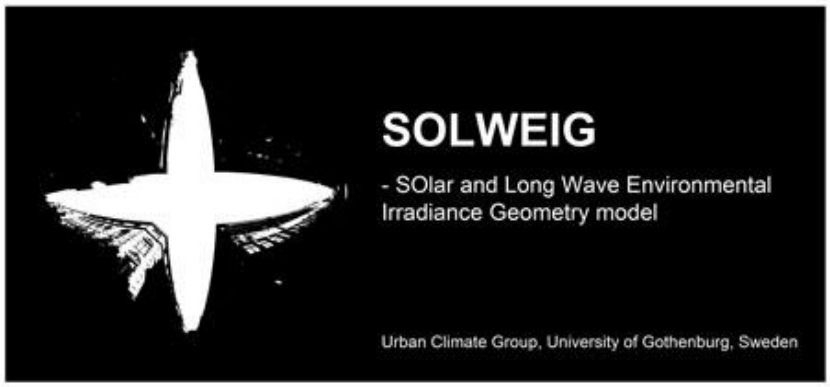
2.6.4 แบบจำลอง SOlar and Long Wave Environmental Irradiance Geometry (SOLWEIG)

โปรแกรม SOLWEIG ถูกพัฒนาขึ้นใน Department of Earth Sciences แห่ง University of Gothenburg ประเทศสวีเดน (Sweden) โดยกลุ่มนักวิจัย The Göteborg Urban Climate Group (ภาพที่ 49) SOLWEIG สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Tmrt) และฟลักซ์ของรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวแบบ 3 มิติในสภาวะแวดล้อมเมืองที่สลับซับซ้อน รวมถึงรูปแบบเงาของอาคาร (Building shadow pattern) ได้อย่างมีประสิทธิ์ภาพ (Lindberg et al., 2011) สำหรับข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำลองอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและฟลักซ์ของรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวแบบ 3 มิติ ประกอบด้วย ข้อมูลรังสีคลื่น (Shortwave radiation), อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์ ที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนาม และข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (ละติจูด-ลองติจูด), ภาพแสดงความสูงของรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban geometry digital elevation models (DEM)) ความละเอียดสูง รวมถึงภาพแสดงความสูงของต้นไม้และพืชพรรณ (Vegetation digital elevation models (DEMs)) ความละเอียดสูงเช่นเดียวกัน

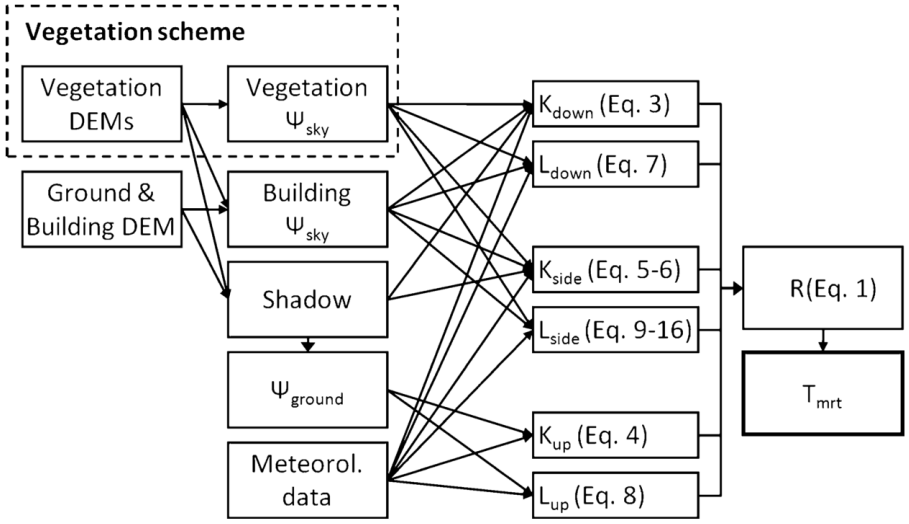
จากการศึกษาของ Chen et al. (2014) พบว่า SOLWEIG เป็นโปรแกรมที่จำลองทิศทางการสะท้อนของรังสีได้ 6 ทิศทาง (ภาพที่ 51) และมีประสิทธิภาพในการศึกษาอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและฟลักซ์ของรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวมากที่สุด



ภาพที่ 49 The SOLWEIG team. Fredrik, Björn, Sofia, Deepak and Rogardt
ที่มา : Karlsson (2014)



ภาพที่ 50 แสดงสัญลักษณ์ของโปรแกรม SOLWEIG
ที่มา : Karlsson (2014)



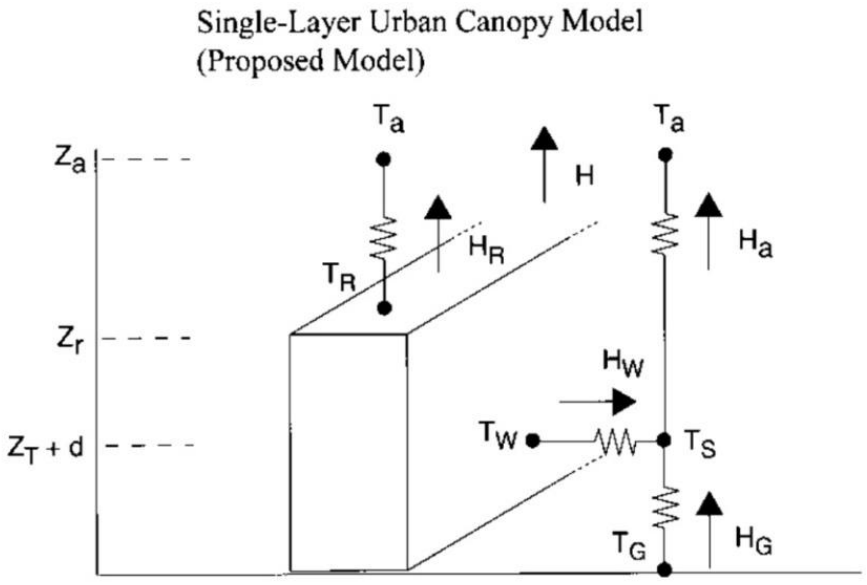
ภาพที่ 51 แสดงแผนผัง (Flowchart) การคำนวณของโปรแกรม SOLWEIG-model ซึ่ง **Ψ** คือ ภาพของปัจจัยที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในสมการคำนวณฟลักซ์ของรังสี ทั้ง 6 ทิศทาง
ที่มา : Lindberg et al. (2011)

ข้อดี : เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Tmrt) และฟลักซ์ของรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาว ที่เป็นผลจากสิ่งก่อสร้างภายในเมืองและพืชพรรณภายในเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความสามารถแสดงรูปแบบเงาของอาคาร (Building shadow pattern) ได้

ข้อเสีย : SOLWEIG ไม่สามารถจำลองตัวแปรภูมิอากาศอื่น เช่น การไหลเวียนของลม, อุณหภูมิพื้นผิว และมลพิศทางอากาศ

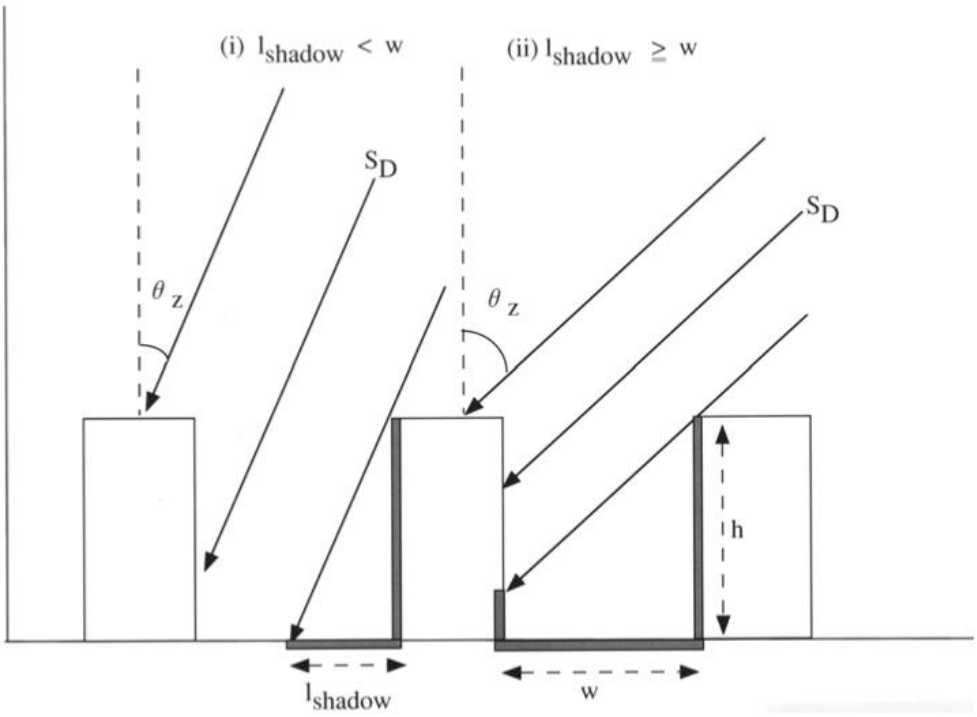
2.6.5 แบบจำลอง Single-layer urban canopy model (SLUCM)

แบบจำลอง(SLUCM) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Kusaka et al. (2001) และคณะ ฝ่าย Fluid Science Department แห่งสถาบันวิจัย Central Research Institute of Electric Power Industry. ประเทศญี่ปุ่น แบบจำลอง SLUCM เป็นแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง และสามารถใช้เพื่อศึกษาในระดับ Mesoscale ได้ แต่จะมีรายละเอียดในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองมากขึ้น แบบจำลอง SLUCM มีรูปแบบการคำนวณการแลกเปลี่ยนพลังงานและโมเมนตัมระหว่างพื้นผิวเมืองและบรรยากาศแบบคอลัมน์ ซึ่งรวมถึงอิทธิพลจากลักษณะหุบเขาเมือง(Street canyons) ที่เป็นตัวแทนของรูปทรงเรขาคณิตเมือง โดยแบบจำลองนี้สามารถแสดงผลของรูปแบบเงาของอาคารและการสะท้อนของรังสีจากแสงอาทิตย์ ทำให้ SLUCM สามารถประมาณการอุณหภูมิและฟลักซ์ความร้อนของพื้นผิว หลังคาอาคาร ผนัง และพื้นผิวถนนได้



ภาพที่ 52 รูปแบบการคำนวณฟลักซ์และอุณหภูมิของพลังงานสำหรับแบบจำลอง SLUCM
ที่มา : Kusaka et al. (2001)

โดย T_a คือ อุณหภูมิอากาศที่อ้างอิงจากความสูงอาคาร z_a, T_R คือ อุณหภูมิหลังคาของอาคาร, T_W คือ อุณหภูมิผนังอาคาร, T_G คือ อุณหภูมิพื้นผิวถนน และ T_S คือ อุณหภูมิที่คำนวณจาก $Z_T + d$, H คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่อ้างอิงจากความสูงอาคารz_a, H_a คือ ฟลักซ์ความร้อนสัมผัสจากที่ว่างบริเวณหุบเขาเมืองที่ถ่ายเทไปสู่บรรยากาศ, H_W คือ ฟลักซ์ความร้อนสัมผัสจากผนังสู่บริเวณหุบเขาเมือง, H_G คือ ฟลักซ์ความร้อนสัมผัสจากถนนสู่บริเวณหุบเขาเมือง และ H_R คือ ฟลักซ์ความร้อนสัมผัสจากหลังคาสู่บริเวณหุบเขาเมือง



ภาพที่ 53 แสดงรูปแบบการคำนวณฟลักซ์ความร้อนบริเวณหุบเขาเมือง แบบ 2 มิติ
ที่มา : Kusaka et al. (2001)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แบบจำลอง SLUCM จะใช้ในการศึกษาด้านความสมดุลพลังงาน การถ่ายเทความร้อนระหว่างหลังคา ผนัง และถนน ออกสู่บรรยากาศ (Xuan et al., 2017; Zhao et al., 2014) ซึ่งเป็นความสามารถที่โดดเด่นของแบบจำลอง SLUCM

ข้อดี : เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองสมดุลพลังงาน และการถ่ายเทความร้อนจากอาคารและพืชพรรณภายในเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสะท้อนรังสีคลื่นสั้น/คลื่นยาว ทั้งยังสามารถแสดงรูปแบบเงาของอาคาร (Building shadow pattern) ได้

ข้อเสีย : แบบจำลอง SLUCM ไม่สามารถจำลองตัวแปรภูมิอากาศอื่น เช่น การไหลเวียนของลม และมลพิศทางอากาศ

2.6.6 แบบจำลอง Surface Urban Energy and Water Balance Scheme

แบบจำลอง SUEWS ถูกพัฒนามาจาก The urban water balance model ซึ่งเป็นผลการศึกษาของ Grimmond et al. (1986) และ The urban evaporation-interception scheme (Grimmond et al., 1991) SUEWS เป็นแบบจำลองที่มีความสามารถในการจำลองการสะสมพลังงานความร้อน การสะท้อนรังสีของพื้นผิวเมือง รวมถึงความสมดุลน้ำของพื้นผิว (Järvi et al., 2011) ใช้สมการ Penman-Monteith เป็นพื้นฐานในการประมวลผลของแบบจำลอง ที่นำหลักการนำไฟฟ้าของพื้นผิวมาประยุกต์ใช้ แต่การวัดความสามารถในการแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างพื้นผิวกับชั้นบรรยากาศเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก แบบจำลอง SUEWS จึงใช้วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ทั่วไปสำหรับสภาพแวดล้อมในเมือง (Jarvis, 1976) เพื่อจำลองสมดุลพลังงานและน้ำในเมืองสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 54 และ 55 นี้

$$P + I_e + F = E + R + \Delta S \; [mm\, h^{-1}] \qquad \text{Eq. 54}$$

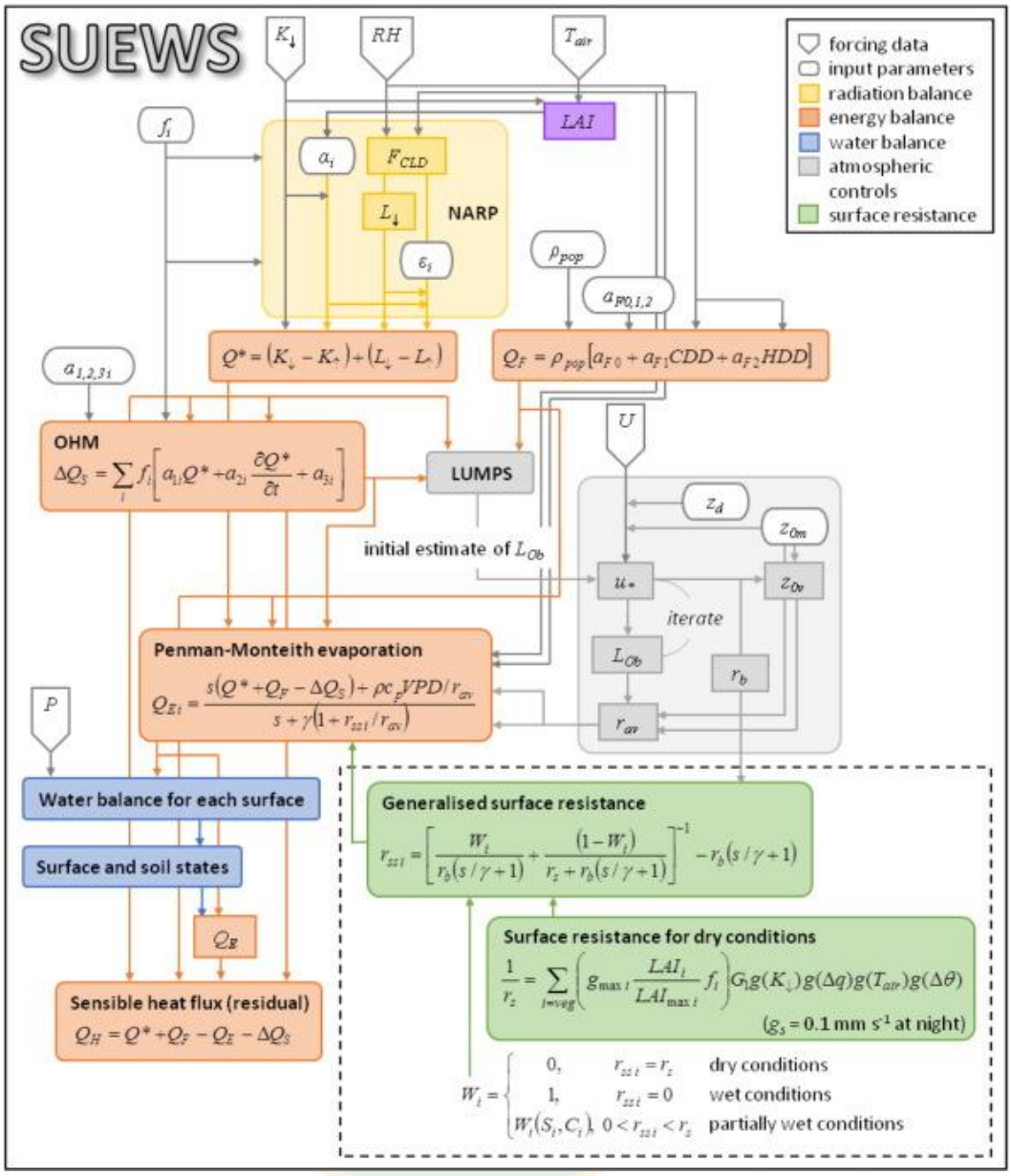
เมื่อ P คือ ปริมาณน้ำฝน, I_e คือ น้ำประปาภายนอกระบบ, F คือ การปลดปล่อยน้ำจากมนุษย์ (การเผาไหม้, เครื่องปรับอากาศ, การปล่อยไอเสียจากการหายใจ), E คือ การระเหย (ซึ่งรวมถึงการคายน้ำ) R คือ น้ำผิวดิน, ΔS คือ การเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำสุทธิในการกักเก็บ (การคายความชื้นของดิน หรือบ่อเก็บน้ำผิวดิน) ภายในพื้นที่ศึกษา

Oke (1987) กล่าวว่า การระเหยของน้ำทำให้สมดุลของน้ำมีความเชื่อมโยงกันกับสมดุลพลังงานในเขตพื้นที่เมือง

$$Q^* + Q_F = Q_E + Q_H + \Delta Q_S \; [Wm^{-2}] \qquad \text{Eq. 55}$$

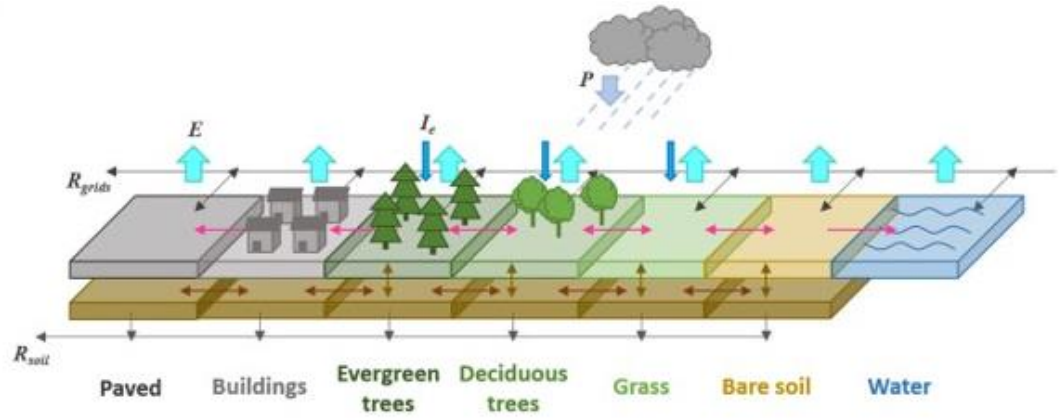
เมื่อ Q^* คือ รังสีสุทธิ (ทุกช่วงความยาวคลื่น), Q_F คือ การแผ่รังสีความร้อนจากมนุษย์, Q_E คือ ความร้อนที่แฝงอยู่ ($Q_E = L_v E$; L_v คือ ความร้อนแฝงของการระเหย), Q_H คือ ฟลักซ์ความร้อนสัมผัส, ΔQ_S คือ การกักเก็บฟลักซ์ความร้อนสุทธิ ซึ่งรวมถึงฟลักซ์ความร้อนจากดินและความร้อน-ความเย็นของสิ่งปกคลุมพื้นผิวเมืองด้วย

แบบจำลอง SUEWS มีโครงสร้างสมการการประมูลผลแบบจำลอง ดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 แผนผังแสดงโครงสร้างสมการแบบจำลอง SUEWS ภายในกริดเซลล์
ที่มา : Ward et al. (2016)

โดย C_i คือ ปริมาณน้ำบนพื้นผิวของแต่ละพื้นผิว i, S_i คือ ปริมาณการเก็บความชื้นของแต่ละพื้นผิว, r_b คือ The boundary-layer resistance และ z_{0v} คือ Roughness length ของกลุ่มไอน้ำ



ภาพที่ 55 แสดงลักษณะพื้นผิวเมืองทั้ง 7 พื้นผิว ของแบบจำลอง SUEWS
ที่มา : Järvi et al. (2011)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่าแบบจำลอง SUEWS เป็นที่ใช้ศึกษาการสะสมพลังงานความร้อน การสะท้อนรังสีของพื้นผิวเมือง รวมถึงความสมดุลน้ำของพื้นผิวเมือง (Järvi et al., 2011; Ward et al., 2016; Kokkonen et al., 2018) ซึ่งแบบจำลองสามารถใช้ศึกษาในระดับ microscale ถึง mesoscale ได้

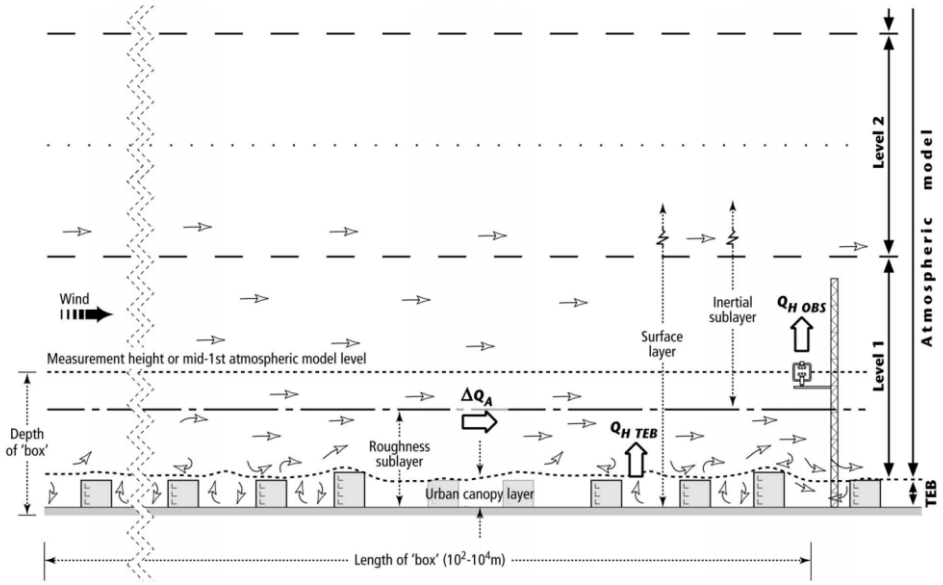
ข้อดี : เป็นโปรแกรมที่ศึกษาการสะสมพลังงานความร้อน ความร้อนแฝง การสะท้อนรังสีของพื้นผิวเมือง และมีความสามารถเด่นคือ การจำลองความสมดุลน้ำของพื้นผิวเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสีย : แบบจำลอง SUEWS ไม่สามารถจำลองตัวแปรภูมิอากาศอื่น เช่น การไหลเวียนของลม และมลพิษทางอากาศ และการตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter setting) มีความซับซ้อนมาก

2.6.7 แบบจำลอง TEB (Town Energy Balance)

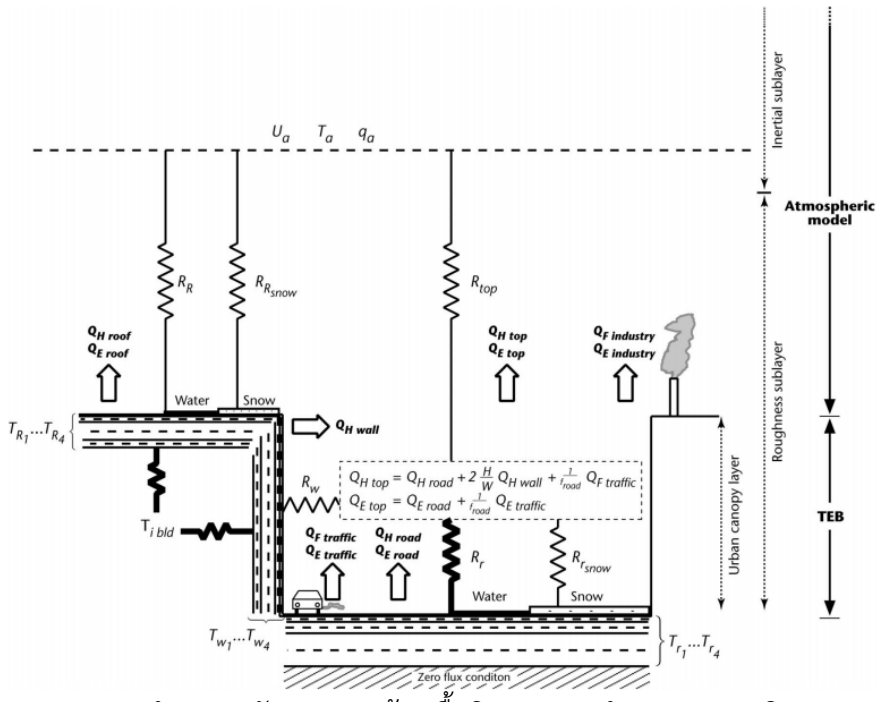
ปี 2000 Masson (2000) พัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศเมืองชื่อ Town Energy Balance model ขึ้นในเมืองตูรูส (Toulouse) ประเทศฝรั่งเศส ณ Centre National de Recherches Météorologiques ซึ่งสามารถใช้ศึกษาในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูง หรือพื้นที่ที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างบริเวณพื้นผิวดิน ชั้นบรรยากาศและใต้ดิน และในบริเวณเรขาคณิตเมือง TEB จะวิเคราะห์อิทธิพลที่เกิดจากพื้นผิวอาคาร 3 พื้นผิว คือ หลังคา ผนัง และถนน เพื่อคำนวณความสมดุลของพลังงานเฉพาะของแต่ละพื้นผิว รวมถึงการการดักจับรังสี (Radiation trapping) ของรังสีคลื่นยาวและคลื่นสั้น, โมเมนตัมฟลักซ์ (The momentum flux), ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง(The turbulent sensible and latent heat fluxes), การกักเก็บและปล่อยความร้อน(Heat storage uptake and release), น้ำ (Water), การสกัดกั้นของหิมะ (Snow interception) ส่วนความร้อนที่เกิดจากมนุษย์

ได้แก่ การเดินทางสัญจร โรงงานอุตสาหกรรม จะใช้ค่าจากจากการกำหนดอุณหภูมิภายในอาคารขั้นต่ำมาใช้ในการคำนวณ



ภาพที่ 56 รูปแบบการคำนวณบรรยากาศของแบบจำลอง TEB ที่แสดงสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากการตรวจวัดและแบบจำลอง ในระดับ Local scale

ที่มา : Masson (2000)



ภาพที่ 57 รูปแบบการคำนวณพลังงานความร้อนพื้นผิวของแบบจำลอง TEB บริเวณเรขาคณิตเมืองโดยวิเคราะห์อิทธิพลที่เกิดจากพื้นผิว หลังคา ผนัง และถนน ในระดับ Micro scale

ที่มา : Pigeon et al. (2014)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าแบบจำลอง TEB ถูกใช้เพื่อศึกษาสมดุลพลังงานของพื้นผิวและ (Lemonsu et al., 2013; Pigeon et al., 2014) อิทธิพลของพื้นผิวของอาคารต่อที่บรรยากาศ (Hamdi et al., 2008)

ข้อดี : แบบจำลอง TEB เป็นโปรแกรมที่ศึกษาการสะสมพลังงานความร้อน ความร้อนแฝง การสะท้อนรังสีของพื้นผิวเมือง สมดุลโมเมนตัมแบบจำลองชั้นบรรยากาศ ซึ่งสามารถใช้ศึกษาในระดับ Microscale ถึง Mesoscale และ

ข้อเสีย : ไม่สามารถจำลองสภาพอากาศในพื้นที่อาคารเดียวรวมถึงรายละเอียดของวัสดุอาคารได้ และไม่สามารถใช้ศึกษาอุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ในบริเวณหุบเขาเมืองได้

จากการเปรียบเทียบโปรแกรมจำลองสภาพภูมิอากาศเมือง (ตารางที่ 9) พบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากประเทศในแถบทวีปยุโรป ที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเมืองและปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ที่มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเมืองเนื่องจากกระบวนการเป็นเมือง โดยแต่ละโปรแกรมมีความสามารถและประสิทธิภาพในการจำลองสภาพภูมิอากาศเมืองที่แตกต่างกัน ตามวัตถุประสงค์ของผู้พัฒนาโปรแกรม มีการใช้ทฤษฎีเพื่อการคำนวณ โครงสร้างสมการและการคำนวณปัจจัยทางภูมิอากาศที่แตกต่างกัน แต่ทั้งหมดจะให้ผลลัพธ์ในรูปแบบเดียวกันคือ ส่วนที่ 1 ภาพกราฟฟิกแสดงค่าโดยใช้สี ส่วนที่ 2 ข้อมูลเชิงปริมาณที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ผลการจำลองภูมิอากาศเมือง ทั้งนี้จากผลการศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรมแบบจำลองสภาพภูมิอากาศเมือง แสดงให้เห็นว่าการศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่มีอิทธิพลต่อภูมิอากาศเมืองนั้น จำเป็นต้องใช้แบบจำลองภูมิอากาศ ที่สามารถแสดงผลลัพธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อสภาพอากาศบริเวณหุบเขาเมือง อันประกอบไปด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม, ทิศทางลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สภาวะความสบายเชิงความร้อน จากความต้องการดังกล่าวผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบบจำลองโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั้น 4.0 เป็นเครื่องมือในการวิจัย ซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์จากการจำลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย อีกทั้งในเวอร์ชั่นดังกล่าวเป็นฟรีแวร์ (freeware) ที่เปิดให้ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดได้ฟรี โปรแกรม ENVI-met เป็นโปรแกรมที่มีการใช้เพื่อศึกษาภูมิอากาศเมืองอย่างแพร่หลาย มีการใช้งานเพื่อศึกษาสภาพภูมิอากาศเมืองในหลายๆ ประเทศทั่วโลก และมีงานวิจัยที่เชื่อถือได้เผยแพร่เป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบซอร์ฟแวร์จำลองสภาพอากาศ

Model	Type	Model reference	Scale	Temp.		Rh.	Ws	Tmrt	Plant	Other.	License
				Air	Surface						
ENVI-MET V 4.0	CFD	Bruse and Fleer (1998)	μ - α	√	√	√	√	√	√	- Pollution - SV	Free
STEVE	plug-in On Sketch up	Wong et al. (2009)	μ - α	√	-	-	-	-	-	- GIS	-
MITRAS	M - SYS.	Schlünzen et al. (2003)	μ	√	√	√	√	-	-	- Pollution	-
SOLWEIG	ESRI ASCIIGRID-formats	Lindberg and Grimmond (2011)	μ - α	√	√	√	√	-	√		Free
SLUCM (WRF)		Kusaka et al. (2001)	α - β	√	√	√	√	√	-	pollution, carbon fluxes, etc.	-
SUEWS		Järvi et al. (2011)	α - β	-	√	-	√	-	-	- Pollution - metabolism	-
TEB		Masson (2000)	μ	-	√	-	-	-	-	-energy balance - building cooling	-

ขนาดของพื้นที่ที่เหมาะสมกับแบบจำลอง μ= micro (1–100 m), α= local (1–2 km), β= meso (>2 km)

2.7 การปรับเทียบและยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง (Calibration and Validation of simulation model)

การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการศึกษาสภาพจุลภูมิอากาศเมือง เพื่อความถูกต้องของแบบจำลองจะต้องมีขั้นตอนการปรับเทียบ (Calibration) กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนามตลอดระยะเวลาของการจำลองสภาพอากาศ เพื่อใช้ยืนยันความถูกต้อง (Validation)ของผลที่ได้จากแบบจำลองของพื้นที่ศึกษา ดังนั้นก่อนที่จะขั้นตอนเริ่มเปรียบเทียบข้อมูลควรเข้าใจการค่าสภาพอากาศที่ได้จากแบบจำลองเสียก่อน (Montazeri et al., 2013)

2.7.1 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองสภาพอากาศของพื้นที่ศึกษาควรเริ่มต้นด้วยการนำค่าอุณหภูมิอากาศ (Air temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity), อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean radiant temperature) และความเร็วลม (Wind velocity) ที่ได้จากการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนามมาใช้ในการตั้งค่า Parameter ในครั้งแรก และสร้างสภาพทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาให้เหมือนสภาพจริง รวมถึงการกำหนดวันเวลาเดียวกันกับการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาด้วย หลังจากนั้นเมื่อได้ผลจากการจำลองสภาพอากาศแล้วจะต้องนำไปพิสูจน์ความแตกต่างด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป ทั้งนี้การเลือกใช้ค่าที่จะนำไปพิสูจน์ความแตกต่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และตัวแปรของแต่ละงานวิจัย ถ้าหากผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าการตรวจวัดภาคสนาม ควรปรับลด/เพิ่ม การตั้งค่าข้อมูลทางสภาพอากาศ (Parameter setting) ของแต่ละตัวแปร ทั้งช่วงเวลาของการจำลองสภาพอากาศ

2.7.2 การยืนยันแบบจำลอง (Validation of simulation model)

การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองสภาพอากาศ นักวิจัยนิยมใช้วิธีการทางสถิติเพื่อพิสูจน์ความแตกต่าง ดังนี้ The coefficient of determination (R^2), The Root Mean quare Error (RMSE) และ The Willmott's index of agreement (d) (Erell et al., 2006) โดยค่า R^2 ควรมีค่าเข้าใกล้ 1, RMSE ควรมีค่าเข้าใกล้ 0 และ d ควรมีค่าเข้าใกล้ 1

ดังตารางที่ 10 จากงานวิจัยต่างๆทั่วโลกแสดงค่าจากการวิเคราะห์ The coefficient of determination (R2) มีค่าระหว่าง 0.69-0.96, The Root Mean quare Error (RMSE) มีค่าระหว่าง 7.98-0.66 และ The Willmott's index of agreement (d) มีค่าระหว่าง 0.78-0.98

ตารางที่ 10 แสดงค่าจากการวิเคราะห์ The coefficient of determination (R^2), The Root Mean quare Error (RMSE) และ The Willmott's index of agreement (d) จากงานวิจัยอื่น

Study	City	Variable	R^2	RMSE	d
Lee et al. (2016)	Freiburg, Germany	T_A	0.85	0.66	0.95
		T_{MRT}	0.86	5.49	0.95
Wang et al. (2016)	Toronto, Canada	T_A	0.69	-	-
Duarte et al. (2015)	Sao Paulo, Brazil	T_A	-	1.61	0.85
Acero et al. (2015)	Bilbao, Spain	T_A	0.96		
		T_{MRT}	0.71		
Ghaffarianhoseini et al. (2015)	Kuala Lumpur, Malaysia	T_A	0.96	-	-
Taleghani et al. (2015)	Netherlands	T_A	-	1.00	-
Song Bonggeun et al. (2015)	Changwon City, S. Korea	T_A	0.52	4.83	-
Jänicke et al. (2015)	Berlin, Germany	T_A	0.87	1.39	-
		T_{MRT}	0.95	7.98	-
Conry et al. (2015)	Chicago, USA	T_A	-	0.87	0.78
Wang et al. (2015)	Beijing, China	T_A	0.81	-	-
Al-ameri et al. (2014)	Putrajaya, Malaysia	T_A	0.69	1.82	0.60
Middel et al. (2014)	Phoenix, USA	T_A	-	1.74	0.98
Hedquist et al. (2014)	Phoenix, USA	T_A	0.89	2.9	0.79
Müller et al. (2014)	Oberhausen, Germany	T_A	0.97	-	-
Chen et al. (2014)	Freiburg, Germany	T_{MRT}	0.25	-	-

ที่มา : Salata et al. (2016)

2.8 กฎหมายและข้อกำหนดควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคาร

2.8.1 กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518

พื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ถูกกำหนดให้อยู่ในบริเวณหมาย 1.11 ไว้เป็นสีชมพูให้เป็นที่ดินประเภทชุมชน มีข้อกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนี้

“ข้อ 7 ที่ดินประเภทชุมชน ให้ใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม เกษตรกรรม สถาบันการศึกษา สถาบันศาสนา สถาบันราชการ และการสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการอื่น ให้ดำเนินการหรือประกอบกิจการได้ในอาคารที่ไม่ใช่อาคารขนาดใหญ่.”

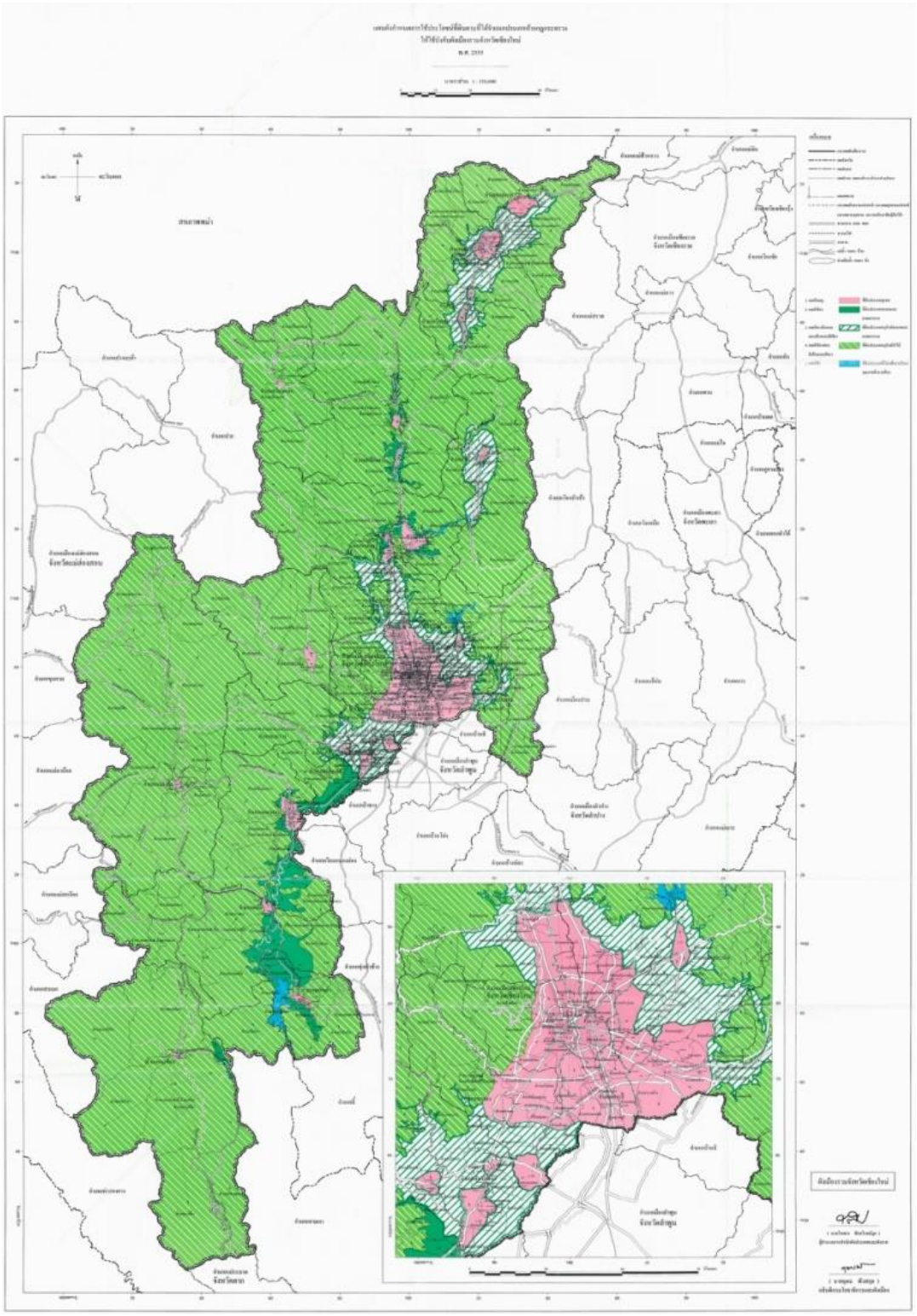
โดยที่ดินประเภทนี้ ห้ามใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการตามที่กำหนด ดังต่อไปนี้

(1) โรงงานทุกจำพวกตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน เว้นแต่โรงงานตามประเภท ชนิด และจำพวกที่กำหนดให้ดำเนินการได้ตามบัญชีท้ายกฎกระทรวงนี้

(2) คลังน้ำมันเชื้อเพลิงและสถานที่ที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ไม่ใช่ก๊าซปิโตรเลียมเหลวและก๊าซธรรมชาติ เพื่อจำหน่ายที่ต้องขออนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง เว้นแต่เป็นสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

(3) สถานที่บรรจุก๊าซ สถานที่เก็บก๊าซ และห้องบรรจุก๊าซ สำหรับก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ไม่หมายความรวมถึงสถานีบริการ ร้านจำหน่ายก๊าซ สถานที่ใช้ก๊าซ และสถานที่จำหน่ายอาหารที่ใช้ก๊าซ

การใช้ประโยชน์ที่ดินริมฝั่งแม่น้ำ ลำคลอง หรือแหล่งน้ำสาธารณะ ให้มีที่ว่างตามแนวขนานริมฝั่งตามสภาพธรรมชาติของแม่น้ำ ลำคลอง หรือแหล่งน้ำสาธารณะไม่น้อยกว่า ๖ เมตร เว้นแต่เป็นการก่อสร้างเพื่อการคมนาคมทางน้ำหรือการสาธารณูปโภค และที่ดินริมฝั่งแม่น้ำปิง แม่น้ำฝาง แม่น้ำแม่แตง แม่น้ำแม่งัด แม่น้ำแม่ขาน แม่น้ำแม่แจ่ม แม่น้ำแม่กลาง และแม่น้ำแม่ตื่น ในระยะ ๑๕ เมตร ตามแนวขนานริมฝั่งตามสภาพธรรมชาติของแม่น้ำปิง แม่น้ำฝาง แม่น้ำแม่แตง แม่น้ำแม่งัด แม่น้ำแม่ขาน แม่น้ำแม่แจ่ม แม่น้ำแม่กลาง และแม่น้ำแม่ตื่น เฉพาะที่ดินซึ่งเป็นของรัฐ ให้ใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อนันทนาการหรือเกี่ยวข้องกับนันทนาการ การรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือสาธารณประโยชน์เท่านั้น สำหรับที่ดินซึ่งเอกชนเป็นเจ้าของหรือผู้ครอบครองโดยชอบด้วยกฎหมาย ให้ใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อนันทนาการหรือเกี่ยวข้องกับนันทนาการ การรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม เกษตรกรรมหรือเกี่ยวข้องกับเกษตรกรรม การอยู่อาศัยที่ไม่ใช่การจัดสรรที่ดิน และการสาธารณูปโภคและสาธารณูปการเท่านั้น



ภาพที่ 58 ผังเมืองรวมจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง (2555)

2.8.2 กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518

พื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน อยู่ในเขตที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก บริเวณหมายเลข 4.30 มีข้อกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินดังนี้

“ข้อ 10 ที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ให้ใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อพาณิชยกรรม การอยู่อาศัย การท่องเที่ยว สถาบันราชการ การสาธารณูปโภคและสาธารณูปการเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการอื่น ให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละสิบห้าของที่ดินประเภทนี้ในแต่ละบริเวณ”

ที่ดินประเภทนี้ยกเว้นในบริเวณหมายเลข 4.13 หมายเลข 4.19 หมายเลข 4.21 หมายเลข 4.24 และหมายเลข 4.25 ห้ามใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการตามที่กำหนด ดังต่อไปนี้

(1) โรงงานทุกจำพวกตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน เว้นแต่โรงงานตามประเภท ชนิด และจำพวกที่กำหนดให้ดำเนินการได้ตามบัญชีท้ายกฎกระทรวงนี้

(2) คลังน้ำมันเชื้อเพลิงและสถานที่ที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ไม่ใช่ก๊าซปิโตรเลียมเหลวและก๊าซธรรมชาติ เพื่อจำหน่ายที่ต้องขออนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง

(3) สถานที่บรรจุก๊าซ สถานที่เก็บก๊าซ และห้องบรรจุก๊าซ สำหรับก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ไม่หมายความรวมถึงร้านจำหน่ายก๊าซ สถานที่ใช้ก๊าซและสถานที่จำหน่ายอาหารที่ใช้ก๊าซ

(4) การเลี้ยงสัตว์ทุกชนิดเพื่อการค้าที่อาจก่อเหตุรำคาญตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข

(5) สุสานและฌาปนสถานตามกฎหมายว่าด้วยสุสานและฌาปนสถาน

(6) ซื้อขายหรือเก็บชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเก่า

(7) ซื้อขายหรือเก็บเศษวัสดุ

การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนี้ ให้เป็นไปดังต่อไปนี้

(1) การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการใด ๆ ในบริเวณหมายเลข 4.2 หมายเลข 4.9 หมายเลข 4.17 และหมายเลข 4.41 ให้ดำเนินการหรือประกอบกิจการได้ในอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15.00 เมตร (ภาพที่ 60)

(2) การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการใด ๆ ในบริเวณหมายเลข 4.11 หมายเลข 4.14 และหมายเลข 4.26 ให้ดำเนินการหรือประกอบกิจการได้ในอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 12.00 เมตร (ภาพที่ 61)

การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อดำเนินการหรือประกอบกิจการในอาคารตามวรรคสาม ไม่หมายความรวมถึงโครงสร้างสำหรับใช้ในการส่งกระแสไฟฟ้า รับส่งสัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ หรือสัญญาณสื่อสารทุกชนิด การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยา ให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

ที่ดินประเภทนี้ในบริเวณหมายเลข 4.13 หมายเลข 4.19 หมายเลข 4.21 หมายเลข 4.24 และหมายเลข 4.25 ห้ามใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการตามที่กำหนด (ภาพที่ 62) ดังต่อไปนี้

(1) โรงงานทุกจำพวกตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

(2) คลังน้ำมันเชื้อเพลิงและสถานที่ที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ไม่ใช่ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และก๊าซธรรมชาติ เพื่อจำหน่ายที่ต้องขออนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง

(3) สถานที่บรรจุก๊าซ สถานที่เก็บก๊าซ และห้องบรรจุก๊าซ สำหรับก๊าซปิโตรเลียมเหลวตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ไม่หมายความรวมถึงสถานีบริการ ร้านจำหน่ายก๊าซสถานที่ใช้ก๊าซ และสถานที่จำหน่ายอาหารที่ใช้ก๊าซ

(4) การเลี้ยงสัตว์ทุกชนิดเพื่อการค้าที่อาจก่อเหตุรำคาญตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข

(5) สุสานและฌาปนสถานตามกฎหมายว่าด้วยสุสานและฌาปนสถาน

(6) สถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

(7) โรงแรมที่มีพื้นที่เกิน 1,000 ตารางเมตร

(8) การอยู่อาศัยประเภทห้องชุด อาคารชุด หรือหอพัก ที่มีพื้นที่เกิน 1,000 ตารางเมตร

(9) ศูนย์ประชุมหรืออาคารแสดงสินค้า

(10) สวนสนุกหรือสวนสัตว์

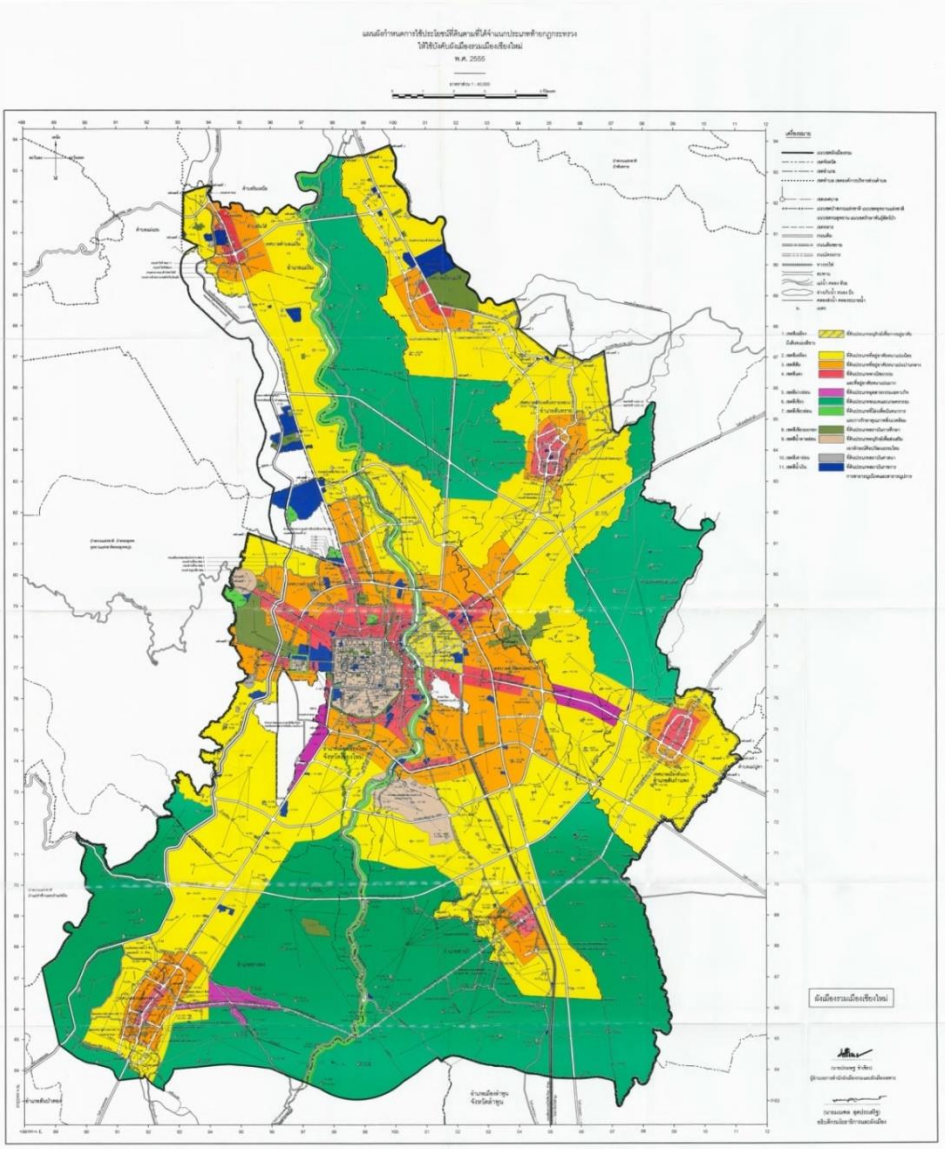
(11) ซื้อขายหรือเก็บชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเก่า

(12) ซื้อขายหรือเก็บเศษวัสดุ

การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนี้ในบริเวณหมายเลข 4.13 หมายเลข 4.19 หมายเลข 4.21 หมายเลข 4.24 และหมายเลข 4.25 ให้เป็นไปดังต่อไปนี้

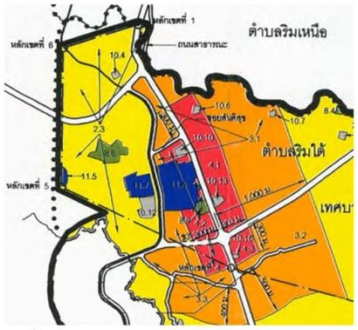
(1) การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการใด ๆ ให้ดำเนินการหรือประกอบกิจการได้ในอาคารที่มีพื้นที่รวมกันทั้งหมดไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร และมีความสูงไม่เกิน 12.00 เมตร แต่ไม่หมายความรวมถึงโครงสร้างสำหรับใช้ในการส่งกระแสไฟฟ้า รับส่งสัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ หรือสัญญาณสื่อสารทุกชนิดการวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

(2) การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการใด ๆ ให้มีที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละสี่สิบของแปลงที่ดินที่ยื่นขออนุญาต

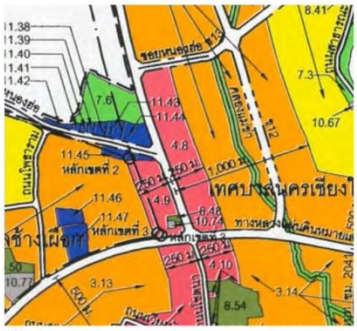


ภาพที่ 59 แผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518

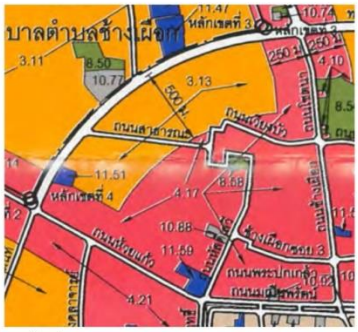
ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง (2555)



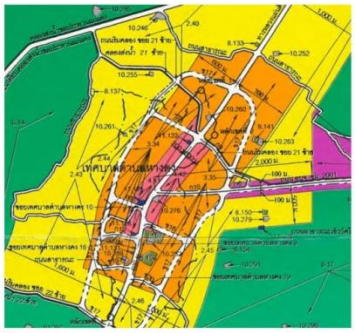
พื้นที่หมายเลข 4.2 บริเวณเทศบาลแม่ริม



พื้นที่หมายเลข 4.9 บริเวณเทศบาลช้างเผือก



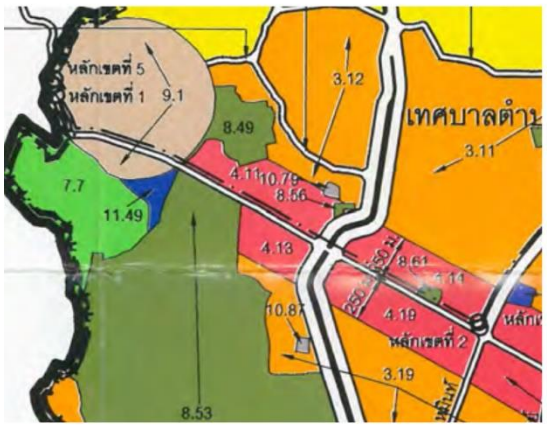
พื้นที่หมายเลข 4.17 บริเวณย่านช้างเผือก



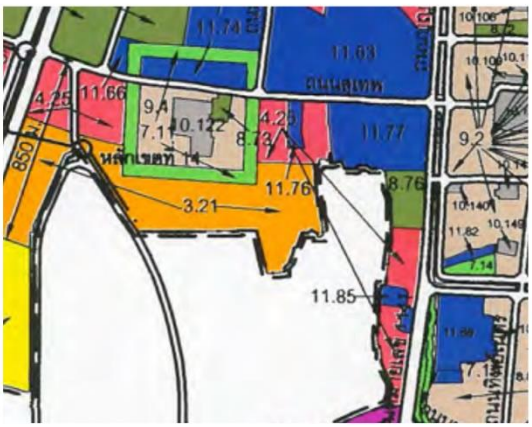
พื้นที่หมายเลข 4.41 บริเวณเทศบาลตำบลหางดง

ภาพที่ 60 แสดงที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก กำหนดความสูงอาคารไม่เกิน 15 เมตร ของกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

ที่มา : สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (2555)



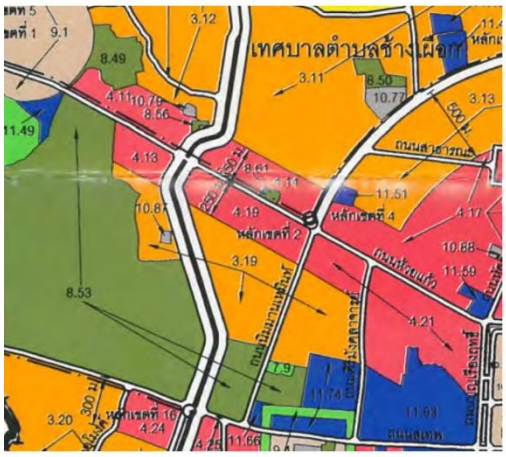
หมายเลข 4.11 และ 4.14 ถ.ห้วยแก้ว ฝั่งทิศเหนือ ด้านหน้ามหาวิทยาลัยเชียงใหม่



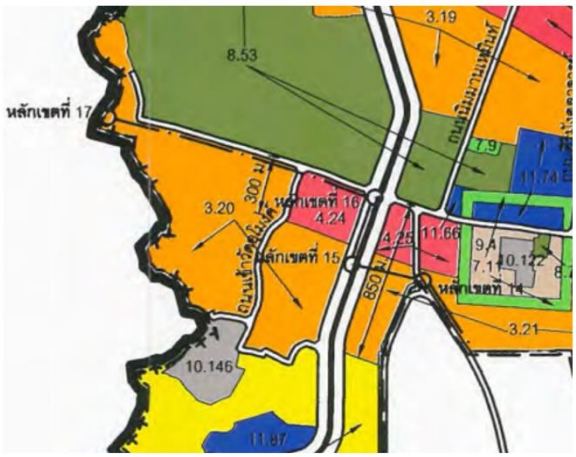
หมายเลข 4.26 ริม ถ.สุเทพ และ ถ.บุญเรืองฤทธิ์

ภาพที่ 61 แสดงที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก กำหนดความสูงอาคารไม่เกิน 12 เมตร ของกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

ที่มา : สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (2555)



หมายเลข 4.13, 4.19 และ 4.21
พื้นที่ฝั่งทิศใต้ของ ถ.ห้วยแก้ว ตลอดแนวถนน



หมายเลข 4.24 และ 4.25
พื้นที่ฝั่งทิศใต้ของ ถ.สุเทพ

ภาพที่ 62 แสดงที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ที่ห้ามมิให้สร้างอาคารเพื่อการอยู่อาศัยประเภทห้องชุด อาคารชุด หอพัก หรือโรงแรม ที่มีพื้นที่เกิน 1,000 ตารางเมตร และมีความสูงไม่เกิน 12 เมตร ของกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555
ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (2555)

2.8.3 กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

การศึกษานี้มีเป้าหมายที่จะศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมือง ดั้งนั้นจึงมีการอ้างถึงกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ในหมวดที่ 1 และหมวดที่ 4 ซึ่งกล่าวถึงลักษณะของอาคาร เนื้อที่ว่างของภายนอกอาคารและแนวอาคาร ดังนี้

ขอ 1 ในกฎกระทรวงนี้

"อาคารสูง" หมายความว่า อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.00 เมตรขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

"อาคารขนาดใหญ่พิเศษ" หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภทโดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป

"พื้น" หมายความว่า พื้นที่ของอาคารที่บุคคลเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ภายในขอบเขตของคานหรือตงที่รับพื้น หรือภายในพื้นนั้น หรือภายในขอบเขตของผนังอาคาร รวมทั้งเฉลียงหรือระเบียงด้วย

"พื้นที่อาคาร" หมายความว่า พื้นที่สำหรับนำไปคำนวณหาอัตราส่วนพื้นที่อาคารต่อพื้นที่ดิน ซึ่งไม่รวมพื้นที่ดาดฟ้า บันไดนอกหลังคา พื้นที่ติดตั้งเครื่องจักรกลต่างๆ เท่าที่จำเป็น

"ที่ว่าง" หมายความว่า พื้นที่อันปราศจากหลังคาหรือสิ่งก่อสร้างปกคลุม เช่น บ่อน้ำ สระว่ายน้ำ หรือที่จอดรถ และหมายความรวมถึงพื้นที่ของสิ่งก่อสร้างหรือหลังคาที่สูงจากระดับพื้นไม่เกิน 1.20 เมตร และไม่มีหลังคาหรือสิ่งก่อสร้างปกคลุมเหนือระดับนั้น

"ถนนสาธารณะ" หมายความว่า ถนนที่เปิดหรือยินยอมให้ประชาชนเข้าไปหรือใช้เป็นทางสัญจรได้ ทั้งนี้ ไม่ว่าจะมีการเรียกเก็บค่าตอบแทนหรือไม่

"วัสดุทนไฟ" หมายความว่า วัสดุก่อสร้างที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง

"ผนังกันไฟ" หมายความว่า ผนังทึบที่ก่อสร้างด้วยอิฐธรรมดาหนาไม่น้อยกว่า 18.00 เซนติเมตร และไม่มีช่องที่ให้ไฟหรือควันผ่านได้ หรือจะเป็นผนังทึบที่ทำด้วยวัสดุทนไฟอย่างอื่นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันไฟได้ดีไม่น้อยกว่าผนังที่ก่อด้วยอิฐธรรมดาหนาไม่น้อยกว่า 18.00 เซนติเมตร ถ้าเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก ตองหนาไม่น้อยกว่า 12.00 เซนติเมตร

"ระบบท่อยืน" หมายความว่า ที่ส่งน้ำและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการดับเพลิง

"น้ำเสีย" หมายความว่า ของเหลวที่ผ่านการใช้แล้วทุกชนิดทั้งที่มีกากและไม่มีกาก

"แหล่งรองรับน้ำทิ้ง" หมายความว่า ท่อระบายน้ำสาธารณะ คู คลอง แม่น้ำ ทะเล และแหล่งน้ำสาธารณะ

"ระบบบำบัดน้ำเสีย" หมายความว่า กระบวนการทำหรือการปรับปรุงน้ำเสียให้มีคุณภาพเป็นน้ำทิ้ง รวมทั้งการทำให้น้ำทิ้งพ้นไปจากอาคาร

"ระบบประปา" หมายความว่า ระบบการจ่ายน้ำเพื่อใช้และดื่ม

"มูลฝอย" หมายความว่า มูลฝอยตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข

"ที่พักมูลฝอย" หมายความว่า อุปกรณ์หรือสถานที่ที่ใช้สำหรับเก็บกักมูลฝอยเพื่อรอการขนย้ายไปยังที่พักรวมมูลฝอย

"ที่พักรวมมูลฝอย" หมายความว่า อุปกรณ์หรือสถานที่ที่ใช้สำหรับเก็บกักมูลฝอยเพื่อรอการขนไปกำจัด

ลิฟต์ดับเพลิง' หมายความว่า ลิฟต์ที่พนักงานดับเพลิงสามารถควบคุมการใช้ได้ขณะเกิดเพลิงไหม้

หมวด 1

ลักษณะของอาคาร เนื้อที่ว่างของภายนอกอาคารและแนวอาคาร

.....

ข้อ 2 ที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีพื้นที่อาคารรวมไม่เกิน 30,000 ตารางเมตร ต้องมีด้านหนึ่งด้านใดของที่ดินนั้นยาวไม่น้อยกว่า 12.00 เมตร ติดถนนสาธารณะที่มีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 10.00 เมตร และถนนสาธารณะนั้นต้องมีเขตทาง กว้างไม่น้อย

กว่า 10.00 เมตร ยาวต่อเนื่องกันโดยตลอด นับตั้งแต่ที่ตั้งอาคารจนไปเชื่อมต่อกับถนนสาธารณะอื่นที่มีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 10.00 เมตร

สำหรับที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ที่มีพื้นที่อาคารมากกว่า 30,000 ตารางเมตร ต้องมีด้านหนึ่งด้านใดของที่ดินนั้นยาวไม่น้อยกว่า 12.00 เมตร ติดถนนสาธารณะที่มีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 18.00 เมตร และถนนสาธารณะนั้นต้องมีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 18.00 เมตร ยาวต่อเนื่องกันกันโดยตลอด เป็นระยะทางไม่น้อยกว่ากึ่งหนึ่งของถนนสาธารณะนั้น หรือไม่น้อยกว่า 500.00 เมตร นับตั้งแต่ที่ตั้งของอาคาร

ข้อ 3 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีถนนหรือที่ว่างปราศจากสิ่งปกคลุมโดยรอบอาคารไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร และรถดับเพลิงสามารถเข้าออกได้โดยสะดวกที่ว่างตามวรรคหนึ่ง ให้รวมระยะเขตห้ามก่อสร้างอาคารบางชนิดหรือบางประเภท ริมถนนหรือทางหลวงตามข้อบัญญัติท้องถิ่นหรือกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้องเข้ามาเป็นที่ว่างได้ ในกรณีที่มีข้อบัญญัติท้องถิ่นหรือกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้องกำหนดแนวสร้างหรือขยายถนนใช้บังคับ ให้เริ่มที่ว่างวรรคหนึ่งตั้งแต่แนวนั้น

ข้อ 4 พื้นที่หรือผนังของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องห่างเขตที่ดินของผู้อื่นและถนนสาธารณะไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร

ข้อ 5 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีค่าสูงสุดของอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นต่อที่ดินของอาคารทุกหลังที่ก่อสร้างขึ้นในที่ดินแปลงเดียวกันไมเกิน 10 ต่อ 1

ข้อ 6 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีที่ว่างอันปราศจากสิ่งปกคลุมไม่น้อยกว่าอัตราส่วน ดังต่อไปนี้

(1) อาคารอยู่อาศัยต้องมีที่ว่างอันปราศจากสิ่งปกคลุมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ดินแปลงนั้น

(2) อาคารพาณิชย์ โรงงาน อาคารสาธารณะและอาคารอื่นที่ไม่ได้ใช้เป็นที่อยู่อาศัย ต้องมีที่ว่างอันปราศจากสิ่งปกคลุมไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ดินแปลงนั้น แต่ถ้าอาคารนั้นใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมอยู่ด้วยต้องมีที่ว่างอันปราศจากสิ่งปกคลุมตาม ข้อ (1)

2.8.4 กฎกระทรวงฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) เป็นพระราชบัญญัติที่ออกมาเพื่อแก้ไขปรับปรุงความพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) โดยจะอ้างอิงตามพระราชบัญญัติที่มีความเกี่ยวข้องกับรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกบทนิยามคำว่า “พื้น” ในข้อ 1 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ข้อ 2 ให้ยกเลิกความในบทนิยามคำว่า “พื้นที่อาคาร” ในข้อ 1 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“พื้นที่อาคาร” หมายความว่า พื้นที่ของพื้นของอาคารแต่ละชั้นที่บุคคลเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ภายในขอบเขตด้านนอกของคานหรือภายในพื้นนั้น หรือภายในขอบเขตด้านนอกของผนังของอาคารและหมายความรวมถึงเฉลียงหรือระเบียงด้วย แต่ไม่รวมพื้นดาดฟ้าและบันไดนอกหลังคา”

ข้อ 3 ให้เพิ่มบทนิยามคำว่า “พื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร” และ “ดาดฟ้า” ระหว่างบทนิยามคำว่า “พื้นที่อาคาร” และ “ที่ว่าง” ในข้อ 1 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

“พื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร” หมายความว่า พื้นที่ของแปลงที่ดินที่นำมาใช้ขออนุญาตก่อสร้างอาคาร ไม่ว่าจะเป็นที่ดินตามหนังสือสำคัญแสดงสิทธิในที่ดินฉบับเดียวหรือหลายฉบับซึ่งเป็นที่ดินที่ติดต่อกัน

“ดาดฟ้า” หมายความว่า พื้นส่วนบนสุดของอาคารที่ไม่มีหลังคาปกคลุม และบุคคลสามารถขึ้นไปใช้สอยได้”

ข้อ 4 ให้ยกเลิกความในบทนิยามคำว่า “ที่ว่าง” ในข้อ 1 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“ที่ว่าง” หมายความว่า พื้นที่อันปราศจากหลังคาหรือสิ่งก่อสร้างปกคลุม ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวอาจจะจัดให้เป็นบ่อน้ำ สระว่ายน้ำ บ่อพักน้ำเสีย ที่พักมูลฝอย ที่พักรวมมูลฝอย หรือที่จอดรถ ที่อยู่ภายนอกอาคารก็ได้ และให้ความหมายรวมถึงพื้นที่ของสิ่งปลูกสร้างหรืออาคารที่สูงจากระดับพื้นดินไม่เกิน 1.20 เมตร และไม่มีหลังคาหรือสิ่งก่อสร้างปกคลุมเหนือระดับนั้น”

ข้อ 5 ให้ยกเลิกความในข้อ 2 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“ข้อ 2 ที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นไม่เกิน 30,000 ตารางเมตร ต้องมีด้านหนึ่งด้านใดของที่ดินนั้นยาวไม่น้อยกว่า 12.00 เมตร ติดถนนสาธารณะที่มีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 10.00 เมตร ยาวต่อเนื่องกันโดยตลอดจนไปเชื่อมต่อกับถนนสาธารณะอื่นที่มีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 10.00 เมตร

สำหรับที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นมากกว่า 30,000 ตารางเมตร ต้องมีด้านหนึ่งด้านใดของที่ดินนั้นยาวไม่น้อยกว่า 12.00 เมตร ติดถนนสาธารณะที่มีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 18.00 เมตร ยาวต่อเนื่องกันโดยตลอดจนไปเชื่อมต่อกับถนนสาธารณะอื่นที่มีเขตทางกว้างไม่น้อยกว่า 18.00 เมตร

ที่ดินด้านที่ติดถนนสาธารณะตามวรรคหนึ่งและวรรคสอง ต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 12.00 เมตร ยาวต่อเนื่องกันโดยตลอดจนถึงบริเวณที่ตั้งของอาคาร และที่ดินนั้นต้องว่างเพื่อสามารถใช้เป็นทางเขาออกของรถดับเพลิงได้โดยสะดวก”

ข้อ 6 ให้ยกเลิกความในข้อ 3 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“ข้อ 3 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องจัดให้มีถนนที่มีผิวการจราจรกว้างไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร ที่ปราศจากสิ่งปกคลุมโดยรอบอาคาร เพื่อให้รถดับเพลิงสามารถเข้าออกได้โดยสะดวก

ถนนตามวรรคหนึ่ง จะอยู่ในระยะห้ามก่อสร้างอาคารบางชนิดหรือบางประเภทริมถนนหรือทางหลวงตามข้อบัญญัติท้องถิ่นหรือตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องก็ได้

ในกรณีที่มีข้อบัญญัติท้องถิ่นหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกำหนดแนวสร้างหรือขยายถนนใช้บังคับเริ่มนับความกว้างของถนนตามวรรคหนึ่งตั้งแต่แนวนั้น”

ข้อ 7 ให้ยกเลิกความในข้อ 4 ข้อ 5 ข้อ 6 ข้อ 7 และข้อ 8 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“ข้อ 4 ส่วนที่เป็นขอบเขตนอกสุดของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ไม่ว่าจะอยู่ในระดับเหนือพื้นดินหรือต่ำกว่าระดับพื้นดินต้องห่างจากเขตที่ดินของผู้อื่นหรือถนนสาธารณะไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร ทั้งนี้ไม่รวมถึงส่วนที่เป็นรากฐานของอาคาร

ข้อ 5 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่ก่อสร้างขึ้นในพื้นดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคารต้องมีค่าสูงสุดของอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นของอาคารทุกหลังต่อพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร ไม่เกิน 10 ต่อ 1

ในกรณีที่มีอาคารอื่นใดหรือจะมีการก่อสร้างอาคารอื่นใดในพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคารเดียวกันกับอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ต้องมีค่าสูงสุดของอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นของอาคารทุกหลังต่อพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคารไม่เกิน 10 ต่อ 1 ด้วย

ข้อ 6 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่าอัตราส่วนดังต่อไปนี้

(1) อาคารที่อาศัยอยู่ต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร

(2) อาคารพาณิชย์ โรงงาน อาคารสาธารณะ และอาคารอื่นที่ไม่ได้ใช้เป็นที่อยู่อาศัยต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร แต่ถ้าอาคารนั้นใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมอยู่ด้วยต้องมีที่ว่าง (1)

ข้อ 7 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีพื้นของอาคารที่ต่ำกว่าระดับพื้นดินต้องมีระบบระบายอากาศ กับระบบบำบัดน้ำเสียและการระบายน้ำทิ้งตามหมวด 2 และหมวด 3 แยกเป็นอิสระจากระบบระบายอากาศ กับระบบบำบัดน้ำเสียและการระบายน้ำทิ้งส่วนเหนือพื้นดิน

พื้นของอาคารที่ต่ำกว่าระดับพื้นดินตามวรรคหนึ่ง ห้ามใช้เป็นที่อยู่อาศัย

ข้อ 8 อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีพื้นของอาคารที่ต่ำกว่าระดับถนนหน้าอาคารตั้งแต่ชั้นที่ 3 ลงไป หรือต่ำกว่าระดับถนนหน้าอาคารตั้งแต่ 7.00 เมตร ลงไป ต้องจัดให้มี

(1) ระบบลิฟต์ตามหมวด 6 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535)

(2) บันไดหนีไฟจากชั้นล่างสุดสู่พื้นของอาคารที่มีทางออกสู่ภายนอกได้โดยสะดวก และบันไดหนีไฟนี้ต้องมีระบบแสงสว่าง และระบบอัดลมที่มีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 3.86 ปาสกาลมาตรทำงานอยู่ตลอดเวลา และผนังบันไดหนีไฟทุกด้านต้องเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 10.00 เซนติเมตร บันไดหนีไฟต้องอยู่ห่างกันไม่เกิน 60.00 เมตร เมื่อวัดตามแนวทางเดิน ทั้งนี้ เพื่อใช้เป็นที่หนีภัยในกรณีฉุกเฉินได้”

2.8.5 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

การศึกษานี้มีเป้าหมายที่จะศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมือง ดั้งนั้นจึงมีการอ้างถึงกฎกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ลักษณะอาคารในหมวดที่ 1 ที่ว่างภายนอกอาคารในหมวดที่ 3 และระยะร่นในหมวดที่ 4 เท่านั้น ซึ่งกล่าวถึงลักษณะของอาคาร เนื้อที่ว่างของภายนอกอาคารและแนวอาคาร ดังนี้

หมวด 1

ลักษณะของอาคาร เนื้อที่ว่างของภายนอกอาคารและแนวอาคาร

.....

ข้อ 2 ห้องแถวหรือตึกแถวแต่ละคูหา ต้องมีความกว้างโดยวัดระยะตั้งฉากจากแนวศูนย์กลางของเสาด้านหนึ่งไปยังแนวศูนย์กลางของเสาอีกด้านหนึ่งไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร มีความลึกของอาคารโดยวัดระยะตั้งฉากกับแนวผนังด้านหน้าชั้นล่างไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร และไม่เกิน 24.00 เมตร มีพื้นที่ชั้นล่างแต่ละคูหาไม่น้อยกว่า 30.00 ตารางเมตร และต้องมีประตูคนเข้าออกได้ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

ในกรณีที่ความลึกของอาคารเกิน 16.00 เมตร ต้องจัดให้มีที่ว่างอันปราศจากสิ่งปกคลุมขึ้นบริเวณหนึ่งที่ระยะระหว่าง 12.00 เมตรถึง 16.00 เมตร โดยให้มีเนื้อที่ไม่น้อยกว่า 10 ใน 100 ของพื้นที่ชั้นล่างของอาคารนั้นห้องแถวหรือตึกแถวที่สร้างอยู่ริมถนนสาธารณะต้องให้ระดับพื้นชั้นล่างของห้องแถวหรือตึกแถวมีความสูง 10.00 เซนติเมตรจากระดับทางเท้าหน้าอาคาร หรือมีความสูง 25.00 เซนติเมตรจากระดับกึ่งกลางถนนสาธารณะหน้าอาคาร แล้วแต่กรณี

ข้อ 3 บ้านแถวแต่ละคูหาต้องมีความกว้างโดยวัดระยะตั้งฉากจากแนวศูนย์กลางของเสาด้านหนึ่งไปยังแนวศูนย์กลางของเสาอีกด้านหนึ่งไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร มีความลึกของอาคารโดยวัดระยะตั้งฉากกับแนวผนังด้านหน้าชั้นล่างไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร และไม่เกิน 24.00 เมตร และมีพื้นที่ชั้นล่างแต่ละคูหาไม่น้อยกว่า 24.00 ตารางเมตร

ในกรณีที่ความลึกของอาคารเกิน 16.00 เมตร ต้องจัดให้มีที่ว่างอันปราศจากสิ่งปกคลุมขึ้นบริเวณหนึ่งที่ระยะระหว่าง 12.00 เมตรถึง 16.00 เมตร โดยให้มีเนื้อที่ไม่น้อยกว่า 20 ใน 100 ของพื้นที่ชั้นล่างของอาคารนั้น

ข้อ 4 ห้องแถว ตึกแถว หรือบ้านแถวจะสร้างต่อเนื่องกันได้ไม่เกินสิบคูหา และมีความยาวของอาคารแถวหนึ่ง ๆ รวมกันไม่เกิน 40.00 เมตร โดยวัดระยะจากศูนย์กลางของเสาแรกถึงจุดศูนย์กลางของเสาสุดท้าย ไม่ว่าจะเป็นเจ้าของเดียวกันและใช้โครงสร้างเดียวกันหรือแยกกันก็ตาม

ข้อ 5 รั้วหรือกำแพงกั้นเขตที่อยู่มุมถนนสาธารณะที่มีความกว้างตั้งแต่ 3.00 เมตร ขึ้นไป และมีมุมหักน้อยกว่า 135 องศา ต้องปาดมุมรั้วหรือกำแพงกั้นเขตนั้น โดยให้ส่วนที่ปาดมุมมีระยะไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร และทำมุมกับแนวถนนสาธารณะเป็นมุมเท่าๆ กัน

ข้อ 6 สะพานส่วนบุคคลสำหรับรถยนต์ ต้องมีทางเดินรถกว้างไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร และมีส่วนลาดชันไม่เกิน 10 ใน 100

สะพานที่ใช้เป็นทางสาธารณะสำหรับรถยนต์ ต้องมีทางเดินรถกว้างไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร มีส่วนลาดชันไม่เกิน 8 ใน 100 มีทางเท้าสองข้างกว้างข้างละไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร เว้นแต่สะพานที่สร้างสำหรับรถยนต์โดยเฉพาะจะไม่มีทางเท้าก็ได้และมีราวสะพานที่มั่นคงแข็งแรงยาวตลอดตัวสะพานสองข้างด้วย

ข้อ 7 ป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้ายที่อาคารต้องไม่บังช่องระบายอากาศ หน้าต่าง ประตู หรือทางหนีไฟ

ข้อ 8 ป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้ายบนหลังคาหรือดาดฟ้าของอาคารต้องไม่ล้ำออกนอกแนวผนังรอบนอกของอาคาร และส่วนบนสุดของป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้ายต้องสูงไม่เกิน 6.00 เมตร จากส่วนสูงสุดของหลังคาหรือดาดฟ้าของอาคารที่ติดตั้งป้ายนั้น

ข้อ 9 ป้ายที่ยื่นจากผนังอาคารให้ยื่นได้ไม่เกินแนวกันสาด และให้สูงได้ไม่เกิน 60.00เซนติเมตร หรือมีพื้นที่ป้ายไม่เกิน 2.00 ตารางเมตร

ข้อ 10 ป้ายที่ติดตั้งเหนือกันสาดและไม่ได้ยื่นจากผนังอาคาร ให้ติดตั้งได้โดยมีความสูงของป้ายไม่เกิน 60.00 เซนติเมตรวัดจากขอบบนของปลายกันสาดนั้น หรือมีพื้นที่ป้ายไม่เกิน 2.00 ตารางเมตร

ข้อ 11 ป้ายที่ติดตั้งใต้กันสาดให้ติดตั้งแนบผนังอาคาร และต้องสูงจากพื้นทางเท้านั้นไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร

ข้อ 12 ป้ายโฆษณาสำหรับโรงมหรสพให้ติดตั้งขนานกับผนังอาคารโรงมหรสพ แต่จะยื่นห่างจากผนังได้ไม่เกิน 50.00 เซนติเมตร หรือหากติดตั้งป้ายบนกันสาด จะต้องไม่ยื่นล้ำแนวปลายกันสาดนั้น และความสูงของป้ายทั้งสองกรณีต้องไม่เกินความสูงของอาคาร

ข้อ 13 ป้ายที่ติดตั้งอยู่บนพื้นดินโดยตรง ต้องมีความสูงไม่เกินระยะที่วัดจากจุดที่ติดตั้งป้ายไปจนถึงกึ่งกลางถนนสาธารณะที่อยู่ใกล้ป้ายนั้นที่สุด และมีความยาวของป้ายไม่เกิน 32.00 เมตร

หมวด 3

ลักษณะของอาคาร เนื้อที่ว่างของภายนอกอาคารและแนวอาคาร

.....

ข้อ 33 อาคารแต่ละหลังหรือหน่วยต้องมีที่ว่างตามที่กำหนดดังต่อไปนี้

(1) อาคารอยู่อาศัย และอาคารอยู่อาศัยรวม ต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่า 30 ใน 100 ส่วนของพื้นที่ชั้นใดชั้นหนึ่งที่มากที่สุดของอาคาร

(2) ห้องแถว ตึกแถว อาคารพาณิชย์ โรงงาน อาคารสาธารณะ และอาคารอื่นซึ่งไม่ได้ใช้เป็นที่อยู่อาศัย ต้องมีที่ว่างไม่น้อยกว่า 10 ใน 100 ส่วน ของพื้นที่ชั้นใดชั้นหนึ่งที่มากที่สุดของอาคาร แต่ถาอาคารดังกล่าวใช้เป็นที่อยู่อาศัยด้วยต้องมีที่ว่างตาม (1)

ข้อ 34 ห้องแถวหรือตึกแถวซึ่งด้านหน้าไม่ติดริมถนนสาธารณะ ต้องมีที่ว่างด้านหน้าอาคารไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร โดยไม่ให้มีส่วนใดของอาคารยื่นล้ำเข้าไปในพื้นที่ดังกล่าว

ห้องแถวหรือตึกแถว ต้องมีที่ว่างด้านหลังอาคารกว้างไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร เพื่อใช้ติดต่อถึงกัน โดยไม่ให้มีส่วนใดของอาคารยื่นล้ำเข้าไปในพื้นที่ดังกล่าว เว้นแต่การสร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคารที่ยื่นล้ำไม่เกิน 1.40 เมตร

ระหว่างแถวด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวที่สร้างถึงสิบคูหา หรือมีความยาวรวมกันถึง 40 เมตร ต้องมีที่ว่างระหว่างแถวด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวนั้นกว้างไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร เป็นช่องตลอดความลึกของห้องแถวหรือตึกแถว เพื่อเชื่อมกับที่ว่างหลังอาคาร

ห้องแถวหรือตึกแถวที่สร้างติดต่อกันไม่ถึงสิบคูหา หรือมีความยาวรวมกันไม่ถึง 40.00 เมตร แต่มีที่ว่างระหว่างแถวด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวนั้นกว้างน้อยกว่า 4.00 เมตร ไม่ให้ถือเป็นที่ว่างระหว่างแถวด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวแต่ให้ถือว่าห้องแถวหรือตึกแถวนั้นสร้างต่อเนื่องเป็นแถวเดียวกัน

ที่ว่างตามวรรคหนึ่ง วรรคสอง และวรรคสาม จะก่อสร้างอาคาร รั้ว กำแพง หรือสิ่งก่อสร้างอื่นใด หรือจัดให้เป็นบ่อน้ำ สระว่ายน้ำ ที่พักมูลฝอย หรือที่พักรวมมูลฝอยไม่ได้

ห้องแถวหรือตึกแถวที่มีด้านข้างใกล้เขตที่ดินของผู้อื่น ต้องมีที่ว่างระหว่างด้านข้างของอาคารห้องแถวหรือตึกแถวกับเขตที่ดินของผู้อื่นนั้นกว้างไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร เว้นแต่ห้องแถวหรือตึกแถวที่ก่อสร้างขึ้นทดแทนอาคารเดิมโดยมีพื้นที่ไมมากกว่าพื้นที่ของอาคารเดิมและมีความสูงไม่เกิน 15.00 เมตร

ข้อ 35 ห้องแถวหรือตึกแถวที่มีที่ว่างหลังอาคารตามข้อ 34 วรรคสอง และได้ร่นแนวอาคารตามข้อ 41 แล้ว ไม่ต้องมีที่ว่างตามข้อ 33(1) และ (2) อีก

หมวด 4

แนวอาคารและระยะต่างๆ ของอาคาร

.....

ข้อ 40 การก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารหรือส่วนของอาคารจะต้องไม่ล้ำเข้าไปในที่สาธารณะ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากเจ้าพนักงานซึ่งมีอำนาจหน้าที่ดูแลรักษาที่สาธารณะนั้น

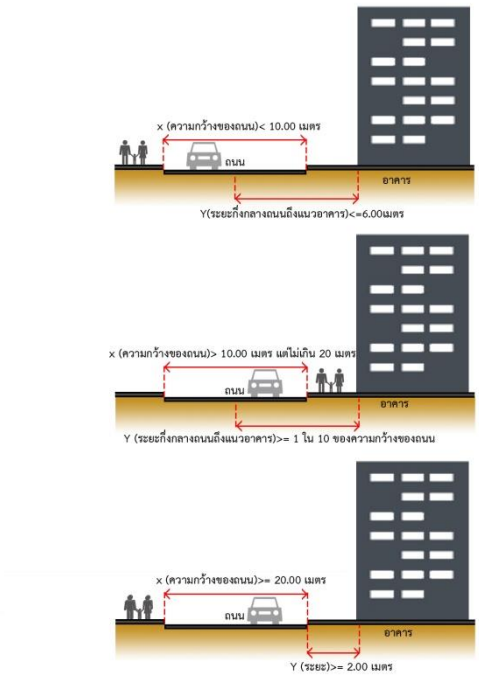
ข้อ 41 อาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงใกล้ถนนสาธารณะที่มีความกว้างน้อยกว่า 6.00 เมตร ให้ร่นแนวอาคารห่างจากกึ่งกลางถนนสาธารณะอย่างน้อย 3.00 เมตร

อาคารที่สูงเกินสองชั้นหรือเกิน 8 เมตร ห้องแถว ตึกแถว บ้านแถว อาคารพาณิชย์ โรงงาน อาคารสาธารณะ ป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้าย หรือคลังสินค้า ที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงใกล้ถนนสาธารณะ (ภาพที่ 63)

- ถ้าถนนสาธารณะนั้นมีความกว้างน้อยกว่า 10.00 เมตร ให้ร่นแนวอาคารห่างจากกึ่งกลางถนนสาธารณะอย่างน้อย 6.00 เมตร

- ถ้าถนนสาธารณะนั้นมีความกว้างตั้งแต่ 10.00 เมตรขึ้นไป แต่ไม่เกิน 20.00 เมตร ให้ร่นแนวอาคารห่างจากเขตถนนสาธารณะอย่างน้อย 1 ใน 10 ของความกว้างของถนนสาธารณะ

- ถ้าถนนสาธารณะนั้นมีความกว้างเกิน 20.00 เมตรขึ้นไป ให้ร่นแนวอาคารออกจากเขตถนนสาธารณะอย่างน้อย 2.00 เมตร



ภาพที่ 63 ระยะร่นของอาคารจากแนวถนนสาธารณะ ทั้ง 3 กรณี

ที่มา : ผู้วิจัย

ข้อ 42 อาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงใกล้แหล่งน้ำสาธารณะ เช่น แม่น้ำ คู คลอง ลำราง หรือลำกระโดง ถ้าแหล่งน้ำสาธารณะนั้นมีความกว้างไม่น้อยกว่า 10.00 เมตร ต้องร่นแนวอาคารให้ห่างจากเขตแหล่งน้ำสาธารณะนั้นไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร แต่ถ้าแหล่งน้ำสาธารณะนั้นมีความกว้างตั้งแต่ 10.00 เมตรขึ้นไป ต้องร่นแนวอาคารให้ห่างจากเขตแหล่งน้ำสาธารณะนั้นไม่น้อยกว่า6.00 เมตร

สำหรับอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงใกล้แหล่งน้ำสาธารณะขนาดใหญ่ เช่น บึง ทะเลสาบ หรือทะเล ต้องร่นแนวอาคารให้ห่างจากเขตแหล่งน้ำสาธารณะนั้นไม่น้อยกว่า 12.00 เมตร

ทั้งนี้ เว้นแต่ สะพาน เขื่อน รั้ว ท่อระบายน้ำ ท่าเรือ ป้าย อู่เรือ คานเรือ หรือที่ว่างที่ใช้เป็นที่จอดรถไม่ต้องร่นแนวอาคาร

ข้อ 43 ให้อาคารที่สร้างตามข้อ 41 และข้อ 42 ต้องมีส่วนต่ำสุดของกันสาดหรือส่วนยื่นสถาปัตยกรรมสูงจากระดับทางเท้าไม่น้อยกว่า 3.25 เมตร ทั้งนี้ ไม่นับส่วนตบแต่งที่ยื่นจากผนังไม่เกิน 50.00 เซนติเมตร และต้องมีท่อรับน้ำจากกันสาดหรือหลังคาต่อแนบหรือฝังในผนังหรือเสาอาคารลงสู่ท่อสาธารณะหรือบ่อพัก

ข้อ 44 ความสูงของอาคารไม่ว่าจากจุดหนึ่งจุดใด ต้องไมเกินสองเทาของระยะราบวัดจากจุดนั้นไปตั้งฉากกับแนวเขตด้านตรงข้ามถนนสาธารณะที่อยู่ใกล้อาคารนั้นที่สุด

ความสูงของอาคารให้วัดแนวดิ่งจากระดับถนนหรือระดับพื้นดินที่ก่อสร้างขึ้นไปถึงส่วนของอาคารที่สูงที่สุด สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหย่าถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

ข้อ 45 อาคารหลังเดียวกันซึ่งมีถนนสาธารณะสองสายขนาดไม่เท่ากันขนาบอยู่เมื่อระยะระหว่างถนนสาธารณะสองสายนั้นไม่เกิน 60.00 เมตร และส่วนกว้างของอาคารตามแนวถนนสาธารณะที่กว้างกว่าไม่เกิน 60.00 เมตร ความสูงของอาคาร ณ จุดใดต้องไม่เกินสองเท่าของระยะราบที่ใกล้ที่สุดจากจุดนั้นไปตั้งฉากกับแนวเขตถนนสาธารณะด้านตรงข้ามของสายที่กว้างกว่า

ข้อ 46 อาคารหลังเดียวกันซึ่งอยู่ที่มุมถนนสาธารณะสองสายขนาดไม่เท่ากันความสูงของอาคาร ณ จุดใดต้องไม่เกินสองเท่าของระยะราบที่ใกล้ที่สุด จากจุดนั้นไปตั้งฉากกับแนวเขตถนนสาธารณะด้านตรงข้ามของสายที่กว้างกว่า และความยาวของอาคารตามแนวถนนสาธารณะที่แคบกว่าต้องไม่เกิน 60.00 เมตร

สำหรับอาคารซึ่งเป็นห้องแถวหรือตึกแถว ความยาวของอาคารตามแนวถนนสาธารณะที่แคบกว่าต้องไม่เกิน 15 เมตร

ข้อ 47 รั้วหรือกำแพงที่สร้างขึ้นติดต่อหรือห่างจากถนนสาธารณะน้อยกว่าความสูงของรั้ว ให้ก่อสร้างได้สูงไม่เกิน3 เมตร เหนือระดับทางเท้าหรือถนนสาธารณะ

ข้อ 48 ความเดิมถูกยกเลิกโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และให้ใช้ความใหม่แทนดังที่พิมพ์ไว้แล้ว

ขอ 49 การก่อสร้างอาคารในบริเวณด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถว

(1) ถ้าห้องแถวหรือตึกแถวนั้นมีจำนวนรวมกันได้ตั้งแต่สิบคูหา หรือมีความยาวรวมกันได้ตั้งแต่ 40.00 เมตรขึ้นไป และอาคารที่จะสร้างขึ้นเป็นห้องแถวหรือตึกแถว ที่จะสร้างขึ้นจะต้องห่างจากผนังด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวเดิมไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร แต่ถ้าเป็นอาคารอื่นต้องห่างจากผนังด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวเดิมไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

(2) ถ้าห้องแถวหรือตึกแถวนั้นมีจำนวนไม่ถึงสิบคูหาและมีความยาวรวมกันไม่ถึง 40 เมตร อาคารที่สร้างขึ้นจะต้องห่างจากผนังด้านข้างของห้องแถวหรือตึกแถวนั้นไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร เว้นแต่การสร้างห้องแถวหรือตึกแถวต่อจากห้องแถวหรือตึกแถวเดิมตามข้อ 4

2.8.6 พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550) ยกเลิกความในข้อ 48 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“ข้อ 48 การก่อสร้างอาคารอาคารในที่ดินเจ้าของเดียวกัน ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

(1) ผนังของอาคารด้านที่มีหน้าต่าง ประตู ช่องระบายอากาศหรือช่องแสง หรือระเบียงของอาคารต้องมีระยะห่างจากผนังของอาคารอื่นด้านที่มีหน้าต่าง ประตู ชองระบายอากาศหรือช่องแสงหรือระเบียงของอาคาร ดังต่อไปนี้

(ก) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 9.00 เมตร ผนังหรือระเบียงของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงไม่เกิน 9.00 เมตร ไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร

(ข) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 9.00 เมตร ผนังหรือระเบียงของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ไม่น้อยกว่า 5.00 เมตร

(ค) อาคารที่มีความสูงเกิน 9.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ผนังหรือระเบียงของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร

(2) ผนังของอาคารด้านที่เป็นผนังทึบต้องมีระยะห่างจากผนังของอาคารอื่นด้านที่มีหน้าต่างประตู ช่องระบายอากาศหรือช่องแสง หรือระเบียงของอาคาร ดังต่อไปนี้

(ก) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15.00 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงไม่เกิน 9.00 เมตร ไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

(ข) อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 15.00 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร

(ค) อาคารที่มีความสูงเกิน 15.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงไม่เกิน 9.00 เมตร ไม่น้อยกว่า 2.50 เมตร

(ง) อาคารที่มีความสูงเกิน 15.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ผนังของอาคารต้องอยู่ห่างจากผนังหรือระเบียงของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 9.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร

(3) ผนังของอาคารที่มีความสูงเกิน 15.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ด้านที่เป็นผนังทึบอยู่ห่างจากผนังของอาคารอื่นที่มีความสูงเกิน 15.00 เมตร แต่ไม่ถึง 23.00 เมตร ด้านที่เป็นผนังทึบไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร

สำหรับอาคารที่มีลักษณะตาม (2) และ (3) ผนังของดาดฟ้าของอาคารด้านที่อยู่ใกล้กับอาคารอื่นให้ทำการก่อสร้างเป็นผนังทึบสูงจากพื้นดาดฟ้าไม่น้อยกว่า 1.80 เมตร”

2.8.7 เทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ เรื่อง กำหนดบริเวณห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิด หรือบางประเภท ในท้องที่ตำบลศรีภูมิ ตำบลสุเทพ ตำบลช้างม่อย ตำบลพระสิงห์ ตำบลช้างคลาน และตำบลหายยา ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2557 (ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2558)

เทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ พ.ศ. 2557 ออกมาเพื่อแก้ไขเพิ่มเติมกำหนดบริเวณ ห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิดหรือบางประเภทในท้องที่ตำบลศรีภูมิ ตำบลสุเทพ ตำบลช้างม่อย ตำบลพระสิงห์ ตำบลช้างคลาน และตำบลหายยา ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. ๒๕๕๗ ออกเป็น 4 บริเวณ ดังนี้ (ภาพที่ 64)

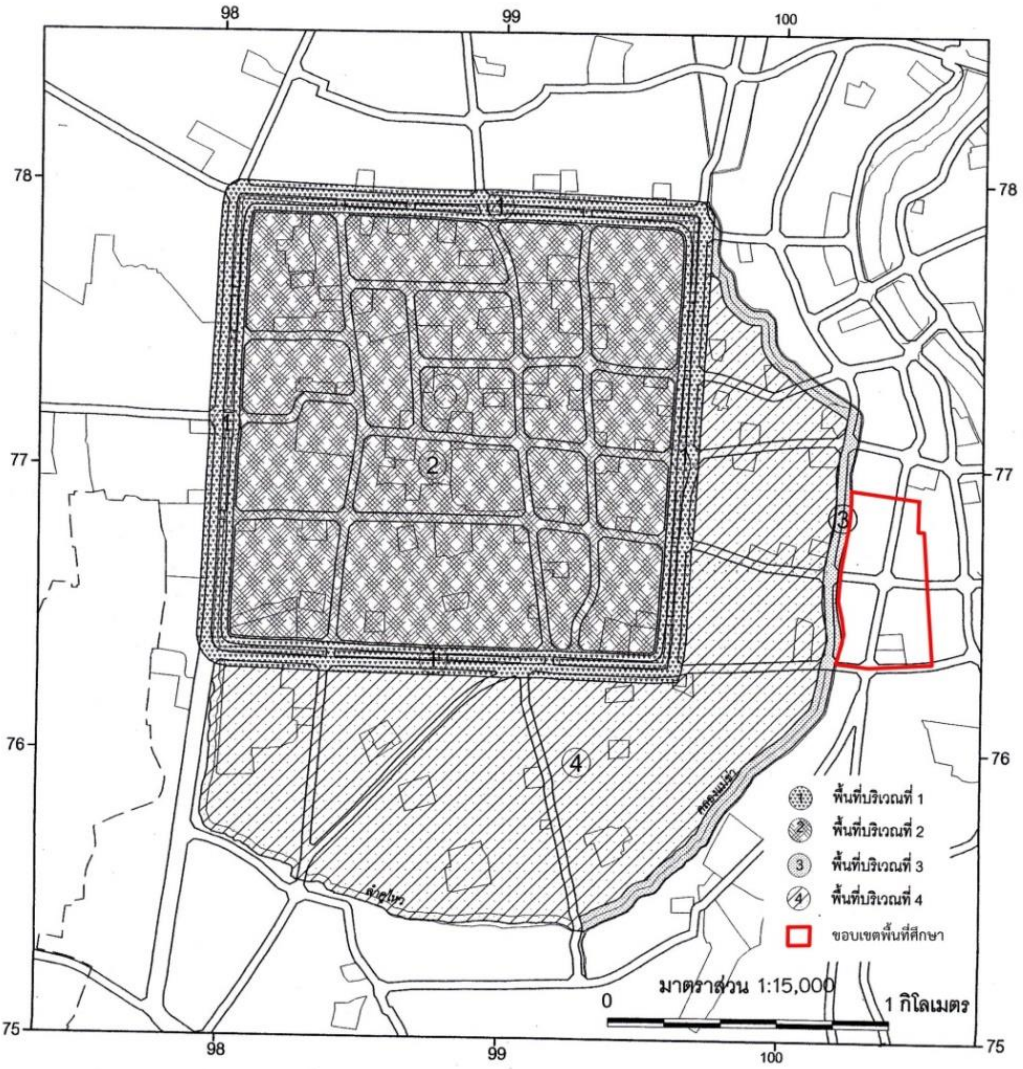
“บริเวณที่ 1” หมายความว่า พื้นที่ในบริเวณแนวกำแพงเมืองและคูเมือง ที่วัดจากริมคูเมืองด้านในเป็นระยะ 22 เมตร ตลอดความยาวของคูเมืองโดยรอบทั้ง 4 ด้าน และพื้นที่ในบริเวณที่วัดจากริมคูเมืองด้านนอก เป็นระยะ 50 เมตร ตลอดความยาวของคูเมืองด้านนอกโดยรอบทั้ง 4 ด้าน

“บริเวณที่ 2” หมายความว่า พื้นที่ในบริเวณเมืองชั้นใน ที่ถูกล้อมรอบโดยบริเวณที่ 1

“บริเวณที่ 3” หมายความว่า พื้นที่ในบริเวณเมืองชั้นนอกที่วัดจากริมฝั่งคลองแม่ข่าด้านทิศตะวันตกเป็นระยะ 50 เมตร เริ่มตั้งแต่บริเวณแจ่งศรีภูมิ จนถึงจุดบรรจบของคลองแม่ข่ากับลำคูไหวด้านทิศใต้

“บริเวณที่ 4” หมายความว่า พื้นที่ในบริเวณเมืองชั้นนอกที่ได้กันพื้นที่บริเวณที่ ๑ และบริเวณที่ 3 ออกไปแล้ว

ทั้งนี้ใน ข้อ 5 ยังได้นิยาม “อาคารแบบล้านนาหรือแบบพื้นเมืองภาคเหนือ” หมายความว่า อาคารที่ได้นำเอาคุณค่าและลักษณะเฉพาะทางสถาปัตยกรรมล้านนาในแต่ละยุคสมัย ดังอาคารต้นแบบ ประเภทคุ้ม สถานที่ราชการ วัด ตลาด เรือนร้านค้า และบ้านในเขตเมืองเก่าเชียงใหม่ มาใช้ในการออกแบบ ก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร ทั้งในด้านรูปทรง หลังคา สีอาคาร ส่วนประดับตกแต่ง รั้ว กำแพง หรืออื่น ๆ เพื่อส่งเสริมคุณค่าและบรรยากาศความเป็นเมืองเก่าของเมืองเชียงใหม่ เพื่อใช้บังคับการก่อสร้างอาคารภายในบริเวณที่ถูกกำหนดขึ้น



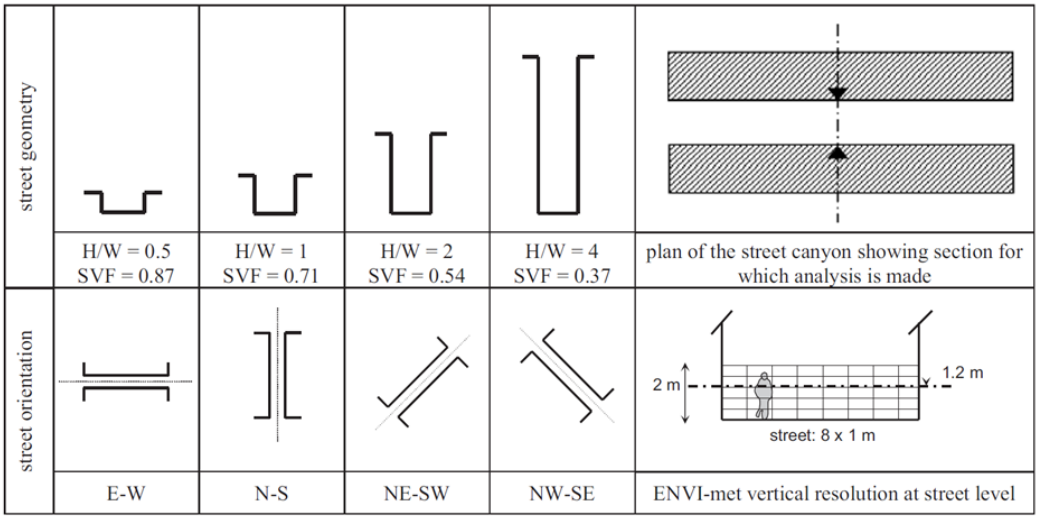
ภาพที่ 64 แผนผังเทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ พ.ศ. 2557 แสดงขอบเขตพื้นที่ควบคุมอาคาร ทั้ง 4 พื้นที่ และขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ที่มา : เทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ พ.ศ. 2557

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate

Ali-Toudert et al., (2007) ศึกษาสัดส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio หรือ H/W) และทิศทางของอาทิตย์ ที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนในระดับทางเดินเท้าในฤดูร้อน เมืองกราเดอา ประเทศแอลจีเรีย ซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบทะเลทราย (*BWh*, Köppen climate classification (Peel et al., 2007)) ที่มีอุณหภูมิสูงและแห้งในฤดูร้อน ด้วยโปรแกรมจำลองสภาพอากาศ 3 มิติ ENVI-met เวอร์ชั้น 3.0 เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.5, 1, 2 และ 4 ที่แตกต่างกัน5 รูปแบบ และการทิศทางการวางตัวของอาคารต่อแสงอาทิตย์ (E–W, N–S, NE–SW and NW–SE) (ภาพที่ 65) โดยไม่พิจารณาคุณสมบัติด้วยความร้อนของวัสดุอาคาร และตั้งจุดตรวจวัดสภาพอากาศ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์สภาวะความสบายเชิงความร้อนของมนุษย์บริเวณถนนของพื้นที่ศึกษา และเพื่อนำไปใช้จำลองสภาพอากาศในโปรแกรม Envi-met



ภาพที่ 65 รูปทรงเรขาคณิตเมือง และค่า Sky view factor และการทิศทางการวางตัวของอาคารต่อแสงอาทิตย์

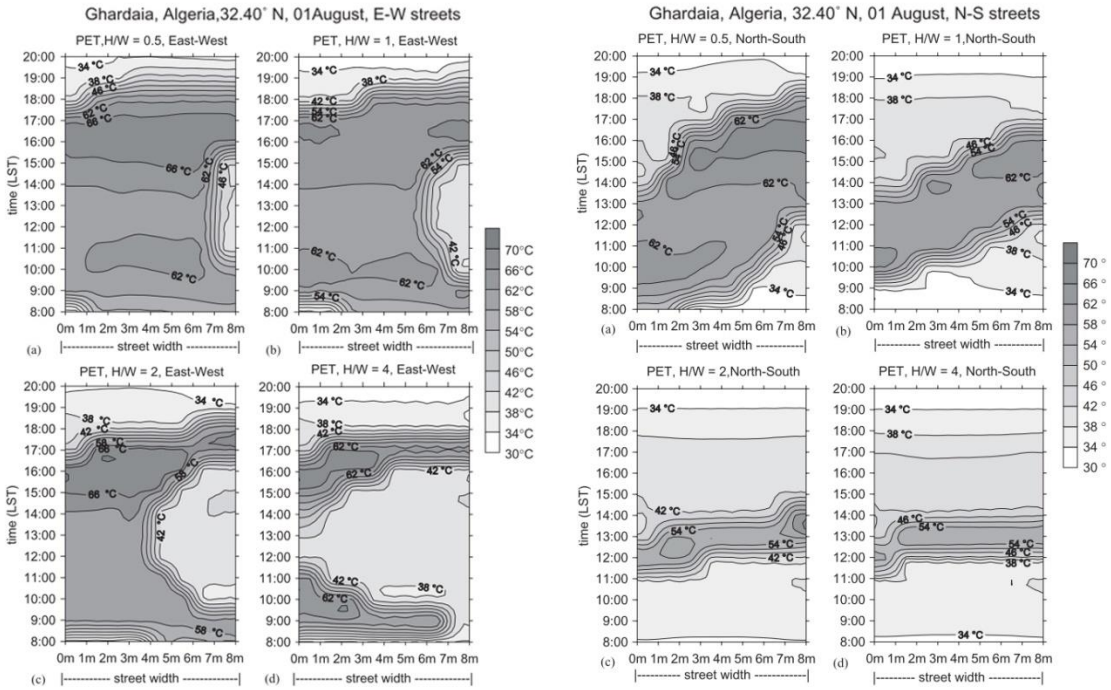
ที่มา : Ali-Toudert et al. (2007)

General conditions for the simulations

Location	Ghardaia, Algeria, 32.40°N, 3.80°E, 469 m a.s.l.
Climate type	Hot and dry (Saharan climate)
Simulation day	Typical summer day, 1st August
Simulation duration	From 7:00 to 20:00 (13 h)
Spatial resolution	1 m horizontally, 2 m vertically
Street width	8 m
Building height, H	4, 8, 16, and 32 m
Building length, L	$6H$ ($\approx$ urban canyon)
Building width, W	12 m
Wind speed	5 m/s at 10 m a.g.l., constant
Wind direction	Perpendicular to street axis
Air humidity	VP = 12.5 hPa
Heat transmission	Wall: $U_{value} = 1.7\,W/m^2K$ Roof: $U_{value} = 2.2\,W/m^2K$
Indoor temperature	293 K (20 °C), constant
Albedo	Asphalt road = 0.1 Brick walls = 0.3 Roof = 0.15

ภาพที่ 66 การตั้งค่าสภาพอากาศของแบบจำลอง โปรแรม ENVI-met เวอร์ชั้น 3.0

ที่มา : Ali-Toudert et al. (2007)



ภาพที่ 67 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีระวิทยา ตามทิศทางการวางตัวของอาคารแนวทิศเหนือ –ทิศใต้ และ ทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.5, 1, 2 และ 4

ที่มา : Ali-Toudert et al. (2007)

ผลจากการศึกษาพบว่าตัวแปรรูปทรงเรขาคณิตเมืองและการทิศทางการวางตัวของอาคารต่อแสงอาทิตย์ มีอิทธิพลอย่างมากต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนของมนุษย์บริเวณถนน ข้อสรุปประการหนึ่งพบว่าการปรับปรุงความสบายเชิงความร้อนเป็นสิ่งที่ทำได้ยากในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนและแห้ง แต่สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิอากาศลงเล็กน้อยจากการเพิ่มความสูงอาคารทั้งสองฝั่งถนน ซึ่งจะส่งผลให้การแผ่รังสี (Radiation fluxes) จากอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature) สูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนั้นแบบจำลองยังแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาและช่วงเวลาของวันที่มีอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีระวิทยาสูงสุดพบในรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่มีค่าสูง

ในเขตภูมิอากาศร้อนกึ่งเขตร้อน การลดความเครียดจากความร้อน (The heat stress) มักทำได้ยาก โดยเฉพาะในแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตะ ซึ่งอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีระวิทยาสำหรับรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.5 (H/W 0.5) มีค่าความเครียดจากความร้อนสูงที่สุด ของตัวอย่างอาคารที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก แนวทางการแก้ไขปัญหาควรเพิ่มร่มเงาที่ระดับถนน เช่น ทางเดินที่มีหลังคา หรือต้นไม้ หรือในกรณีของรูปทรงเรขาคณิตเมือง 4 (H/W 4) ที่ผนังอาคารจะช่วยบดบังแสงอาทิตย์และร่มเงาบริเวณถนน (Ali-Toudert et al., 2006)

ในการเปรียบเทียบทิศทางการวางตัวของอาคารร่วมกับรูปทรงเรขาคณิตเมือง พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 2 (H/W 2) หรือมากกว่า มีค่าอุณหภูมิเทียบเท่าทางสรีระวิทยาสูงสุดที่น้อยกว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่นอย่างเห็นได้ชัด สำหรับกรณีรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่เท่ากันในทิศทางการวางตัวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันตกเฉียงใต้ หรือทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันออกเฉียงใต้นั้นมีสภาวะความสบายเชิงความร้อนที่ดีขึ้น เนื่องจากได้รับเงาของผนังบางส่วนที่ช่วยบดบังไม่ให้แสงอาทิตย์ส่งลงมายังบริเวณถนนโดยตรง ซึ่งอาคารที่วางตัวในทิศทางดังกล่าวมีช่วงของสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน (Thermal discomfort) สั้นที่สุด (Ali-Toudert et al., 2006)

2.9.2 Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil

Krüger et al. (2011) สังเกตและประเมินผลกระทบของเรขาคณิตเมืองที่มีความสัมพันธ์กับจุลภูมิอากาศเมืองและสภาวะความสบายบริเวณทางเดินเท้า โดยใช้ Sky-view factor (SVF) เป็นเกณฑ์ในการจำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในศูนย์กลางเมืองกูรีตีบา ประเทศบราซิล (Curitiba, Brazil) ซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ภาคพื้นสมุทรชายฝั่งตะวันตกไม่มีอากาศแห้งแล้ง อากาศอบอุ่นในฤดูร้อน อุณหภูมิปานกลาง และอากาศอบอุ่นในฤดูหนาว (Subtropical highland climate : cfb) Peel et al. (2007) ได้ใช้แบบจำลองโปรแกรม ENVI-met ร่วมกับการการตรวจวัดภาคสนาม พบว่าทิศทางการวางตัวของถนนกับเรขาคณิตเมือง มีความสัมพันธ์กับลมและการระบายอากาศ (Ventilation) ซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการจราจร

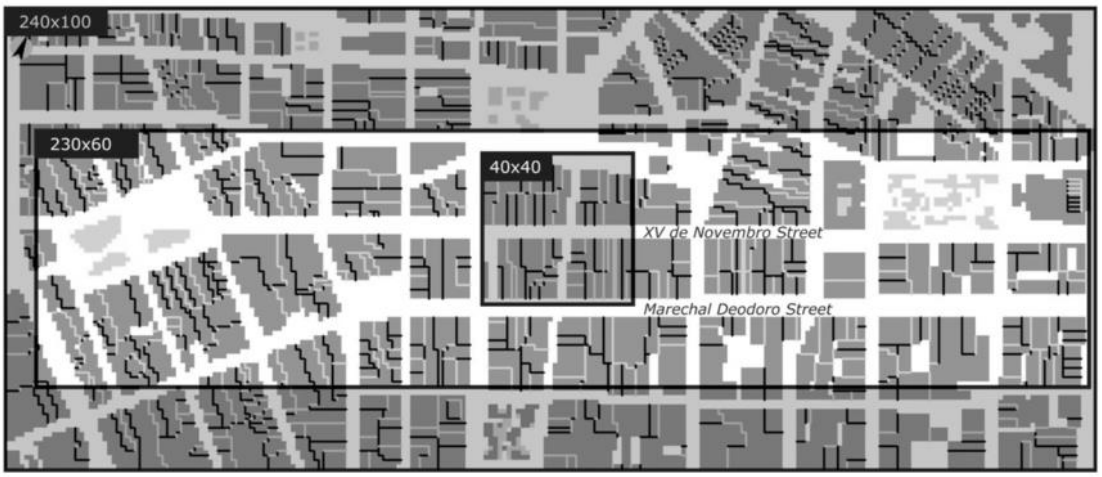


Point	SVF	H[a]	W	H/W
2	0.2	30	18	1.7
3	0.32	19	18	1.1
4	0.34	[b]	[b]	–
5	0.22	28	18	1.6
6a	0.26	32	25	1.3
6b	0.27	32	25	1.3
7	0.39	20	25	0.8
8	0.37	[b]	[b]	–
9	0,29	33	30	1.1
10	0,30	32	30	1.1
13	0,21	21	9	2.3
14	0.55	[c]	[c]	–
16	0.38	[c]	[c]	–
17	0.21	29	18	1.6
18	0.3	20	18	1.1

[a] Estimated height, obtained from Rayman results from fisheye images.
[b] Street crossing.
[c] Square.

c)

ภาพที่ 68 a) การตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนาม เหนือพื้นดิน 1.6 เมตร b) ตำแหน่งของจุดตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา c) ตารางแสดงลักษณะทางกายกาพของจุดตรวจวัดภาคสนาม
ที่มา : Krüger et al. (2011)



ภาพที่ 69 แสดงขนาดพื้นที่ของแบบจำลอง ในศูนย์กลางเมืองกูรีตีบา ประเทศบราซิล
ที่มา : Krüger et al. (2011)

จากสมการการถดถอย (Regression formula) จากสมการที่ 56 เพื่อความรู้สึกทางความร้อน (Thermal sensation : TS) ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินสภาพอากาศ โดยใช้ข้อมูลตัวแปรจากการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนาม ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (Air temperature :Ta), ความเร็วลม (wind speed :Ws), ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity :Rh) รังสีแสงอาทิตย์ (solar radiation: Sr) และอุณหภูมิโกลบ (Globe temperature :GT)

$$Ts = -2.31 + 0.13 * Ta - 0.27 * Ws + 0.0006 * SR + 0.001 * HR + 0.001 * T_{mrt}$$ Eq. 56

โดยอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิโกลบจะถูกคำนวณเป็นค่า อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (T_{MRT}) และอุณหภูมิอากาศกับความชื้นสัมพัทธ์จะถูกคำนวณเป็นค่าอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio ; g/Kg) ตามมาตรฐานความสัมพันธ์ไซโครเมทริก (Psychrometric relations) ของ ASHRAE

จากสมการที่ 54 Krüger et al. (2011) พบว่าค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยไม่มีสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความซ่ำซ้อนกับค่ารังสีแสงอาทิตย์ และค่าอัตราส่วนความชื้น จึงตัดตัวแปรทั้งสองออกไป ดังสมการที่ 55

$$TS1 = -2.31 + 0.13 * Ta - 0.27 * Ws + 0.0007 * SR$$ Eq. 57

โดยสมการ TS1 คำนวณค่าความรู้สึกทางความร้อนของคนเดิน จากตัวแปรอิสระ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Ta) ความเร็วลม (WS) และรังสีดวงอาทิตย์ (SR)

Krüger et al. (2011) พบว่าการวิเคราะห์ความพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยนั้นจะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้รับในพื้นที่ ดังนั้นในวันที่มีอุณหภูมิสูง พื้นที่ที่มีสิ่งบดบังแสงอาทิตย์น้อยหรือมีค่าปัจจัยการมองเห็นท้องฟ้า (Sky-view factor) ที่สูง จะส่งผลทำให้เกิดสภาวะไม่สบายเชิงความร้อน (Thermal Discomfort) ในระดับเหนือพื้นดิน 2.1 เมตรตามไปด้วย อย่างไรก็ตามในวันที่อุณหภูมิต่ำพื้นที่ดังกล่าวก็สามารถมีสภาวะความสบายเชิงความร้อนได้เช่นกัน

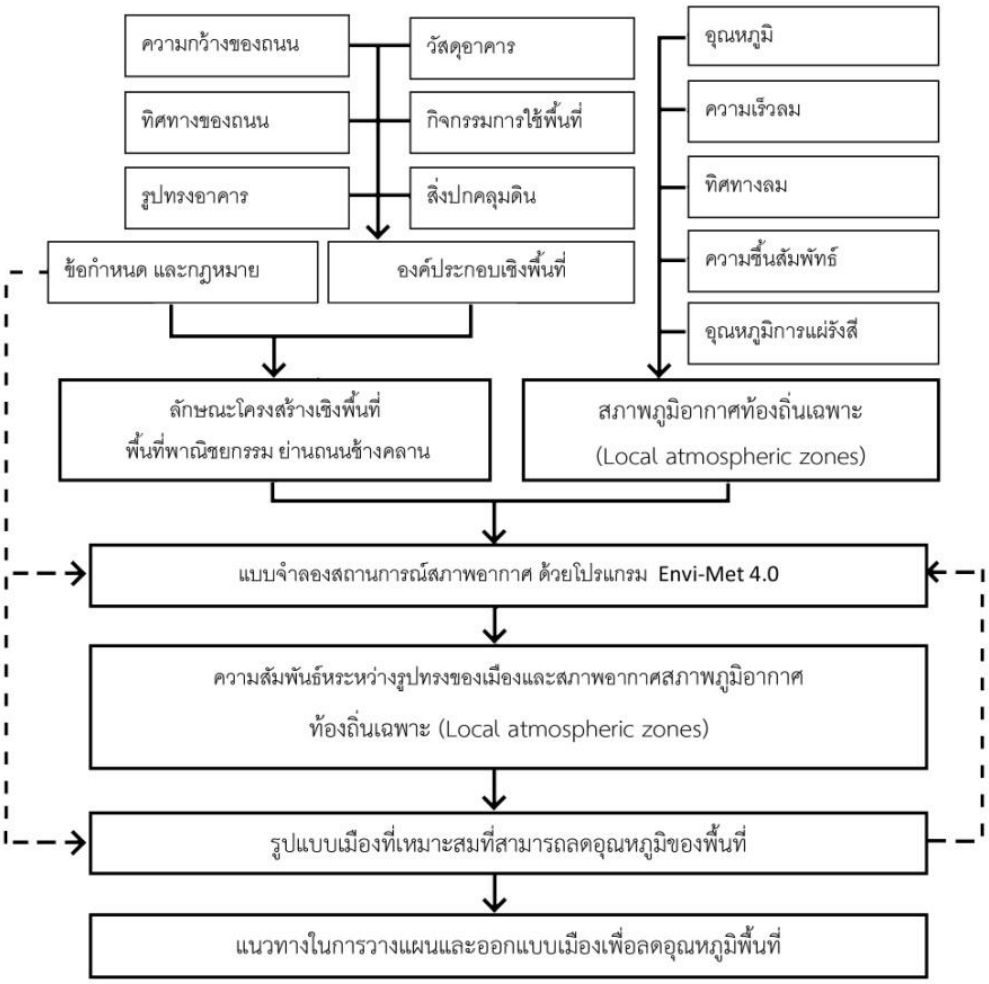
ในกรณีของอุณหภูมิและการระบายอากาศในระดับทางเดินเท้า พบว่าแนวโน้มในพื้นที่ใจกลางเมืองที่แออัด มีพื้นที่โล่งน้อย ควรมีการปรับปรุงกายภาพเมืองเพื่อให้ลมมีความเร็วเพิ่มขึ้นสำหรับการไหลเวียนของอากาศบริเวณทางเดินเท้าให้ดีขึ้น ในภูมิอากาศเขตร้อนแบบประเทศบราซิลนั้นต้องการความเร็วลมสูงตลอดทั้งปีเพื่อระบายอากาศ แต่สำหรับเมืองกูรีตีบาที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นความเร็วลมสูงในช่วงฤดูหนาวอาจทำให้พื้นที่ภายนอกอาคารเกิดสภาวะไม่สบายเชิงความร้อนได้

2.10 กรอบแนวคิดงานวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเมืองที่เกิดจากการพัฒนาเมืองและกระบวนการเป็นเมือง (urbanization) ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง โดยมีปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว 3 ปัจจัย คือ รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry) สิ่งปกคลุมพื้นผิว (Land cover) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเมืองที่เกิดจากการพัฒนาเมืองและกระบวนการเป็นเมือง (urbanization) ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง โดยมีปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว 3 ปัจจัย คือ รูปทรงเรขาคณิตเมือง (Urban Geometry) สิ่งปกคลุมพื้นผิว (Land cover) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) จากแนวคิดดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจในประเด็นรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศท้องถิ่นเฉพาะ (Local atmospheric zones) โดยการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์สภาพอากาศของพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่ย่านช้างคลานซึ่งเป็นพื้นที่เศรษฐกิจและสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของเมืองเชียงใหม่ อีกทั้งยังเป็นที่ดินประเภทพาณิชยกรรมที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ตามแผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 ตามพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518 และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ด้านช้างคลานเป็นย่านที่มีความหนาแน่นของอาคารสูง อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ที่มีอุณหภูมิพื้นผิวสูงพื้นที่หนึ่งของเมืองเชียงใหม่ กระบวนการวิจัยจะเก็บข้อมูลด้านองค์ประกอบเชิงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย ความกว้างของถนน ทิศทางการวางตัวของถนน รูปทรงอาคาร วัสดุอาคาร กิจกรรมการใช้พื้นที่ และสิ่งปกคลุมดิน และข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นเฉพาะของปัจจุบันในฤดูร้อน ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย รวมถึงข้อกำหนดและกฎหมายควบคุมอาคารและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลบังคับใช้พื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา และจะนำข้อมูลดังกล่าวทั้ง 2 ส่วนมาประมวลผลโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ปรับปรุงโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร และวิเคราะห์ผลกระทบต่อสภาพจุลภูมิอากาศของแต่ละรูปทรง ซึ่งจะพิจารณาสภาพอากาศบริเวณทางเท้าเหนือพื้นดิน 1.80 เมตร ประกอบด้วยตัวแปรดังต่อไปนี้ คือ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบเมืองที่เหมาะสมที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศของพื้นที่ย่านช้างคลานจังหวัดเชียงใหม่ เพื่อใช้เป็นข้อเสนอแนะในการออกแบบอาคารสิ่งก่อสร้างที่สามารถลดความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในพื้นที่เมืองเชียงใหม่ (ภาพที่ 70)



ภาพที่ 70 กรอบแนวคิดการวิจัย รูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ผู้วิจัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบการวิจัยและเป็นการกำหนดกรอบ และแนวทางการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยการกำหนดกรอบทฤษฎี แนวคิดที่เกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง และภูมิอากาศจุลภาคของพื้นที่วิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ การเลือกพื้นที่วิจัย การกำหนดตัวแปรในการวิจัย การเลือกใช้เครื่องมือในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล กระบวนการวิเคราะห์ การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพจุลภูมิอากาศเมืองของพื้นที่ศึกษา การสรุปผลการวิเคราะห์ การอภิปรายผล เสนอแนะ และการสรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลกระทบของรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมือง กรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ มีหน่วยการวิเคราะห์ (Unit of analysis) คือ พื้นที่พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากย่านถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ครอบคลุมการวิเคราะห์สัดส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างของถนน ที่ส่งผลต่อสภาพจุล-ภูมิอากาศเมืองในปัจจุบัน และเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาพื้นที่ เพื่อลดอุณหภูมิ โดยวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

3.1 โครงการศึกษานำร่อง เพื่อการทดลองใช้เครื่องมือวิจัยก่อนลงพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเรขาคณิตเมืองในพื้นที่โล่งว่างบริเวณศูนย์กลางเขตการศึกษาของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประกอบไปด้วยกลุ่มอาคารสูงและกิจกรรมการศึกษาเวลากลางวัน โดยศึกษาจำลองผ่านการสร้างแบบจำลองสภาพจุลภูมิอากาศเมือง (Urban microclimate) โปรแกรม ENVI-met4 โดยนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศร่วมกับการสำรวจลักษณะทางกายภาพภาคสนาม เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ การไหลเวียนอากาศ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและวิเคราะห์ข้อมูล (เสกสรร และคณะ, 2560) เพื่อเป็นการทดลองใช้เครื่องมือตรวจวัดอากาศ การเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ สร้างแบบจำลองจุลภูมิอากาศด้วยโปรแกรม Envi-met เวอร์ชั่น 4.0 และสร้างความชำนาญในการใช้เครื่องมือ ก่อนลงพื้นที่ศึกษาจริง



ภาพที่ 71 แสดงการจำลองสภาพเรขาคณิตเมือง(Urban Geometry) ตามสภาพกายภาพของพื้นที่ศึกษาในปัจจุบัน

ที่มา : เสกสรร และคณะ (2560)

จากการศึกษาพบว่ากลุ่มอาคารที่มีช่องว่างให้ลมพัดผ่านได้น้อย ทำให้การไหลเวียนอากาศในบริเวณพื้นที่ตอนกลางของกลุ่มอาคารดังกล่าวสามารถระบายออกสู่พื้นที่รอบนอกได้ช้า จึงส่งผลให้มีอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดของวันในเวลา 12.00-20.00 น. (อุณหภูมิสูงสุด 35.21 องศาเซลเซียส) สูงกว่าพื้นที่ในบริเวณอื่นของกลุ่มอาคาร (เฉลี่ย 30.64 องศาเซลเซียส) ที่มีการระบายอากาศที่ดีกว่าและเมื่อทดลองเปิดช่องว่างระหว่างอาคารด้านทิศใต้ให้ลมสามารถไหลผ่านอาคารไปได้ พบว่า ความเร็วลมที่ช่วยการไหลเวียนของอากาศบริเวณพื้นที่ตอนกลางพื้นที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นและมีการไหลออกไปตามช่องว่างระหว่างอาคารทางทิศเหนือ มีผลทำให้อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ตอนกลางลดลงถึง 1.08 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 33.62 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการวางตัวของอาคารที่ไม่มีการวางแผนและผังอย่างเหมาะสมส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในพื้นที่เมือง ข้อมูลดังกล่าวสามารถช่วยให้นักวางแผน นักผังเมือง สถาปนิกผังเมือง และสถาปนิกเข้าใจสภาพภูมิอากาศจุลภาคในพื้นที่ขนาดเล็กในเมือง เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรการด้านรูปแบบและรูปทรงของอาคารที่ส่งเสริมการไหลเวียนอากาศที่นำไปสู่การลดความร้อนที่ถูกสะสมไว้ในเมืองได้อย่างเหมาะสมต่อไป

3.2 ขอบเขตเชิงพื้นที่

3.2.1 การเลือกพื้นที่ศึกษา

การเลือกพื้นที่ศึกษาสำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ พิจารณาขอบเขตด้านเนื้อหาภายใต้หลักการปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่มีสาเหตุจาก 3 ปัจจัยหลัก ประกอบด้วย การใช้ที่ดิน สิ่งปกคลุมดิน และรูปทรงเรขาคณิตของพื้นที่ (Oke, 1982) โดยในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบจากรูปทรงเรขาคณิตของเมืองต่อสภาวะอากาศเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีกรอบในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษา ดังนี้

1) พื้นที่ศึกษามีความหลากหลายของเรขาคณิตเมืองที่เป็นลักษณะหุบเขาเมือง (Urban Canyon) อย่างชัดเจน

2) พื้นที่ศึกษามีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดินที่คล้ายคลึงและใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นการควบคุมอิทธิพลอันจะเกิดจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดิน ต่อสภาวะอากาศในบริเวณจุดที่ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

3) พื้นที่ศึกษามีถนนที่วางตัวในแนวทิศเหนือ - ทิศใต้ และทิศตะวันออก - ทิศตะวันตกเพื่อทดสอบอิทธิพลของการไหลเวียนของลมที่มีต่อสภาวะอากาศในบริเวณจุดตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ

4) พื้นที่ศึกษาควรมีข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับการนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

จากเกณฑ์การเลือกพื้นที่ทำให้ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีความหลากหลายของสัดส่วนความสูงอาคารต่อความความกว้างถนน (Aspect ratio) มีกิจกรรมการใช้พื้นที่ที่คล้ายคลึงกัน จากผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พบว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ในย่านช้างคลาน ปัจจุบันมีอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor area ratio :FAR) เฉลี่ยอยู่ที่ 0.104 : 1 และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.110 : 1 พื้นที่ดังกล่าวมีการตั้งถิ่นฐานจากสมัยอดีต เป็นย่านพาณิชยกรรมที่สำคัญของเมืองเชียงใหม่ มีโรงแรมคอนกรีตขนาดใหญ่หลายอาคาร อาคารพาณิชย์ ร้านค้า ห้างสรรสินค้า เป็นจำนวนมาก ถึงแม้จะมีอาคารขนาดใหญ่ในพื้นที่ แต่ก็ยังมีพื้นที่ว่างภายนอกอาคารมาก ทำให้อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดินไม่สูงมาก อีกทั้งยังมีกิจกรรมการใช้พื้นที่ของผู้คน และนักท่องเที่ยวอย่างหนาแน่นตลอดเวลา ซึ่งเหมาะแก่การกำหนดให้เป็นตัวอย่างการวิจัย ประกอบกับทิศทางการวางตัวของถนนช้างคลานในแนวเหนือ-ใต้ และถนนลอยเคราะห์ในทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ที่สำคัญที่สุดเป็นย่านที่มีอุณหภูมิสูงย่านหนึ่งของเมืองเชียงใหม่

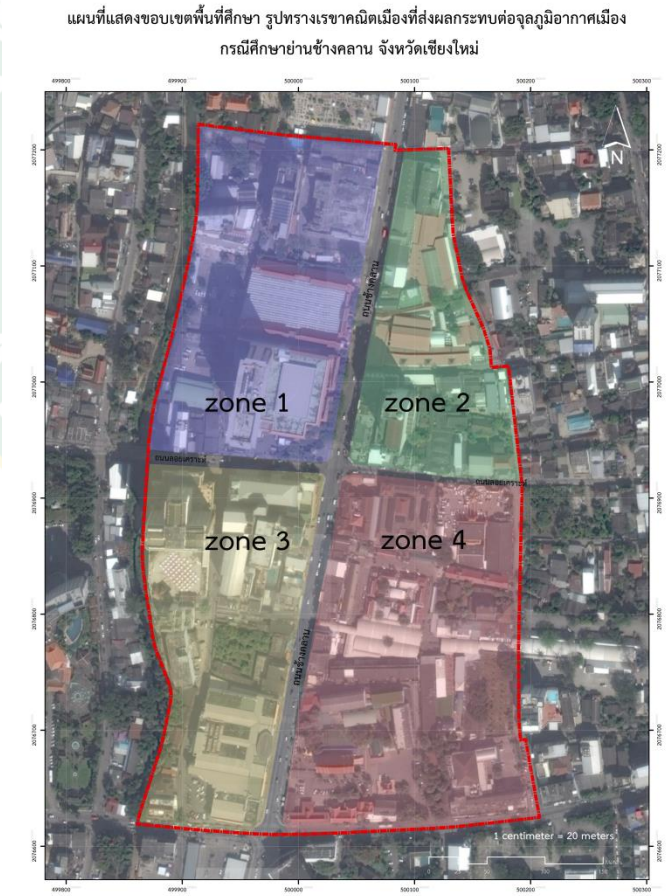
3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลตามตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อจุลภูมิอากาศเมือง โดยได้มาจากการทบทวนทฤษฎี หลักการ แนวคิดที่เกี่ยวข้อง และตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน ดังนี้

3.3.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)

ข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจภาคสนามในพื้นที่จริงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ การเก็บข้อมูลสภาพทั่วไป และการสังเกตการณ์ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ กิจกรรม การใช้พื้นที่ย่านช้างคลาน รูปทรง วัสดุอาคาร ความกว้างของถนน สิ่งปกคลุมพื้นผิว ความสูงอาคาร ขนาดความสูง ความกว้างทรงพุ่มและตำแหน่งของพืชพรรณในพื้นที่ศึกษา ในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล ผู้วิจัยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน ตามแนวถนนสายหลัก ถนนช้างคลานและถนนลอยเคราะห์ (ภาพที่ 72)



ภาพที่ 72 กำหนดพื้นที่ศึกษา ออกเป็น 4 ส่วน ตามแนวถนนช้างคลาน และถนนลอยเคราะห์
ที่มา : ผู้วิจัย

2) การตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษา การตรวจวัดสภาพภูมิอากาศเมือง (Urban climatic parameters) โดยลงพื้นที่วันที่ 24-25 เมษายน 2560 ณ บริเวณลานวัดศรีดอนไชย เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับจังหวัดเชียงใหม่ (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ, 2560) และวันที่มีท้องฟ้าเปิดตลอดทั้งวัน (Clear sky condition) เพื่อป้องกันเมฆบดบังแสงอาทิตย์ โดยมีระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 14 ชั่วโมง (6.00 น.- 20.00 น.) เพื่อนำข้อมูลเฉลี่ยสภาพอากาศของทั้งสองวัน ไปใช้ตั้งค่า Parameter setting ในโปรแกรม ENVI-met และเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบเพื่อยืนยัน (Validation) ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วย

3) การถ่ายภาพ sky view factor ด้วย Fish lane นั้นจะต้องถ่ายโดยให้ด้านบนของภาพหันไปทางทิศเหนือของจุดถ่ายภาพเสมอ เพื่อให้ได้ทิศทางการหมุนของดวงอาทิตย์และช่วงเวลาการได้รับแสงแดดที่ถูกต้อง

3.3.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมเอกสารซึ่งเป็นข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับพื้นที่ ดังนี้

1) ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือภาคเหนือ กรมอุตุนิยมวิทยา ณ สนามบินนานาชาติเชียงใหม่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล 314.00 เมตร พิกัดบนพื้นโลก ละติจูด 18° 47' 24" ลองติจูด 98° 58' 37" ในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลสภาพอากาศ 2 ส่วน คือ

(1) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายเดือน ของเมืองเชียงใหม่เฉลี่ยย้อนหลัง 30 ปี (ปี พ.ศ.2528-2558)

(2) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของเมืองเชียงใหม่ในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2560

2) ข้อมูลเส้นทางแสงอาทิตย์ (Sun path) ความยาวช่วงวัน (Day length) และรูปแบบเงา (Shade pattern)

3) ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) จากสำนักงานโยธาธิการและผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2558 และปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันจากการลงสำรวจพื้นที่ภาคสนาม สำหรับการนำมาประกอบการวิเคราะห์ ประกอบด้วย การใช้ประโยชน์อาคาร วัสดุอาคาร จำนวนชั้นอาคาร แหล่งน้ำ เส้นทางสัญจร

4) กฎหมายเกี่ยวกับการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดิน และกฎหมายควบคุมอาคาร

กฎหมายเกี่ยวกับการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่

(1) กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

(2) กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555

กฎหมายควบคุมอาคาร ได้แก่

(1) กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2533) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีสาระเกี่ยวกับการควบคุมอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ และมีการแก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวงฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540)

(2) กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีสาระเกี่ยวกับการควบคุมที่ว่าง ระยะร่น และแนวอาคาร และมีการแก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวงฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550) ในสาระที่เกี่ยวกับระยะร่นระหว่างอาคาร

(3) เทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ เรื่อง กำหนดบริเวณห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิด หรือบางประเภท ในท้องที่ตำบลศรีภูมิ ตำบลสุเทพ ตำบลช้างม่อย ตำบลพระสิงห์ ตำบลช้างคลาน และตำบลหายยา ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ.2557 (ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2558)

ตารางที่ 11 แสดงรายละเอียดและที่มาของข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)

ประเภทข้อมูล	แหล่งข้อมูล	ลักษณะของข้อมูล
ข้อมูลทุติยภูมิ	ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ภาคเหนือ กรมอุตุนิยมวิทยา ณ สนามบินนานาชาติเชียงใหม่	อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง ปี 2540 – 2560 ความเร็วลมรายชั่วโมง ปี 2560 ทิศทางลมรายชั่วโมง ปี 2560 ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ปี2560
	สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดเชียงใหม่	ชั้นข้อมูลอาคาร ชั้นข้อมูลถนน ชั้นข้อมูลแหล่งน้ำ เส้นทางน้ำ ชั้นข้อมูลความลาดชัน ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน
	เว็บไซต์จำลอง (www.timeanddate.com, 2560)	ข้อมูลเส้นทางแสงอาทิตย์ (Sun path) ความยาวช่วงวัน (Day length) รูปแบบเงา (Shade pattern)
	พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522	ระยะถอยร่นของตึกแถว ระยะห่างระหว่างคูหาของตึกแถว ความกว้างด้านหน้าอาคารของตึกแถว ความยาวของตึกแถว รูปแบบสถาปัตยกรรมล้านนา
	กฎกระทรวงผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ.2518	อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor Area Ratio : FAR) อัตราส่วนพื้นที่โล่งต่อพื้นที่อาคารรวม (Open Space Ratio : OSR)

ที่มา : ผู้วิจัย

3.4 เครื่องมือการศึกษา

เครื่องมือในการศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลต่อจุลภูมิอากาศเมือง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เครื่องมือในการเก็บข้อมูล และเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 เครื่องมือในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

1) เครื่องวัดระยะเลเซอร์ Leica DISTO รุ่น D210

การเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคาร ประกอบด้วย ความสูงอาคาร ความกว้างอาคาร ขนาด ความกว้างทรงพุ่มและตำแหน่งของพืชพรรณในพื้นที่ศึกษาด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์ Leica DISTO รุ่น D210 (Accuracy ± 1.0 มม.) ดังภาพ 73



Leica DISTO รุ่น D210 (60 ม.)

ภาพที่ 73 แสดงเครื่องวัดระยะเลเซอร์ Leica DISTO รุ่น D210 (Accuracy ± 1.0 มม.)
ที่มา : ผู้วิจัย

2) Izawaopt KSW-4 Fish lane ขนาด Ø 24 mm. ความกว้าง 180 องศา

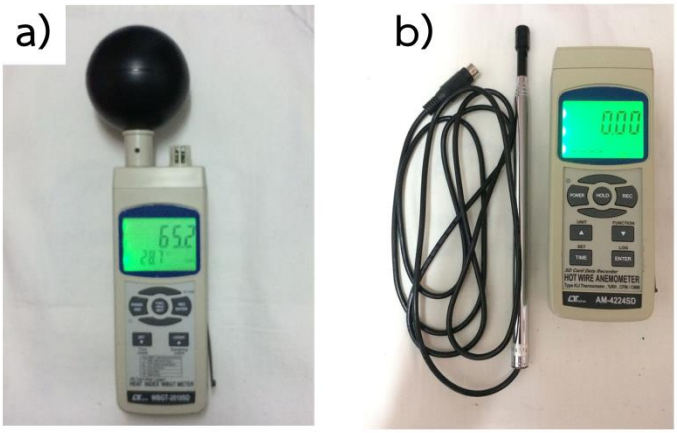
การถ่ายภาพ sky view factor ของรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแต่ละจุดของพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้คำนวณชั่วโมงการได้รับแสงอาทิตย์ของบริเวณพื้นผิวถนนหรือทางเท้าด้วย Fish lane ดังภาพ 74



ภาพที่ 74 แสดงลักษณะ Fish lane Izawaopt KSW-4 ขนาด Ø 24 mm.
ที่มา : ผู้วิจัย

3) ชุดเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological measurements)

ชุดเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วยเครื่อง LUTRON WBGT-2010SD เพื่อใช้วัดอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean radiant temperature) จะถูกคำนวณจากการใช้ Globe thermometer ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 75 มิลลิเมตร และวัดความเร็วลม (Wind velocity) โดยใช้ Hot-wire anemometer ที่บันทึกข้อมูลลงในเครื่อง TESTO 435-2 data logger บันทึกข้อมูลลงบน SD card ทุกๆ 1 นาที พร้อมชุดขาตั้ง ดังภาพ 75



ภาพที่ 75 ภาพแสดงเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา a) LUTRON WBGT-2010SD และ b) TESTO 435-2 data logger

ที่มา : ผู้วิจัย

3.4.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) โปรแกรมจำลองสภาพ ENVI-met เวอร์ชั้น 4.0

การวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองสภาพอากาศ (Simulation model) ด้วยโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั้น 4.0 ที่สามารถตั้งค่าตัวแปรสภาพอากาศเริ่มต้นโดยใช้ข้อมูลจากการวัดสภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาจริง เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงอาคารที่ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศ ซึ่งจำเป็นจะต้องสร้างแบบจำลองของพื้นที่ และสภาวะอากาศให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้มากที่สุด ประกอบกับฐานข้อมูล (Database) ของโปรแกรม จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) ฐานข้อมูลพืชพรรณ 2) ฐานข้อมูลดิน 3) ฐานข้อมูลรวมของทุกๆชั้น ในทุกๆไฟล์ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นล้วนมีสมการของแบบจำลองทางฟิสิกส์เชิงคณิตศาสตร์ที่จำเป็นต่อการประมวลผลสภาพภูมิอากาศ การถ่ายเทความร้อนของแต่ละกริดเซลล์ในโปรแกรม ENVI-Met

2) โปรแกรม RayMan Model

การวิเคราะห์ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort index) ที่เรียกว่า อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET) ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงจากกฎหมายควบคุมอาคาร

3) โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิจัยนี้มีการใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อใช้ในการปรับเทียบและยืนยันความเชื่อมั่นของแบบจำลอง และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนบริเวณทางเดินเท้าของรูปทรงเรขาคณิตเมือง

3.5 กระบวนการทางเทคนิคการวิจัย

การศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลต่อจุลภูมิอากาศเมืองมีขั้นตอนกระบวนการทางเทคนิคการวิจัย ดังนี้

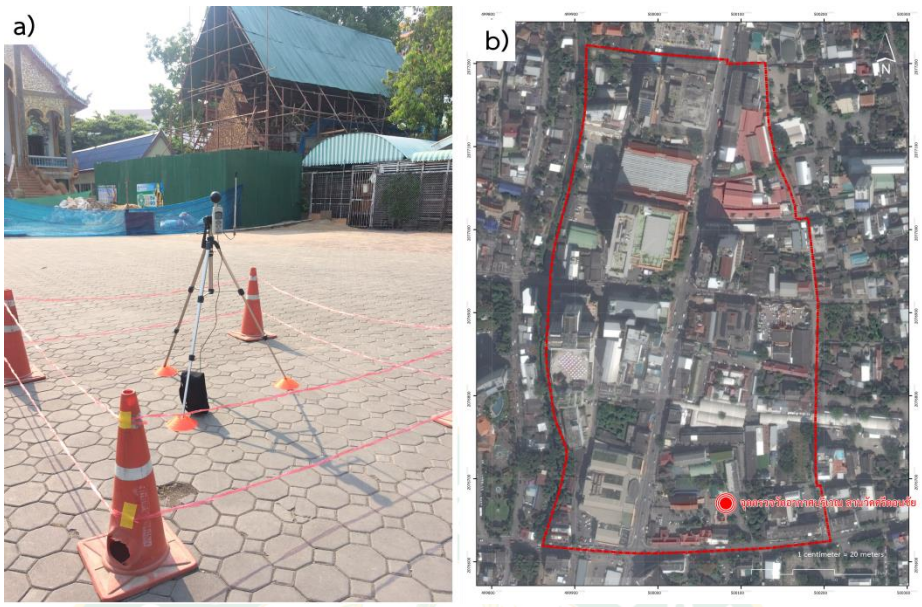
3.5.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน คือ

1) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่และอาคาร การเก็บข้อมูลสภาพทั่วไปและการสังเกตการณ์ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ กิจกรรม การใช้พื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน รูปทรง วัสดุอาคาร ความกว้างของถนน สิ่งปกคลุมพื้นผิว ความสูงอาคาร ขนาดความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และตำแหน่งของพืชพรรณในพื้นที่ศึกษา ตามการแบ่งพื้นที่ 4 ส่วน โดยใช้แนวถนนสายหลัก ถนนช้างคลานและถนนลอยเคราะห์

2) กิจกรรมในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 5.00 – 20.00 น. การเก็บข้อมูลกิจกรรมในพื้นที่ศึกษาด้วยการการสังเกตการณ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์การใช้ประโยชน์และกิจกรรมที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว

3) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษา ณ. บริเวณลานวัดศรีดอนชัย เพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษา ด้วยเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological measurements) ประกอบด้วยเครื่อง Globe thermometer และ Hot-wire anemometer ที่ติดตั้งสูงจากระดับพื้นดินที่ 1.5 เมตร และมีการล้อมเขตเครื่องตรวจวัดขนาด 3.00 x 3..00 เมตร เพื่อป้องกันสิ่งรบกวนการเครื่องตรวจวัด (ภาพที่ 76)



ภาพที่ 76 a) การตั้งเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological measurements)
b) แสดงตำแหน่งจุดตั้งเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา
ที่มา : ผู้วิจัย

3.5.2 จำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน

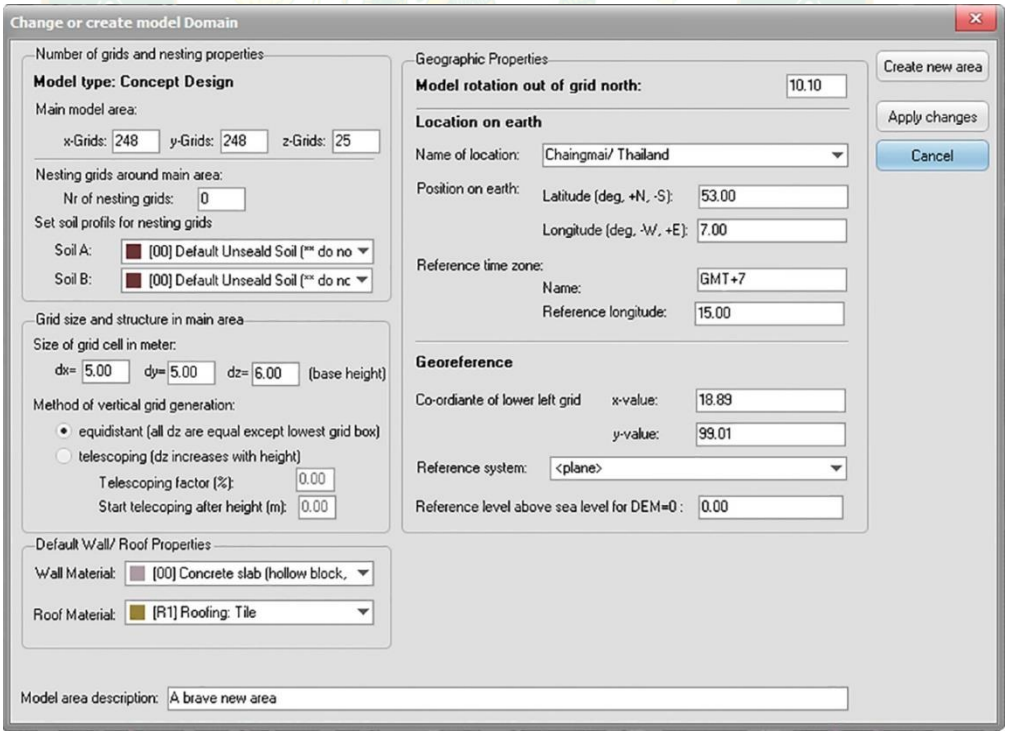
จำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษา โดยลักษณะกายภาพของเมืองที่มีความเป็นหุบเขาเมือง (Urban street canyon) นั้นจะพิจารณาจากความสูงรวมของอาคารทั้งสองฝั่งของถนนต่อความกว้างของถนน โดยความยาวของอาคารจะต้องมีระยะเป็น 6 เท่าของความสูงอาคาร แต่พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ข้อที่ 34 ได้กำหนดความยาวของอาคารหรือตึกแถวไว้มากที่สุด 40.00 เมตรเท่านั้น แต่ถึงแม้อาคารในพื้นที่ศึกษาบางส่วนถูกสร้างขึ้นมาก่อนจะมีการบังคับใช้กฎหมายดังกล่าวก็ไม่มีอาคารใดที่มีความยาว 6 เท่าของความสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามสภาพของอาคารในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา ตามแนวถนนภายในพื้นที่ศึกษา โดยมีระยะห่างระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองแต่ละตัวอย่าง 20.00 - 30.00 เมตร

3.5.3 การสร้างแบบจำลองจุลภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

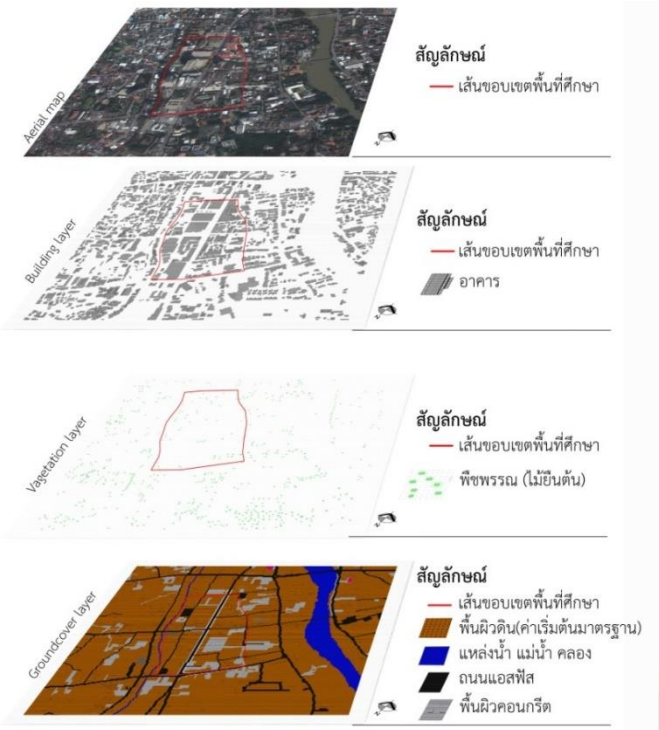
การนำข้อมูลเพื่อจำลองสถานการณ์สภาพอากาศของพื้นที่ในโปรแกรม Envi-met 4.0 แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การนำเข้าข้อมูลลักษณะทางกายภาพ (Geometry setting) ของพื้นที่ย่านช้างคลาน

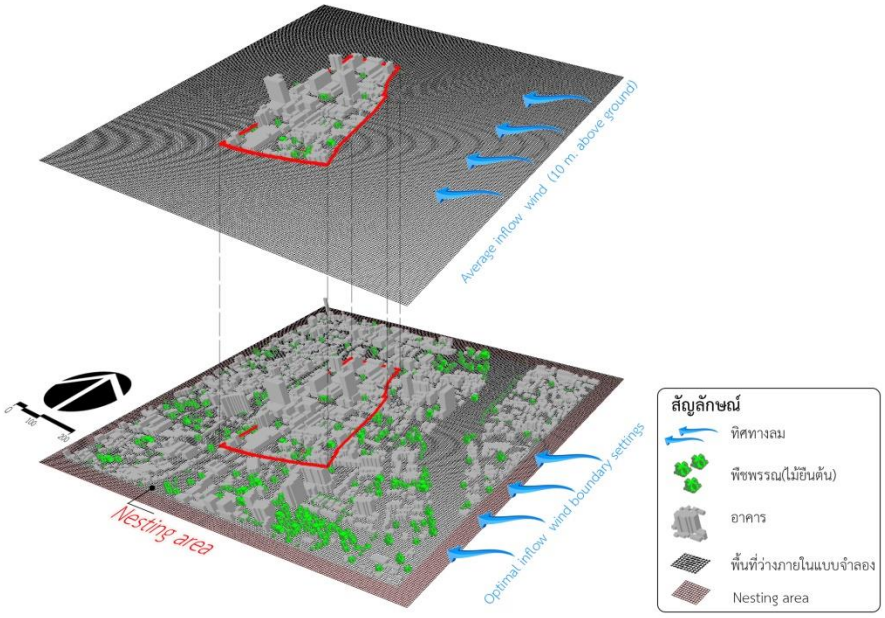
ขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติ (3 Dimension) ของย่านช้างคลาน ซึ่งเป็นพื้นที่ย่านพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของแม่น้ำปิง และทางทิศตะวันตกของคูเมืองเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลจากการลงพื้นที่สำรวจ ประกอบด้วย รูปทรงอาคาร วัสดุอาคาร ถนน สิ่งปกคลุมดิน รวมถึงตำแหน่งและขนาดของพืชพรรณ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial map) ปี 2560 และการอ้างอิงตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก (Geographic coordinate) ของพื้นที่ศึกษาอย่างละเอียด รวมถึงเขตเวลา (Time zone) จากการเก็บข้อมูลภาคสนามอาคารแต่ละชั้นมีความสูง 3 เมตรโดยเฉลี่ย ในพื้นที่ศึกษามีอาคารที่สูงที่สุด 70 เมตร (โรงแรมเชนธารา ดวงตะวัน และโรงแรมรอยัลลานนา) การวิจัยนี้กำหนดขนาดแบบจำลองสามมิติย่านช้างคลาน มีขนาด 248 x 248 x 25 กริด แต่ละกริดมีขนาด 5x5x6 เมตร (ภาพที่ 77) โดยสร้างแบบจำลองถอยร่นออกไป 1 เท่า เพื่อการจำลองทิศทางลมที่พัดเข้าสู่แบบจำลอง พื้นที่แบบจำลองรวม 1.2 ตารางกิโลเมตร และมี Nesting area ด้านละ 50 เมตร ดังภาพที่ 78, 79 เมื่อสร้างแบบจำลองลักษณะทางกายภาพสมบูรณ์มีลักษณะดังภาพที่ 80



ภาพที่ 77 แสดงการตั้งค่าแบบจำลองสามมิติของพื้นที่ย่านช้างคลาน
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 78 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศลงในโปรแกรม ENVI-met
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 79 แสดงภาพแบบจำลองสามมิติ ย่านช้างคลาน โดยสร้างแบบจำลองถอยร่นออกไป 1 เท่า และทิศทางลมที่พัดเข้าสู้แบบจำลอง
ที่มา : ผู้วิจัย



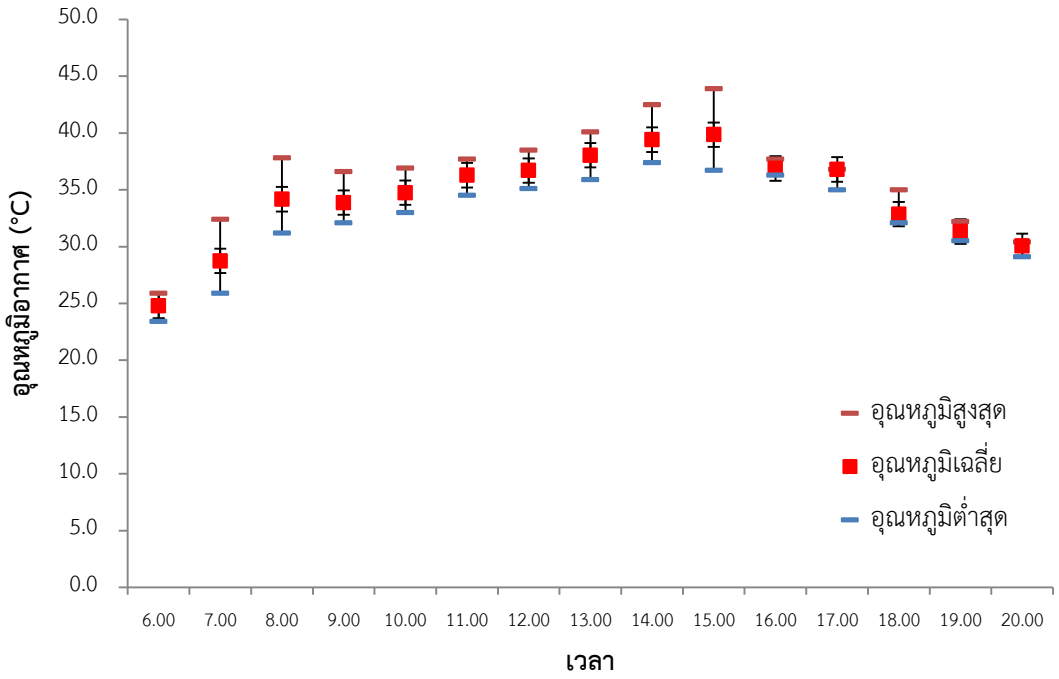
ภาพที่ 80 ลักษณะกายภาพของย่านช้างคลานและแบบจำลองสามมิติย่านช้างคลาน
ที่มา : ผู้วิจัย

2) การตั้งค่าข้อมูลลักษณะทางสภาพอากาศ (Parameter setting)

การตั้งค่าแบบจำลองส่วนนี้เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นทางสภาพอากาศของแบบจำลอง รวมถึงระยะเวลาการจำลองสภาพอากาศ ในการวิจัยนี้ใช้เวลา 14 ชั่วโมง เริ่มต้นแบบจำลองเวลา 6.00-20.00 น. และบันทึกค่าสภาพอากาศทุก 30 นาที

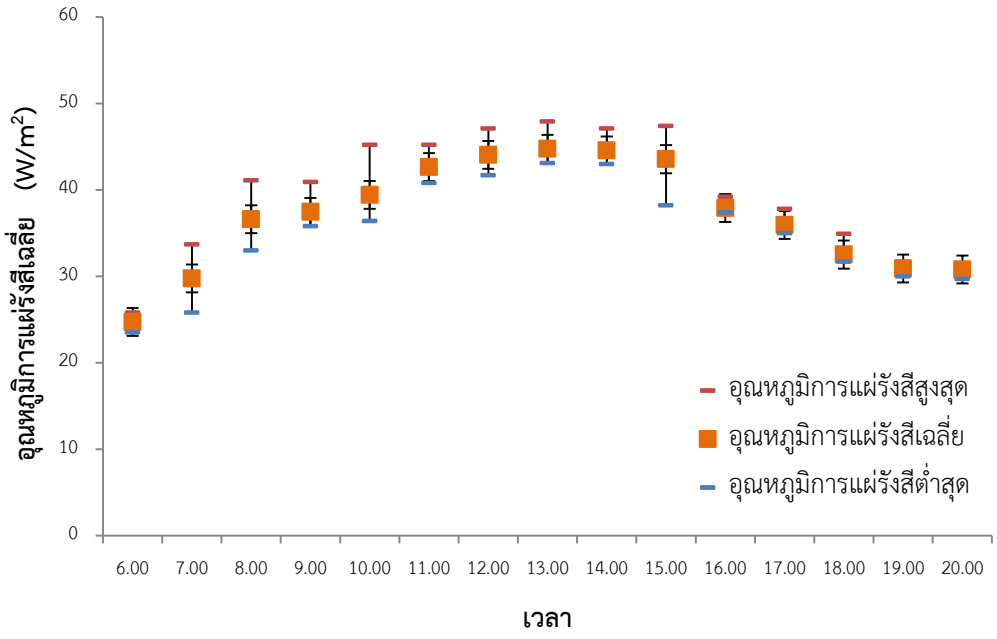
การตั้งค่าสภาพอากาศให้แบบจำลองนั้นจะนำข้อมูลจาก 2 แหล่งข้อมูล ดังนี้

2.1) ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา การตั้งค่าในส่วนที่สองนี้จะนำเอาข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามมาสร้าง Configuration File ในโมดูล์ Project Wizard ซึ่งจะเป็นการตั้งค่าสภาพแวดล้อมเบื้องต้น (Parameter setting) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) รวมถึงอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean radiant temperature) ความเร็วลม (Wind velocity) (ภาพที่ 81-84) และทิศทางของลม (Wind Direction) ของขอบแบบจำลอง (Boundary condition setting) เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็น การศึกษาสภาพอากาศท้องถิ่นเฉพาะ จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลสภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาจริงในการตั้งค่าแบบจำลอง (Forcing simple) (ภาพที่ 85 และภาพที่ 86)



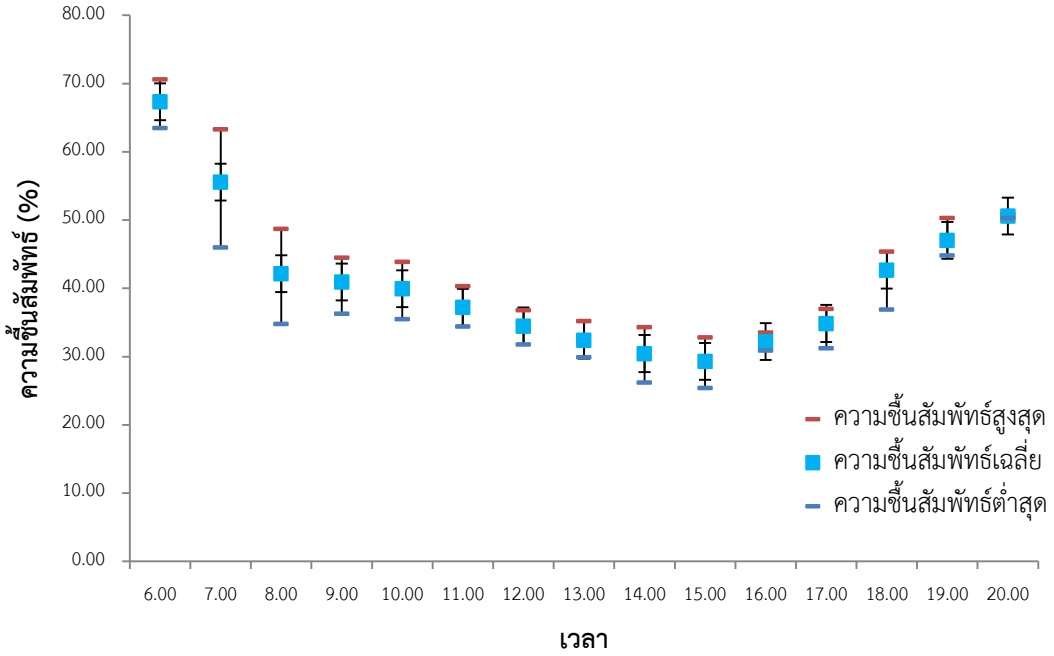
ภาพที่ 81 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิอากาศ วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย

ที่มา : ผู้วิจัย



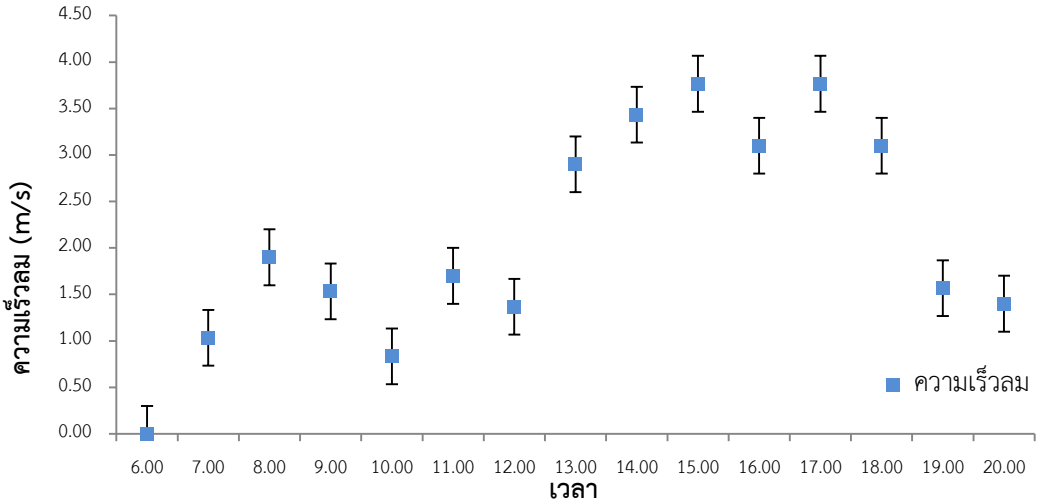
ภาพที่ 82 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย

ที่มา : ผู้วิจัย



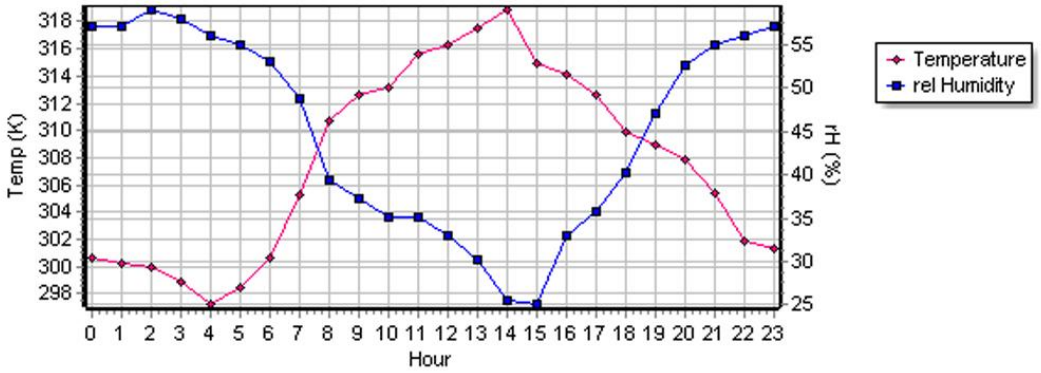
ภาพที่ 83 แผนภูมิแสดงความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย

ที่มา : ผู้วิจัย



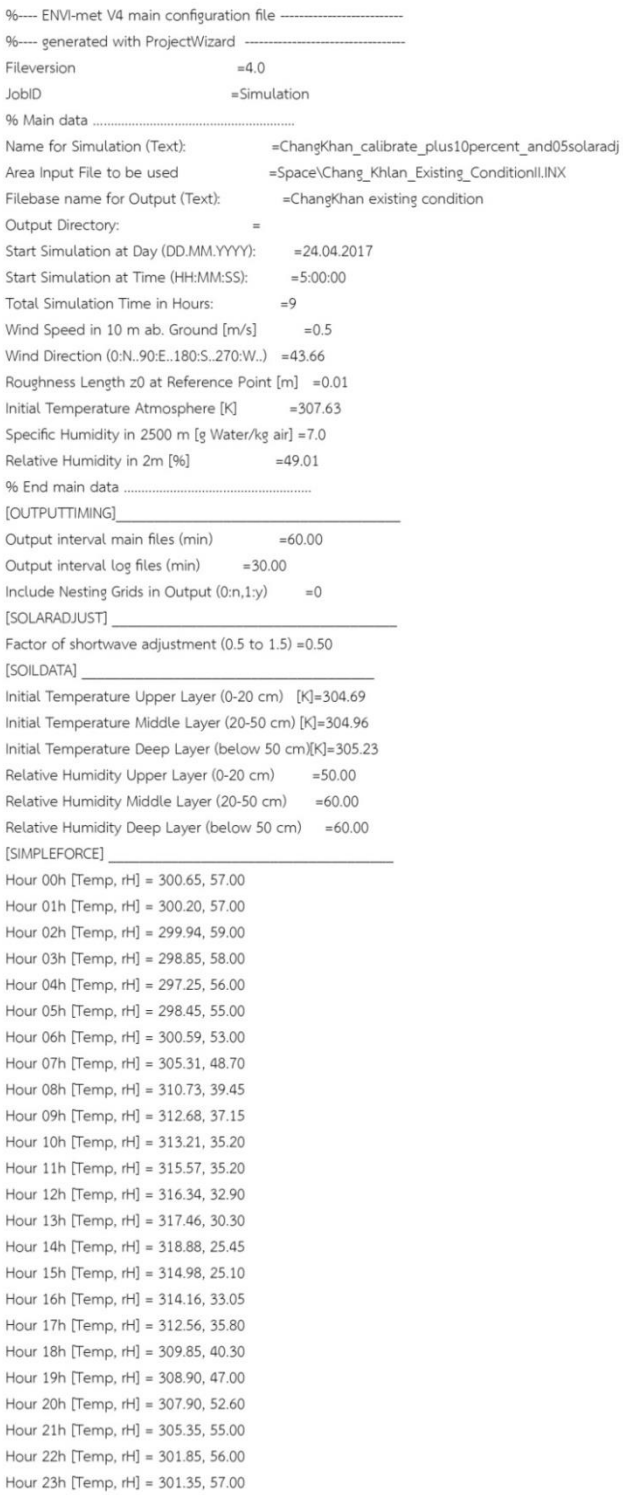
ภาพที่ 84 แผนภูมิแสดงความเร็วลม วันที่ 24 - 25 เมษายน 2560 ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ วัดศรีดอนไชย

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 85 การตั้งค่าอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560

ที่มา : ผู้วิจัย



```
%---- ENVI-met V4 main configuration file ----------
%---- generated with ProjectWizard  ----------
Fileversion                    =4.0
JobID                          =Simulation
% Main data .....
Name for Simulation (Text):          =ChangKhan_calibrate_plus10percent_and05solaradj
Area Input File to be used           =Space\Chang_Khlan_Existing_ConditionII.INX
Filebase name for Output (Text):     =ChangKhan existing condition
Output Directory:                    =
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):   =24.04.2017
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):    =5:00:00
Total Simulation Time in Hours:         =9
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]     =0.5
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..)  =43.66
Roughness Length z0 at Reference Point [m]  =0.01
Initial Temperature Atmosphere [K]      =307.63
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =7.0
Relative Humidity in 2m [%]             =49.01
% End main data .....
[OUTPUTTIMING]_____
Output interval main files (min)        =60.00
Output interval log files (min)         =30.00
Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y)    =0
[SOLARADJUST] _____
Factor of shortwave adjustment (0.5 to 1.5) =0.50
[SOILDATA] _____
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm)   [K]=304.69
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]=304.96
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm)[K]=305.23
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm)     =50.00
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm)   =60.00
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm)  =60.00
[SIMPLEFORCE] _____
Hour 00h [Temp, rH] = 300.65, 57.00
Hour 01h [Temp, rH] = 300.20, 57.00
Hour 02h [Temp, rH] = 299.94, 59.00
Hour 03h [Temp, rH] = 298.85, 58.00
Hour 04h [Temp, rH] = 297.25, 56.00
Hour 05h [Temp, rH] = 298.45, 55.00
Hour 06h [Temp, rH] = 300.59, 53.00
Hour 07h [Temp, rH] = 305.31, 48.70
Hour 08h [Temp, rH] = 310.73, 39.45
Hour 09h [Temp, rH] = 312.68, 37.15
Hour 10h [Temp, rH] = 313.21, 35.20
Hour 11h [Temp, rH] = 315.57, 35.20
Hour 12h [Temp, rH] = 316.34, 32.90
Hour 13h [Temp, rH] = 317.46, 30.30
Hour 14h [Temp, rH] = 318.88, 25.45
Hour 15h [Temp, rH] = 314.98, 25.10
Hour 16h [Temp, rH] = 314.16, 33.05
Hour 17h [Temp, rH] = 312.56, 35.80
Hour 18h [Temp, rH] = 309.85, 40.30
Hour 19h [Temp, rH] = 308.90, 47.00
Hour 20h [Temp, rH] = 307.90, 52.60
Hour 21h [Temp, rH] = 305.35, 55.00
Hour 22h [Temp, rH] = 301.85, 56.00
Hour 23h [Temp, rH] = 301.35, 57.00
```

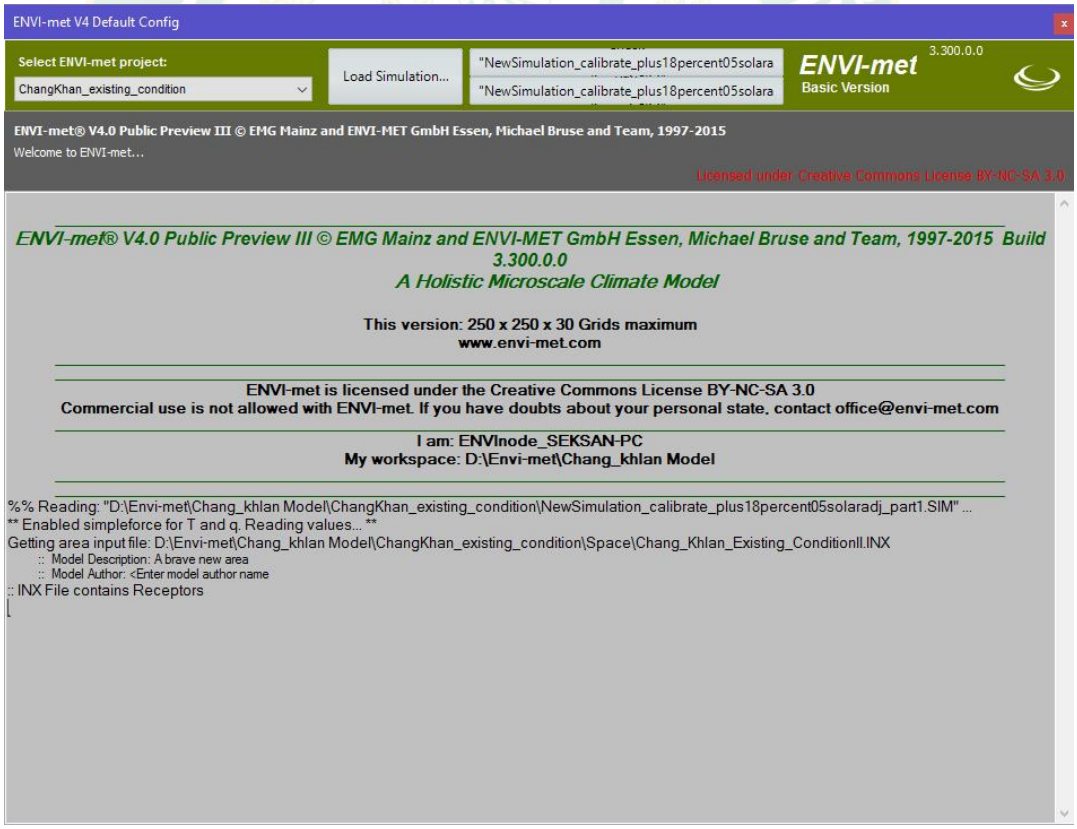
ภาพที่ 86 แสดงการตั้งค่าสภาพอากาศและค่าต่างๆ ของแบบจำลองสภาพอากาศย่านช้างคลาน ที่ผ่านการปรับแก้แบบจำลอง และยืนยังความเชื่อมั่นด้วยกระบวนการทางสถิติ

ที่มา : ผู้วิจัย

2.2) ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ กรมอุตุนิยมวิทยา ณ สถานีสนามบินนานาชาติเชียงใหม่ เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง โดยข้อมูลส่วนนี้ ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศรายวัน ปี 2558 ความเร็วลมและทิศทางลมเฉลี่ย (ความสูง 10 เมตร เหนือพื้นดิน) รายวันของวันที่ศึกษา และอุณหภูมิดิน (ความลึก 3 ระดับ ประกอบด้วย ความลึก 20 เซนติเมตร, 50 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร)

3) การประมวลผลแบบจำลอง

ขั้นตอนนี้จะนำเอาข้อมูลจำลองลักษณะทางกายภาพ (Geometry setting) และการตั้งค่าสภาพอากาศ (Parameter setting) มาประมวลผลในโมดูล์ ENVI-met (250x250x30) ซึ่งจะต้องมีการปรับแก้โมเดลให้มีสภาพทางกายภาพและสภาพอากาศเหมือนจริงมากที่สุด สามารถตรวจสอบได้โดยใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแบบจำลองของวันที่ศึกษา อ้างอิงกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุด ของวันเดียวกันจากข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ณ สถานีสนามบินนานาชาติเชียงใหม่



ภาพที่ 87 ภาพแสดงอินเตอร์เฟสของ ENVI-met สำหรับประมวลผลแบบจำลองย่านช้างคลาน
ที่มา : ผู้วิจัย

3.5.4 การปรับแก้แบบจำลอง

การจำลองลักษณะทางสภาพอากาศ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและความเชื่อมั่นของแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีความเสมือนสภาวะเหมือนพื้นที่ศึกษาจริงมากที่สุด ในโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั้น 4.0 นั้นสามารถปรับแก้ค่าการตั้งค่าสภาพแวดล้อมเบื้องต้น (Parameters setting) ตามตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพอากาศ จากการตรวจเอกสารพบว่าตัวแปรที่ถูกนำมาใช้เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับสภาพอากาศพื้นที่ศึกษา คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature: Tmrt) จากวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ (statistical test Validation) 4 ค่า เพื่อตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบจำลอง ประกอบด้วยค่า Root mean square error (RMSE), ค่า The coefficient of determination : R^2), ค่า Index of agreement (*d*) และค่า Significant จากการทดสอบ Paired T-test โดยค่าความสอดคล้องทางสถิติค่า R^2 และ *d* ควรเข้าใกล้ 1 ส่วนค่า RMSE ควรมีค่าเข้าใกล้ 0 และค่า Significant จากการทดสอบ Paired T-test ควรมีค่ามากกว่า 0.05 เพื่อยอมรับ *H0* ดังสมมติฐาน

H0 : Sig > p value (0.05) หมายถึง อุณหภูมิภายในแบบจำลอง = การตรวจวัดภาคสนาม

H1 : Sig < p value (0.05) หมายถึง อุณหภูมิภายในแบบจำลอง ≠ การตรวจวัดภาคสนาม

รูปสมการการคำนวณหาค่า Root mean square error (RMSE) คือ

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad \text{Eq. 58}$$

เมื่อ P_i คือ ค่าทำนายหน่วยทดลองที่ ith ,O_i คือ ค่าสังเกตหน่วยทดลอง ith และ n คือ จำนวนหน่วยทดลอง

รูปสมการการคำนวณหาค่า Index of agreement (*d*) คือ

$$\text{D} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P'_i| + |O'_i|)^2}\right], 0 \leq d \leq 1 \qquad \text{Eq. 59}$$

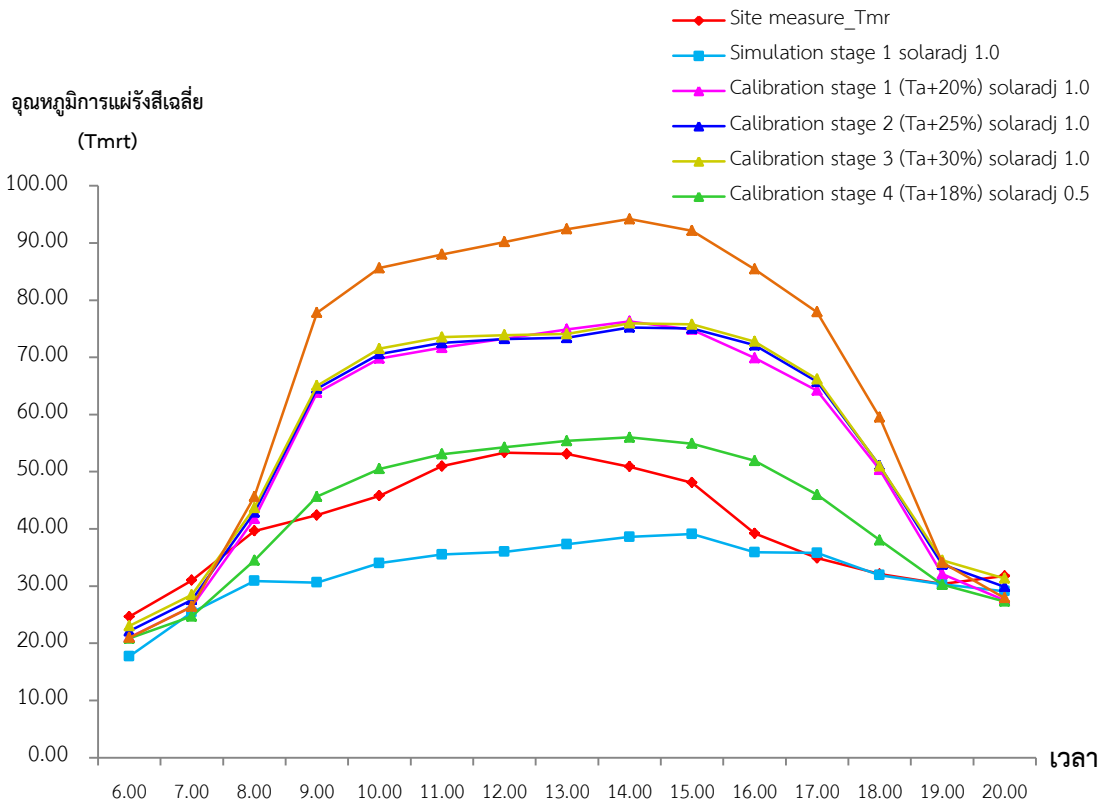
เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยทดลอง, P_i คือ ค่าทำนายหน่วยทดลอง ที่ ith, O_i คือ ค่าสังเกตหน่วยทดลอง ที่ ith, $\bar{o}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต $P'_i = P_i - \bar{o}$ และ $o'_i = = o_i - \bar{o}$

เพื่อความเชื่อมั่นของแบบจำลองจึงต้องมีการยืนยันความถูกต้อง ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature: T_{MRt}) เป็นตัวแปรที่ใช้เปรียบเทียบความหน้าเชื่อถือของแบบจำลอง รูปสมการการคำนวณหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ดังสมการที่ 60

$$T_{MRt}=[(T_{GLOBE}+273.15)^4+(T_{GLOBE}-T_A)\cdot(1.1\cdot10^8\cdot V_A^{0.6})/(\varepsilon\cdot D^{0.4})]^{0.25}$$

Eq. 60

เมื่อ T_{GLOBE} คือ อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จาก Globothermometer probe หน่วยเป็นเคลวิล (Kelvin: K), T_A คือ อุณหภูมิอากาศหน่วยเป็นเคลวิล(Kelvin: K), V_A คือ ความเร็วลม (m/s), ε คือ ความสามารถในการสะท้อนรังสีของ Globothermometer probe และ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Globothermometer probe (mm.)



ภาพที่ 88 แสดงการเปรียบเทียบแนวโน้มค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแบบจำลองกับการตรวจวัดภาคสนาม ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแบบจำลองกับการตรวจวัดภาคสนาม ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ (statistical test Validation)

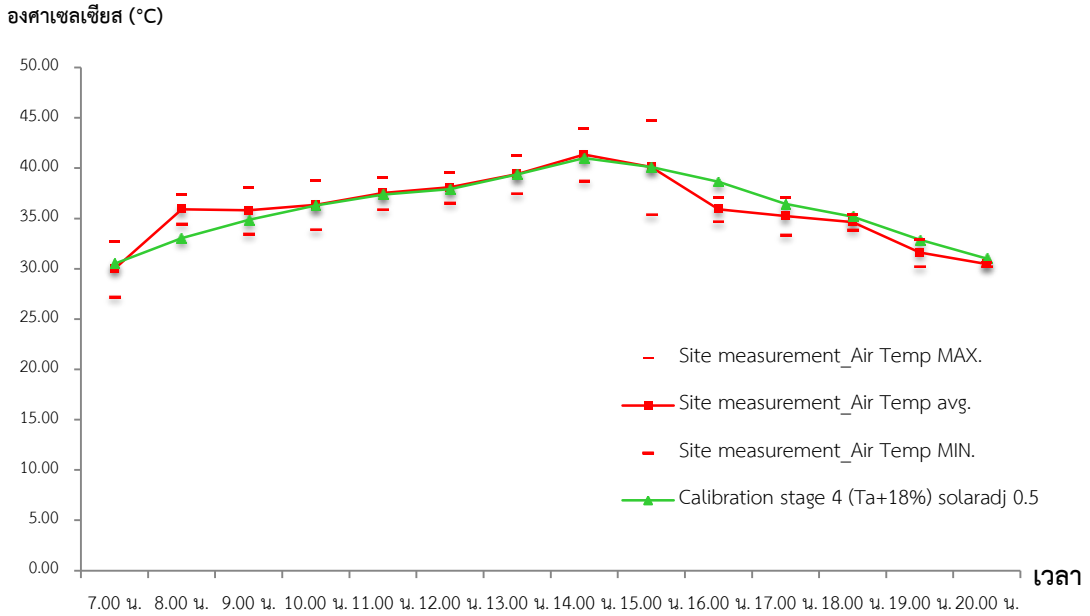
Model	R^2	*RMSE*	*d*	*Sig.*
Simulation stage 1 solaradj 1.0	0.567	10.087	0.348	0.000
Calibration stage 1 (Ta+20%) solaradj 1.0	0.711	20.496	0.462	0.000
Calibration stage 2 (Ta+25%) solaradj 1.0	0.684	20.928	0.410	0.000
Calibration stage 3 (Ta+30%) solaradj 1.0	0.692	21.457	0.376	0.000
Calibration stage 4 (Ta+18%) solaradj 0.5	0.760	6.106	0.909	0.125*
Calibration stage 5 (Ta+18%) solaradj 1.0	0.704	33.549	0.086	0.000

* Significant (Paired T-test) 95%

ที่มา : ผู้วิจัย

จากการการเปรียบเทียบแนวโน้มค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแบบจำลองกับการตรวจวัดภาคสนาม ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ พบว่าแบบจำลองครั้งที่ 1 (Simulation stage 1 solaradj 1.0) มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่าการวัดภาคสนามค่อนข้างมาก จึงมีการปรับแก้ครั้งที่ 1, 2 และ 3 โดยการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้น 20% - 25% และ 30% ตามลำดับ ค่า Solar adjust 1.0 ผลปรากฏว่าค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงกว่าการตรวจวัดภาคสนามตลอดทั้งวัน จึงปรับแก้ครั้งที่ 4 และ5 โดยอุณหภูมิเริ่มต้นเพิ่มขึ้น 18% และค่า Solar adjust 1.0 และ 0.5 ตามลำดับ พบว่าแบบจำลองครั้งที่ 4 อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 18 % ค่า Solar adjust 0.5 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของจุดตรวจวัดอากาศมากที่สุด (ภาพที่ 88) เมื่อวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่าแบบจำลองดังกล่าว มีค่า R2=0.760, ค่า RMSE = 6.106, ค่า d= 0.909 ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าค่า RMSE ไม่เข้าใกล้ 0 มากนัก แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ และค่า Significant จากการทดสอบ Paired T-test มีค่า 0.125 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงสามารถยอมรับสมมติฐาน(H0) คือ ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากการแบบจำลองมีความสอดคล้องกับการตรวจวัดภาคสนาม (ตารางที่ 12)

ผลจากการปรับแก้แบบจำลองข้างต้น พบว่าอุณหภูมิอากาศ ณ ความสูง 1.8 เมตรเหนือพื้นดิน นั้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศของการตรวจวัดสภาพอากาศภาคสนาม (ภาพที่ 89) และผลการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 13)



ภาพที่ 89 อุณหภูมิอากาศของแบบจำลองครั้งที่ 4 และอุณหภูมิอากาศของการตรวจวัดสภาพอากาศภาคสนาม
ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแบบจำลองกับการตรวจวัดภาคสนาม ณ จุดตรวจวัดสภาพอากาศ ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ (statistical test Validation)

	R^2	RMSE	*d*	Sig.
Calibration stage 1 (Ta+18%) solaradj 0.5	0.868	1.296	0.908	0.645

* Significant (Paired T-test) 95%

ที่มา : ผู้วิจัย

3.5.5 การปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงจากกฎหมายควบคุมอาคาร

ศึกษากฎหมายควบคุมอาคารพระราชบัญญัติ และกฎหมายผังเมืองที่เกี่ยวข้องกับการปลูกสร้างอาคารในพื้นที่ศึกษา เพื่อการทดลองปรับปรุงรูปทรงของอาคาร พบว่ามีข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2533) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีสาระเกี่ยวกับการควบคุมอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ และมีการแก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวงฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540)

2) กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีสาระเกี่ยวกับการควบคุมที่ว่างรอบอาคาร ระยะร่น และแนวอาคาร และมีการแก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวงฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550) ในสาระที่เกี่ยวกับระยะร่นระหว่างอาคาร

3.5.6 ผลที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง

ผลของแบบจำลองจากโปรแกรม Envi-met 4.0 ของการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย ผลการศึกษาได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

1) ผลการจำลองแบบ 2 มิติ ได้แก่ แผนที่ความร้อน แผนที่รูปแบบการไหลของลม และภาพตัดขวาง(Section)แสดงชั้นของอุณหภูมิอากาศ (Air temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity), อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Mean radiant temperature) และความเร็วลม (Wind velocity)

2) ผลการจำลองแบบ 3 มิติ ได้แก่ แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงอาคารต่อปัจจัยสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature), ความเร็วลม (Wind velocity) และรูปแบบการไหลของลม

3) ข้อมูลเชิงปริมาณของปัจจัยสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงในช่วงเวลา 6.00 - 20.00 น. ในวันที่ 24 เมษายน 2560 ของกรณีรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และกรณีการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงจากกฎหมายควบคุมอาคาร

4.5.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการศึกษา สรุป และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้คือการวิเคราะห์สัดส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนน และรูปแบบการเรียงตัวของอาคาร ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศในสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน และวิเคราะห์รูปแบบของอาคารที่เหมาะสม ที่สามารถลดอุณหภูมิของพื้นที่ย่านถนนช้างคลานได้เพื่อใช้เป็นแนวทางเสนอแนะการพัฒนาพื้นที่พาณิชยกรรมย่านถนนช้างคลานในอนาคตต่อไป

1) วิเคราะห์การใช้ประโยชน์อาคาร เส้นทางสัญจร และสภาพกายภาพของพื้นที่ศึกษาในสภาพปัจจุบัน

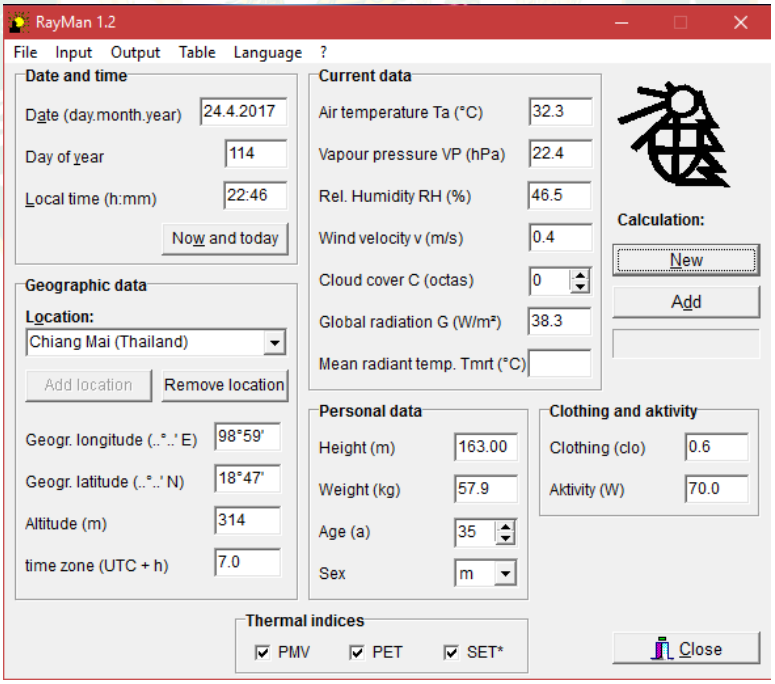
2) วิเคราะห์กิจกรรมในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ช่วงเวลา 5.00-6.00 น.

3) วิเคราะห์ผลจากแบบจำลองด้วยค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature) และความเร็วลม (Wind velocity) ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงจากกฎหมายควบคุมอาคาร

4) วิเคราะห์ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort index) ด้วยอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET) ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงจากกฎหมายควบคุมอาคารโดยโปรแกรม RayMan Model

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มานัส และคณะ (2558) ได้ศึกษาดัชนีความสบายเชิงร้อนในฤดูร้อน เขตพื้นที่เมืองเชียงใหม่ พบว่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายเฉลี่ยที่ อายุ 35 ปี ความสูง 1.6. เมตร น้ำหนัก 57.9 กิโลกรัม ดัชนีมวลกาย (Body mass index ; BMI) 21.76 และการแต่งกาย 0.56 clo มีช่วงความยอมรับสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคารในฤดูร้อน (Thermal acceptable ranges in summer) อยู่ที่ 23.10-31.00 PET (°C)

ในส่วนของการตั้งพารามิเตอร์ เช่น อุณหภูมิอากาศ (Air temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity), ความเร็วลม (Wind velocity) และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature) นั้นใช้ค่าที่ได้จากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศเมืองด้วยโปรแกรม ENVI-met ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองแต่ละตัวอย่างรายชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 6.00-20.00 น. ของวันที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2560



ภาพที่ 90 การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม RayMan model เพื่อคำนวณสภาวะความสบายเชิงความร้อนรายชั่วโมง

ที่มา : ผู้วิจัย

4.5.8 วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean radiant temperature) และความเร็วลม (Wind velocity) ที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET) ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงจากกฎหมายควบคุมอาคาร ได้ดังสมการที่ 61

$$Y_{PET} = X_{T_a} + X_{Rh} + X_{Ws} + X_{T_{mrt}}$$

$$(R^2 = 0.958) \qquad \text{Eq. 61}$$

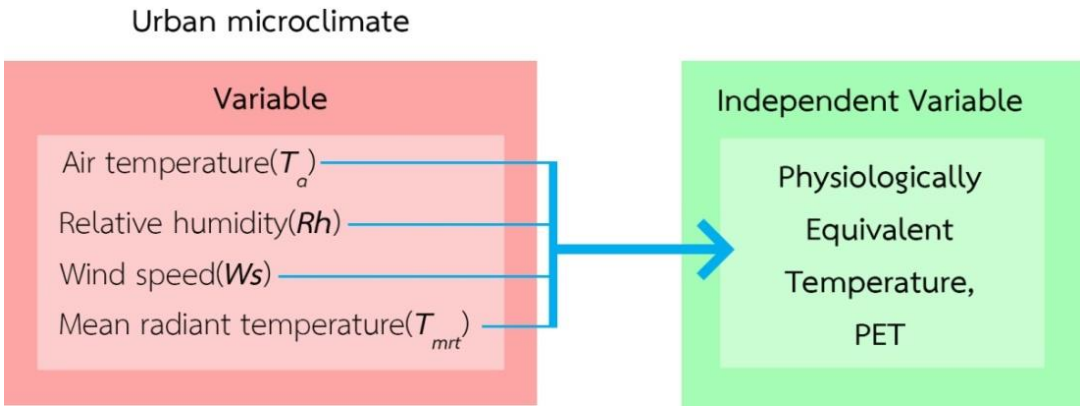
โดยที่ Y_{PET} คือ อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาภายนอกอาคาร (°C)

X_{T_a} คือ อุณหภูมิอากาศ(°C)

X_{Rh} คือ ความชื้นสัมพัทธ์(%)

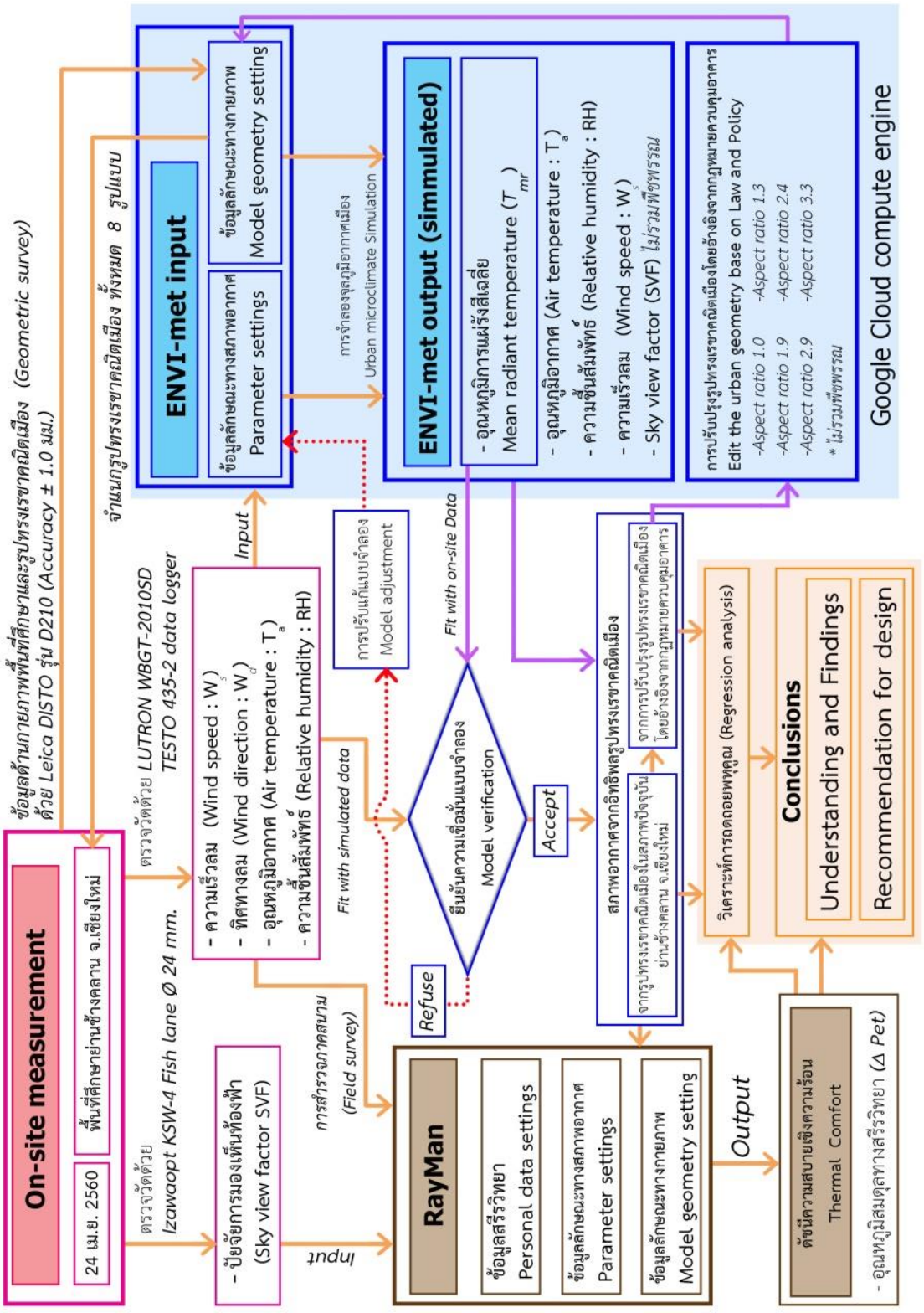
X_{Ws} คือ ความเร็วลม(m/s)

$X_{T_{mrt}}$ คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย(°C)



ภาพที่ 91 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพอากาศต่ออุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา
ที่มา : ผู้วิจัย

กระบวนการทางเทคนิคการวิจัยของการศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลต่อจุลภูมิอากาศเมืองสามารถอธิบายได้ดังแผนผังที่ปรากฏในภาพที่ 92



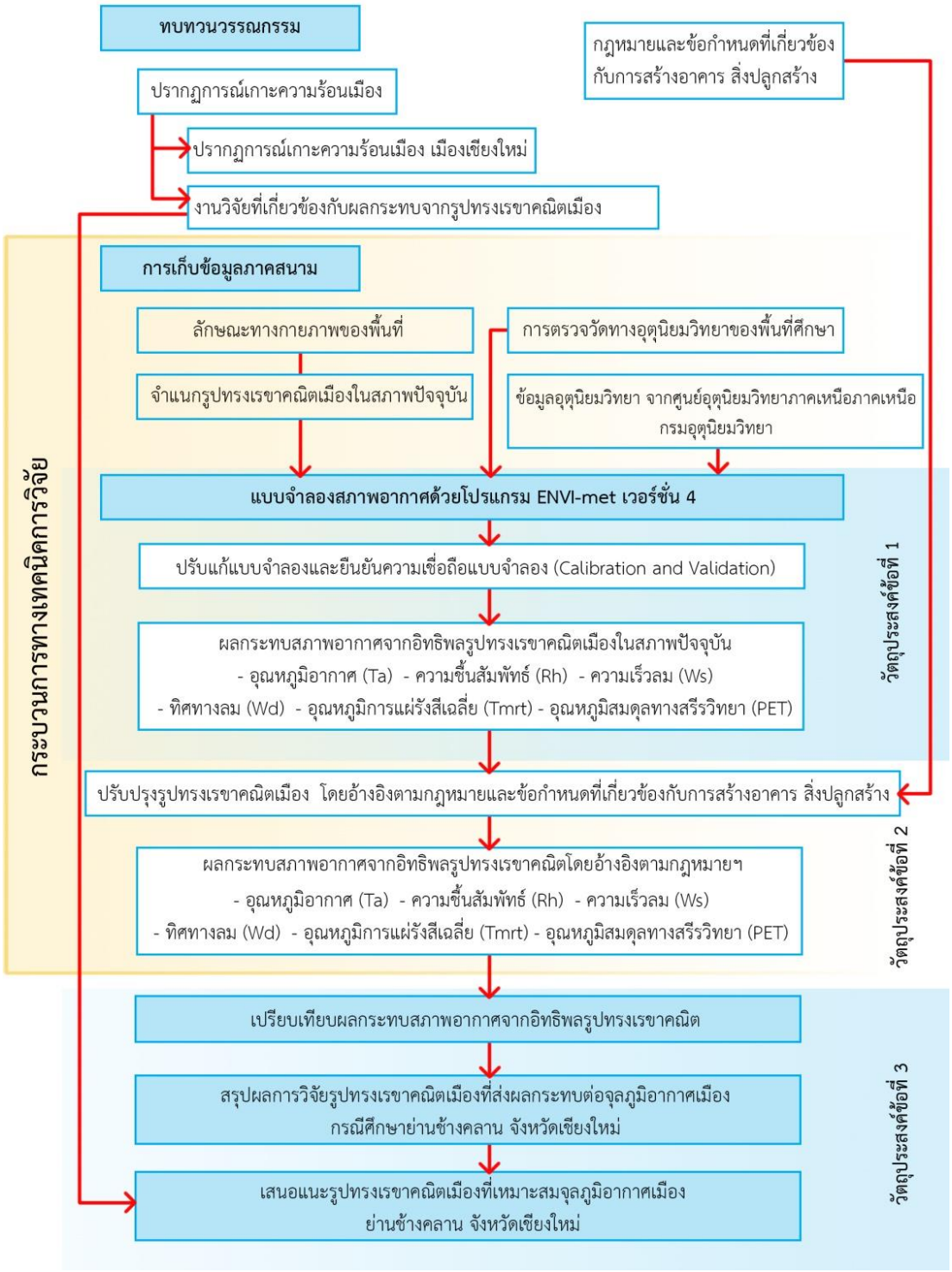
ภาพที่ 92 กระบวนการทางเทคนิคการวิจัย (Technical flow chart)

ที่มา : ผู้วิจัย

4.6. สรุปขั้นตอนการวิจัยรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

การวิจัยรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการวิจัยได้ ดังต่อไปนี้

การศึกษานี้ได้เริ่มจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง ปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมืองเชียงใหม่ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากรูปทรงเรขาคณิตเมือง ประกอบกับกฎหมายการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ในพื้นที่ศึกษาระหว่างช่วงเวลาที่ทำการวิจัย (พ.ศ. 2560 - 2561) ในขั้นตอนต่อไปเป็นการเก็บข้อมูลภาคสนามซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน เพื่อจำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา หลังจากนั้นจะนำเข้าสู่โปรแกรมจำลองสภาพอากาศ ENVI-met เวอร์ชั่น 4.0 โดยจะมีการปรับแก้แบบจำลองและยืนยันความเชื่อมั่นแบบจำลอง (Calibration and Validation) และผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศในปัจจุบันของพื้นที่วิจัย ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ของการวิจัย หลังจากนั้นจะทดสอบรูปทรงเรขาคณิตเมือง ที่อ้างอิงด้วยกฎหมายควบคุมอาคารและกฎหมายการใช้ประโยชน์ที่ดิน นำผลที่ได้มาวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแต่ละตัวอย่าง การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศจะประกอบไปด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Ait temperature: *Ta*) ความชื้นสัมพัทธ์(Relative humidity: *Rh*) ความเร็วลม (Wind speed : Ws) ทิศทางลม(Wind direction : *Wd*) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย(Mean radiant temperature: *Tmrt*) อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature: PET) เป็นวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ของการวิจัย หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ของทั้งสองกรณีมาเปรียบเทียบผลกระทบสภาพอากาศจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง เพื่อสรุปการวิจัยและเสนอแนะรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่เหมาะสมกับจุลภูมิอากาศเมืองย่านช้างคลานจังหวัดเชียงใหม่ ที่เป็นวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ของการวิจัยนี้ ดังแผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัยรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ในภาพที่ 93



ภาพที่ 93 ขั้นตอนการวิจัยรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมืองกรณีศึกษาถนนข้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ผู้วิจัย

กระบวนการทางเทคนิคการวิจัย สามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม ประกอบด้วยข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ รูปทรงอาคาร พื้นผิวปกคลุม ความกว้างและทิศทางการวางตัวของถนนของพื้นที่ศึกษา และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ที่ตรวจวัดในวันที่ 24 เมษายน 2560 ประกอบด้วยปัจจัยภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมข้อมูลเพื่อใช้นำเข้าโปรแกรมจำลองสภาพภูมิอากาศเมือง ส่วนที่ 1 จำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวการวางตัวของถนน ส่วนที่ 2 ค่าเฉลี่ยของปัจจัยภูมิอากาศรายชั่วโมง หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามทั้ง 2 ส่วน เข้าสู่โปรแกรมจำลองภูมิอากาศเมือง ENVI-met ในขั้นตอนถัดไปจะต้องนำผลการจำลองภูมิอากาศเมืองที่ได้ มาพิสูจน์ความเชื่อมั่นโดยใช้กระบวนการทางสถิติ เพื่อทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องเชื่อถือได้ และมีผลการศึกษาที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ขั้นตอนที่ 3 ปรับแก้รูปทรงเรขาคณิตเมืองภายในแบบจำลอง ที่อ้างอิงโดยใช้กฎหมายควบคุมอาคาร และกฎหมายการใช้ประโยชน์ที่ดิน หลังจากนั้นนำตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองทั้งหมด เข้าสู่การประมวลผลแบบจำลองภูมิอากาศเมือง

ขั้นตอนที่ 4 โดยในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์สภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคาร (Outdoor thermal comfort) ด้วยดัชนีอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature: PET) โดยใช้ช่วงความยอมรับสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคารของพื้นที่เมืองเชียงใหม่ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาในช่วงเวลาที่อยู่นอกช่วงยอมรับสภาวะความสบายเชิงความร้อน หรือสภาวะไม่น่าสบาย (uncomfortable) มาวิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ (Regression analysis) โดยวิธี Stepwise ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ส่งผลให้เกิดสภาวะไม่น่าสบายของแต่ละรูปทรงเรขาคณิตเมือง

ขั้นตอนที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการออกแบบรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อลดความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

เนื้อหาสำคัญในบทที่ 3 เป็นการออกแบบขั้นตอนการศึกษาผลกระทบของรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมือง กรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ในแต่ละขั้นตอนโดยละเอียด ซึ่งการออกแบบกระบวนการวิเคราะห์ในบทนี้ ไดทำการกำหนดกรอบและแนวทางในการดำเนินการ โดยเริ่มจากกรอบทฤษฎี และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณเกาะความร้อนเมือง การศึกษาสภาพของพื้นที่วิจัยและการสร้างแบบจำลองสภาพจุลภูมิอากาศเมือง ตลอดจนการปรับเทียบและตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบจำลอง เพื่อผลการศึกษาที่ถูกต้องและเป็นมาตรฐาน รวมไปถึงการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ เพื่อให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง เพื่อนำไปสูการเสนอแนะรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่เหมาะสม ที่สามารถช่วยลดความรุนแรงของปรากฏการณเกาะความร้อนเมือง และในบทที่ 4 จะเป็นการแสดงผลการศึกษาดังกล่าวต่อไป

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิเคราะห์การจำลองสภาพภูมิอากาศย่านช้างคลาน ด้วยโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั่น 4 วันที่ 24 เมษายน พ.ศ.2560 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดสภาพอากาศจริงในพื้นที่ศึกษา ประกอบกับการเก็บข้อมูลภาคสนาม เพื่อจำแนกอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนน (Aspect ratio) และรูปแบบการเรียงตัวของอาคาร ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน ที่มีอิทธิพลต่อการระบายอากาศ เพื่อนำไปสู่การเสนอแนะแนวทางในการลดอุณหภูมิของพื้นที่ย่านช้างคลาน ส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดี

4.1 วิเคราะห์สภาพเชิงพื้นที่ และกิจกรรมในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน

4.1.1 สภาพเชิงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษา

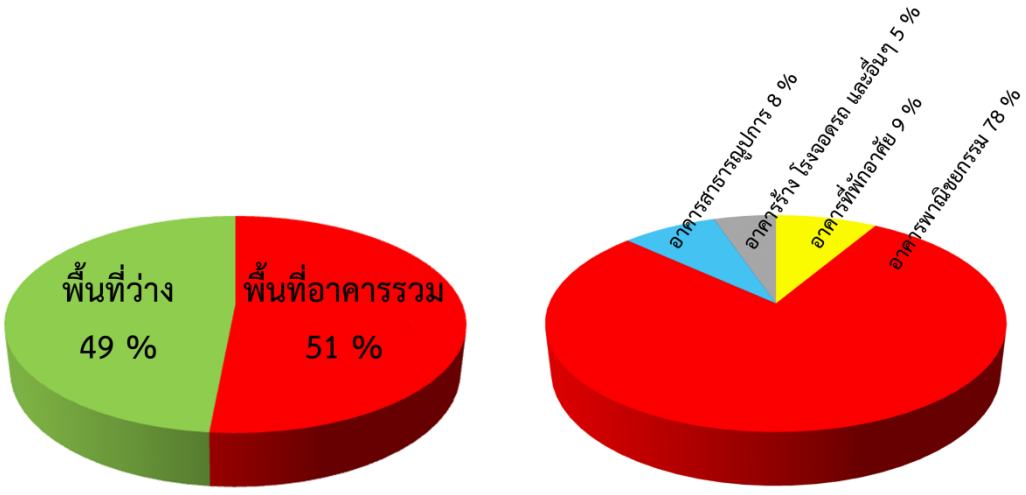
ผลจากการลงพื้นที่ศึกษา พบว่าสภาพเชิงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษามีถนนสายหลักคือถนนช้างคลาน มีความกว้าง 14.00 เมตร มีทางเดินเท้าทั้งสองฝั่งถนน และถนนสายรองคือถนนท่าแพซอย 1 มีความกว้าง 8.00 เมตร ซึ่งทั้งสองมีทิศทางการวางตัวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ และมีถนนที่วางตัวในทิศตะวันออก- ทิศตะวันตก คือ ถนนลอยเคราะห์ มีความกว้าง 12.00 เมตร และถนนเจริญประเทศซอย 6 ทั้ง 2 ถนนไม่มีทางเดินเท้า และทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาติดคลองแม่ข่า ซึ่งมีความกว้าง 12.00 เมตร ในส่วนขออาคารและสิ่งปลูกสร้าง พบว่าพื้นที่ศึกษามีอาคารพาณิชย์และอาคารโรงแรมขนาดใหญ่อยู่เป็นจำนวนมาก โดยกลุ่มอาคารมีการวางตัวตามแนวถนนเช่น อาคารพาณิชย์ตามแนวถนนช้างคลาน ส่วนโรงแรมขนาดใหญ่จะตั้งอยู่ใกล้กับถนนสายรองเช่นโรงแรมรอยัลล้านนา โรงแรมเซ็นธาราดวงตะวัน และโรงแรมเลอเมอร์ริเดียน บนถนนลอยเคราะห์ และมีกลุ่มอาคารสาธารณูปการอยู่ทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยโรงเรียนเทศบาลชุมชนวัดศรีดอนไชยและวัดศรีดอนไชย นอกจากนั้นยังมีตลาดจำหน่ายสินค้าและอาหาร 2 ตลาด คือตลาดกาแล ไนท์บาซ่าและตลาดอนุสารอยู่ทางด้านฝั่งทิศตะวันออกของถนนช้างคลาน (ภาพที่ 94)

เมื่อคิดสัดส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินและพื้นที่ว่าง ปรากฏว่ามีพื้นที่อาคารรวม 89,328.66 พบว่าพื้นที่ศึกษารวมทั้งสิ้น 173,469.00 ตารางเมตร เป็นพื้นที่อาคารคลุมดินทั้งหมด 89,328.66 ตารางเมตร (51 %) และพื้นที่ว่าง 84,140.33 ตารงเมตร (49%) (ภาพที่ 95a) โดยการใช้ประโยชน์อาคารในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยอาคารพาณิชยกรรมและโรงแรมขนาดใหญ่ คิดเป็น 69.94 % (69,944.78 ตารางเมตร), อาคารที่พักอาศัย 9 % (7,601.78 ตารางเมตร), อาคารสาธารณูปการ 8% (7,112.39 ตารางเมตร) และอาคารร้าง โรงจอดรถ และอื่นๆ 5% (4,669.69 ตารางเมตร) (ภาพที่ 95b)



ภาพที่ 94 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ผู้วิจัย



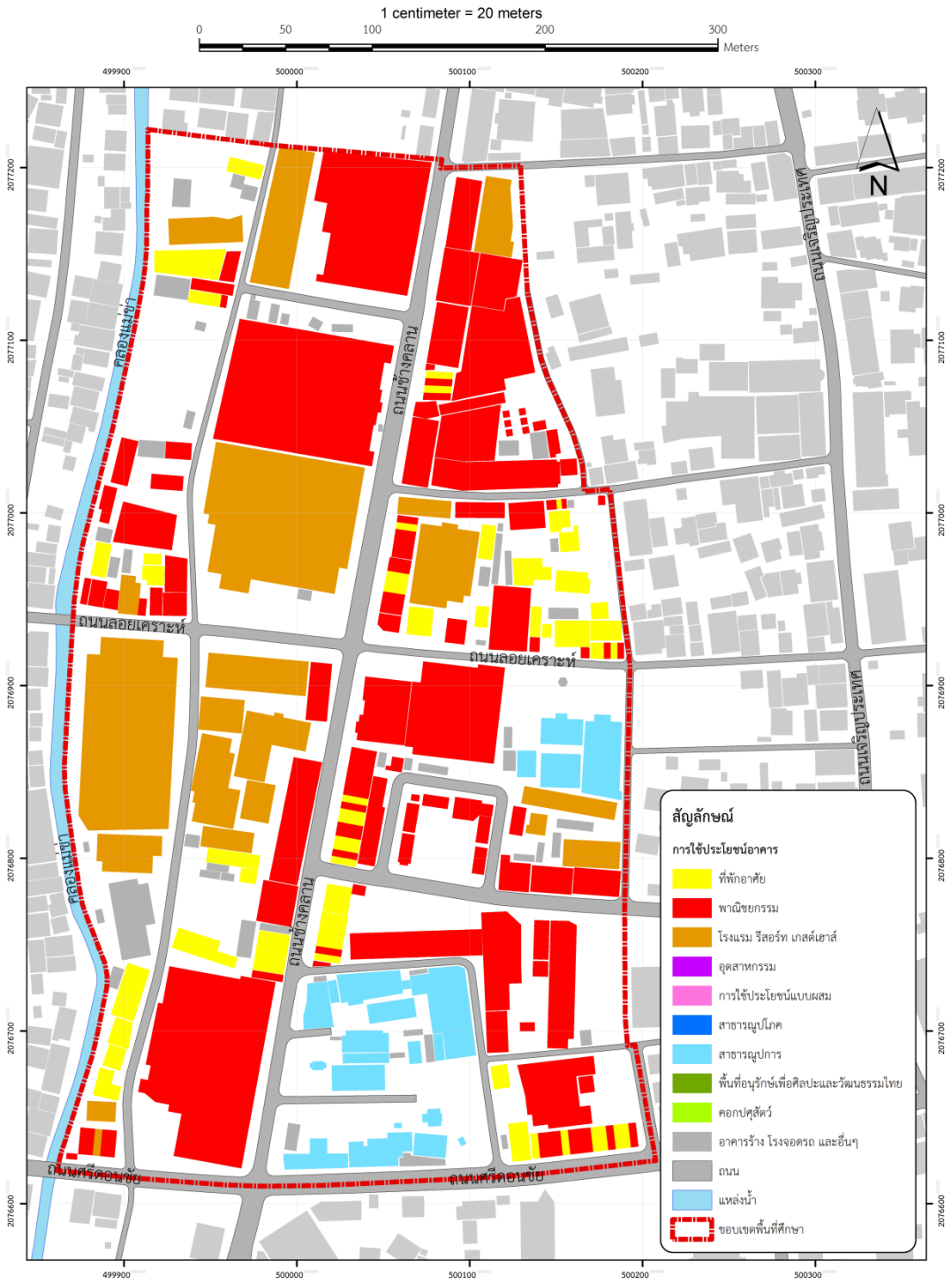
a) สัดส่วนพื้นที่อาคารต่อพื้นที่ว่าง ในเขตพื้นที่ศึกษา

b) สัดส่วนการใช้ประโยชน์อาคาร ในเขตพื้นที่ศึกษา

ภาพที่ 95 a) ภาพแสดงสัดส่วนพื้นพื้นที่อาคารคลุมดินต่อพื้นที่ว่าง ในเขตพื้นที่ศึกษา

b) ภาพแสดงสัดส่วนการใช้ประโยชน์อาคาร ในเขตพื้นที่ศึกษา

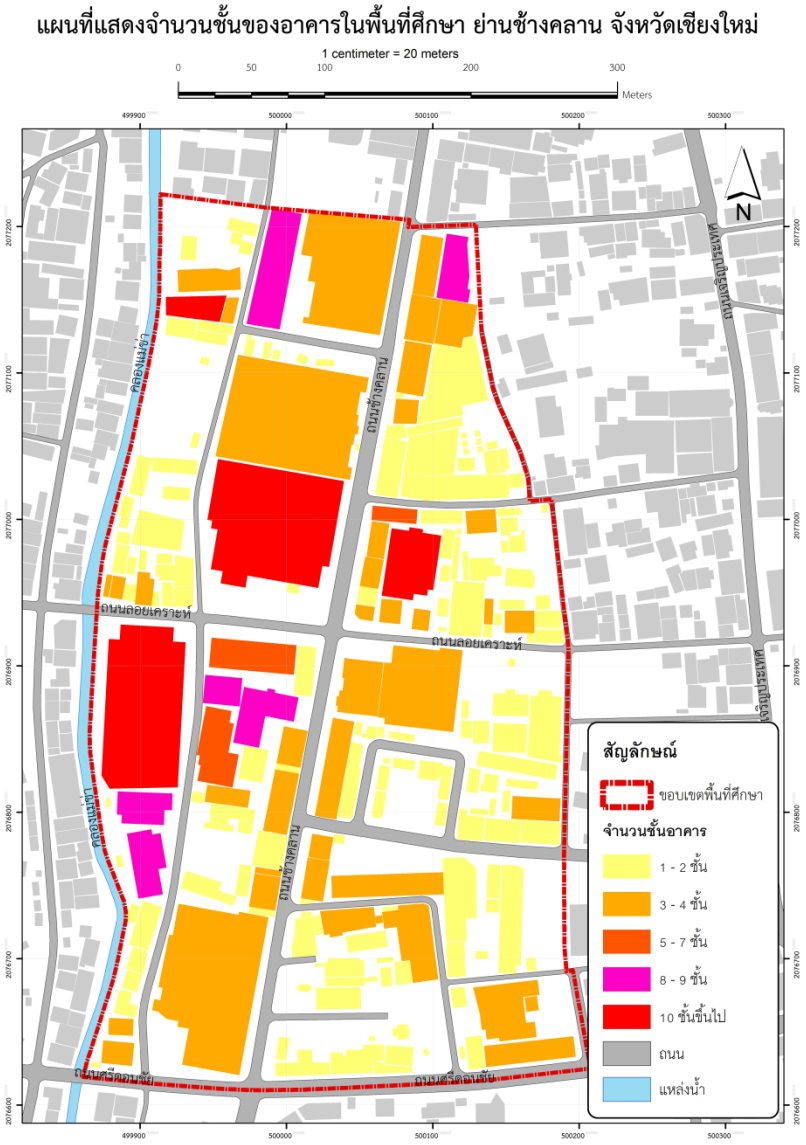
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 96 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์อาคารของพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

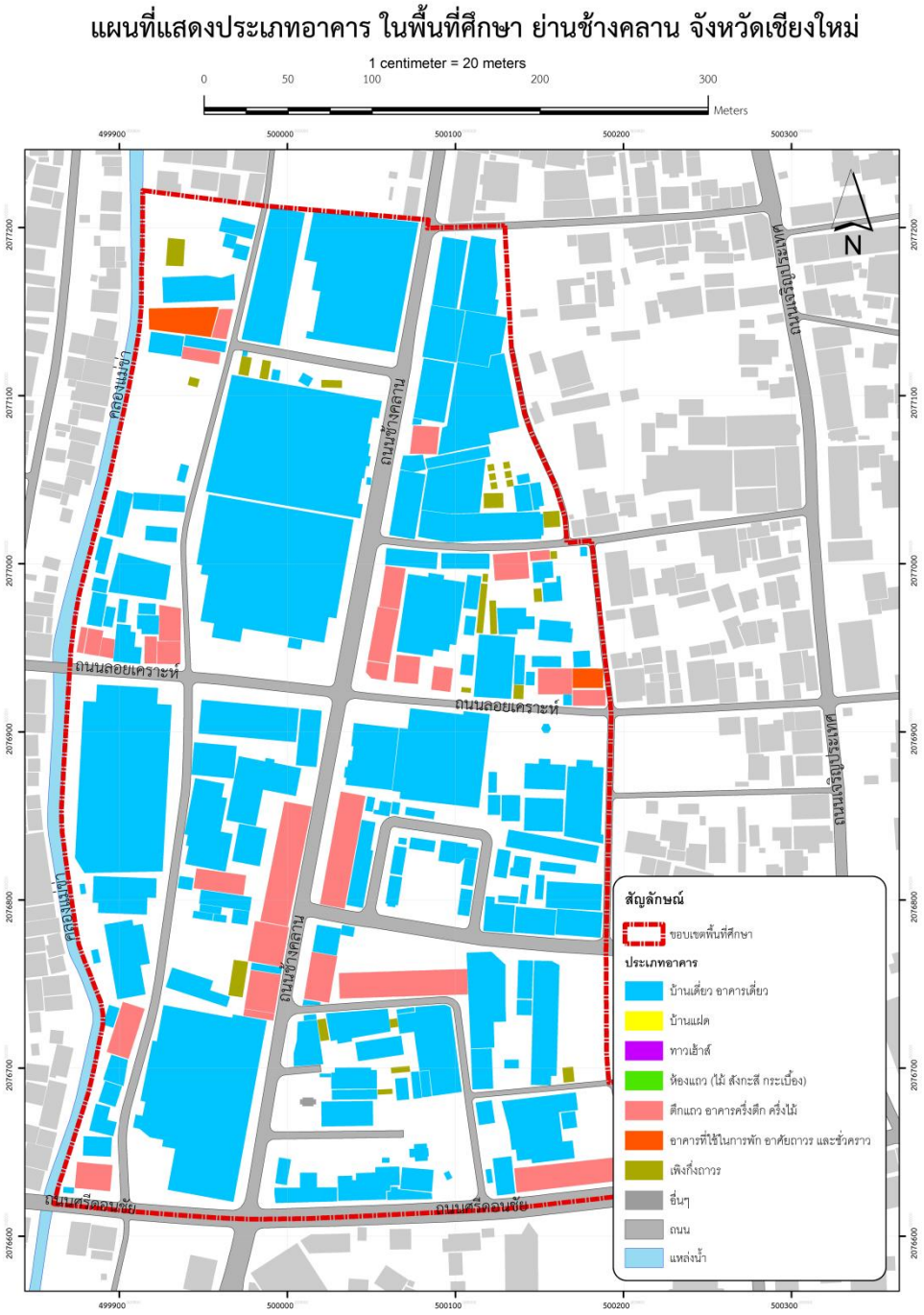
ที่มา : ผู้วิจัย

จากแผนที่แสดงจำนวนชั้นของอาคาร พบว่าแนวถนนช้างคลาน มีอาคาร 3-4 ชั้น ส่วนใหญ่เป็นอาคารพาณิชยกรรม โดยชั้นล่างสุดจะเป็นร้านขายสินค้า ชั้น 2-4 ใช้สำหรับอยู่อาศัยและเก็บสินค้า อาคาร 1-2 ชั้นจะกระจายอยู่ทางด้านทิศตะวันออกบริเวณตลาดอนุสาร ซึ่งเป็นร้านอาหารและตลาด อาคาร 8-9 ชั้น เป็นโรมแรม ได้แก่ โรงแรมรอยัลปริ้นเซส โรงแรมดุสิตดีทู โรงแรมสตาร์อาคาร ส.การค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ต และอาคารสูงมากกว่า10 ชั้น ได้แก่ โรงแรม เลอ เมอริเดียน เชียงใหม่ โรงแรมรอยัลลานนา โรงแรมเซ็นทาราดวงตะวัน ซึ่งเป็นโรงแรมขนาดใหญ่ 3 ทั้ง 3 แห่ง ของย่านช้างคลาน (ภาพที่ 97)



ภาพที่ 97 แผนที่แสดงจำนวนชั้นของอาคารในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : ผู้วิจัย

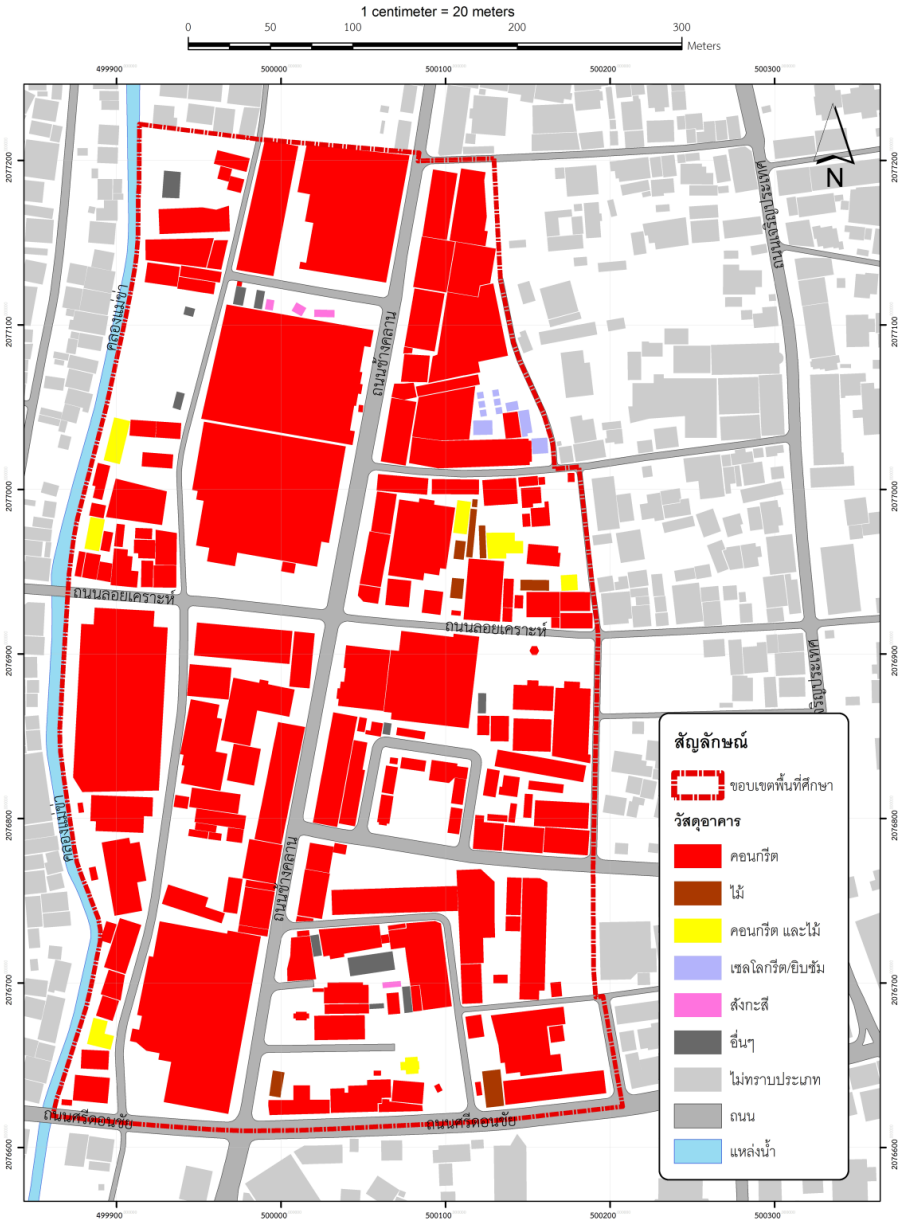
แผนที่แสดงประเภทอาคาร แสดงให้เห็นว่าอาคารส่วนใหญ่เป็นอาคารเดี่ยว และอาคารตึกแถว ที่มีการวางตัวของอาคารตามแนวถนนช้างคลาน (ภาพที่ 98) แผนที่แสดงวัสดุอาคารแสดงให้เห็นว่าอาคารในพื้นที่ศึกษาเกือบทั้งหมดเป็นอาคารคอนกรีต และมีอาคาร (ภาพที่ 99)



ภาพที่ 98 แผนที่แสดงประเภทอาคาร ในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ผู้วิจัย

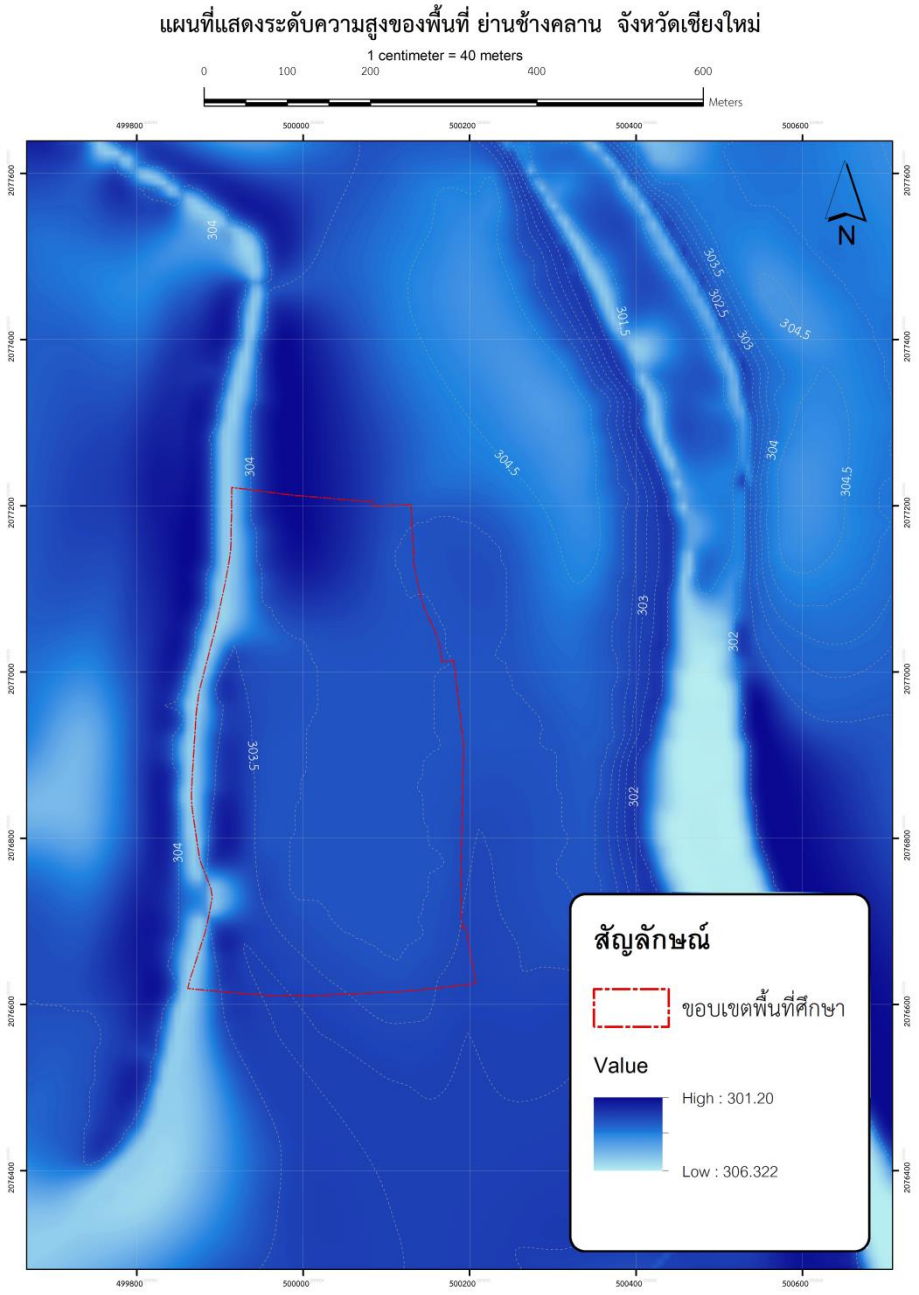
แผนที่แสดงวัสดุอาคารในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 99 แผนที่แสดงวัสดุอาคารในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ผู้วิจัย

จากแผนที่แสดงระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษามีลักษณะภูมิประเทศค่อนข้างราบเรียบ โดยมีความสูง 303.00-303.50 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีความลาดเทจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก มีคลองแม่ข่าทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา และห่างจากแม่น้ำปิงทางด้านทิศตะวันออก 400.00 เมตร (ภาพที่ 100)



ภาพที่ 100 แสดงแผนที่ระดับความสูงพื้นที่ ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ผู้วิจัย

4.1.2 กิจกรรมการใช้พื้นที่ในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่

ย่านช้างคลานถือเป็นพื้นที่เศรษฐกิจสำคัญของเมืองเชียงใหม่ตั้งแต่สมัยอดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมจากชาวไทยและชาวต่างชาติ อีกทั้งย่านช้างคลานเป็นย่านที่มีราคาที่ดินแพงที่สุดของเมืองเชียงใหม่ จึงทำให้ย่านช้างคลานมีกิจกรรมทางเศรษฐกิจอยู่อย่างหนาแน่น ผลจากการลงพื้นที่ศึกษาวันที่ 24-30 เมษายน 2560 พบว่าตั้งแต่ช่วงเช้ามืด เวลา 4.00 - 8.00 น. มีร้านขายอาหารเช้า โจ๊ก ขนมปังปิ้ง ร้านชากาแฟ บริเวณหน้าอาคารกาแล ไนท์บาร์ซ่า ส่วนร้านขายสินค้าตามแนวถนนช้างคลานยังไม่มีการเปิดให้บริการ และมีนักท่องเที่ยวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 101)

หลังจากนั้นเวลา 8.00- 12.00 น. ร้านขายสินค้า ร้านอาหาร ตามแนวถนนช้างคลานเริ่มเปิดให้บริการแก่นักท่องเที่ยว และเริ่มมีนักท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวจีน และเริ่มมีร้านค้าคีออส ขนาดเล็กเริ่มทยอยมาตั้งขายสินค้าบริเวณทางเท้า ประกอบกับอาคารพาณิชย์ต่างๆ มีการต่อเติมกันสาดโดยครอบคลุมทางเท้า เพื่อใช้พื้นที่ตั้งขายสินค้าบริเวณหน้าร้าน ซึ่งการตั้งร้านค้าดังกล่าวดังกล่าวทำให้เหลือพื้นที่ว่างสำหรับให้ผู้คนเดินสัญจรประมาณ 1 เมตรเท่านั้น (ภาพที่ 102)

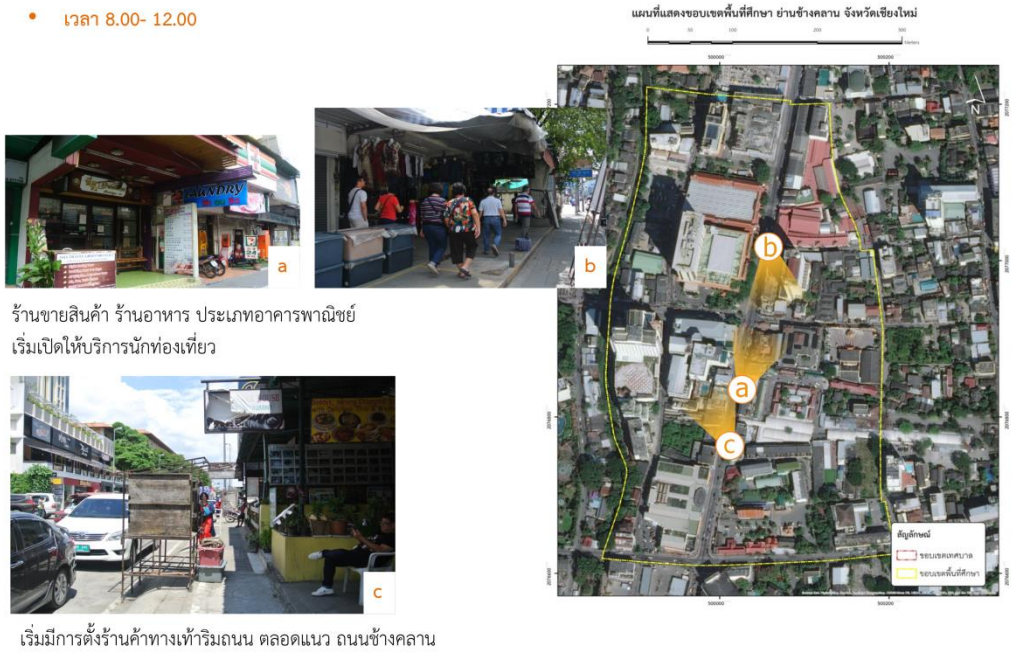
เวลา 12.00 - 16.00 น. พบว่า ร้านค้าต่างๆบริเวณริมถนนช้างคลานตลอดแนว เริ่มเปิดให้บริการเพิ่มมากขึ้น แผงขายสินค้า บางส่วนเริ่มเปิดขายสินค้าแล้ว การจราจรบนถนนช้างคลานเริ่มมีการสัญจรผ่านเพิ่มมากขึ้น ตลาดอนุสารเริ่มเปิดขายสินค้าโดยเฉพาะร้านอาหารที่มีทั้งอาหารต่างชาติและอาหารไทย และนักท่องเที่ยวเริ่มเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 103)

เวลา 16.00 - 20.00 น. เป็นต้นไป พบว่าร้านค้าและกิจกรรมต่างๆบนถนนช้างคลานเปิดให้บริการอย่างเต็มรูปแบบ ทั้งร้านอาหาร กิจกรรมการโชว์ต่างๆภายในตลาดอนุสาร ตลาดกาแลไนท์บาร์ซ่า รวมถึงร้านขายสินค้าบริเวณริมทางเท้าตามแนวถนนช้างคลาน มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติมาใช้บริการจำนวนมาก ส่วนการสัญจรบนท้องถนน เป็นไปอย่างราบรื่น เนื่องจากถนนช้างคลานเปิดให้เดินรถทางเดียว ส่วนบริเวณลานวัดศรีดอนชัยที่เปิดบริการที่จอดรถมีรถเป็นจำนวนมากเต็มพื้นที่ลานวัด (ภาพที่ 104)



ภาพที่ 101 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 4.00 -8.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 102 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 8.00 - 12.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 103 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 8.00 - 12.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 104 แสดงกิจกรรมการในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลา 16.00 - 20.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย

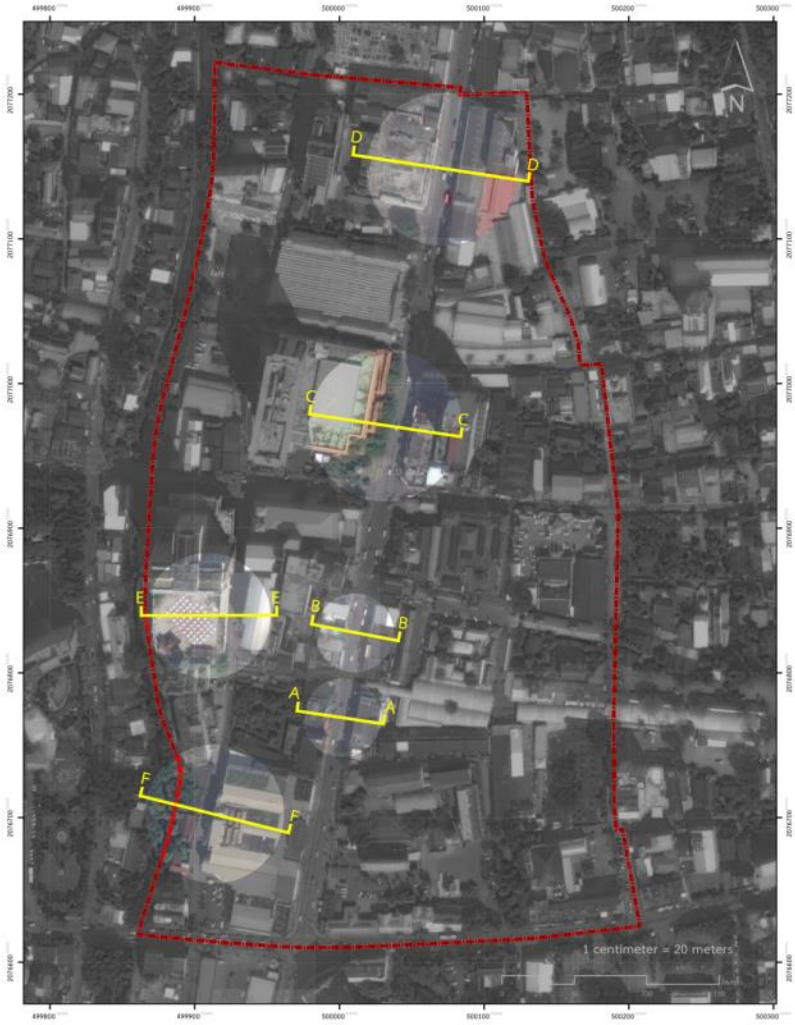
4.2 การประเมินผลกระทบทางสภาพจุลภูมิอากาศเมืองจากอิทธิพลเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่

การจำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมือง ด้วยอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนน (Aspect ratio) และรูปแบบการเรียงตัวของอาคาร พื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

4.2.1 เรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่

1) อัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนนในแนวถนนเหนือ-ใต้

การจำแนกอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนน โดยใช้แนวถนนเหนือ-ใต้ พบว่าในพื้นที่ศึกษามีถนนที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ได้แก่ ถนนช้างคลาน และถนนท่าแพ ซอย1 โดยในพื้นที่ศึกษาพบ อัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนน 6 รูปแบบ (ภาพที่ 105)



ภาพที่ 105 ภาพแสดงอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนนตามแนวถนนเหนือ-ใต้ 6 รูปแบบ

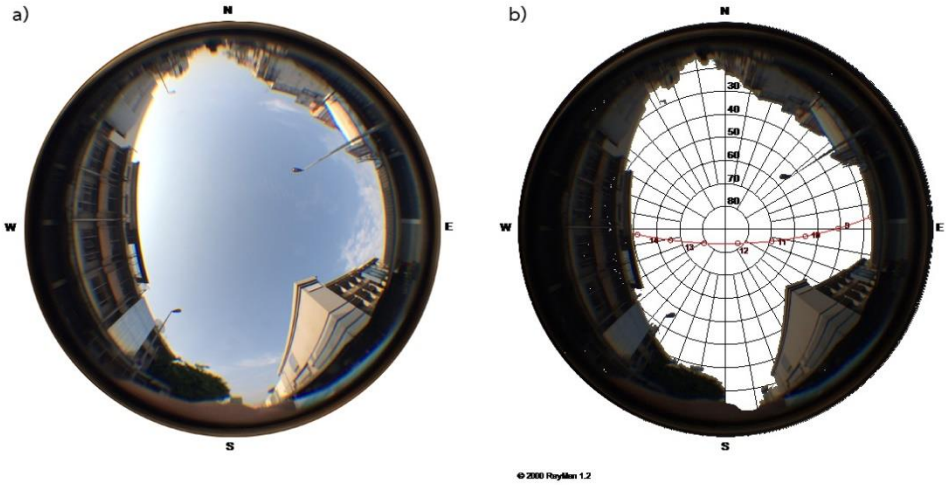
ที่มา : ผู้วิจัย

1.1) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)

ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ฝั่งขวาของถนนสูง 13.00 เมตร อาคารพาณิชย์ 1 ชั้น ฝั่งซ้าย สูง 5.00 เมตร ถนนช้างคลาน กว้าง 12.00 เมตร ทางเดินเท้าฝั่งขวากว้าง 5.50 เมตร ฝั่งซ้ายกว้าง 2.2 เมตร มีค่า Sky view factor 0.44 และฤดูร้อนบริเวณถนนจะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 8.00-14.45 น.



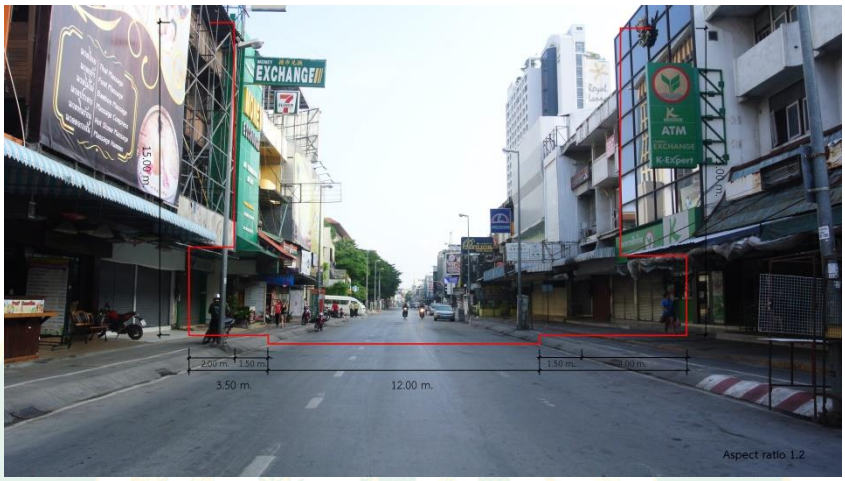
ภาพที่ 106 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 0.8
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 107 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)
ที่มา : ผู้วิจัย

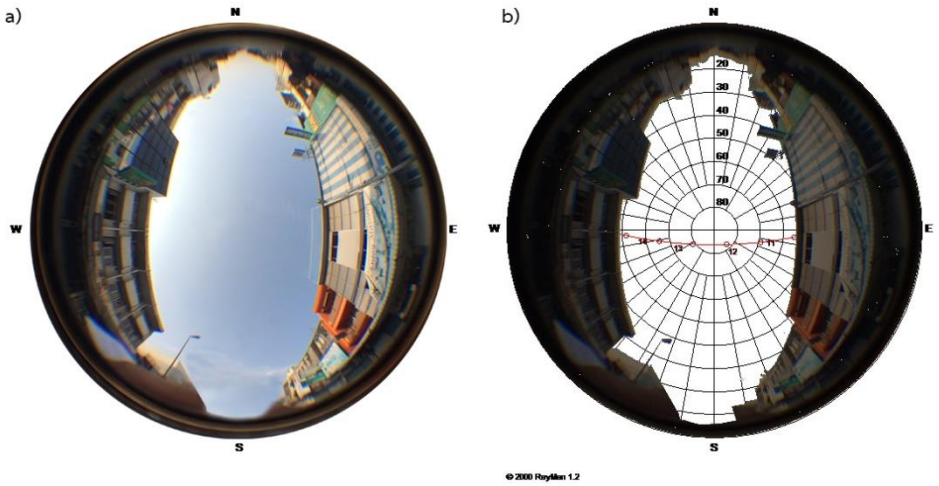
1.2) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)

ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ฝั่งขวาของถนน สูง 13.00 เมตร อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ฝั่งซ้ายของถนน สูง 15.00 เมตร ถนนช้างคลาน กว้าง 12 เมตร และทางเดินเท้าฝั่งขวา 5.50 เมตร ฝั่งซ้าย 3.30 เมตร มีค่า Sky view factor 0.40 และฤดูร้อนบริเวณถนนจะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 10.00-14.45 น. และไม่มีต้นไม้ในพื้นที่ตัวอย่าง



ภาพที่ 108 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.2

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 109 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.40

b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2

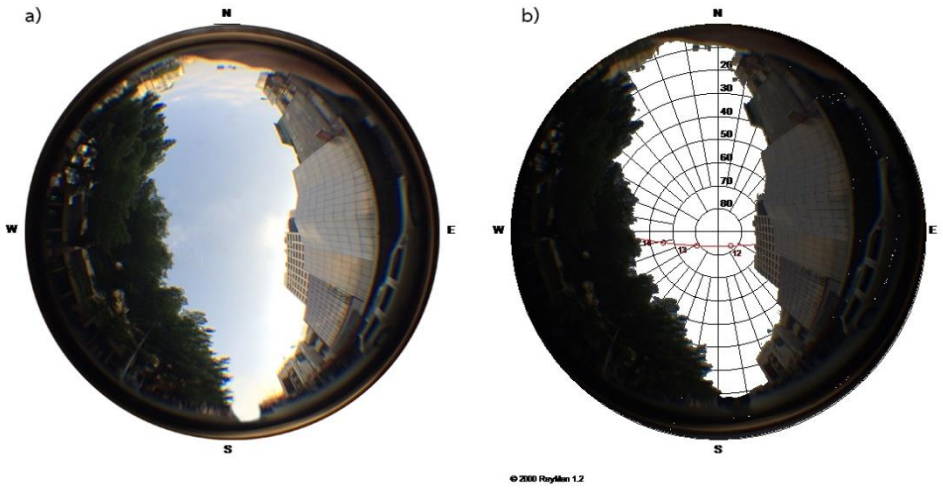
ที่มา : ผู้วิจัย

1.3) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)

ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 3 ชั้น สูง 12 เมตร ฝั่งขวา โรงแรมเลอ เมอร์ริเดียน สูง 13.50 เมตรฝั่งซ้ายของถนน ถนนช้างคลานกว้าง 12.00 เมตร ทางเดินเท้าฝั่งขวากว้าง 3.50 เมตร ฝั่งซ้าย 8.00 เมตร มีค่า Sky view factor 0.30 และฤดูร้อนบริเวณถนนจะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 10.00-14.45 น. เนื่องจากได้รับเงาจากอาคารรอยัล ลานนา และมีแนวต้นไม้สูง 12 เมตร บริเวณฟุตบาตด้านซ้ายของถนนในพื้นที่ตัวอย่าง



ภาพที่ 110 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.0
ที่มา : ผู้วิจัย



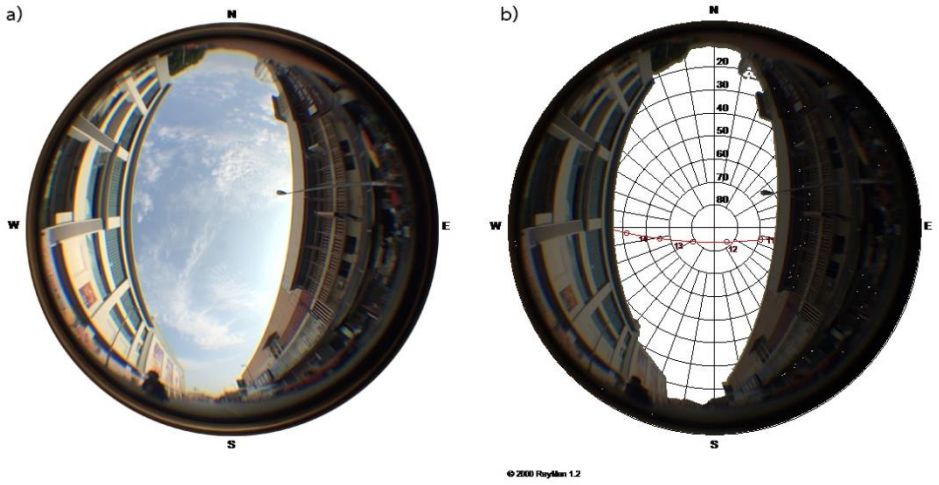
ภาพที่ 111 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.30
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0
ที่มา : ผู้วิจัย

1.4) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)

ประกอบด้วยอาคารกาแล ไนท์ บาซาร์ ฝั่งขวาของถนน สูง 13.00 ม. อาคารศูนย์การค้า ฝั่งซ้ายของถนน สูง 15.00 ม. ถนนช้างคลานกว้าง 12.00 ม. โดยมีทางเดินเท้าฝั่งขวากว้าง 3.50 ม. และฝั่งซ้าย 2.80 ม. มีค่า Sky view factor 0.37 และฤดูร้อนบริเวณถนนจะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 10.00-14.45 น ไม่มีต้นไม้ในบริเวณพื้นที่



ภาพที่ 112 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.3
ที่มา : ผู้วิจัย



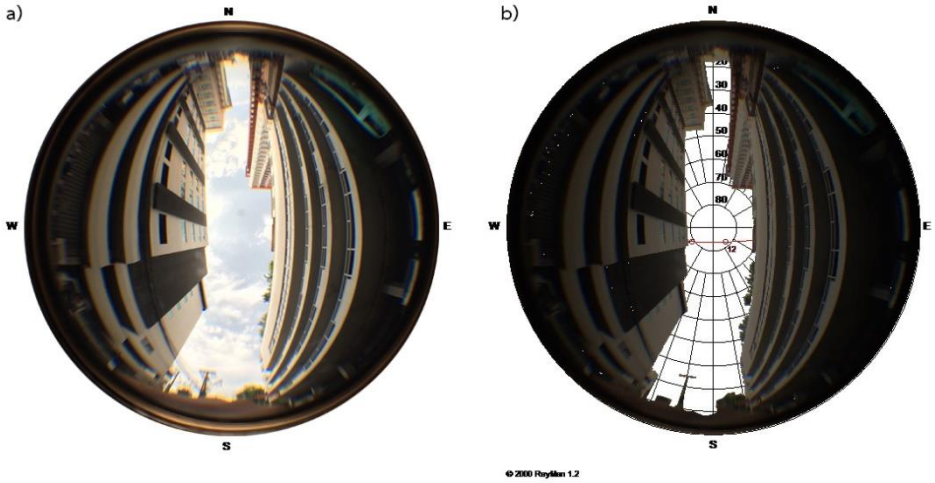
ภาพที่ 113 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.37
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3
ที่มา : ผู้วิจัย

1.5) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)

ประกอบด้วยอาคารโรงแรมดุสิต ปริ้นเซส สูง 19.00 ม. ทางฝั่งขวาของถนน โรงแรมเซนทารา ดวงตะวันเชียงใหม่ สูง 19.00 ม. ฝั่งซ้ายของถนน ถนนท่าแพซอย 1 กว้าง 8.00 เมตร และไม่มีทางเดินเท้าทั้งสองฝั่งของถนน เนื่องจากเป็นทางเข้าที่จอดรถของทั้งสองโรงแรม มีค่า Sky view factor 0.16 และในฤดูร้อนบริเวณถนนจะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 11.30-12.50 น ไม่มีต้นไม้ในบริเวณพื้นที่



ภาพที่ 114 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 4.5
ที่มา : ผู้วิจัย



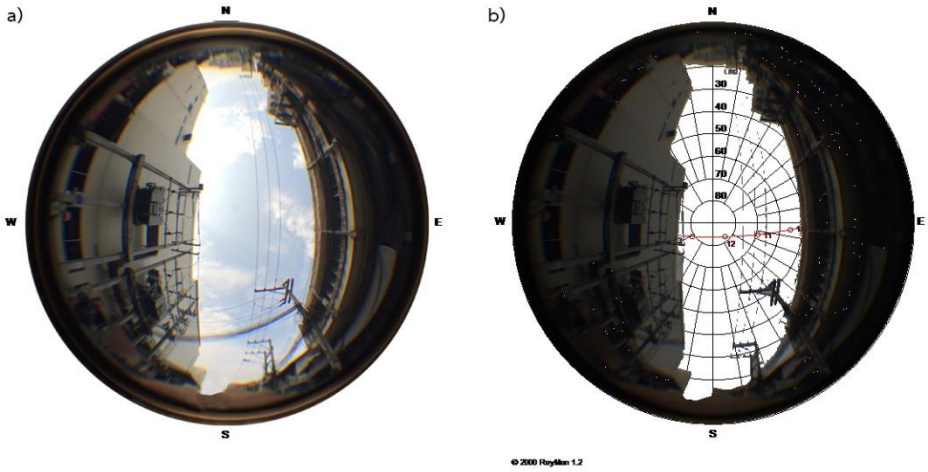
ภาพที่ 115 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.16
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5
ที่มา : ผู้วิจัย

1.6) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)

บริเวณด้านหลังห้างพันธุ์ทิพย์ พลาซ่า ประกอบด้วยด้านขวาคือ อาคารห้างพันธุ์ทิพย์ พลาซ่า สูง 13.00 เมตร และอาคารพาณิชยกรรมเก่า สูง 8.50 เมตร ทางด้านซ้าย และถนนท่าแพซอย 1 กว้าง 8.00 เมตร ไม่มีทางเดินเท้าทั้งสองฝั่งของถนน มีค่า Sky view factor 0.28 และในฤดูร้อนบริเวณถนนจะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 10.00-13.50 น ไม่มีต้นไม้ในบริเวณพื้นที่



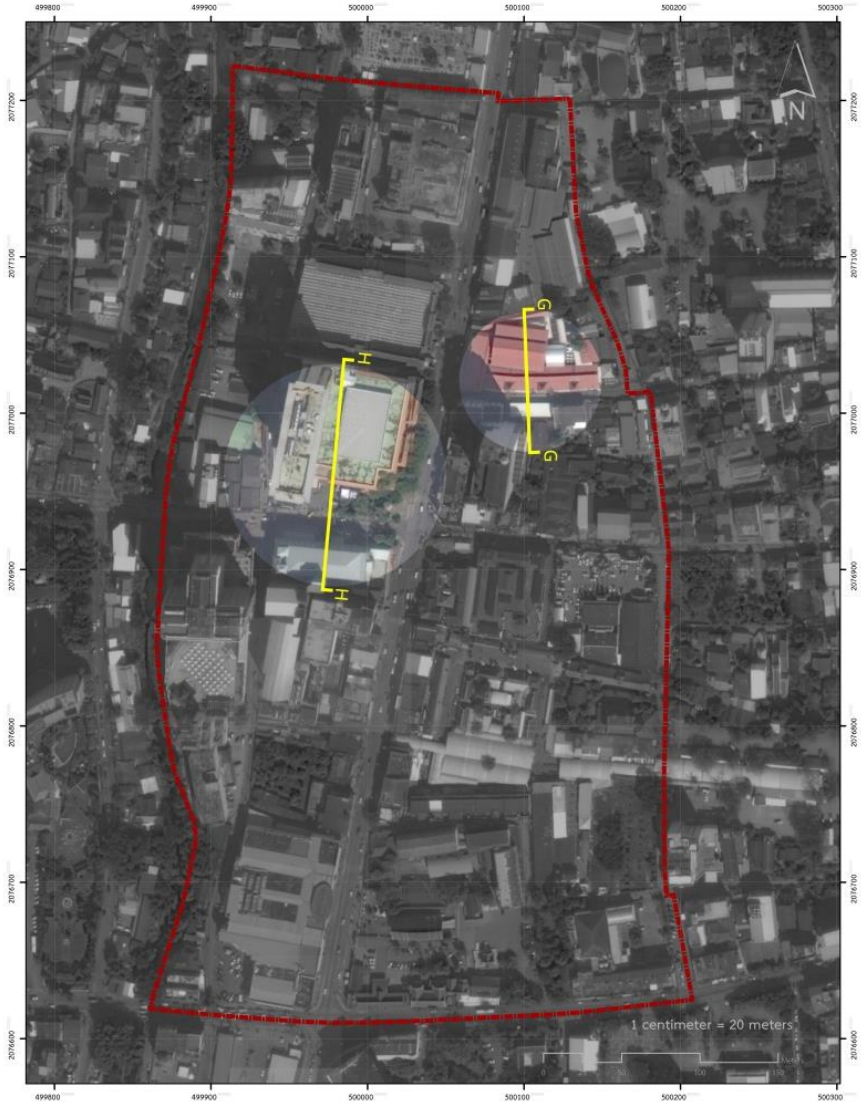
ภาพที่ 116 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 2.3
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 117 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.28
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3
ที่มา : ผู้วิจัย

2.) อัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนนในแนวถนนตะวันออก-ตะวันตก

การจำแนกอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนน โดยใช้แนวถนนตะวันออก-ตะวันตก พบว่าในพื้นที่ศึกษามีถนนที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ คือ ถนนเจริญประเทศ ซอย 6 และถนนลอยเคราะห์ โดยในพื้นที่ศึกษาพบ อัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนน 2 รูปแบบ (ภาพที่ 118)



ภาพที่ 118 ภาพแสดงอัตราส่วนความสูงของอาคารต่อความกว้างถนนตามแนวถนนตะวันออก-ตะวันตก 2 รูปแบบ

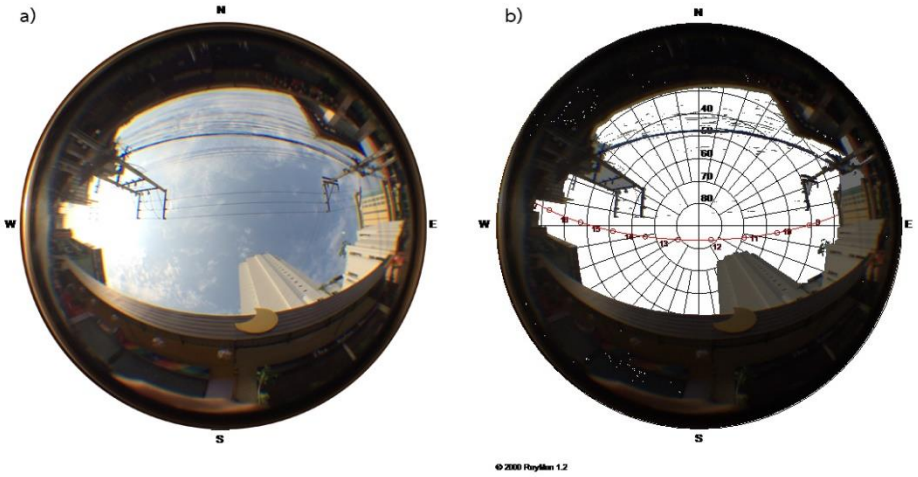
ที่มา : ผู้วิจัย

2.1) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)

บริเวณถนนเจริญประเทศ ซอย 6 บริเวณพื้นที่ตัวอย่างเป็นร้านอาหารทั้ง 2 ฝั่งถนน สูง 4.00-4.50 เมตร และถนนกว้าง 5.00 เมตร มีอัตราส่วนเป็น 1.8 และมีค่า Sky view factor 0.38 บริเวณถนนได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งช่วงเช้าของวัน เนื่องจากช่วงบ่ายจะได้รับเงาจากอาคารโรงแรมรอยัล ลานนา ไม่มีต้นไม้ขนาดใหญ่ มีเพียงต้นไม้กระถางขนาดเล็กวางอยู่บริเวณฟุตบาตร ทางด้านขวา



ภาพที่ 119 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 1.8
ที่มา : ผู้วิจัย



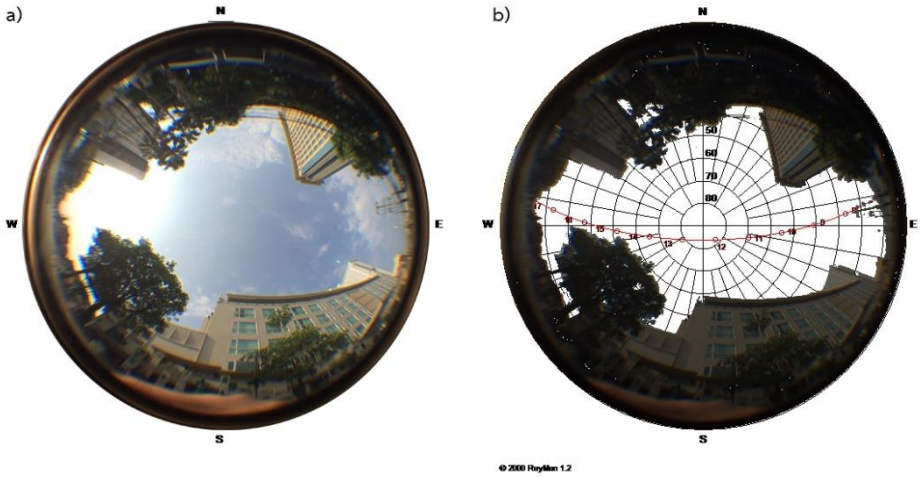
ภาพที่ 120 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.38
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8
ที่มา : ผู้วิจัย

2.2) รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)

บริเวณระหว่างโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน และโรงแรมสุริวงศ์ โดยอาคารด้านซ้ายสูง 16.00 เมตร อาคารด้านขวา 19.00 เมตร และถนนลอยเคราะห์ กว้าง 12.00 เมตร โดยมีทางเดินเท้าและพื้นที่ด้านหน้าอาคารทางด้านซ้ายของถนน รวม 9.00 เมตร ส่วนทางด้านขวาของถนนเป็นทางเข้าโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน และพื้นที่สวน กว้าง 25.00 เมตร มีอัตราส่วนเป็น 0.7 และมีค่า Sky view factor 0.35 บริเวณพื้นที่ตัวอย่างมีต้นไม้ ความสูง 10 เมตร



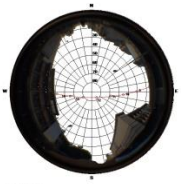
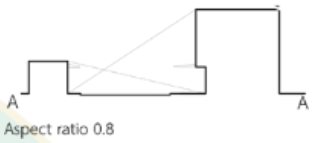
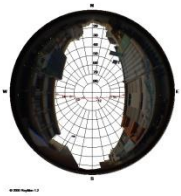
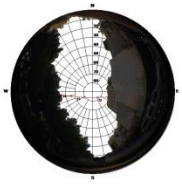
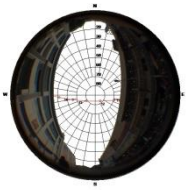
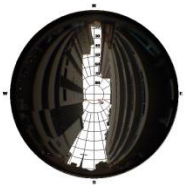
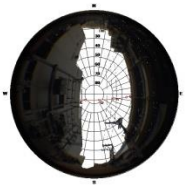
ภาพที่ 121 ภาพแสดงสภาพทางกายภาพของรูปทรงเรขาคณิตเมือง อัตราส่วน 0.7
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 122 a) Sky view factor บริเวณกลางถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.35
b) ช่วงเวลาได้รับแสงอาทิตย์ของจุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7
ที่มา : ผู้วิจัย

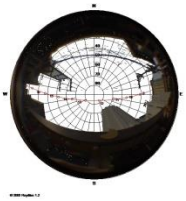
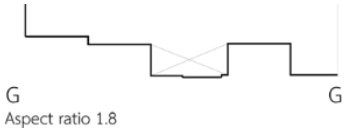
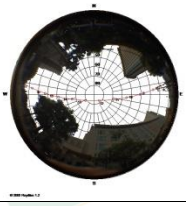
จากตารางที่ 14 และตารางที่ 15 พบว่าตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษาบนถนนที่วางตัวในแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ และทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ซึ่งมีค่า Sky view factor เฉลี่ย 0.33 - 0.36 และค่า Aspect ratio เฉลี่ย 1.25-1.85

ตารางที่ 14 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) ของแนวถนนเหนือ - ใต้

พื้นที่ตัวอย่าง	Sky view factor (SVF)		Aspect ratio (h/w)	
A - A	0.44		0.8	
B - B	0.40		1.2	
C - C	0.30		1.0	
D - D	0.37		1.3	
E - E	0.19		4.5	
F - F	0.28		2.3	
Mean	**0.33**		**1.85**	

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 15 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) ของแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

พื้นที่ตัวอย่าง	Sky view factor		Aspect ratio	
G - G	0.38		1.8	
H -H	0.35		0.7	
Mean	**0.36**		**1.25**	

ที่มา : ผู้วิจัย

จากการจำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน พบว่าลักษณะทางกายภาพของเมืองแบบ Compact midrise เมื่อจำแนกตามลักษณะพื้นที่ของสิ่งก่อสร้างเมือง (Built type) และประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover type) (Stewart et al., 2012) ซึ่งพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยอาคารใช้ประโยชน์แบบผสม วัสดุอาคารคอนกรีตและเหล็ก มีจำนวนชั้นเฉลี่ยตั้งแต่ 3-9 ชั้น พื้นผิวปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นคอนกรีต อิฐปูพื้น และไม่มีพื้นที่โล่ง พบพืชพรรณในพื้นที่เล็กน้อย อีกทั้งมีการจราจรที่หนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วนของวัน และจากการศึกษาของ สุดารัตน์ และคณะ (2558) พบว่าพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน มีอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor area ratio: FAR) 0.561 : 1 และอัตราส่วนพื้นที่อาคารปกคลุมดินต่อพื้นที่ดิน (Building coverage ratio: BCR) มากกว่า 31.464 %

4.1.2 สภาพจุลภูมิอากาศเมืองจากอิทธิพลเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่

การวิเคราะห์สภาพจุลภูมิอากาศเมืองจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศ โดยจะพิจารณาสภาพอากาศในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (เหนือพื้นผิว 1.80 เมตร) ในช่วงเวลา 6.00 - 20.00 น. จากการจำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองและการวางตัวของแนวถนน คือ ถนนช้างคลาน ถนนท่าแพซอย 1 ในแนวเหนือ-ใต้ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ถนนลอยเคราะห์ ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ด้วยการเปรียบเทียบตัวแปรของสภาพอากาศ 5 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ดังนี้

1.) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature)

1.1) อุณหภูมิอากาศจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

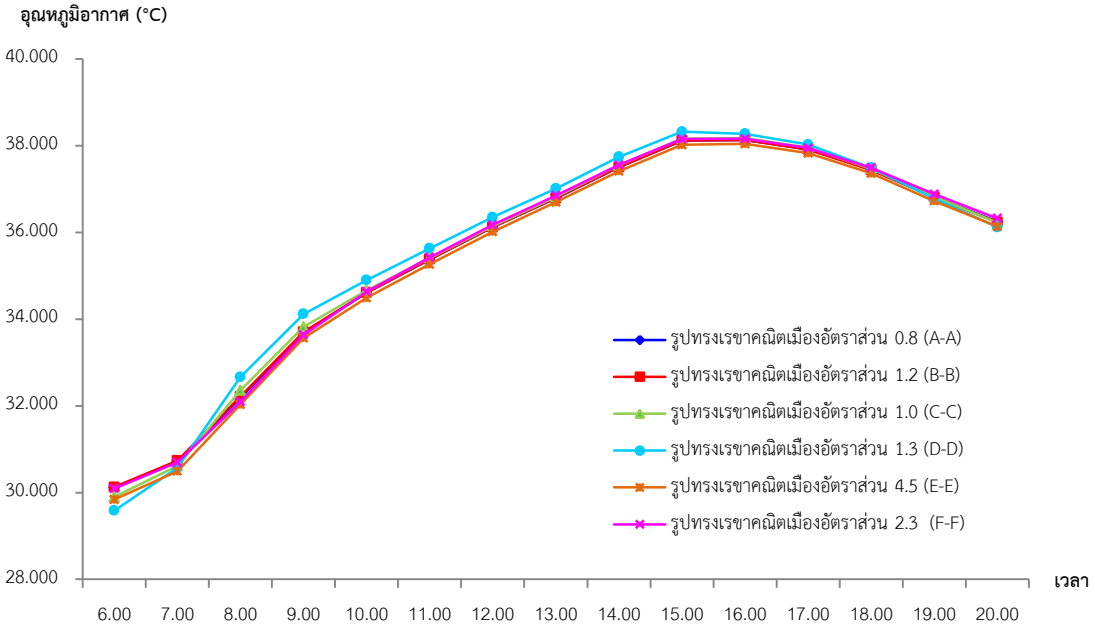
จากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศเมืองของวันที่ 24 เมษายน 2560 ตั้งแต่เวลา 6.00 - 20.00 น. พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่อยู่บนถนนช้างคลาน ได้แก่ รูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.8, 1.2, 1.0, และ 1.3 ที่มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน โดยมีอาคารพาณิชย์ที่มีความสูงไม่แตกต่างกันมากทั้งสองฝั่งของถนน มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 35.45 - 35.57 องศาเซลเซียส โดยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.8 (A-A) และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.2 (B-B) บริเวณอาคารพาณิชย์ทางด้านหน้าตลาดอนุสาร มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 6.00 - 20.00 (35.45 องศาเซลเซียส) และบริเวณที่มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงที่สุดคือรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 (D-D) 35.57 องศาเซลเซียส บริเวณด้านหน้าอาคารกาแล ไนท์บาร์ซ่ากับอาคารห้างศูนย์การค้า และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 (C-C) บริเวณโรงแรมเลอ เมอร์ริเดียน มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 35.47 องศาเซลเซียส ส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่อยู่บนถนนท่าแพซอย 1 ปรากฏว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 (E-E) บริเวณด้านหลังอาคารโรงแรมดุสิต ปริ้นเซสและอาคารโรงแรมเชนทารา ดวงตะวัน มีอุณหภูมิอากาศ 35.32 องศา-เซลเซียส ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด และในรูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.3 (F-F) บริเวณด้านหลังห้างพันธุ์ทิพย์ พลาซ่า มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 35.47 องศาเซลเซียส

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในเวลา 16 ชั่วโมง มีรูปแบบที่เท่าเทียมกันทุกรูปทรงเรขาคณิตเมือง(ภาพที่ 107) แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อีกทั้งในฤดูร้อนพื้นที่บริเวณถนนและทางเดินเท้าของตัวอย่างในแนวถนนเหนือ - ใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 - 6 ชั่วโมง ในช่วงเวลาประมาณ 10.00 - 14.45 น. โดยช่วงเช้า 6.00 - 9.00 จะได้รับจากเงาของอาคารฝั่งตะวันออกของถนน และช่วง 15.00 - 18.00 จะได้รับเงาจากอาคารทางฝั่งทิศตะวันตกของถนน ซึ่งอาคารทั้งสองฝั่งถนนจะช่วยบดบังรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าว

ตารางที่ 16 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	38.13	30.11	35.45	2.65
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	38.13	30.12	35.45	2.64
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	38.17	29.90	35.47	2.69
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	38.32	29.59	35.57	2.74
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	38.04	29.84	35.32	2.70
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	38.16	30.09	35.47	2.68
Mean	38.15	29.94		

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 123 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

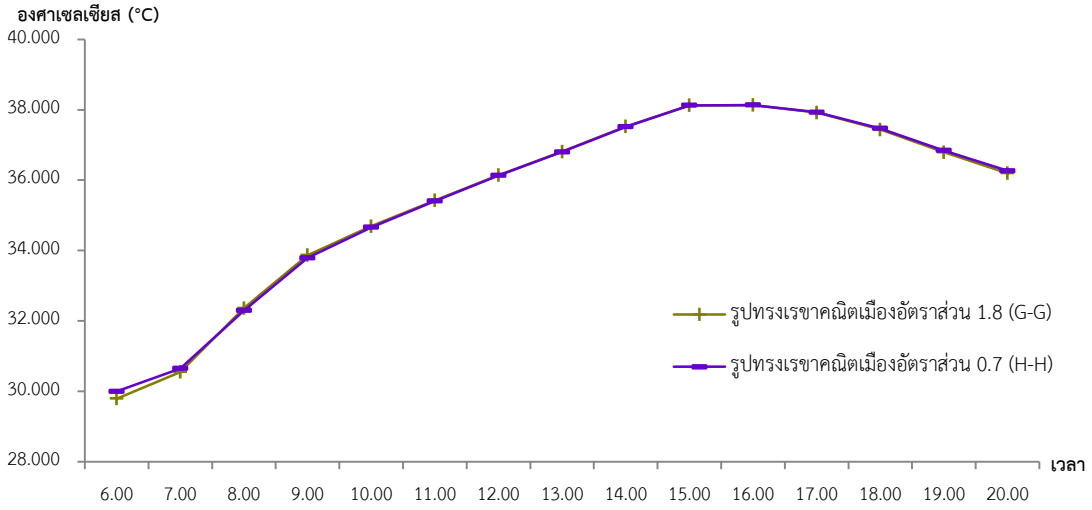
1.2) อุณหภูมิอากาศจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

จากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศเมืองของวันที่ 24 เมษายน 2560 ตั้งแต่เวลา 6.00 - 20.00 น. พบว่า รูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 2 ตัวอย่าง คือ รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 บริเวณตอนกลางของถนนเจริญประเทศ ซอย 6 มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 35.45 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดในเวลา 16.00 น. 38.14 องศาเซลเซียส และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.7 บริเวณถนนลอยเคราะห์ ระหว่างโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน และโรงแรมสุริวงศ์มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 35.47 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดในเวลา 16.00 น. 38.14 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิอากาศเท่ากันทั้ง 2 พื้นที่ตัวอย่าง (ตารางที่ 17) อีกทั้งอุณหภูมิอากาศของทั้งสองตัวอย่างมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงภายในเวลา 16 ชั่วโมง มีแนวโน้มที่ท่าเทียมกับตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือ – ใต้ (ภาพที่ 124)

ตารางที่ 17 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก - ตะวันตก

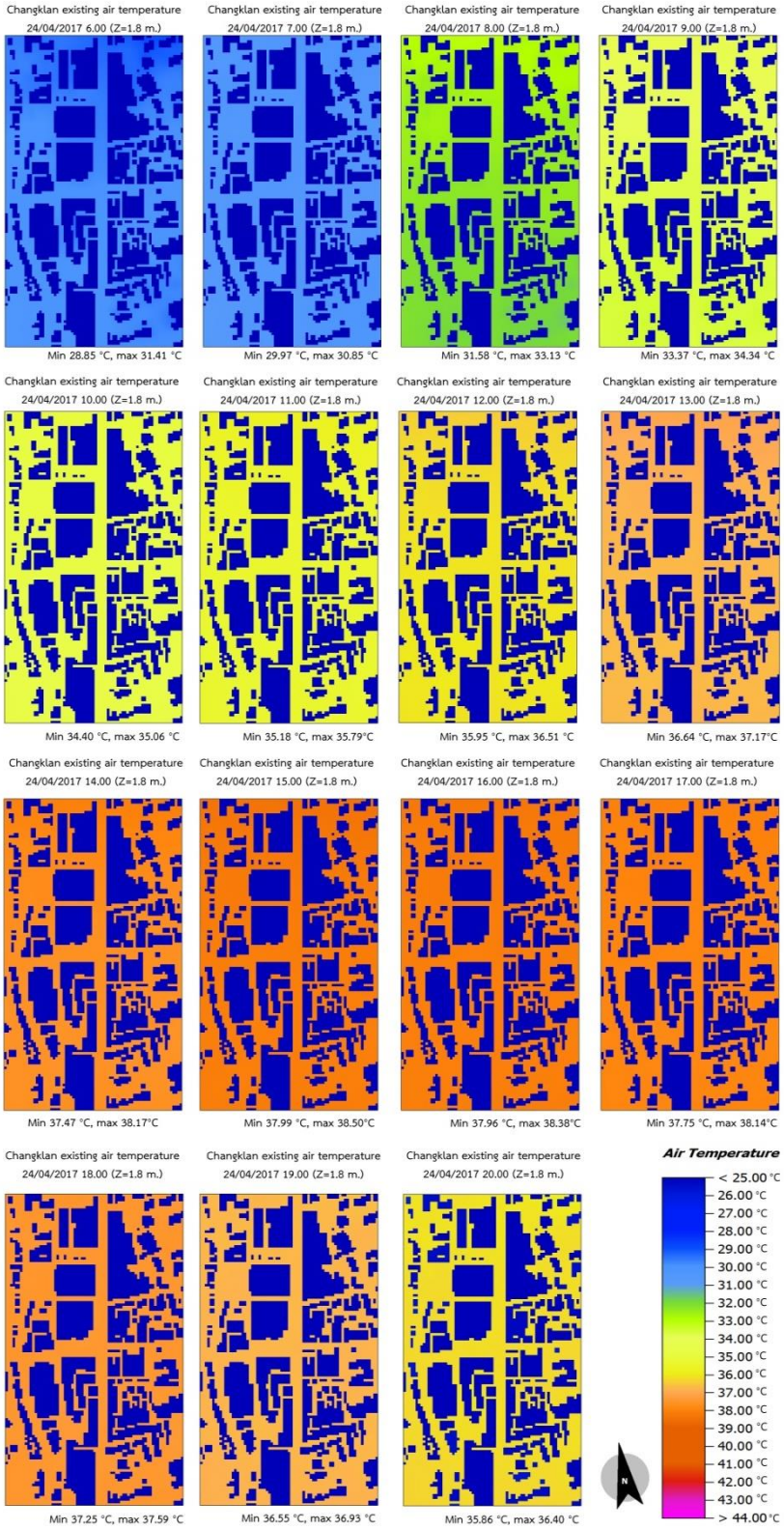
Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	38.14	29.79	35.45	2.28
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	38.14	30.00	35.47	2.28
Mean	38.14	29.89		

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 124 แสดงอุณหภูมิอากาศปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก - ตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 125 ภาพแสดงอุณหภูมิอากาศย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น.
ที่มา : ผู้วิจัย

2) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

2.1) ความชื้นสัมพัทธ์จากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากการจำลองจุลภูมิอากาศเมือง ผลการศึกษาความชื้นสัมพัทธ์เหนือความสูงพื้นดิน 1.8 เมตร ในพื้นที่ตัวอย่างตามแนวถนนเหนือ - ใต้ พบว่าเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน เรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C) บริเวณพื้นที่ด้านหน้าโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมากที่สุด 45.95 % สาเหตุอาจเนื่องจากมีกลุ่มพืชพรรณตามแนวทางเดินเท้าด้านซ้ายของถนนบริเวณ รองลงมาคือเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D) บริเวณด้านหน้าอาคารกาแล ไนท์ บาซาร์ และอาคารศูนย์การค้ามีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 45.81% โดยบริเวณด้านข้างอาคารศูนย์การค้ามีกลุ่มพืชพรรณเช่นเดียวกัน ส่วนเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A) และ 1.2 (B-B) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38.25 % และ 38.24 % ซึ่งทั้งสองบริเวณไม่มีพืชพรรณ และพื้นผิวโดยรอบเป็นพื้นผิวคอนกรีตและแอสฟัส

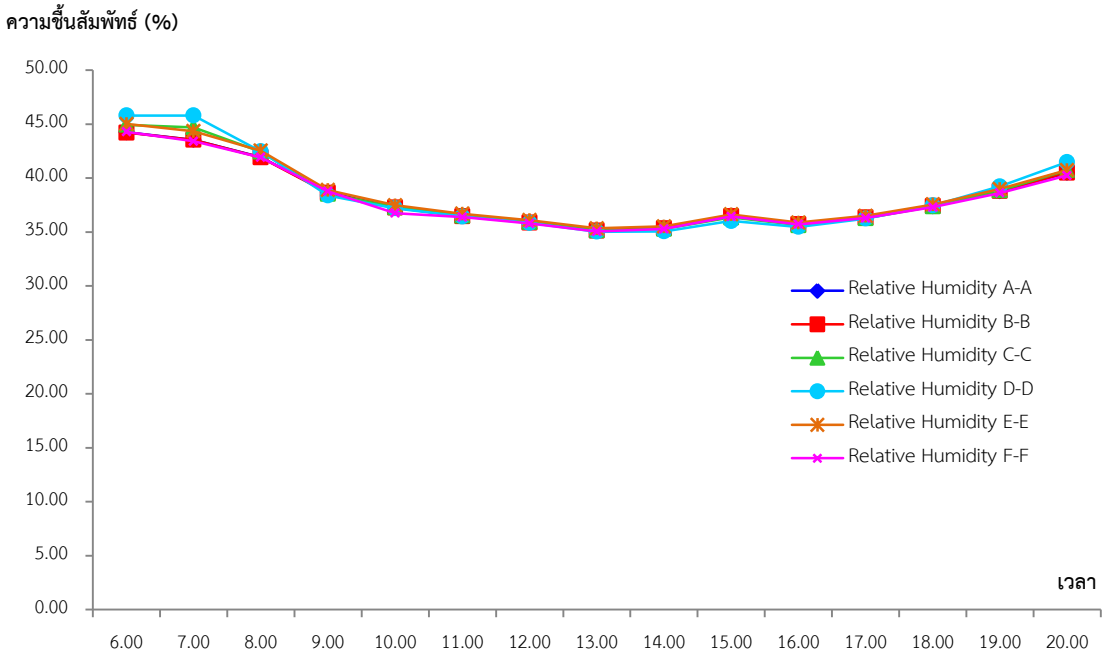
ส่วนในรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนท่าแพซอย 1 รูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 (E-E) นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ 45.02% เนื่องจากกระแสลมพัดนำพาความชื้นสัมพัทธ์มาจากกลุ่มพืชพรรณบริเวณสวนด้านหน้าโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน ประกอบกับอาคารสูงทั้งสองฝั่งของถนนทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงช้ากว่าพื้นที่ศึกษาอื่น ในขณะเดียวกันบริเวณเรขาคณิตเมือง 2.3 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38.15 % (ตารางที่ 18)

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นตามช่วงเวลามีลักษณะแปรผันผกผันกับอุณหภูมิอากาศ โดยช่วงเช้าเวลา 6.00 น. ความชื้นสัมพัทธ์จะค่อยๆ ลดลง และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ตัวอย่างได้รับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ หลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะค่อยเพิ่มขึ้น โดยมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมือนกันตลอดทั้งวัน (ภาพที่ 126)

ตารางที่ 18 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	44.24	35.15	38.25	2.57
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	44.22	35.14	38.24	2.57
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	45.95	35.16	38.41	2.87
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	45.81	35.03	38.53	3.20
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	45.023	35.35	38.55	2.74
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	44.30	35.04	38.15	2.57
Mean	44.76	35.15		

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 126 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

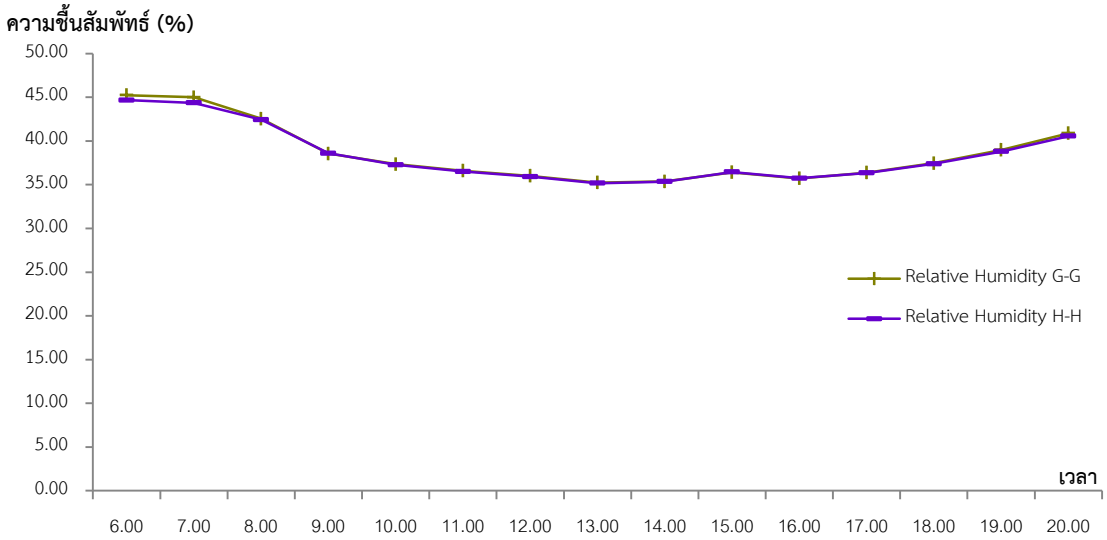
2.2) ความชื้นสัมพัทธ์จากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณเรขาคณิตเมืองบนถนนเจริญประเทศซอย 6 เรขาคณิตเมือง 1.8 ในพื้นที่ศึกษาเป็นอาคารที่มีความสูง 4.00 - 4.50 เมตร และมีพื้นผิวแอสฟัส มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38.51 % และเรขาคณิตเมือง 0.7 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38.51 % บริเวณระหว่างโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน และโรงแรมสุริวงศ์ (ตารางที่ 19) โดยมีค่าสูงที่สุดในเวลา 6.00 น. และต่ำสุดในเวลา 13.00 น. ทั้งสองบริเวณมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้อนสัมพัทธ์เท่าเทียมกันตลอดทั้งวัน อีกทั้งมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่เหมือนกับตัวอย่างเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือ – ใต้ (ภาพที่ 127) สาเหตุอาจเนื่องมาจากลักษณะเรขาคณิตเมืองมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมาก และปัจจัยทางกายภาพในบริเวณใกล้เคียงกันอาจส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 19 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	45.237	35.237	38.517	2.920
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	44.670	35.167	38.367	2.777

ที่มา : ผู้วิจัย

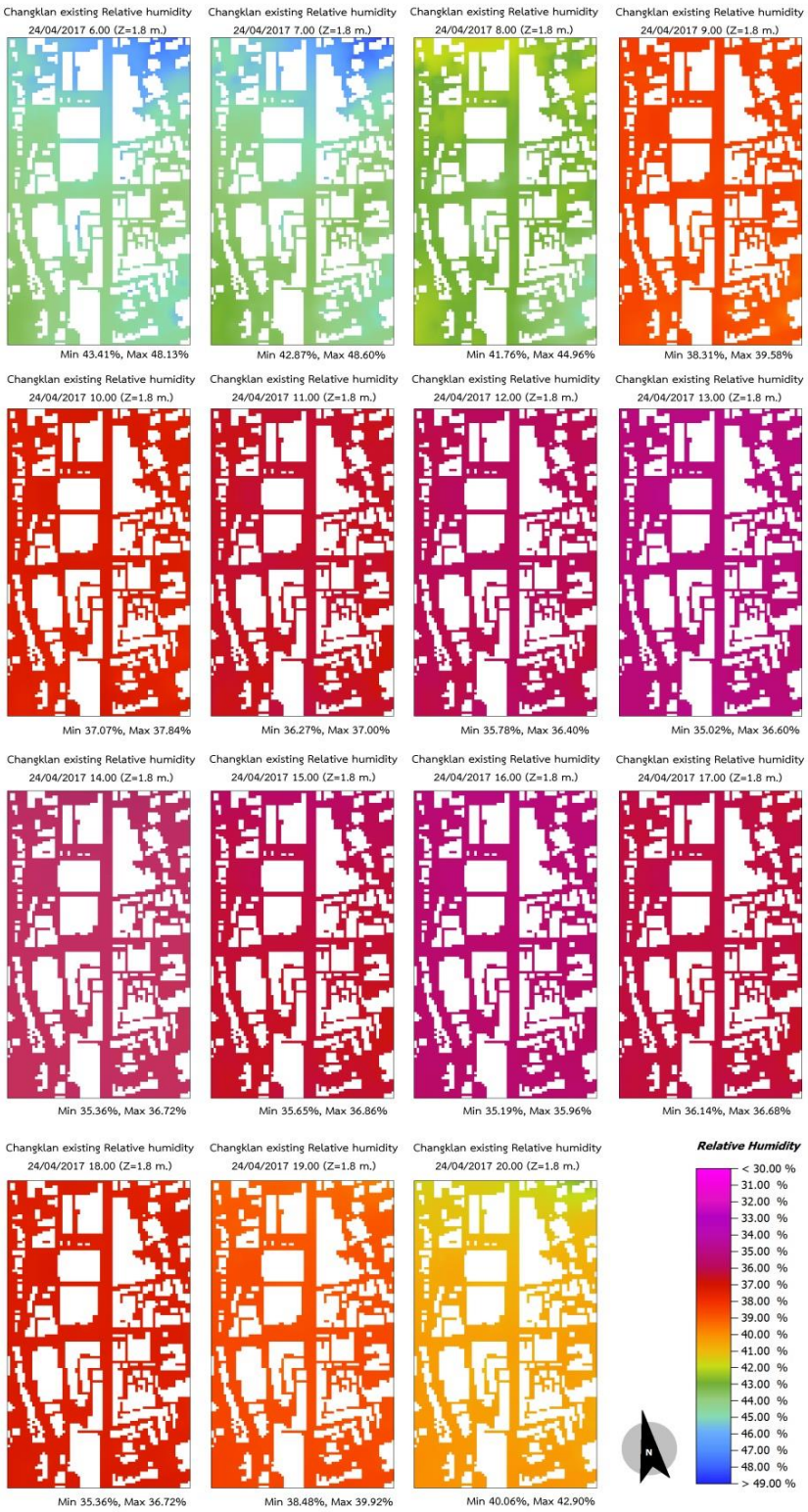


ภาพที่ 127 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย

จากการศึกษาปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าความชื้นในบรรยากาศของแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ สิ่งปกคลุมพื้นผิวและพืชพรรณ รวมถึงสภาพภูมิอากาศโดยรอบของแต่ละพื้นที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ และแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์กับตัวแปรอุณหภูมิอากาศของบริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมืองแปรผันผกผันกับสัดส่วนพื้นที่ธรรมชาติในบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยถ้าหากมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพืชพรรณในพื้นที่ก็จะช่วยเพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียงได้

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY



ภาพที่ 128 ภาพแสดงความชื้นสัมพัทธ์อากาศย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย

3) ความเร็วลม (Wind speed)

3.1) ความเร็วลมจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากแบบจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาในแนวถนนเหนือ – ใต้ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ตัวอย่างบริเวณถนนช้างคลานความเร็วลมเหนือพื้นดินความสูง 1.8 เมตร บริเวณเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B) มีความเร็วสูงที่สุด โดยเริ่มจากเวลา 6.00 น. ความเร็วลม 0.28 เมตร/วินาที และค่อยๆเพิ่มขึ้นสูงสุดเวลา 15.00-16.00 น. มีความเร็วลม 0.51 เมตร/วินาที โดยพื้นที่รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3, 1.0 และ 0.8 มีความเร็วลมสูงสุด 0.48, 0.45 และ 0.45 เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งรูปทรงเรขาคณิตเมืองทั้ง 4 อัตราส่วนมีรูปแบบความเร็วลมที่เหมือนกัน (ตารางที่ 20)

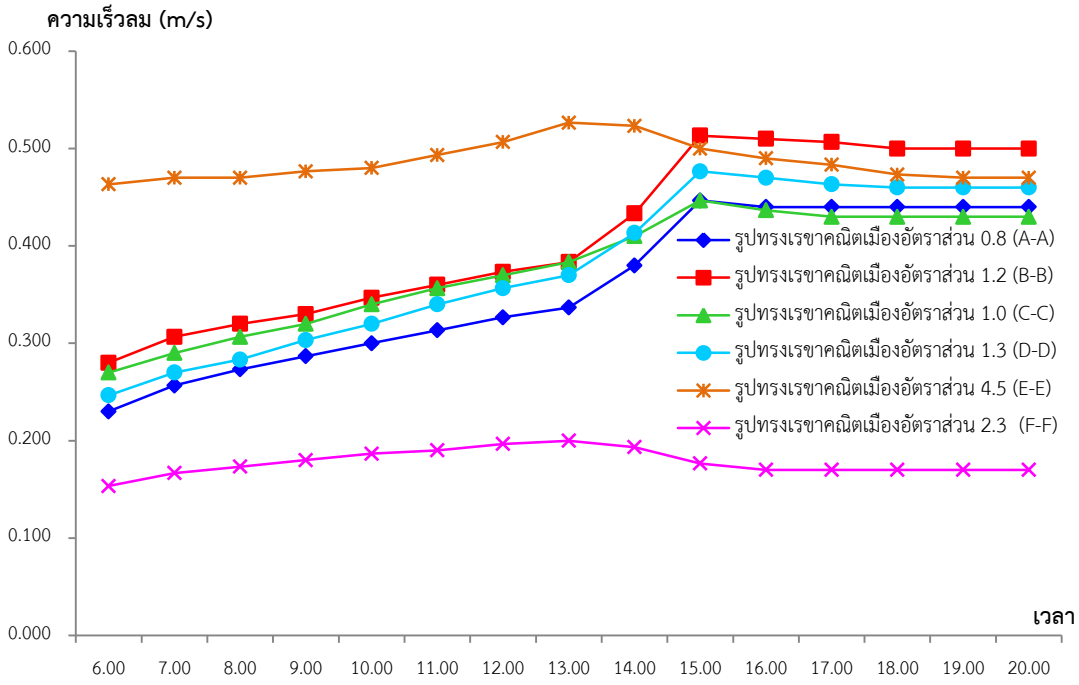
ในขณะเดียวกันบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนท่าแพ ซอย 1 บริเวณเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E) มีความเร็วลมสูงสุด 0.46 - 0.53 เมตร/วินาที มีความเร็วค่อนข้างคงที่ เนื่องจากมีสภาพกายภาพเป็นอาคารสูง 19 เมตรทั้งสองฝั่งของถนน และถนนกว้าง 8 เมตร ซึ่งสภาพดังกล่าวมีลักษณะเป็นช่องแคบ ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเช้าเร็วกว่าบริเวณอื่น และในตัวอย่างเรขาคณิตเมือง 2.3 (F-F) มีความเร็วลม 0.15-0.20 เมตร/วินาที ซึ่งต่ำที่สุดตลอดทั้งวัน (ภาพที่ 129)

จากผลของการจำลองภูมิอากาศของวันที่ 24 เมษายน 2560 รูปทรงเรขาคณิตเมืองมีผลต่อความเร็วของกระแสลม โดยเฉพาะในพื้นที่ว่างระหว่างอาคารที่แคบความเร็วลมจะสูงขึ้นเล็กน้อยมากกว่าในพื้นที่ที่เปิดกว้าง โดยความเร็วลมของย่านช้างคลานในฤดูร้อนมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้การระบายความร้อนออกจากพื้นที่ได้ยากลำบากและมลภาวะถูกกักเก็บอยู่ภายในเมืองอันเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

ตารางที่ 20 แสดงค่าความเร็วลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	0.45	0.23	0.38	0.07
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	0.51	0.28	0.41	0.08
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	0.45	0.27	0.38	0.05
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	0.48	0.25	0.38	0.07
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	0.53	0.46	0.48	0.02
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	0.20	0.15	0.18	0.01
Mean	0.44	0.28		

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 129 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนน เหนือ - ใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

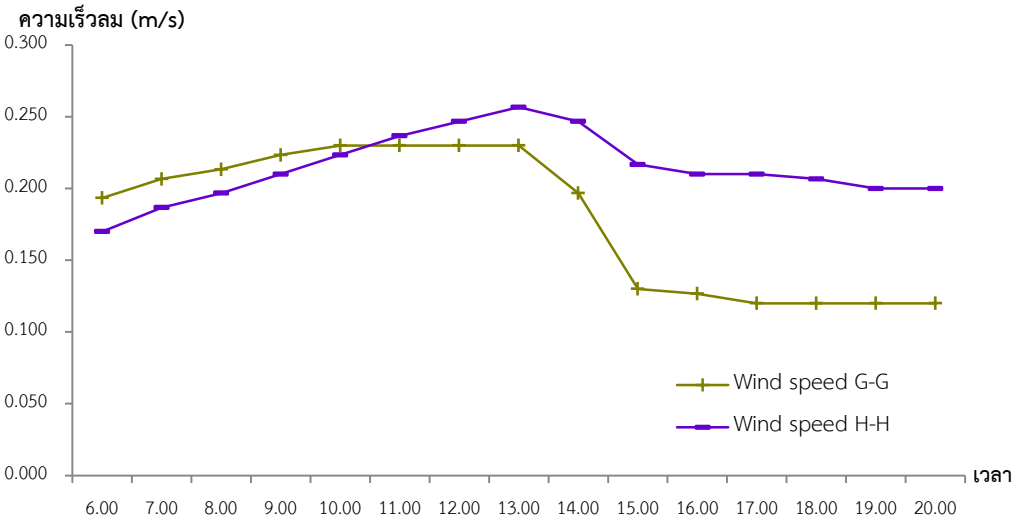
3.2) ความเร็วลมจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ความเร็วลมของตัวอย่างเรขาคณิตเมืองในแนวถนนตะวันออก-ตะวันตก ทั้งสองตัวอย่างเรขาคณิตเมือง 1.8 (G-G) บริเวณถนนเจริญประเทศซอย 6 และ 0.7 (H-H) บริเวณถนนลอยเคราะห์ ระหว่างโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน กับโรงแรมสุริวงศ์ มีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.18 เมตร/วินาที เนื่องจากแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกวางตัวขวางทิศทางลมในฤดูร้อน (ตารางที่ 21) ซึ่งในช่วงเวลา 6.00 – 12.00 น. ความเร็วลมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หลังจากเวลา 13.00 น. มีความเร็วลมลดลงเหลือเพียง 0.17-0.12 เมตร/วินาที และคงที่จนถึงช่วงหัวค่ำ (ภาพที่ 130)

ตารางที่ 21 แสดงค่าความเร็วลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนน ตะวันออก – ตะวันตก

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	0.230	0.120	0.179	0.049
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	0.257	0.170	0.214	0.021

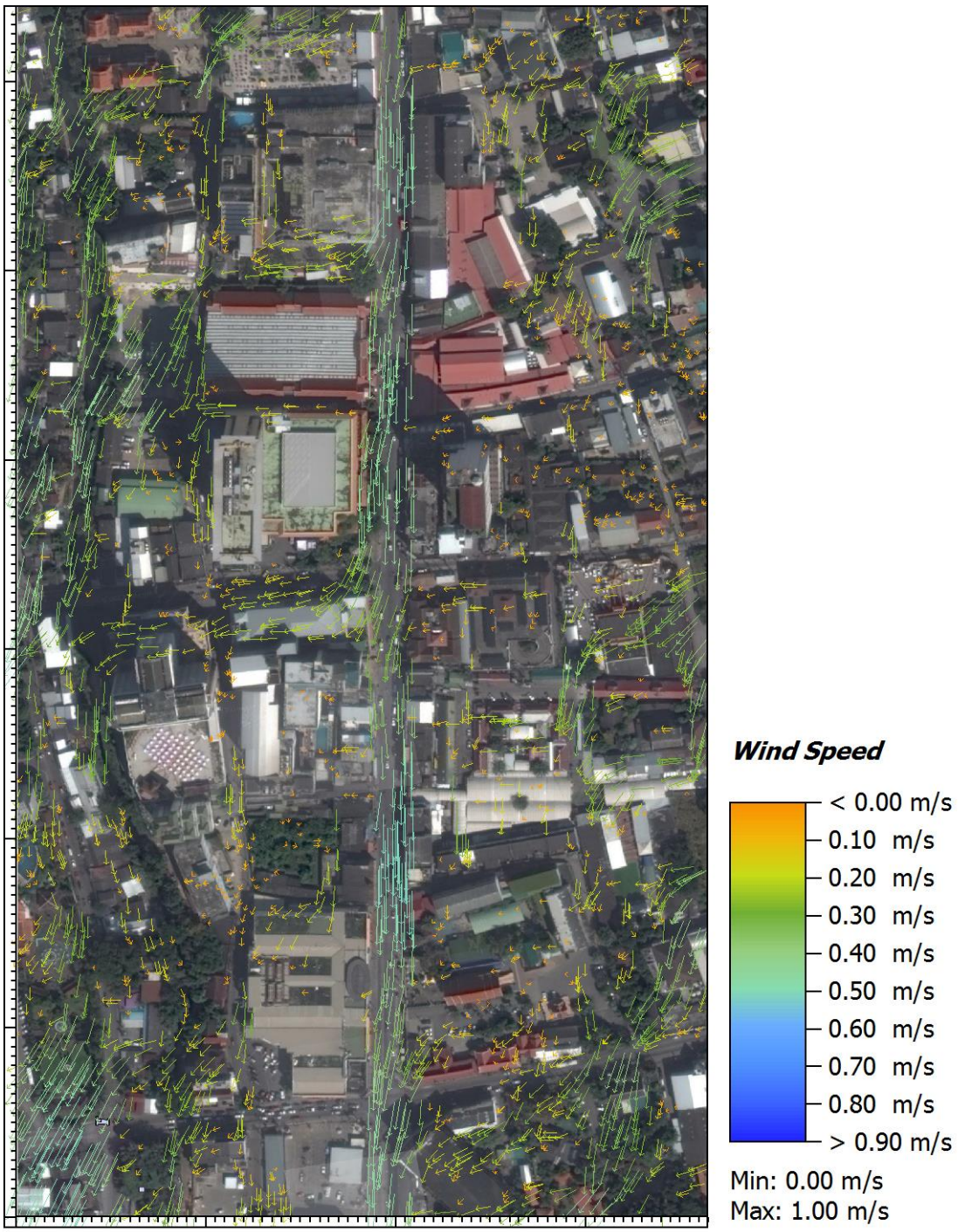
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 130 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย

จากผลการศึกษาข้างต้น แสดงให้เห็นว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองมีอิทธิพลต่อความเร็ว ในเขตเมือง โดยอาคารที่วางตัวขนานกับทิศทางลม จะมีความเร็วบริเวณที่ว่างระหว่างอาคารที่มากกว่าอาคารที่ว่างตัวในแนวขวางทิศทางลม ทั้งนี้การเว้นที่ว่างระหว่างอาคารและความสูงอาคารก็มีผลต่อความเร็วลมเช่นกัน เช่น บริเวณเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E) ระหว่างอาคารโรงแรงดุสิต ปริ้น-เซส กับอาคารโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน บนถนนท่าแพซอย 1 ในฤดูร้อนที่กระแสลมพัดมาตามแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ จะเกิดการไหลแบบ Venturi effect โดยกระแสลมจะถูกบีบให้ไหลผ่านช่องว่างขนาดเล็กระหว่างอาคาร ทำให้ลมมีอัตราเร่งเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.3 (F-F) บริเวณด้านหลังอาคารห้างพันธุ์ทิพย์ พลาซ่า นั้นมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ สาเหตุอาจเนื่องมาจากเป็นพื้นที่อับลม เพราะลมที่พัดมาจากทางด้านทิศเหนือมาถึงพื้นที่เปิดโล่งทางด้านหน้าโรงแรมสตาร์ ทำให้ความเร็วลมลดลง ส่วนเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลานที่มีความสูงของอาคารทั้งสองฝั่งของถนนใกล้เคียงกัน อีกทั้งมีค่า SVF ระหว่าง 0.30 - 0.44 ความเร็วลมจึงมีค่าเฉลี่ยต่ำที่มีความใกล้เคียงกัน รวมถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาก็มีลักษณะเดียวกัน และรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก ถนนลอยเคราะห์และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ที่อาคารมีความสูงเท่าๆกันทั้งสองฝั่งถนน ทำให้กระแสลมที่พัดมาทางทิศเหนือม้วนตัวลงมายังบริเวณพื้นผิวถนนความเร็วลดต่ำลง อีกทั้งตัวอาคารที่ขวางทิศทางลมทำให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศบริเวณถนนลดลงเช่นกัน นอกจากนั้นปัจจัยด้านกิจกรรมและการใช้พื้นที่ เช่นการตั้งร้านค้า แผงจำหน่ายสินค้า รวมถึงการจอดยานพาหนะริมถนน สิ่งเหล่านี้นับเป็นอุปสรรค์ที่ขัดขวางการระบายอากาศในระดับทางเดินเท้าเช่นกัน



ภาพที่ 131 แสดงการจำลองความเร็วลมในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ในวันที่ 24 เมษายน 256 เวลา 16.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 132 ภาพแสดงความเร็วลม ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น.
ที่มา : ผู้วิจัย

4) ทิศทางลม (Wind direction)

การศึกษานี้จะอ่านค่าทิศทางการไหลเวียนของกระแสลมเหนือพื้นดินความสูง 1.8 เมตร ในช่วงเวลา 6.00 - 20.00 น. แบบองศาอซิมุท (Degree azimuth) โดยทิศเหนือจะมีค่าเท่ากับ 0 และ 360 องศา, ทิศตะวันออกมีค่าเท่ากับ 90 องศา, ทิศใต้มีค่าเท่ากับ 180 องศา และทิศตะวันตกมีค่าเท่ากับ 270 องศา

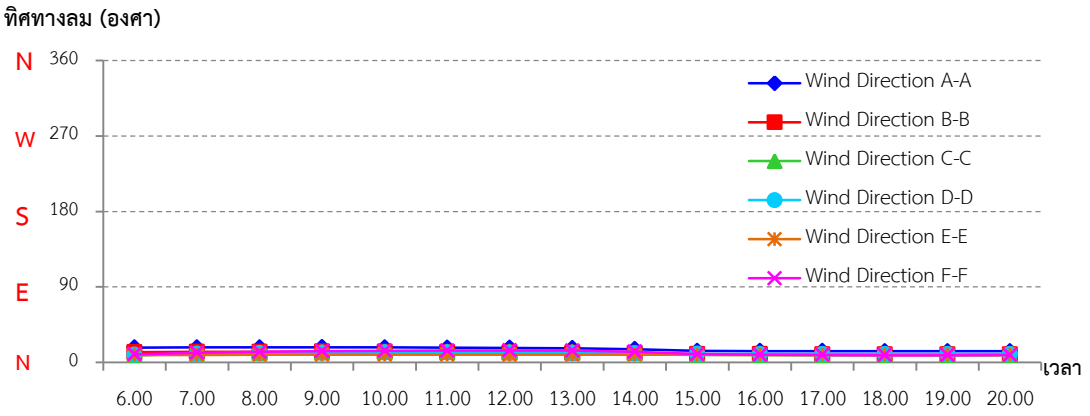
4.1) ทิศทางลมจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากการจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่าบริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือ – ใต้ กระแสลมพัดมาจากทางทิศเหนือ เฉลี่ย 11.32 องศา ตลอดทั้งวันในทุกๆ รูปทรงเรขาคณิตเมือง (ภาพ 133) สาเหตุเนื่องมาจากทิศทางของกระแสลมในฤดูร้องของพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลานพัดมาตามแนวถนนช้างคลาน และถนนท่าแพซอย 1

ตารางที่ 22 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้ (หน่วยเป็นองศา โดยทิศเหนือ = 0 และ 360 องศา)

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	18.053	13.300	15.852	2.097
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	12.747	9.483	11.079	1.345
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	12.350	8.483	10.207	1.626
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	11.617	8.963	10.466	0.802
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	9.197	8.690	9.035	0.155
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	14.210	8.550	11.338	2.324

ที่มา: ผู้วิจัย



ภาพที่ 133 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

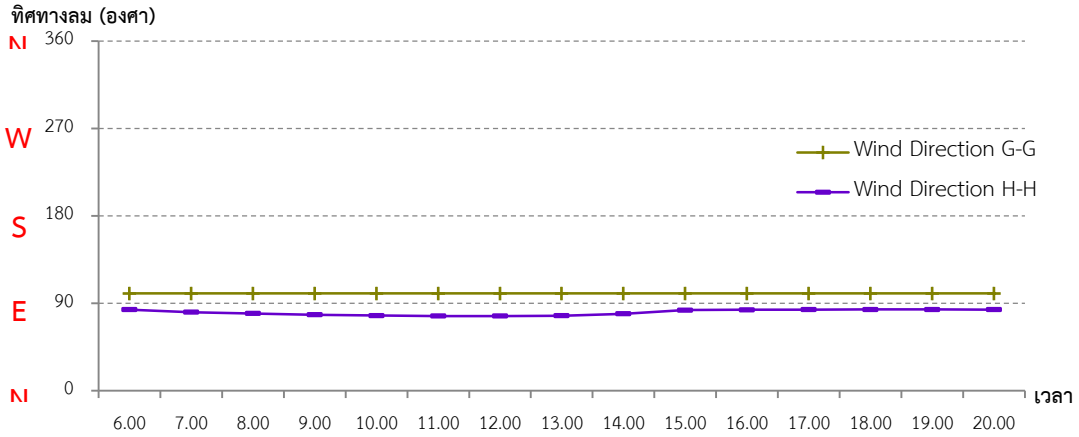
4.2) ทิศทางลมจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

จากการจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่าบริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก บนถนนลอยเคราะห์ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ทิศทางลมพัดมาจากทิศตะวันออก เฉลี่ย 90.36 องศา ตามแนวถนน ตลอดทั้งวันเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 134)

ตารางที่ 23 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก (หน่วยเป็นองศา โดยทิศเหนือ = 0 และ 360 องศา)

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	100.100	100.100	100.100	0.000
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	83.583	76.870	80.635	2.729

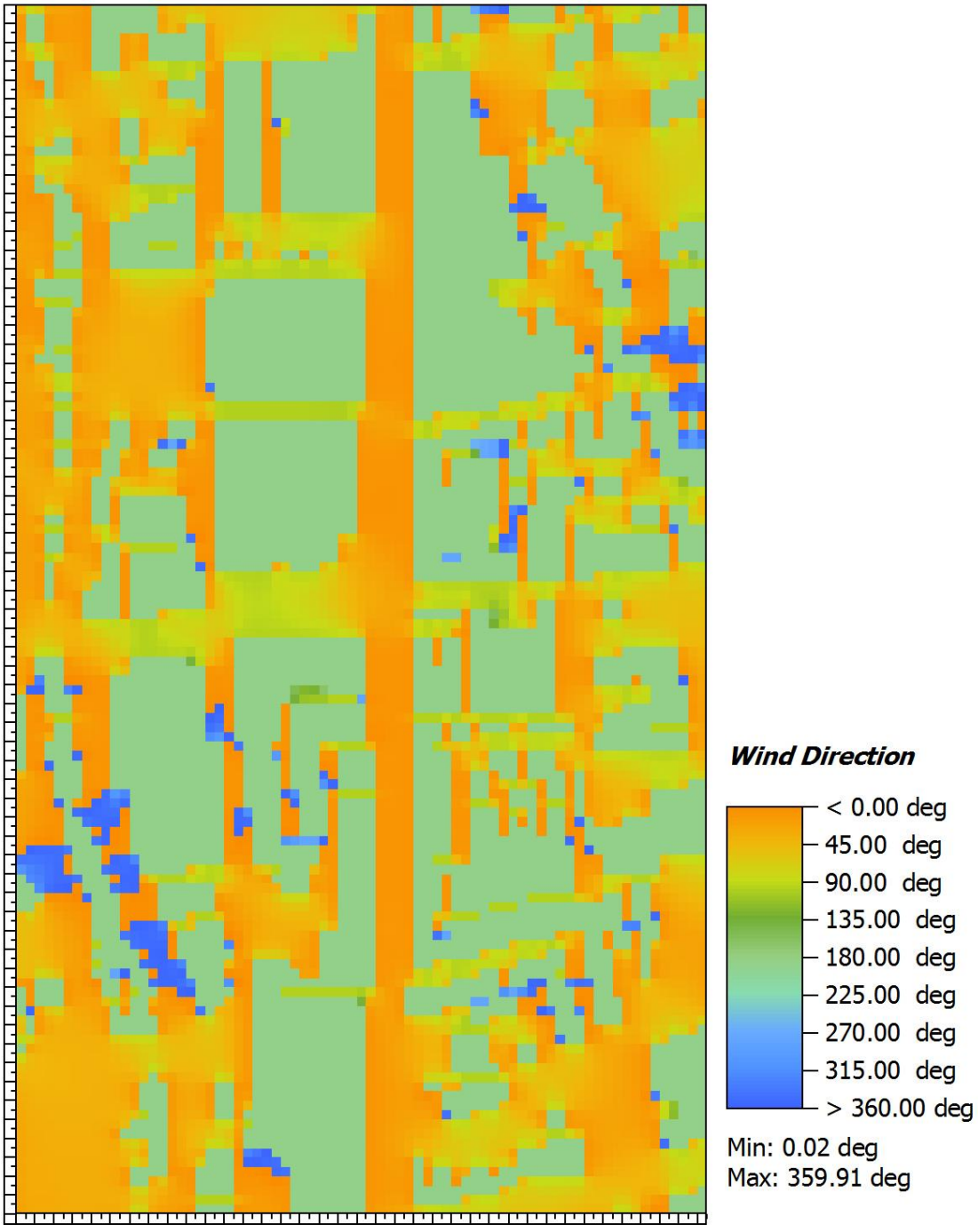
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 134 แสดงทิศทางลมปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

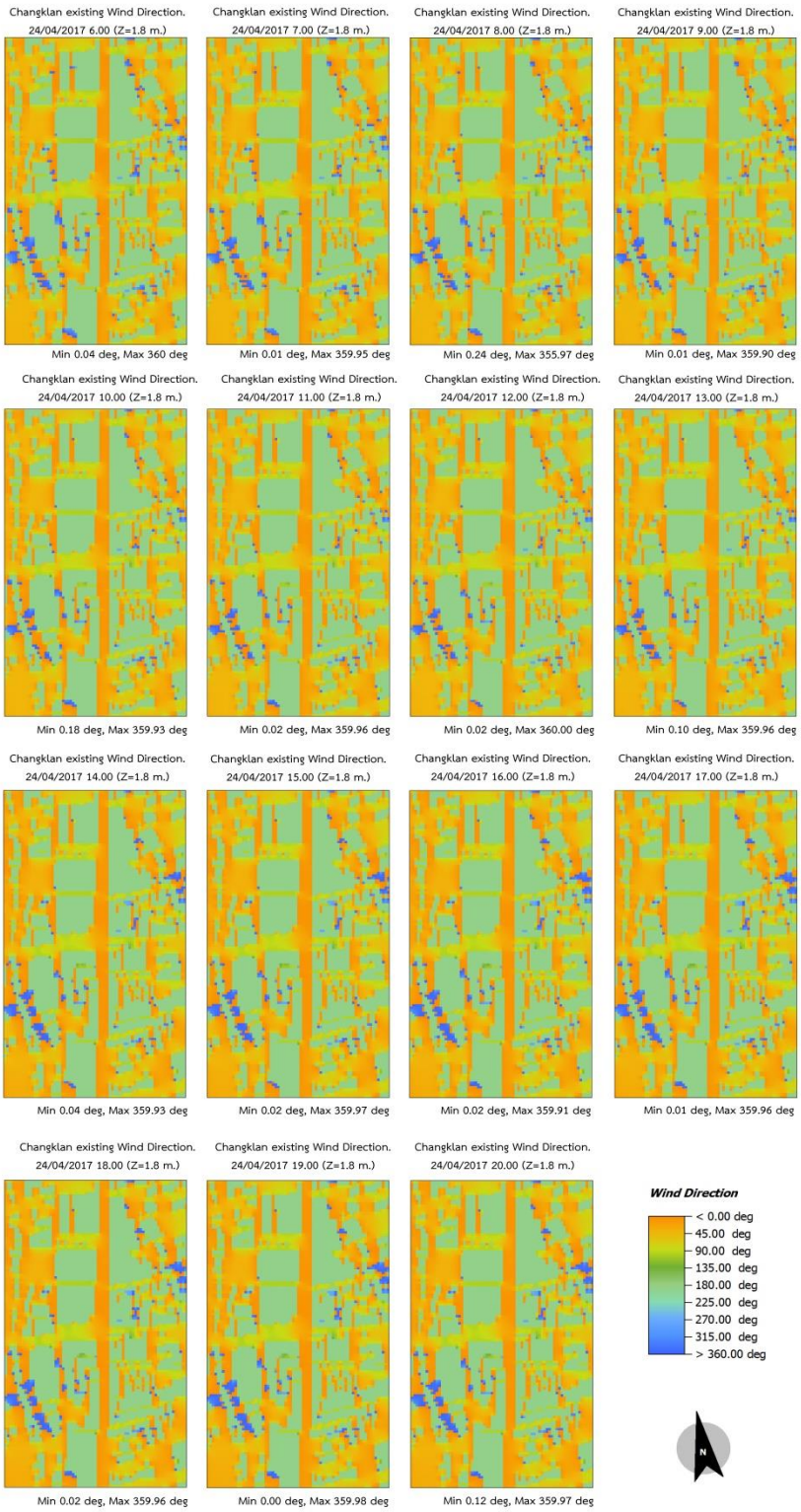
ที่มา : ผู้วิจัย

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงสาเหตุที่เกิดจากอาคารที่ถูกปลูกสร้างเป็นอุปสรรค์ต่อการไหลเวียนของกระแสลมในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer) ส่งผลให้กระแสลมสามารถไหลเวียนผ่านเฉพาะพื้นที่ว่างระหว่างอาคารและถนนเท่านั้น โดยกระแสลมเหนือพื้นผิว 1.80 เมตร จะถูกกำหนดให้มีทิศทางการไหลไปตามแนวการวางตัวของอาคารเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 135 แสดงการจำลองทิศทางลมในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ในวันที่ 24 เมษายน 256 เวลา 16.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 136 ภาพแสดงทิศทางลม ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น.
ที่มา : ผู้วิจัย

5) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature)

การคำนวณอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยนั้นจำต้องใช้ตัวแปรสภาพอากาศในการ คือ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม ดังนั้นค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลาย่อมได้รับอิทธิพลมาจากสภาพอากาศของพื้นที่ตัวอย่างนั้นๆ รวมถึงค่าจากการตรวจวัดความสามารถในการสะท้อนรังสีของ Globothermometer probe ซึ่งจะได้รับอิทธิพลมาจากแสงอาทิตย์และเงาของอาคารทั้งสองฝั่งของถนนที่บดบังแสงอาทิตย์ โดยผลการศึกษาต่อไปนี้เป็นค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากการจำลองสภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 ช่วงเวลา 6.00-20.00 น.โดยพิจารณาชั้นบรรยากาศบริเวณถนนและทางเดินเท้า เหนือพื้นผิว 1.80 เมตร

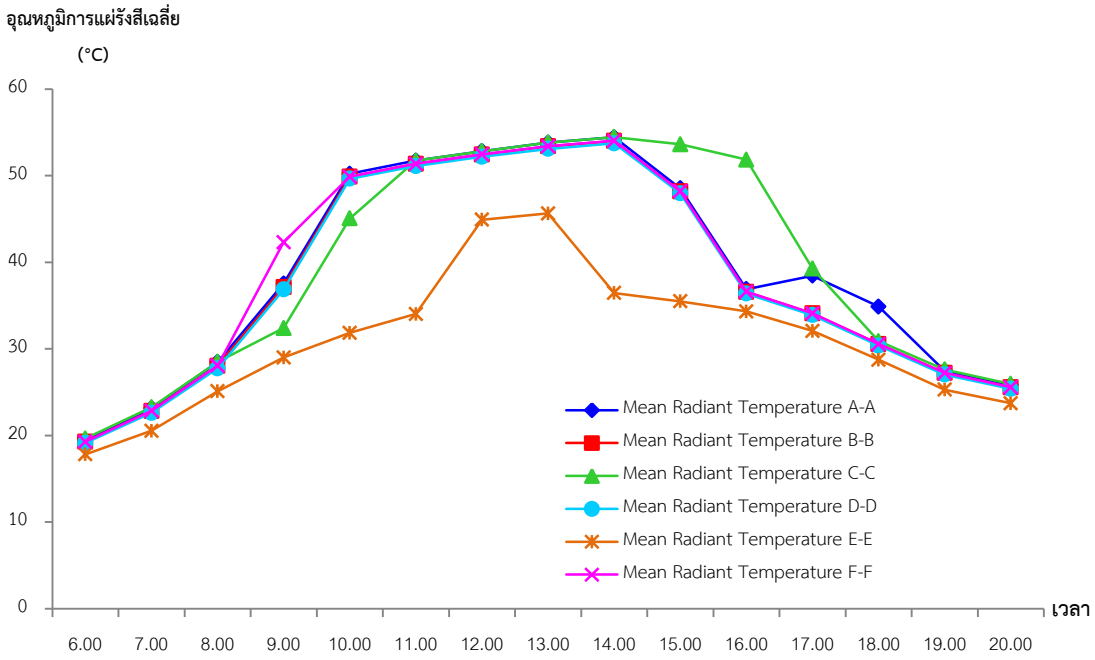
5.1) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ผลการจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่าบริเวณเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน ได้แก่ เรขาคณิตเมือง 0.8 (A-A), 1.2 (B-B) และ 1.3 (D-D) ที่มีอาคารพาณิชย์สูง 13.00 – 15.00 เมตร อยู่สองฝั่งของถนนนั้นมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่มีรูปแบบเดียวกัน เนื่องจากรูปแบบของสัดส่วนอาคารดังกล่าวไม่แตกต่างกันมาก มีวัสดุอาคารเป็นคอนกรีต และพื้นผิวปกคลุมคอนกรีตเช่นเดียวกันกัน ทั้งยังได้รับแสงอาทิตย์ในเวลาเดียวกันตลอดทั้งวัน โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยบริเวณถนนและทางเดินเท้าประมาณ 37.81 - 38.91 องศาเซลเซียส ในขณะที่เรขาคณิตเมือง 1.0 (C-C) บริเวณระหว่างด้านข้างของโรงแรงเลอ เมอร์ริเดียนกับอาคารพาณิชย์ นั้นมีรูปแบบของค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเช่นเดียวกันกับกลุ่มเรขาคณิตเมืองข้างต้น เพียงแต่ช่วงเวลาของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น-ลดลง ช้ากว่าประมาณ 60-90 นาที มีสาเหตุเนื่องมาจากมีแนวต้นไม้บริเวณทางเดินเท้าฝั่งตะวันตกของถนน ส่วนเรขาคณิตเมืองบนถนนท่าแพซอย 1 เรขาคณิตเมือง 4.5 บริเวณระหว่างอาคารโรงแรมดุสิต ปริ้นเซสกับโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน ที่มีลักษณะกายภาพเป็นอาคารสูง 19.00 เมตร ทั้งสองฝั่งของถนน มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่ารูปทรงเรขาคณิตอื่นๆ ตลอดทั้งวัน โดยมีค่าเฉลี่ย 31.00 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 137) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้รับแสงอาทิตย์น้อย ประกอบกับในช่วงเช้ามีกระแสลมไหลผ่านค่อนข้างดี จึงทำให้มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำ และเรขาคณิตเมือง 2.3 (F-F) บริเวณด้านหลังห้างพันธุ์ทิพย์พลาซ่า ที่มีอาคารสูง 13.00 เมตรทางทิศตะวันออกของถนน และอาคารเก่าสูง 8.50 เมตร และถนนกว้างเพียง 8.00 เมตร แต่ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 38.40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน ที่ถนนมีความกว้าง 12.00 เมตร เมื่อพิจารณาความสูงของอาคารปรากฏว่าความสูงของอาคารทั้ง 2 ฝั่งของถนนมีความสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งพื้นที่บริเวณถนนได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์ในเวลาเดียวกัน ส่งผลให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 24 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้

Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	54.447	19.417	38.916	11.018
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	54.023	19.263	38.041	11.258
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	54.457	19.650	39.400	11.809
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	53.740	19.143	37.814	11.236
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	45.653	17.830	31.006	7.111
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	54.040	19.283	38.400	11.266

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 137 แสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ - ใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

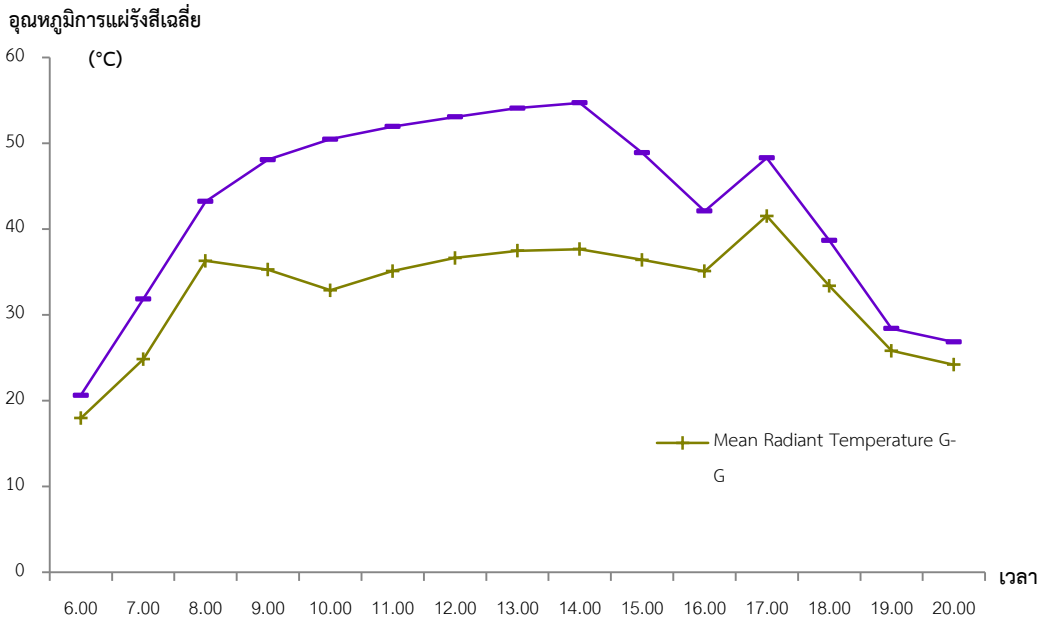
5.2) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมือง แนวถนน ทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

ผลจากการจำลอง พบว่าเรขาคณิตเมือง 0.7 (H-H) บริเวณถนนลอยเคราะห์ ระหว่างโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน กับโรงแรมสุริวงศ์ มีค่าเฉลี่ย 42.75 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 8.00 น. จนกระทั้ง 14.00 น. จึงลดลง แตกต่างจากเรขาคณิตเมือง 2.3 (F-F) บนถนนเจริญประเทศซอย 6 ที่มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย เฉลี่ย 32.70 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือ – ใต้ เกิดจากบริเวณถนนดังกล่าวได้รับเงาจากอาคารโรงแรมรอยัล ลานนา ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่ทางด้านทิศใต้ เพราะพื้นที่ศึกษาในฤดูร้อนดวงอาทิตย์จะอ้อมทางทิศใต้ (ภาพที่ 138)

ตารางที่ 25 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

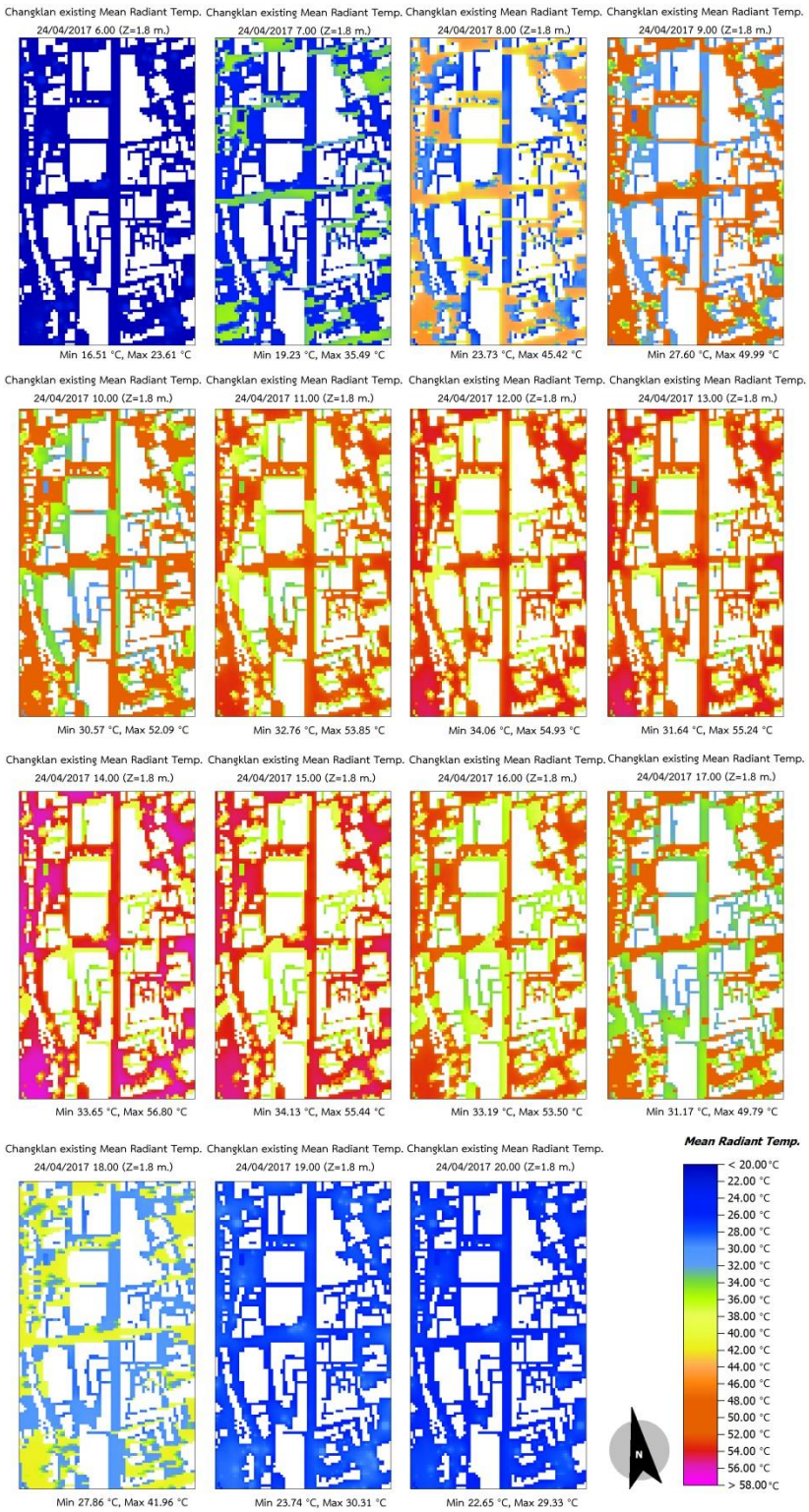
Geometry	Max	Min	Mean	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	41.517	17.967	32.704	6.464
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	54.710	20.630	42.752	11.030

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 138 แสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยปัจจุบัน บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 139 ภาพแสดงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ย่านช้างคลาน วันที่ 24 เมษายน 2560 เวลา 6.00-20.00 น.

ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.3 วิเคราะห์ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort index)

จากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศของย่านช้างคลานในสภาพปัจจุบัน วันที่ 24 เมษายน 2560 ทั้ง 8 รูปทรงเรขาคณิตเมือง ผู้วิจัยจึงได้นำผลจากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศมาวิเคราะห์ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort index) ที่เรียกว่า อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature, PET) ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน โดยโปรแกรม RayMan Model เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาตามช่วงเวลาและหาความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร ดังนี้

1) ดัชนีความสบายเชิงความร้อนจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของเรขาคณิตเมืองสภาพปัจจุบันที่อยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อน(Thermal acceptable ranges in summer) พบว่า รูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนที่วางตัวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ มีรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E) มีช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนมากที่สุด ช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 6.00-9.00 น. และช่วงหัวค่ำตั้งแต่เวลา 20.00 น. เป็นต้นไป ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.8(A-A), 1.2(B-B), 1.0(C-C), 1.3(D-D) และ 2.3(F-F) มีชั่วโมงที่อยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในเวลา 6.00-8.00 น. เท่านั้น ส่วนในช่วงพลบค่ำของระยะเวลาที่ทำการศึกษานั้นไม่มีรูปทรงเรขาคณิตเมืองใดที่มีอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.8 (G-G) มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนเวลา 6.00-8.00 น. และหลังจากเวลา 19.00 เป็นต้นไป และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.7 (H-H) มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาที่อยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนเพียง 1 ชั่วโมง เวลา 6.00-7.30 น. (ภาพที่ 140)

จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในตอนเช้า เวลา 6.00 – 8.00 น. เท่านั้น กรณีของย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ช่วงเวลาดังกล่าวพื้นที่บริเวณถนนยังไม่มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจ มีเพียงร้านขายอาหารเช้าและประชาชนที่สัญจรผ่านถนนช้างคลานเพียงเท่านั้น ซึ่งกิจกรรมทางเศรษฐกิจของย่านช้างคลานจะเริ่มต้นในช่วงเวลาประมาณ 10.00 – 24.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยามีค่าสูงกว่าความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อน

ตารางที่ 26 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของเรขาคณิตเมืองสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้

	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	24.90	27.00	30.40	35.80	43.10	44.40	45.50	46.40	47.00	44.20	38.30	38.90	36.90	32.70	31.90
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	24.80	26.80	30.30	35.60	42.70	44.00	45.00	46.10	46.80	44.00	38.20	36.90	35.00	33.00	31.90
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	24.90	27.00	30.60	33.30	40.40	44.20	45.40	46.20	47.10	46.90	46.10	39.40	35.00	34.50	32.00
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	24.50	26.70	30.40	35.70	43.00	44.20	45.10	46.00	46.70	44.00	38.20	36.90	34.90	32.90	31.80
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	23.90	25.60	28.70	31.00	33.50	35.00	40.80	41.70	37.70	37.60	37.00	35.90	34.20	32.10	31.00
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	24.90	26.80	30.30	38.50	43.20	44.50	45.60	46.50	47.20	44.20	37.90	36.50	34.50	32.50	31.40

* Thermal acceptable ranges Thermal unacceptable ranges

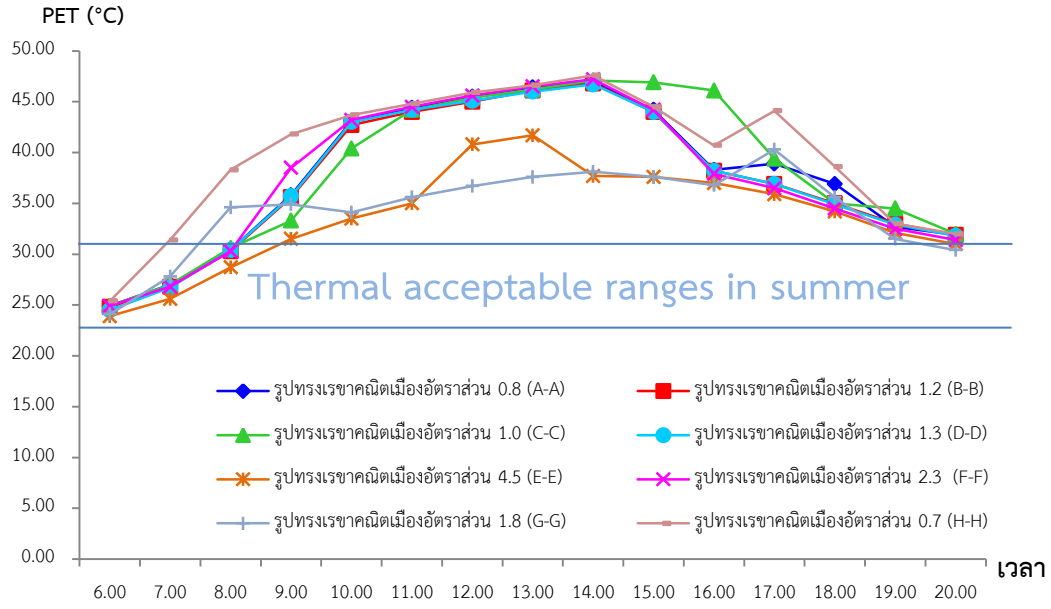
ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 27 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของเรขาคณิตเมืองสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศตะวันออก-ตะวันตก

	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	24.10	27.80	34.60	34.90	34.10	35.60	36.70	37.60	38.10	37.60	36.80	40.30	35.60	31.50	30.40
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	25.40	31.40	38.30	41.80	43.70	44.80	45.90	46.60	47.60	44.50	40.70	44.10	38.60	33.00	32.00

* Thermal acceptable ranges Thermal unacceptable ranges

ที่มา : ผู้วิจัย



* ช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ 23.10-31.00 PET (°C)

ภาพที่ 140 แสดงอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน
ที่มา : ผู้วิจัย

4.2.4 การพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศ

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศทั้ง 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise multiple regression analysis) โดยใช้เฉพาะข้อมูลของช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่นอกช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ (23.10-31.00 PET (°C)) หรือสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน (Thermal Discomfort) ของแต่ละรูปทรงเรขาคณิตเมือง ดังนี้

1) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ส่งผลต่ออุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากสมการความสัมพันธ์ของตัวแปร พบว่ามีรูปแบบความสัมพันธ์ 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อนบริเวณทางเดินเท้าและถนนของรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.8, 1.2, 1.0 และ 1.3 บริเวณถนนช้างคลาน คือ ปัจจัยอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย จากความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงแนวทางการปรับปรุงอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยา ให้ช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงการยอมรับเชิงความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยการลดอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยบริเวณทางเดินเท้าและถนน (ตารางที่ 27)

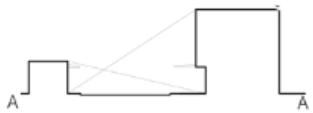
กรณีที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อนบริเวณ ทางเท้าและถนน บนถนนที่วางตัวในแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ ถนนท่าแพซอย 1 พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 มีปัจจัยอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเช่นกัน แต่บริเวณเรขาคณิตเมือง 2.3 ปรากฏว่ามีปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และความเร็วลม ผลจากการศึกษาความเร็วลมบริเวณด้านหลังห้างพันธุ์ทิพย์พลาซ่าพบว่ามีความเร็วต่ำกว่าบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่นๆมาก ส่วนปัจจัยอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย มีผลสอดคล้องกับรูปทรงเรขาคณิตอื่น ส่วนปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ ไม่มีผลต่อการปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายใต้การวิเคราะห์โดยใช้สถิติ (ตารางที่ 28)

2) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

จากสมการความสัมพันธ์ของตัวแปร พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง1.8 (G-G) บริเวณถนนเจริญประเทศ ซอย 6 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.7 (H-H) บนถนนลอยเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อสภาวะไม่น่าสบายของรูปทรงเรขาคณิตเมืองย่านช้างคลานในสภาพปัจจุบัน บนแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ในขณะที่ปัจจัยความเร็วลมและปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ ไม่มีผลต่อการปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายใต้การวิเคราะห์โดยใช้สถิติ (ตารางที่ 29)

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธีการทางสถิติแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนบริเวณถนนและทางเดินเท้าภายในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน ทั้งรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ และบนแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก สามารถทำได้โดยการปรับปรุงอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และการเพิ่มความเร็วลม แต่ในทางปฏิบัติการลดอุณหภูมิอากาศเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ดังนั้นแนวทางที่มีความเป็นไปได้มากกว่า คือ การปรับปรุงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและความเร็วลม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศในพื้นที่ ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง หรืออาคารในพื้นที่ศึกษา โดยกำหนดความสูงอาคารที่เหมาะสมและระยะห่างระหว่างอาคาร ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวนั้นจะต้องอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ต่อไป

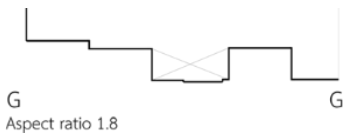
ตารางที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

Aspect ratio	Geometry	Adjusted R^2	Independent variables	Standardized coefficients
0.8 (A-A)	 Aspect ratio 0.8	2(0.99)	Tmrt	0.99**
			Ta	0.16**
1.2 (B-B)	 Aspect ratio 1.2	2(0.99)	Tmrt	1.00**
			Ta	0.17**
1.0 (C-C)	 Aspect ratio 1.0	2(0.99)	Tmrt	0.94**
			Ta	0.17**
1.3 (D-D)	 Aspect ratio 1.5	2(0.99)	Tmrt	0.99**
			Ta	0.15**
4.5 (E-E)	 Aspect ratio 4.5	2(0.99)	Tmrt	0.98**
			Ta	0.26**
2.3 (F-F)	 Aspect ratio 2.3	3(0.99)	Tmrt	0.97**
			Ta	0.15**
			Ws	0.05**

*Significant level 0.05, **Significant level 0.01

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

Aspect ratio	Geometry	Adjusted R^2	Independent variables	Standardized coefficients
1.8 (G-G)	 Aspect ratio 1.8	2(0.99)	Tmrt	0.86**
			Ta	0.41**
0.7 (H-H)	 Aspect ratio 0.7	2(0.99)	Tmrt	0.92**
			Ta	0.22**

*Significant level 0.05, **Significant level 0.01

ที่มา : ผู้วิจัย

4.3 การประเมินผลกระทบทางสภาพจุลภูมิอากาศเมืองจากอิทธิพลเรขาคณิตเมือง ตามกฎหมายควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ในพื้นที่ย่านช้างคลาน จ.เชียงใหม่

4.3.1 กฎหมายและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินและกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ในพื้นที่ศึกษา

1) กฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 ออกตามความในพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ.2518

พบว่าพื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตที่ดินสีชมพู เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทชุมชน ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง แต่มีการกำหนดระยะร่นในบริเวณพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำ ลำคลอง หรือแหล่งน้ำสาธารณะ แต่ไม่มีผลบังคับใช้กับพื้นที่บริเวณริมคลองแม่ข่า ที่ไหลผ่านบริเวณทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา

2) จากกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 ออกตามความในพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ.2518

พบว่าพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลานนั้นยังไม่มีการกำหนดความสูงของอาคาร มีเพียงการกำหนดความสูงอาคารบางส่วนจาก ข้อ 18 วรรค 2 ดังนี้ “การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการก่อสร้างอาคารในบริเวณระยะ 100 เมตร จากที่ดินประเภทสถาบันศาสนา ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียงประกอบด้วย วัดอุปคุต วัดศรีดอนไชย และสุเหร่าอิสลามเชียงใหม่ ให้มีความสูงไม่เกิน 12.00 เมตร โดยการวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด” (ภาพที่ 141) ซึ่งครอบคลุมอาคารในพื้นที่ศึกษาเพียงเล็กน้อย ซึ่งพื้นที่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษายังไม่มีการกำหนดความสูงอาคาร รวมถึงยังไม่มีการควบคุมขนาดพื้นที่อาคารรวม ในขณะเดียวกันมีการควบคุมความสูงและขนาดพื้นที่อาคารรวมในบางพื้นที่ของผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ เช่น พื้นที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรมหนาแน่นมากตามแนวถนนห้วยแก้ว ทั้ง2 ฝั่ง แนวถนนสุเทพฝั่งทิศใต้ เนื่องจากถ้าหากมีการสร้างอาคารสูงจะส่งผลกระทบต่อการรับรู้ การมองเห็นดอยสุเทพ ซึ่งเป็นสิ่งสถานที่ที่สำคัญของเมืองเชียงใหม่ อีกทั้งยังขัดขวางการไหลเวียนของลม การระบายอากาศระหว่างพื้นที่เมืองและพื้นที่สีเขียวบริเวณข้างเคียง



ภาพที่ 141 แสดงการควบคุมความสูงในระยะ 100 เมตร จากที่ดินสถาบันศาสนา โดยกำหนดความสูงที่ 12.00 เมตร
ที่มา : ผู้วิจัย

3) กฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522

พบว่ามีการกำหนดค่า FAR (Floor Area Ratio) ของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีค่าสูงสุดของอัตราสวนพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นต่อพื้นที่ดินของอาคารทุกหลังที่ก่อสร้างขึ้นในที่ดินแปลงเดียวกันไมเกิน 10 ต่อ 1 ในส่วนของอัตราส่วนของพื้นที่ว่างต่อพื้นที่อาคารรวม OSR (Open Space Ratio) ของอาคารอยูอาศัยต้องมีที่วางอันปราศจากสิ่งปกคลุม 30 % ของพื้นที่ดิน และอาคารพาณิชย โรงงาน อาคารสาธารณะและอาคารอื่นที่ไม่ได้ใช้เปนที่อยูอาศัย ต่องมีที่วางอันปราศจากสิ่งปกคลุมไมน่อยกว่า 10% ของพื้นที่ดินแปลงนั้น ในกรณีที่อาคารนั้นใช้อยู่อาศัยด้วยให้จะต้องมีที่วางอันปราศจากสิ่งปกคลุม 30 % ของพื้นที่ดิน สำหรับค่า BCR (Building Coverage Ratio) อัตราส่วนของพื้นที่อาคารคลุมดินต่อพื้นที่ของแปลงที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร นั้นไม่มีกำหนดไว้โดยตรงในกฎหมายควบคุมอาคาร

4) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

จากการทบทวนพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) พบว่ามีการแก้ไขอัตราส่วนของพื้นที่ว่างต่อพื้นที่อาคารรวม OSR (Open Space Ratio) ของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ดังต่อไปนี้ สวนที่เป็นขอบเขตนอกสุดของอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษ ไม่ว่าจะอยู่ในระดับเหนือพื้นดินหรือต่ำกว่าระดับพื้นดินต้องห่างจากเขตที่ดินของผู้อื่นหรือถนนสาธารณะไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร ทั้งนี้ไมรวมถึงส่วนที่เป็นรากฐานของอาคาร และพื้นดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคารต้องมีค่าสูงสุดของอัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมกันทุกชั้นของอาคารทุกหลังต่อพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร ไมเกิน 10 ตอ 1

โดยอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องมีที่ว่างไมน้อยกว่าอัตราส่วนดังต่อไปนี้

(1) อาคารที่อาศัยอยู่ต้องมีที่ว่างไมน้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร

(2) อาคารพาณิชย์ โรงงาน อาคารสาธารณะ และอาคารอื่นที่ไมไดใช้เป็นที่อยู่อาศัยต้องมีที่ว่างไมน้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคาร แต่ถ้าอาคารนั้นใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมอยู่ด้วยต้องมีที่ว่างตามข้อ (1)

สำหรับค่า BCR (Building Coverage Ratio) อัตราส่วนของพื้นที่อาคารคลุมดินต่อพื้นที่ของแปลงที่ดินที่ใช้เป็นที่ตั้งอาคารนั้นสามารถตีความได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ว่างต่อพื้นที่อาคารรวม OSR (Open Space Ratio)

5) กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543)

พบว่ามีการกำหนดขนาดอาคาร ห้องแถวหรือตึกแถว จะต้องมีความยาวตามแนวถนนไม่เกิน 40.00 เมตร และต้องเว้นที่ว่างระหว่างอาคารอย่างน้อย 4.00 เมตร เปนชองตลอดความลึกของห้องแถวหรือตึกแถว เพื่อเชื่อมกับที่ว่างหลังอาคาร และระยะร่นของอาคารจากถนนสาธารณะ ดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 แสดงระยะร่นของอาคารจากถนนสาธารณะในพื้นที่ศึกษา

ถนน	ความกว้างถนน(เมตร)	ระยะร่น(เมตร)
ถนนช้างคลาน	14	≥ 1.40
ถนนท่าแพ ซอย1	8	≥2.00
ถนนลอยเคราะห์	12	≥1.20
ถนนเจริญประเทศ ซอย 6	5	≥3.5

ที่มา : ผู้วิจัย

6) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2550)

จากการทบทวนพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) พบว่ามีการประกาศข้อบังคับเกี่ยวกับผนังของอาคารด้านที่มีหน้าต่าง ประตู ชองระบายอากาศหรือชองแสง หรือระเบียงของอาคารต้องมีระยะห่างจากผนังของอาคารอื่นด้านที่มีหน้าต่าง ประตู ชองระบายอากาศหรือชองแสงหรือระเบียงของอาคาร ซึ่งการวิจัยนี้มุ่งศึกษารูปทรงของอาคารเท่านั้น ดังนั้นข้อบังคับดังกล่าวจึงอยู่นอกเหนือวัตถุประสงค์ของการวิจัย

7) เทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ พ.ศ. 2557

จากการทบทวนเทศบัญญัติเทศบาลนครเชียงใหม่ เรื่อง กำหนดบริเวณห้ามก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้อาคารบางชนิด หรือบางประเภท ในท้องที่ตำบลศรีภูมิ ตำบลสุเทพ ตำบลช้างม่อย ตำบลพระสิงห์ ตำบลช้างคลาน และตำบลหายยา ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ.2557 พบว่าพื้นที่ศึกษาไม่อยู่ในพื้นที่ที่กฎหมายดังกล่าวมีผลบังคับใช้

ผลการทบทวนกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอาคารในพื้นที่ย่านช้างคลาน พบว่ายังไม่มีการควบคุมความสูงของอาคาร อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor Area Ratio: FAR) ,อัตราส่วนพื้นที่โล่งต่อพื้นที่อาคารรวม (Open Space Ratio: OSR), ระยะห่างหระหว่างตึกแถว ตามแนวถนนช้างคลาน ตามกฎหมายหรือพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

จากการลงพื้นที่สำรวจสภาพพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลานมีอาคารขนาดใหญ่หลายอาคาร แต่อาคารเหล่านั้นถูกสร้างขึ้นก่อนที่จะบังคับใช้กฎหมายผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 ซึ่งไม่มีผลบังคับใช้ย้อนหลัง ประกอบกับย่านช้างคลานเป็นย่านพาณิชยกรรมที่มีมูลค่าที่ดินสูง บางอาคารจึงมีการปลูกสร้างอาคารเต็มพื้นที่แปลงที่ดินไม่มีการเว้นระยะห่างระหว่างซึ่งส่งผลต่อการระบายอากาศ และในกรณีฉุกเฉินไฟไหม้อาจทำให้ไฟลุกลามขยายวงกว้างอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดความเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร ทั้งยังส่งผลต่อการระบายอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลานด้วย

4.3.2 การปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร

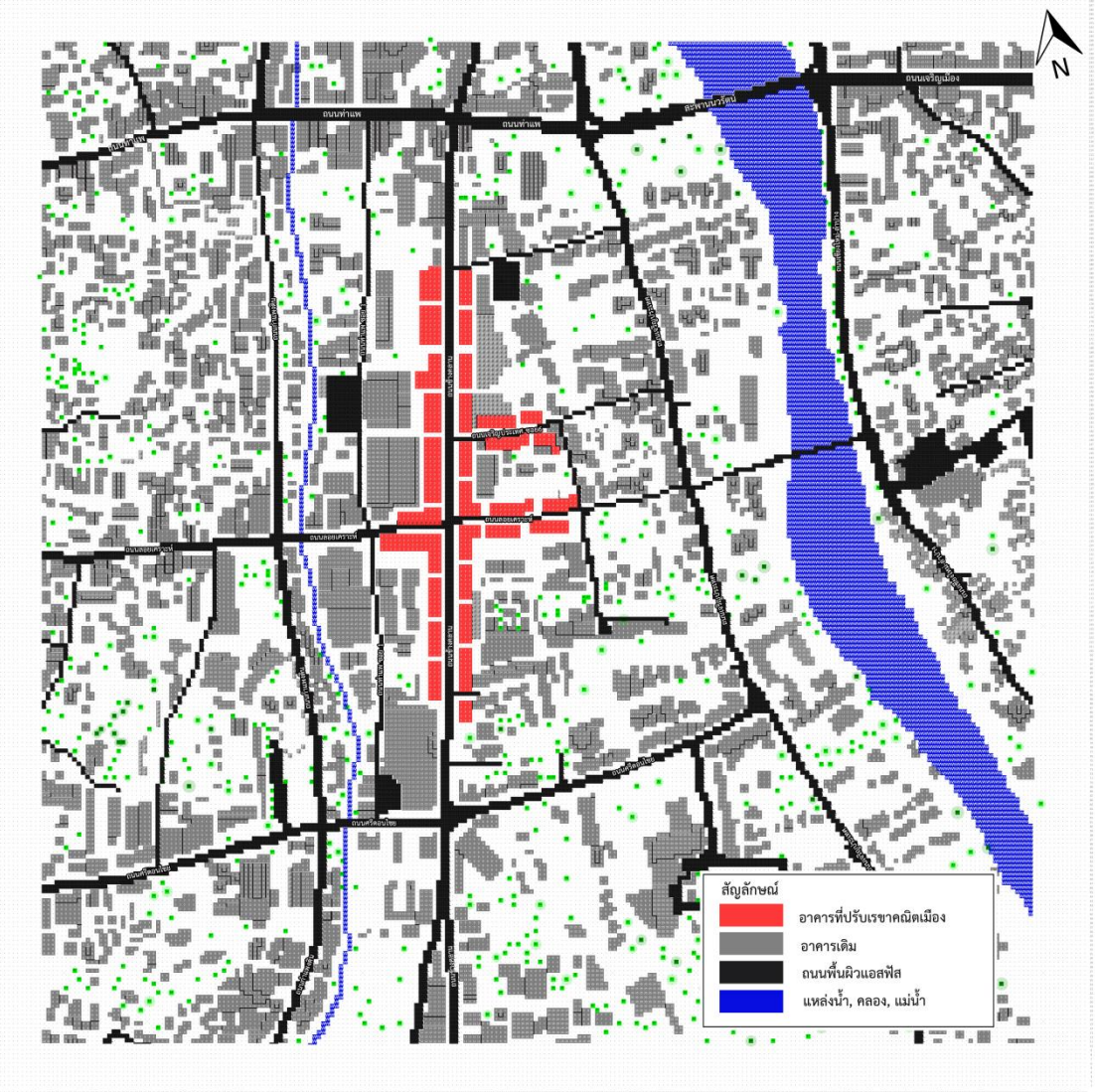
การปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองเพื่อปรับปรุงสภาพจุลภูมิอากาศ ตามวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะด้านรูปแบบของรูปทรงเรขาคณิตที่เหมาะสม ที่ส่งเสริมคุณภาพอากาศและนำไปสู่ความสามารถในการลดอุณหภูมิของพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน โดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินและพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

การศึกษาในขั้นตอนนี้ใช้การจำลองสภาพจุลภูมิอากาศด้วยโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั้น 4 ที่มีการปรับรูปทรงเรขาคณิตเมืองทั้งสองฝั่งของถนนที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ คือ ถนนช้างคลาน และถนนที่วางตัวตามแนวตะวันออก-ตะวันตก คือ ถนนลอยเคราะห์และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 โดยความกว้างของถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมที่มีคนเข้ามาใช้พื้นที่ หรือสัญจรผ่านจะอยู่บนถนนดังกล่าว โดยความกว้างปัจจุบันของถนนช้างคลาน 12.00 เมตร จำเป็นต้องมีระยะร่น 1/10 ของถนน ซึ่งเป็นทางเท้าฝั่งละ 1.20 เมตร รวมทั้งสิ้น 14.00 เมตร ส่วนความกว้างของถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกอ้างอิงตามถนนเจริญประเทศ ซอย 6 กว้าง 5.00 เมตร ต้องร่นแนวอาคารจากกึ่งกลางถนนอย่างน้อย 6.00 เมตร รวมทั้งสองฝั่งถนน 12.00 เมตร และความกว้างของถนนลอยเคราะห์ (บริเวณจุดตัดกับถนนช้างคลาน) กว้าง 12.00 เมตร ระยะร่น 1.20 เมตร ทั้ง 2 ฝั่งถนน (ภาพที่ 142) และความสูงของอาคารสูงสุดจะมีความสูงเป็น 2 เท่าของความกว้างถนนสาธารณะ ดังนั้นอาคารสามารถมีความสูงได้ไม่เกิน 24.00 เมตร ซึ่งการศึกษานี้จะทดสอบเปรียบเทียบรูปทรงอาคารที่มีความสูงจากระดับพื้นถึงยอดผนังชั้นบนสุดของอาคาร รวมทั้งสิ้น 5 รูปทรงเรขาคณิตเมือง ดังนี้

รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 ประกอบด้วยอาคาร 2 ชั้น สูง 7.00 เมตร
รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 ประกอบด้วยอาคาร 3 ชั้น สูง 11.00 เมตร
รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ประกอบด้วยอาคาร 4 ชั้น สูง 14.00 เมตร
รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.4 ประกอบด้วยอาคาร 4 ชั้น สูง 14.00 เมตร
รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.9 ประกอบด้วยอาคาร 6 ชั้น สูง 21.00 เมตร

จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองดังกล่าว อาคารจัดอยู่ในประเภทตึกแถวหรือห้องแถว การเว้นระยะห่างระหว่างอาคารแต่ละหลังที่มีจำนวน 10 คูหา กว้างคูหาละ 4.00 เมตร รวมความยาวอาคารทั้งสิ้น 40.00 เมตร จะต้องมีการเว้นช่องว่างระหว่างอาคารอย่างน้อย 4.00 เมตร

จากภาพที่ 142 แสดงตำแหน่งอาคารที่มีการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแบบจำลองโมดูล์ Space ของโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั้น 4 นั้นจะอ้างอิงตามแนวถนนปัจจุบัน และกลุ่มอาคารและสภาพแวดล้อมยังคงสภาพเดิม และเพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงเรขาคณิตเมืองจึงตัดปัจจัยด้านพืชพรรณในบริเวณถนนช้างคลาน ถนนลอยเคราะห์และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ออกไปเพื่อลดปัจจัยแทรกซ้อนดังกล่าว

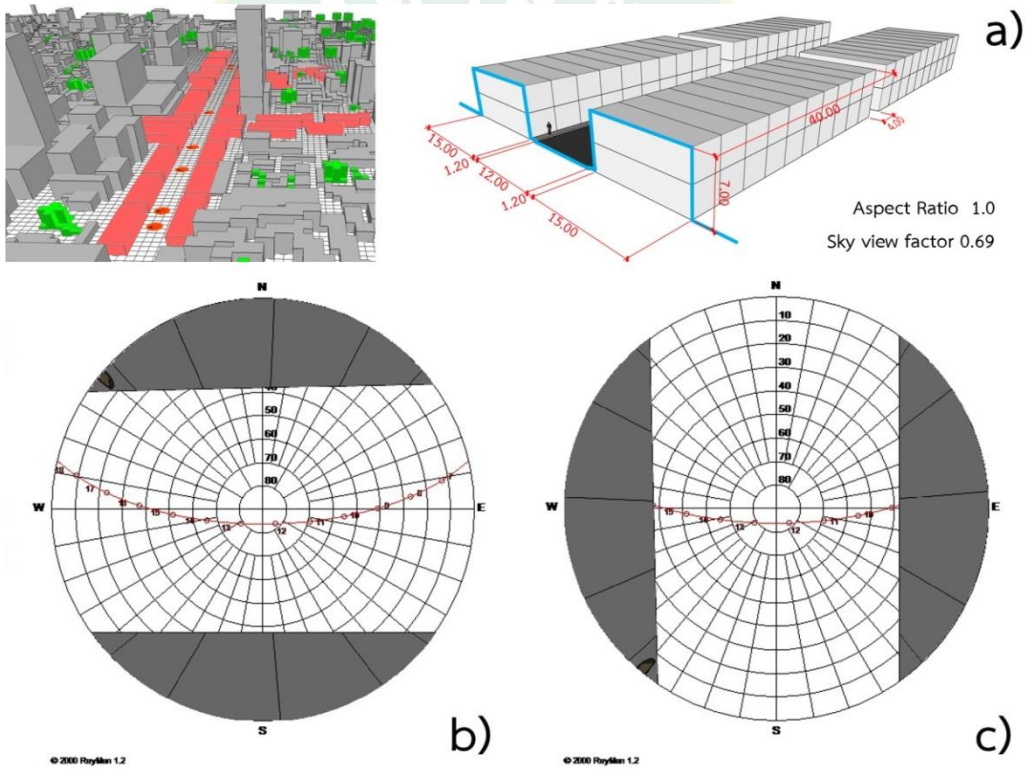


ภาพที่ 142 แสดงตำแหน่งอาคารที่มีการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแบบจำลองโปรแกรม ENVI-met เวอร์ชั้น 4

ที่มา : ผู้วิจัย

1) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0

รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 2 ชั้น สูง 7.00 เมตร จำนวน 10 คูหา กว้างคูหาละ 4.00 เมตร รวมความยาวอาคารทั้งสิ้น 40.00 เมตร และเว้นช่องว่างระหว่างอาคาร 5.00 เมตร โดยอาคารวางตัวตามแนวถนนในทิศเหนือ-ทิศใต้ กับทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ในแง่ Sky view factor ของเรขาคณิตเมือง 1.0 มีค่าเท่ากับ 0.69 ทั้งสองทิศทางของแนวถนน ตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 7.00-18.00 น. และแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 9.00 – 15.30 น.

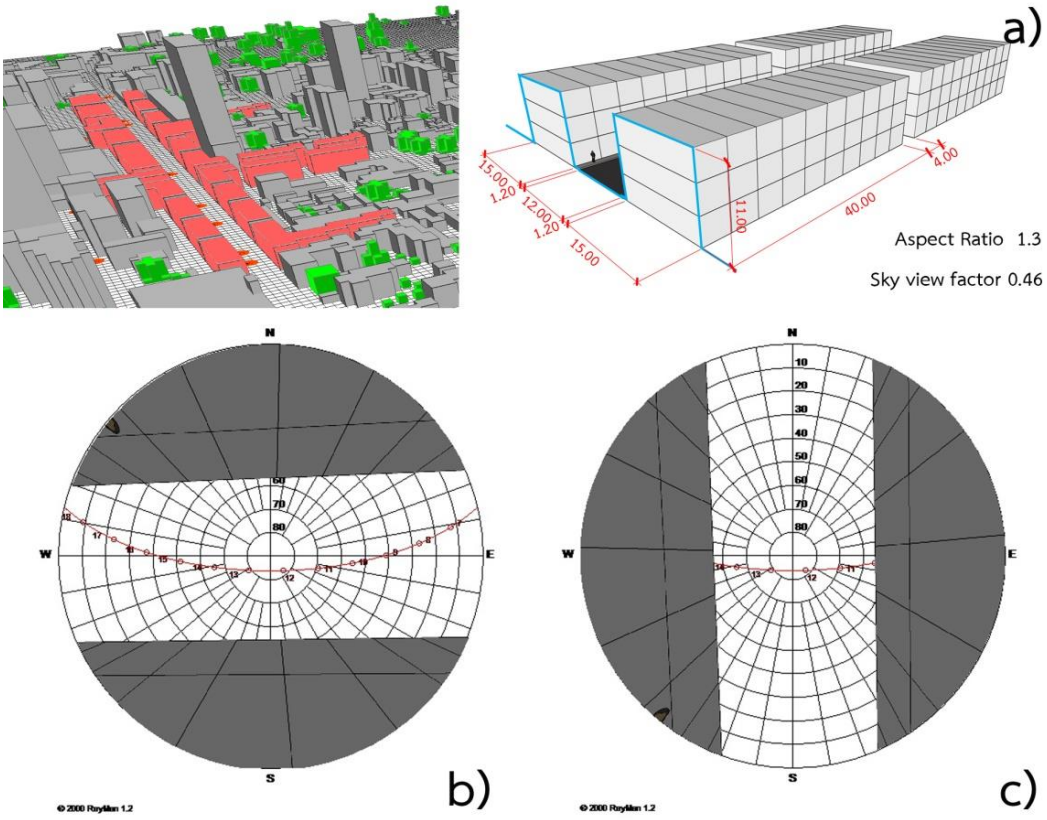


ภาพที่ 143 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

2) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3

รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 3 ชั้น สูง 11.00 เมตร จำนวน 10 คูหา กว้างคูหาละ 4.00 เมตร รวมความยาวอาคารทั้งสิ้น 40.00 เมตร และเว้นช่องว่างระหว่างอาคาร 5.00 เมตร โดยอาคารวางตัวตามแนวถนนในทิศเหนือ-ทิศใต้ กับทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และ Sky view factor ของเรขาคณิตเมือง 1.3 มีค่าเท่ากับ 0.46 ทั้งสองทิศทางของแนวถนน ตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 7.00-18.00 น. และแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 11.00 – 14.30 น.

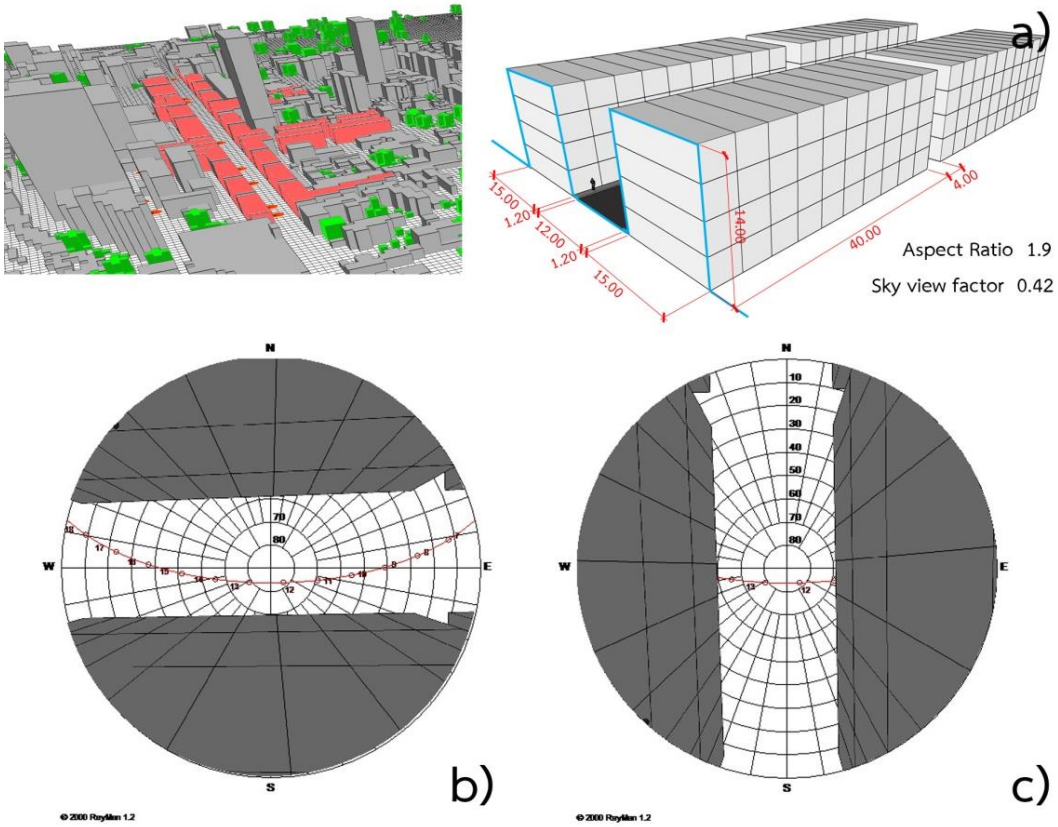


ภาพที่ 144 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

3) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9

รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 4 ชั้น สูง 14.00 เมตร จำนวน 10 คูหา กว้างคูหาละ 4.00 เมตร รวมความยาวอาคารทั้งสิ้น 40.00 เมตร และเว้นช่องว่างระหว่างอาคาร 5.00 เมตร โดยอาคารวางตัวตามแนวถนนในทิศเหนือ-ทิศใต้ กับทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และ Sky view factor ของเรขาคณิตเมือง 1.9 มีค่าเท่ากับ 0.42 ทั้งสองทิศทางของแนวถนน ตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 8.00-18.00 น. และแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 11.00 – 14.00 น.

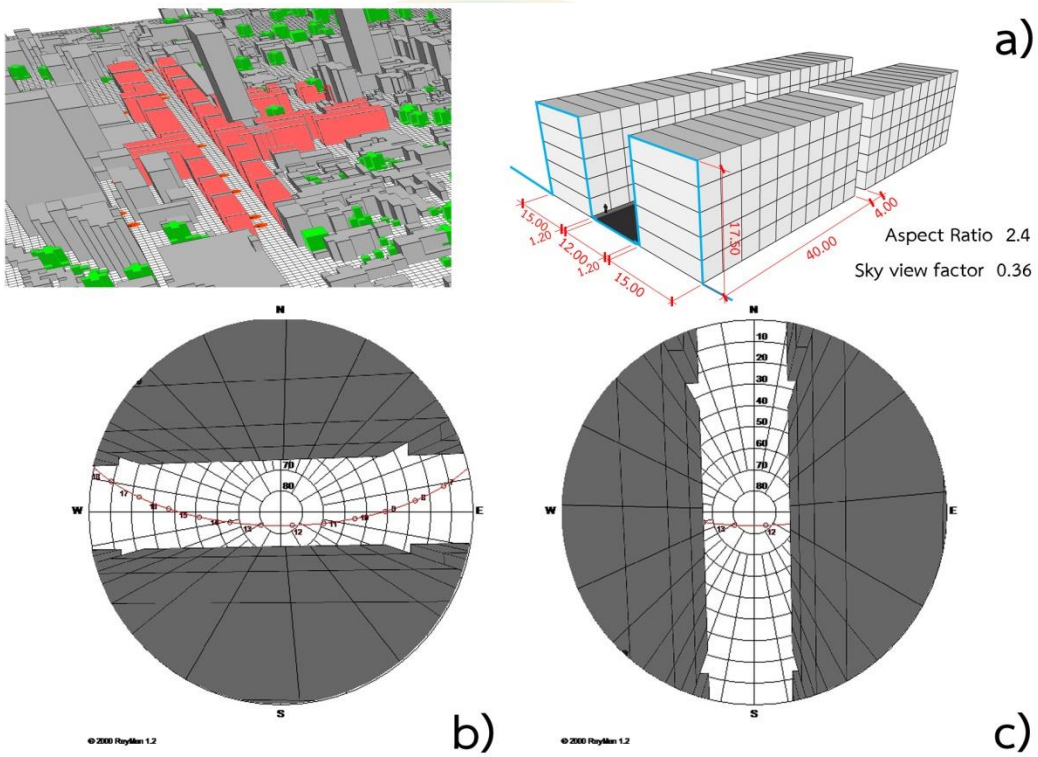


ภาพที่ 145 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

4) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.4

รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.4 ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 4 ชั้น สูง 14.00 เมตร จำนวน 10 คูหา กว้างคูหาละ 4.00 เมตร รวมความยาวอาคารทั้งสิ้น 40.00 เมตร และเว้นช่องว่างระหว่างอาคาร 5.00 เมตร โดยอาคารวางตัวตามแนวถนนในทิศเหนือ-ทิศใต้ กับทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก จากรูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.4 ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 7.00-17.00 น. และแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 11.30 – 13.40 น. Sky view factor ของเรขาคณิตเมือง 2.4 มีค่าเท่ากับ 0.36 ทั้งสองทิศทางของแนวถนน

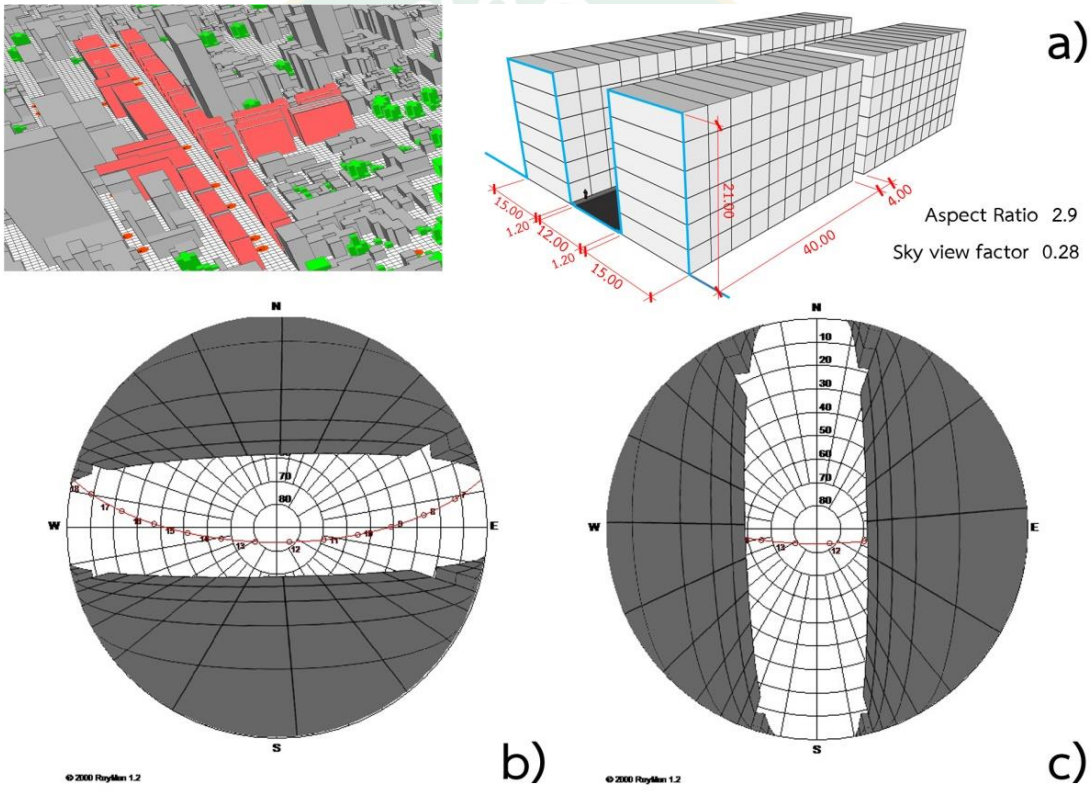


ภาพที่ 146 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.4 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

5) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.9

รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.9 ประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ 6 ชั้น สูง 21.00 เมตร จำนวน 10 คูหา กว้างคูหาละ 4.00 เมตร รวมความยาวอาคารทั้งสิ้น 40.00 เมตร และเว้นช่องว่างระหว่างอาคาร 5.00 เมตร โดยอาคารวางตัวตามแนวถนนในทิศเหนือ-ทิศใต้ กับทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ในแง่ Sky view factor ของเรขาคณิตเมือง 2.9 มีค่าเท่ากับ 0.28 ทั้งสองทิศทางของแนวถนน จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.9 ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 7.00-17.00 น. และแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งแต่ 11.20 – 13.40 น.

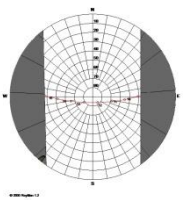
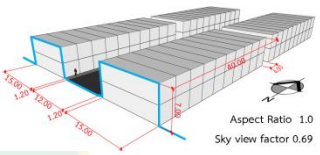
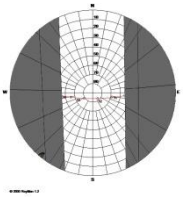
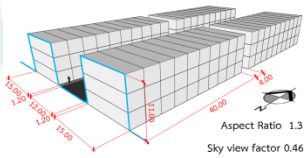
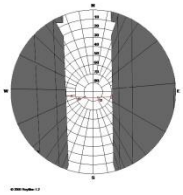
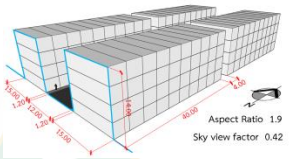
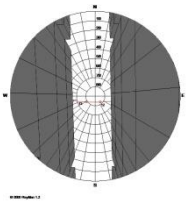
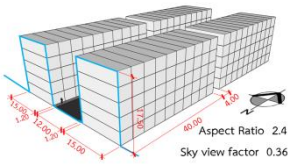
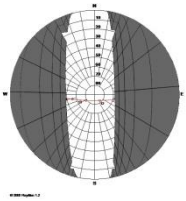
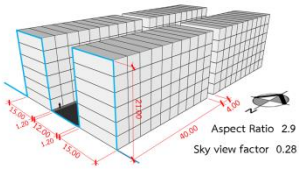


ภาพที่ 147 แสดงการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร a) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.9 b) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก C) Sky view factor บริเวณกลางถนนแนวทิศเหนือ-ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

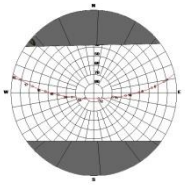
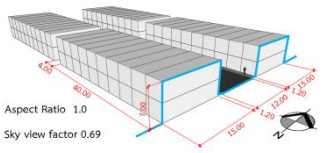
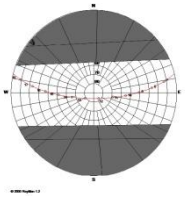
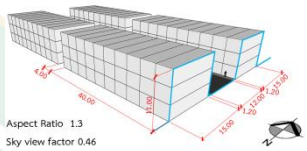
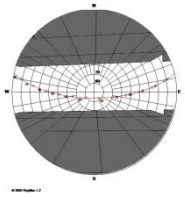
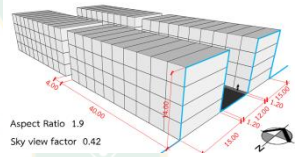
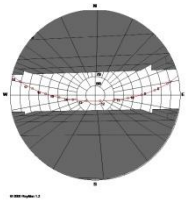
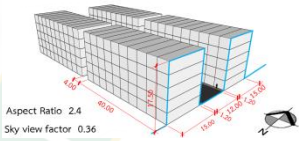
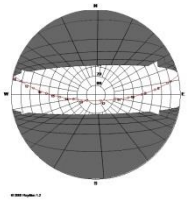
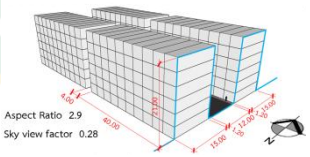
จากการทบทวนกฎหมายที่มีผลบังคับเกี่ยวรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน สามารถปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองได้ดังตาราง ที่ 31 และ 32

ตารางที่ 31 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงด้วยกฎหมาย ตามแนวถนนเหนือ - ใต้

พื้นที่ตัวอย่าง	Sky view factor (SVF)		Aspect ratio (h/w)	
N-S 1.0	0.69		1.0	
N-S 1.3	0.46		1.3	
N-S 1.9	0.42		1.9	
N-S 2.4	0.36		2.4	
N-S 2.9	0.28		2.9	
Mean	**0.33**		**1.85**	

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 32 แสดงปัจจัยการบดบังท้องฟ้า (Sky view factor) และอัตราส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมือง (Aspect ratio) จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงด้วยกฎหมาย ตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก

พื้นที่ตัวอย่าง	Sky view factor (SVF)		Aspect ratio (h/w)	
N-S 1.0	0.69		1.0	
N-S 1.3	0.46		1.3	
N-S 1.9	0.42		1.9	
N-S 2.4	0.36		2.4	
N-S 2.9	0.28		2.9	
Mean	**0.33**		**1.85**	

ที่มา : ผู้วิจัย

4.3.3 ผลกระทบของเรขาคณิตเมืองต่อสภาพอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน

จากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศของย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ในฤดูร้อน วันที่ 24 เมษายน 2560 ในกรณีสภาพเรขาคณิตเมืองปัจจุบัน ทั้ง 8 รูปทรงเรขาคณิตเมือง และกรณีการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง โดยอ้างอิงตามกฎหมายควบคุมอาคาร รวม 12 รูปทรงเรขาคณิตเมือง และการวางตัวของแนวถนน คือ ถนนช้างคลาน ถนนท่าแพซอย 1 ในแนวเหนือ-ใต้ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ถนนลอยเคราะห์ ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ทั้งหมด 12 รูปทรงเรขาคณิตเมือง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของย่านช้างคลาน โดยพิจารณาจาก 5 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ผู้วิจัยจึงได้นำผลจากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศทั้ง 2 กรณี มาเปรียบเทียบเพื่อหาอิทธิพลและความแตกต่างของแต่ละปัจจัย รวมถึงทิศทางการวางตัวของถนน ดังนี้

1) อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

1.1) อุณหภูมิอากาศของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากการจำแนกเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ตามแนวถนนเหนือ - ใต้ทั้ง 6 ตัวอย่าง คือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8, 1.2, 1.0, 1.3, 4.5 และ 2.3 ตามลำดับ มีอุณหภูมิอากาศจากการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศเมือง ตั้งแต่เวลา 6.00 - 20.00 น. พบว่าในเวลา 6.00 น. มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 29.94 องศาเซลเซียส บริเวณที่อุณหภูมิต่ำสุดคือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (ตัวอย่าง D-D) 29.59 องศาเซลเซียส และสูงสุดคือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (ตัวอย่าง B-B) 30.12 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น โดยเวลา 16.00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงที่สุดของวัน อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุด 38.15 องศาเซลเซียส บริเวณที่อุณหภูมิต่ำสุดพบในรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (ตัวอย่าง E-E) 38.04 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดพบในรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (ตัวอย่าง D-D) 38.32 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงหลังพระอาทิตย์ตกและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในเวลา 16 ชั่วโมง มีรูปแบบที่เท่าเทียมกันทุกรูปทรงเรขาคณิตเมือง แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อีกทั้งในฤดูร้อนพื้นที่ตัวอย่างในแนวถนนเหนือ - ใต้ จะได้รับแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง ในช่วงเวลาประมาณ 10.00 - 14.45 น. เนื่องจากจะได้รับอิทธิพลจากเงาของอาคารทั้ง 2 ฝั่งของถนน จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (ตัวอย่าง D-D) นั้นในช่วงเช้ามีอุณหภูมิต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย แต่ในเวลา 16.00 น. มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ตัวอย่างอื่นๆ ของบริเวณตัวอย่างพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในถนนเหนือ-ใต้

ผลจากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง พบว่าอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นดิน 1.8 เมตร จากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9 ที่มีอุณหภูมิต่ำสุด เฉลี่ย 35.009 องศาเซลเซียส รองลงมาคือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 และ 1.0 อุณหภูมิเฉลี่ย 35.038 และ 35.152 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4 และ2.9 มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในแง่ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามช่วงเวลา พบว่าเวลา 6.00 น. มีอุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น โดยสูงที่สุดในเวลา 15.00-16.00 น. และจะลดต่ำลงอีกครั้งในเวลาหัวค่ำ

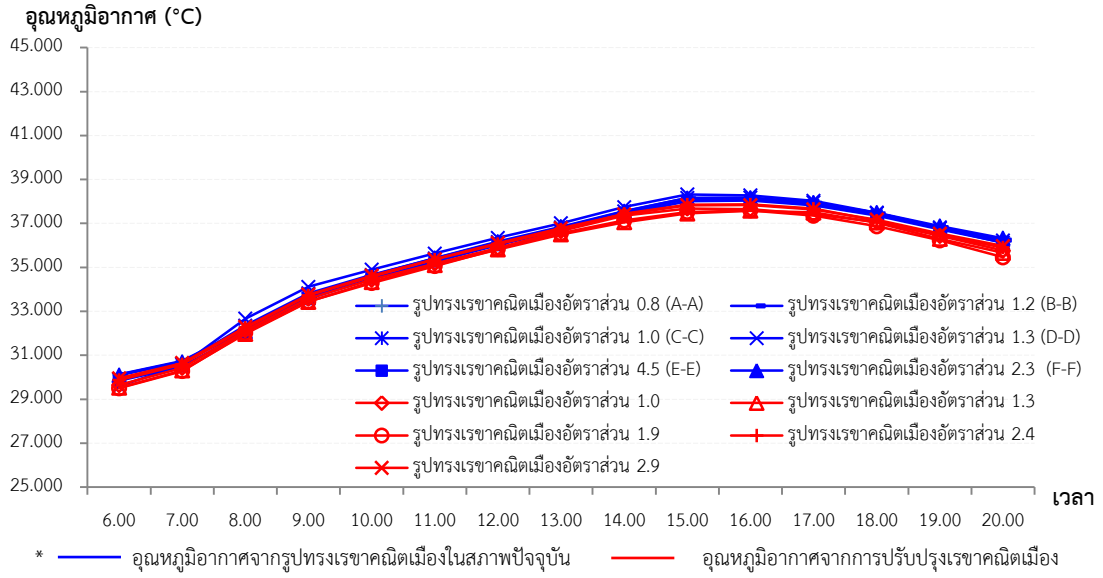
ผลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ พบว่ากรณีเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันมีอุณหภูมิต่ำสุด 29.59–30.13 องศาเซลเซียส ในเวลา 6.00 น. อุณหภูมิสูงสุด 38.04-38.32 องศาเซลเซียส ในเวลา 15.00 น. และอุณหภูมิเฉลี่ยรวม 35.46 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิอากาศสูงสุดพบในบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศ 38.32 องศาเซลเซียส ในเวลา 14.00 น. สำหรับกรณีการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีอุณหภูมิต่ำสุด 29.50 – 29.95 องศาเซลเซียส ในเวลา 6.00 น. อุณหภูมิสูงสุด 37.58–37.84 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ยรวม 35.19 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรวมจากรูปทรงเรขาคณิตเมืองของทั้งสองกรณีแตกต่างกัน 0.27 องศาเซลเซียสเท่านั้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 ของทั้งสองกรณี พบว่าในกรณีการปรับปรุงเรขาคณิตเมืองอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำกว่ากรณีเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ดังนี้ อุณหภูมิต่ำสุดลดลง 0.25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดลดลง 0.50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยลดลง 0.32 องศาเซลเซียส อีกทั้งรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 อุณหภูมิต่ำสุดลดลง 0.07 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดลดลง 0.74 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยลดลง 0.43 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 33)

ในแง่ของความแตกต่างในช่วงเวลา 6.00–20.00 น. พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในบริเวณเรขาคณิตเมืองมีลักษณะเดียวกัน โดยในช่วงเวลา 6.00–13.00 น. อุณหภูมิของทั้ง 2 กรณี แตกต่างกันเพียง 0.3-0.4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น เวลา 14.00–20.00 น. อุณหภูมิอากาศของกรณีการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน 0.3-0.7 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเว้นที่ว่างระหว่างอาคารตามที่กฎหมายควบคุมอาคารกำหนด ส่งผลให้พื้นที่บริเวณถนนมีการระบายอากาศดีขึ้น ทั้งยังช่วยให้อุณหภูมิอากาศลดลงด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 148)

ตารางที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน

	Geometry	Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	38.13	30.12	35.45	2.65
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	38.13	30.13	35.46	2.65
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	38.18	29.90	35.47	2.69
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	38.32	29.59	35.57	2.75
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	38.04	29.84	35.33	2.70
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	38.16	30.09	35.47	2.69
		38.16	29.95	35.46	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	37.68	29.65	35.15	2.62
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	37.58	29.52	35.04	2.62
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	37.59	29.50	35.01	2.62
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	37.86	29.87	35.30	2.60
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	37.84	29.95	35.33	2.58
		37.96	29.85	35.19	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 148 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

1.2) อุณหภูมิอากาศของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

จากการจำลองจุลภูมิอากาศเมืองจากเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ตามแนวถนนแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก 2 ตัวอย่าง คือ รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 และ 0.7 พบว่าเวลา 6.00 น. อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 29.89 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดของวัน 38.14 องศาเซลเซียส ในเวลา 16.00 น. ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศเท่ากันทั้ง 2 พื้นที่ตัวอย่าง อีกทั้งอุณหภูมิอากาศของทั้งสองตัวอย่างมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงภายในเวลา 16 ชั่วโมง มีแนวโน้มที่ท่าเทียมกับตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือ – ใต้

อุณหภูมิอากาศจากการปรับปรุงเรขาคณิตเมืองบนถนนลอยเคราะห์ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ในแนวตะวันออก-ตะวันตก พบว่าอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นดินบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9 มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่ำที่สุด 34.952 องศาเซลเซียส รองลงมาคือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 และ 1.0 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 35.085 – 35.170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเวลา 6.00 – 20.00 น. นั้นมีรูปแบบเช่นเดียวกันกับตัวอย่างเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน

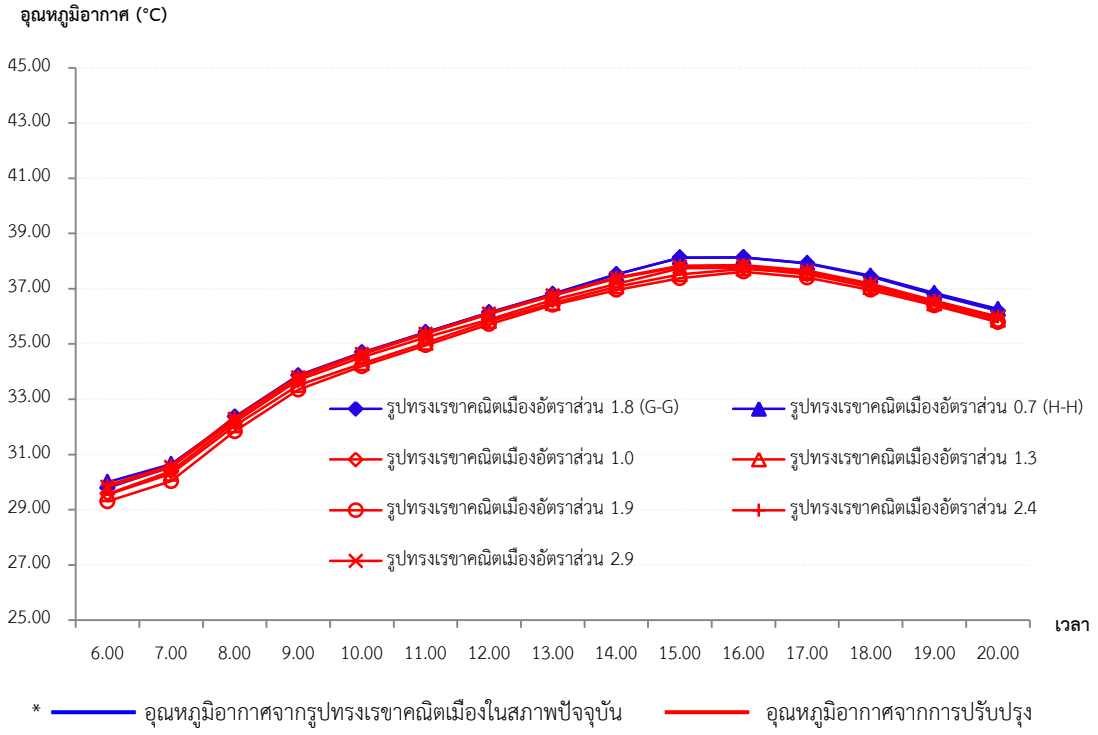
การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างสภาพปัจจุบันของย่านช้างคลานและการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันนั้นมีอาคารที่มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิตเมืองเพียง 2 อัตราส่วนเท่านั้น โดยมีอุณหภูมิต่ำสุด 29.79–30.00 องศาเซลเซียส สูงสุด 38.14 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ย 35.45 องศาเซลเซียส ซึ่งในขณะที่การปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีอุณหภูมิต่ำสุด 29.57-29.88 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 37.62-37.86 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ย 34.95-35.34 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 34)

เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาพบว่าการปรับปรุงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9 มีอุณหภูมิต่ำที่สุดตลอดทั้งวัน โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 37.62 องศาเซลเซียส ในเวลา 16.00 น. อุณหภูมิต่ำสุด 29.30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 16 ชั่วโมง 34.95 องศาเซลเซียส ด้านความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศของทั้ง 2 กรณี พบว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดแตกต่างกัน 0.37 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมินี้จะเริ่มขึ้นในเวลา 14.00 – 20.00 น. ของวันที่ศึกษา และอุณหภูมิเฉลี่ยรวมของช่วงเวลา 6.00-20.00 น. แตกต่างกัน 0.27 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 149)

ตารางที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของย่านช้างคลาน

	Geometry	Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	38.14	29.79	35.45	2.283
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	38.14	30.00	35.47	2.284
		38.14	29.90	35.46	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	37.77	29.57	35.17	2.632
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	37.72	29.55	35.09	2.643
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	37.62	29.30	34.95	2.694
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	37.86	29.88	35.34	2.595
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	37.83	29.82	35.30	2.605
		37.77	29.66	35.19	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 149 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย

2) การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

2.1) การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากการจำลองจุลภูมิอากาศเมืองในสภาพปัจจุบัน ผลการศึกษาปัจจัยด้านความชื้นสัมพัทธ์ความสูงเหนือพื้นดิน 1.8 เมตร ในพื้นที่ตัวอย่างตามแนวถนนเหนือ - ใต้ พบว่าช่วงเช้าของบริเวณพื้นที่เรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด 45.95 % รองลงมาคือเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 45.81% สาเหตุอาจเนื่องจากทั้งสองบริเวณตัวอย่างมีกลุ่มพืชพรรณตามแนวทางเดินเท้าด้านซ้ายของถนนบริเวณ ในรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E) นั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ 45.02% เนื่องจากกระแสลมพัดนำพาความชื้นสัมพัทธ์มาจากกลุ่มพืชพรรณบริเวณด้านหน้าโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน ประกอบกับอาคารสูงทั้งสองฝั่งของถนนทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงช้ากว่าพื้นที่ศึกษาอื่น ในขณะเดียวกันบริเวณเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8, 1.2, และ 2.3 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เท่าเทียมกัน หลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะค่อยๆ ลดลง และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ตัวอย่างได้รับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ หลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะค่อยเพิ่มขึ้น โดยมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมือนกันตลอดทั้งวัน

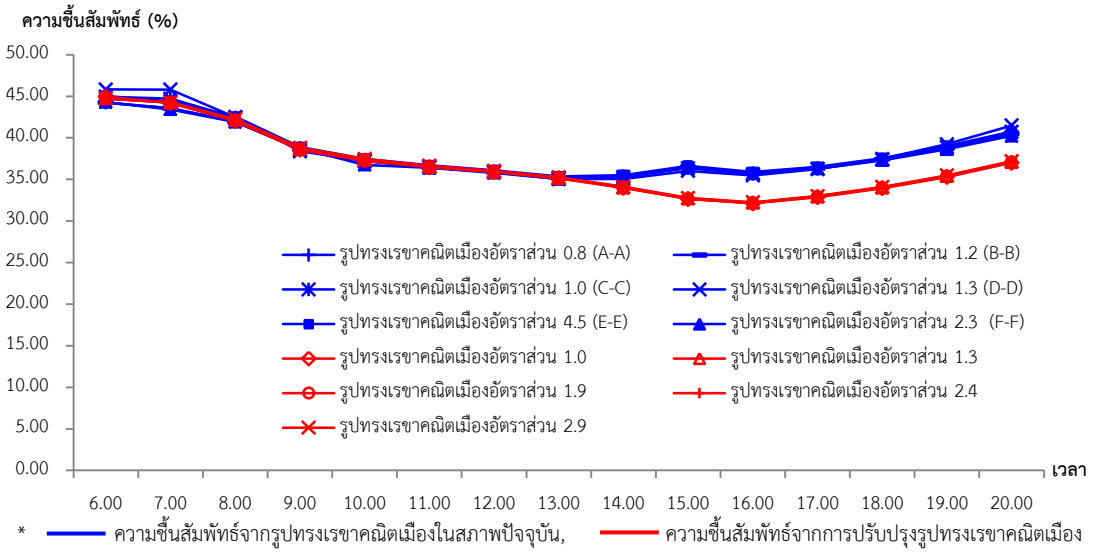
จากการปรับปรุงเรขาคณิตเมืองเพื่อปรับปรุงจุลภูมิอากาศย่านช้างคลาน ผู้วิจัยได้ตัดตัวแปรด้านพืชพรรณ และแหล่งน้ำออกจากพื้นที่บริเวณถนนช้างคลาน ถนนลอยเคราะห์ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 เพื่อให้ผลที่ได้จากการจำลองภูมิอากาศเป็นผลจากอิทธิพลจากปัจจัยด้านเรขาคณิตเมืองเท่านั้น ผลจากแบบจำลองพบว่าตัวอย่างเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เหนือพื้นดิน 1.8 เมตร มีค่าเฉลี่ย 36-81-36.95 % ซึ่งมีความใกล้เคียงกันมาก โดยเวลา 6.00 น. เป็นเวลาที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุด และจะค่อยๆลดลงต่ำที่สุดในเวลา 15.00-16.00 น. และหลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะความสัมพันธ์แบบผกผันกับอุณหภูมิอากาศ (ตารางที่ 35)

ผลการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง พบว่าตั้งแต่เวลา 6.00 – 13.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในทุกๆตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีค่าที่เท่าเทียมกัน โดยความชื้นสัมพัทธ์ค่อยๆลดลง หลังจากนั้นเวลา 14.00-20.00 น. เริ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลงมากกว่าตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน ซึ่งแตกต่างกัน 1.47 % ความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพของสิ่งปกคลุมดินและพืชพรรณ รวมถึงสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ (ภาพที่ 150)

ตารางที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	44.24	35.15	38.25	2.575
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	44.22	35.14	38.24	2.575
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	44.95	35.16	38.41	2.871
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	45.81	35.03	38.53	3.204
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	45.02	35.35	38.55	2.740
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	44.30	35.04	38.15	2.570
		44.76	35.15	38.36	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	44.93	32.12	36.82	4.034
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	44.72	32.17	36.85	4.008
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	44.72	32.17	36.86	4.006
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	44.74	32.21	36.91	4.002
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	44.75	32.25	36.96	3.993
		44.77	32.19	36.89	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 150 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

2.2) การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

จากการจำลองจุลภูมิอากาศเมืองในสภาพปัจจุบัน พบว่าความชื้นสัมพัทธ์บริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก พบว่าเรขาคณิตเมือง 1.8 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38.51 % และเรขาคณิตเมือง 0.7 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 38.51 % โดยมีค่าสูงที่สุดในเวลา 6.00 น. และต่ำสุดในเวลา 13.00 น. มีรูปแบบเหมือนกันตลอดทั้งวัน อีกทั้งมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่เหมือนกับตัวอย่างเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือ – ใต้ สาเหตุอาจเนื่องมาจากลักษณะเรขาคณิตเมืองมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันมาก และปัจจัยทางกายภาพในบริเวณใกล้เคียงกันอาจส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 36)

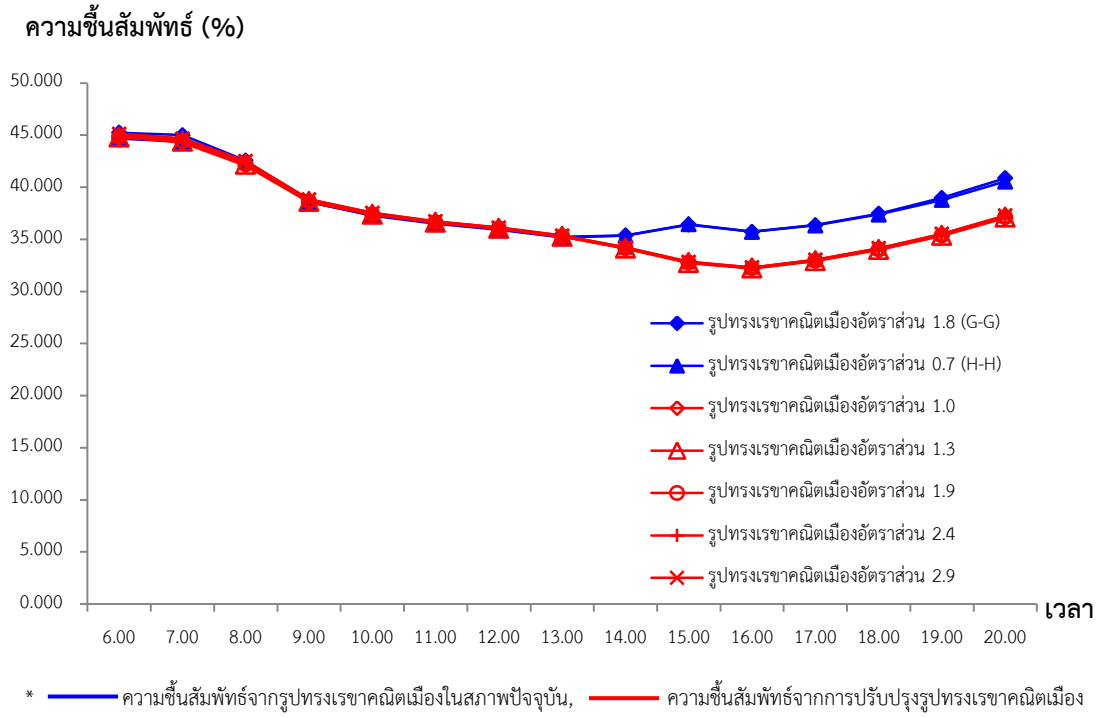
ในขณะเดียวกันจากการปรับปรุงเรขาคณิตเมืองบนแนวตะวันออก-ตะวันตก โดยไม่มีปัจจัยด้านพืชพรรณ พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ค่าใกล้เคียงกันในทุกๆบริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมือง โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 36.89 – 37.08 % รูปแบบการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เวลา 6.00 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุดของผลที่ได้จากแบบจำลอง หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลงต่ำสุดในเวลา 16.00 น. และจะเพิ่มสูงขึ้น โดยเวลา 20.00 น. มีความชื้นสัมพัทธ์ 37.00-37.27 % (ตารางที่ 36)

เมื่อนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองมาเปรียบเทียบกัน พบว่าในช่วงเช้าเวลา 6.00-12.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์บริเวณตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองความสูงเหนือพื้นดิน 1.80 เมตร ของทั้งสองกรณีมีค่าเท่าเทียมกัน ส่วนช่วงเวลา 13.00-20.00 น. ตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าเล็กน้อย(ภาพที่ 151) อันเนื่องมาจากแบบจำลองการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองไม่มีปัจจัยด้านพืชพรรณในบริเวณพื้นที่ศึกษา จึงส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำกว่า โดยค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รวมมีความแตกต่างกัน 1.45 % จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านพืชพรรณมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์อย่างชัดเจน แต่ในขณะเดียวกันพืชพรรณอาจเป็นอุปสรรคต่อการไหลเวียนของกระแสลมในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer: UCL) ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	45.24	35.24	38.52	2.920
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	44.67	35.17	38.37	2.777
		44.95	35.20	38.44	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	44.89	32.20	36.89	4.012
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	44.80	32.24	36.94	4.017
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	44.80	32.24	36.94	4.017
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	44.97	32.26	37.01	4.063
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	45.12	32.30	37.08	4.101
		44.95	32.26	36.99	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 151 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย

3) การเปรียบเทียบความเร็วลม (Wind speed)

3.1) การเปรียบเทียบความเร็วลมของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากแบบจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาในสภาพปัจจุบันแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ตัวอย่างบริเวณถนนช้างคลานความเร็วลมเหนือพื้นดินความสูง 1.8 เมตร บริเวณเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B) มีความเร็วสูงที่สุด โดยเริ่มจากเวลา 6.00 น. ความเร็วลม 0.28 เมตร/วินาที และค่อยๆเพิ่มขึ้นสูงสุดเวลา 15.00-16.00 น. ที่มีความเร็วลม 0.51 เมตร/วินาที โดยพื้นที่รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3, 1.0 และ 0.8 มีความเร็วลมสูงสุด 0.48, 0.45 และ 0.45 เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งรูปทรงเรขาคณิตเมืองทั้ง 4 อัตราส่วนมีรูปแบบความเร็วลมที่เหมือนกัน ในขณะเดียวกันบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนท่าแพ ซอย 1 บริเวณเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E) มีความเร็วลมสูงสุด 0.46 - 0.53 เมตร/วินาที มีความเร็วค่อนข้างคงที่ เนื่องจากมีสภาพกายภาพเป็นอาคารสูง 19 เมตรทั้งสองฝั่งของถนน และถนนกว้าง 8 เมตร ซึ่งสภาพดังกล่าวมีลักษณะเป็นช่องแคบ ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเช้าเร็วกว่าบริเวณอื่น และในตัวอย่างเรขาคณิตเมือง 2.3(F-F) มีความเร็วลม 0.15-0.20 เมตร/วินาที ซึ่งต่ำที่สุดตลอดทั้งวัน

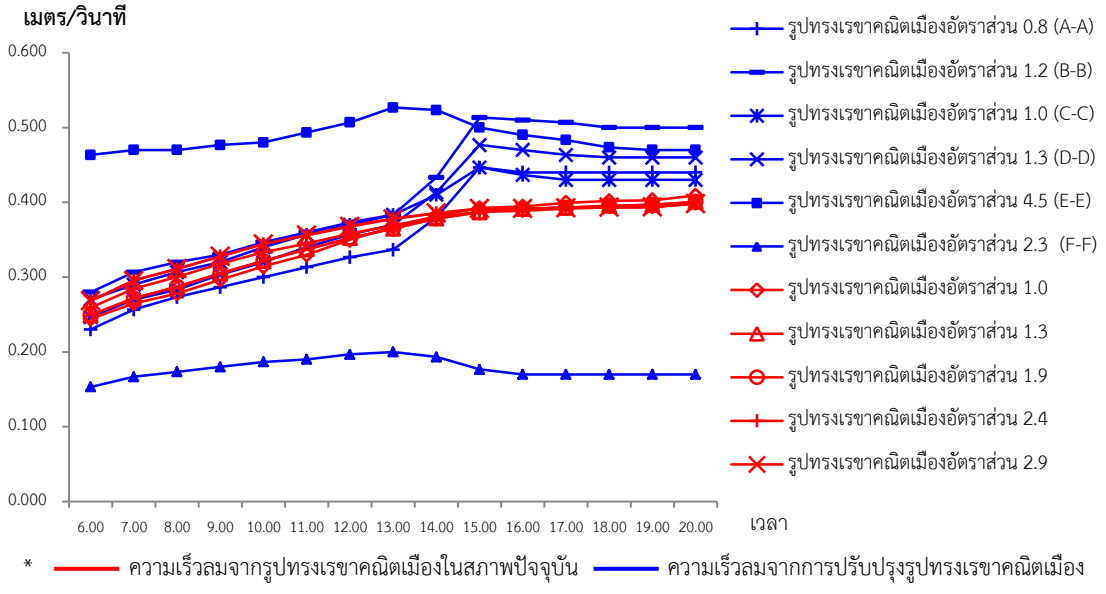
ผลจากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองด้วยแบบจำลองจุลภูมิอากาศ ในด้านปัจจัยความเร็วลมในบริเวณตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนช่างคลานที่มีการวางตัวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ พบว่าความเร็วลมมีความเร็วใกล้เคียงกันมาก มีความเร็วเฉลี่ย 0.34-0.360 เมตร/วินาที (ตารางที่ 37) เมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาจะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 6.00 - 14.00 น. ความเร็วลมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 3.3 มีความเร็วลมสูงที่สุด รองลงมาคือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4 และ 1.9 ตามลำดับ ส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0, 1.3 และ2.9 มีความเร็วลมที่เท่าเทียมกัน (ภาพที่ 152)

เมื่อนำผลการศึกษาของทั้งสองกรณีมาเปรียบเทียบกัน พบว่าความเร็วลมของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ใกล้เคียวกัน ระหว่าง 0.36-0.38 เมตร/วินาที มีเพียงสองรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันที่มีความแตกต่างจากเรขาคณิตเมืองอื่น คือ รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.3(F-F)และ 4.5 (E-E) จากผลของการจำลองภูมิอากาศของวันที่ 24 เมษายน 2560 รูปทรงเรขาคณิตเมืองมีผลต่อความเร็วของกระแสลม โดยเฉพาะในพื้นที่ว่างระหว่างอาคารที่แคบความเร็วลมจะสูงขึ้นเล็กน้อยมากกว่าในพื้นที่ที่เปิดกว้าง โดยความเร็วลมของย่านช้างคลานในฤดูร้อนมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำส่งผลให้การระบายความร้อนออกจากพื้นที่ได้ยากลำบากและมลภาวะถูกกักเก็บอยู่ภายในเมืองอันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

ตารางที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	0.45	0.23	0.36	0.071
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	0.51	0.28	0.41	0.079
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	0.45	0.27	0.38	0.052
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	0.48	0.25	0.38	0.074
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	0.53	0.46	0.49	0.019
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	0.20	0.15	0.18	0.011
		0.44	0.27	0.36	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	0.41	0.24	0.35	0.056
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	0.40	0.25	0.35	0.051
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	0.40	0.25	0.35	0.051
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	0.40	0.26	0.35	0.045
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	0.40	0.27	0.36	0.041
		0.401	0.257	0.353	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 152 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

3.2) การเปรียบเทียบความเร็วลมของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

จากแบบจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาในสภาพปัจจุบัน ความเร็วลมบริเวณถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก พบว่าความเร็วลมเหนือพื้นดินความสูง 1.8 เมตร ทั้งสองตัวอย่างเรขาคณิตเมือง 1.8 (G-G) และ 0.7 (H-H) มีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.18 เมตร/วินาที เนื่องจากแนวถนนขวางทิศทางลม ซึ่งในช่วงเวลา 6.00 – 12.00 น. ความเร็วลมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หลังจากเวลา 13.00 น. มีความเร็วลมลดลงเหลือเพียง 0.17-0.12 เมตร/วินาที และคงที่จนถึงช่วงหัวค่ำ

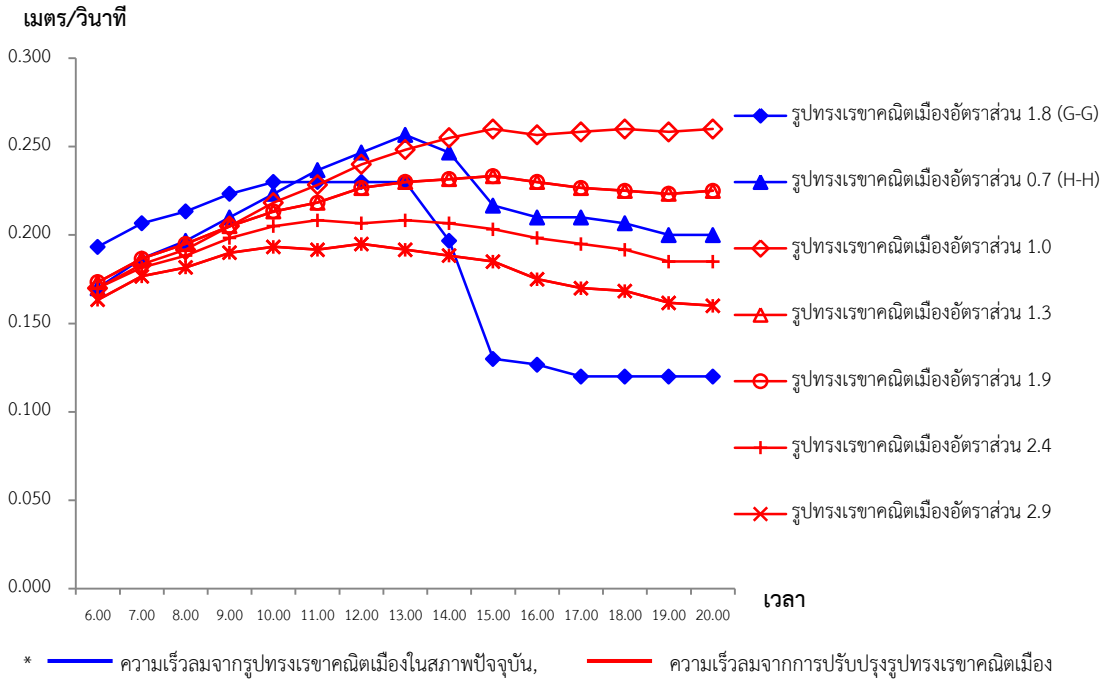
ผลจากการจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาหลังจากการปรับปรุงเรขาคณิตเมือง ในปัจจัยความเร็วลม บริเวณเรขาคณิตเมืองบนถนนลอยเคราะห์และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก พบว่าในบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองทุกๆตัวอย่างมีความเร็วลมที่ต่ำมากและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด 0.233 เมตร/วินาที รองลงมาคือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 และ 1.9 มีความเร็วลมเฉลี่ยเท่าเทียมกัน คือ 0.216 เมตร/วินาที รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4 ความเร็วลมเฉลี่ย 0.195 เมตร/วินาที และรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9 และ 3.3 มีค่าเท่ากัน 0.179 เมตร/วินาที (ตารางที่ 38) รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมช่วงเวลา 6.00-20.00 น. พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0, 1.3 และ 1.9 ความเร็วลมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและคงที่ในช่วงหัวค่ำ แต่ในขณะเดียวกันรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4, 2.9 และ 3.3 ความเร็วลมมีแนวโน้มลดต่ำลงในช่วงเวลา 13.00 น. (ภาพที่ 153)

จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0, 1.3 และ 1.9 มีความเร็วที่ดีกว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่น เนื่องจากในช่วงเวลาตั้งแต่ 15.00-20.00 น. ความเร็วลมยังมีความคงที่ ซึ่งต่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่นๆมีความเร็วลมลดลงอย่างชัดเจนแต่ถึงกระนั้นความเร็วลมของบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองทั้งหมดก็ยังเป็นความเร็วลมที่ต่ำมาก เนื่องจากในฤดูร้อนความเร็วลมในพื้นที่ย่านช้างคลานค่อนข้างต่ำ นอกจากนั้นความเร็วลมของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง บริเวณถนนลอยเคราะห์และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก นั้นมีความเร็วลมที่ต่ำกว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนที่วางตัวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ สาเหตุมาจากตัวอาคารขัดขวางการไหลของกระแสลมทำให้ความเร็วลมเหนือพื้นดิน 1.80 เมตร ซึ่งเป็นระดับที่มีกิจกรรมการใช้พื้นที่ในย่านช้างคลานมีความเร็วลมลดลง

ตารางที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	0.23	0.12	0.18	0.049
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	0.26	0.17	0.21	0.021
		0.24	0.15	0.20	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	0.26	0.17	0.23	0.032
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	0.23	0.17	0.22	0.018
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	0.23	0.17	0.22	0.018
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	0.21	0.17	0.20	0.012
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	0.20	0.16	0.18	0.012
		0.22	0.17	0.20	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 153 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย

4) ทิศทางลม (Wind direction)

4.1) การเปรียบเทียบทิศทางลมของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ผลจากการจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาในสภาพปัจจุบัน พบว่าทิศทางลมเหนือพื้นดินความสูง 1.8 เมตร บริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ กระแสลมพัดมาจากทางทิศเหนือ เฉลี่ย 11.32 องศา ตลอดทั้งช่วงเวลา 6.00-20.00 น. ในทุกๆ รูปทรงเรขาคณิตเมือง โดยมีสาเหตุอันเนื่องมาจากทิศทางของกระแสลมพัดมาตามแนวถนนช้างคลาน และถนนท่าแพซอย 1 (ตารางที่ 39)

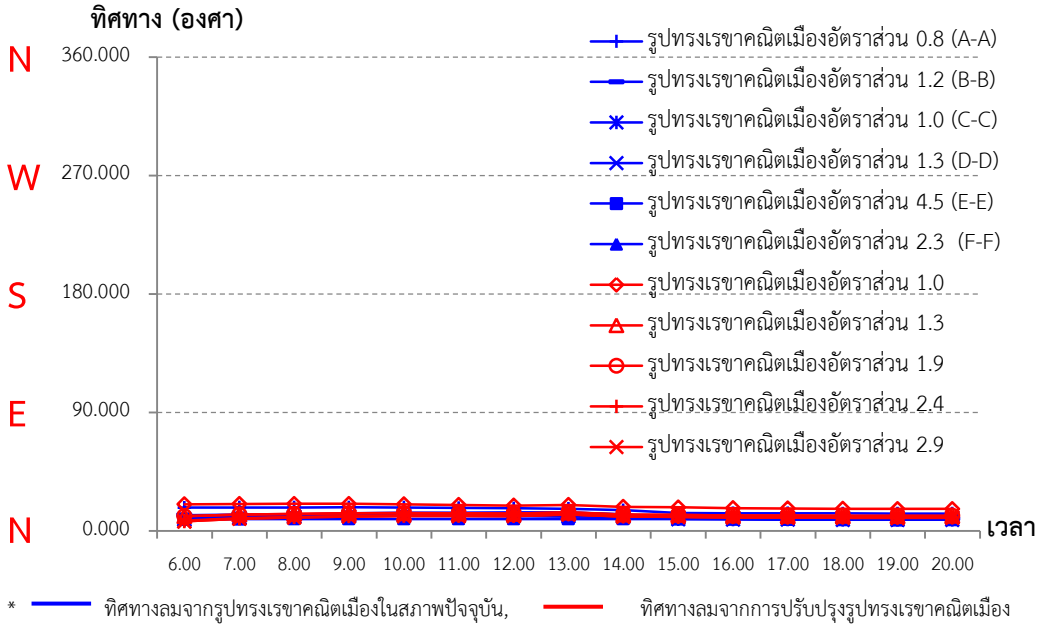
จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองเพื่อจำลองภูมิอากาศจุลภาคย่านช้างคลาน เมื่อพิจารณาผลของตัวแปรด้านทิศทางลม พบว่าทิศทางการไหลของกระแสลมเหนือพื้นดิน 1.8 เมตร ของบริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน (แนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้) ในฤดูร้อนพัดมาจากทางทิศเหนือ เนื่องจากกระแสลมพัดมามาตามช่องว่างระหว่างอาคาร ในรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 กระแสลมมีทิศทางมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แตกต่างจากตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่นเล็กน้อย อีกทั้งยังมีทิศทางการไหลเวียนที่คงที่ตลอดช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. (ภาพที่ 154)

จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าทิศทางการไหลเวียนของกระแสลมเหนือพื้นดิน 1.80 เมตร ในฤดูร้อน ของบริเวณรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนที่วางตัวทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลานมีทิศทางมาจากทางทิศเหนือของของพื้นที่ศึกษา ซึ่งกระแสลมจะพัดพามาตามช่องว่างระหว่างอาคาร ในกรณีนี้พัดมาตามแนวถนนช้างคลานพัดผ่านพื้นที่ไปทางทิศใต้ ส่งผลให้ทั้งสองกลุ่มตัวอย่างเรขาคณิตเมืองมีทิศทางการไหลเวียนของกระแสลมที่เหมือนกัน

ตารางที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบทิศทางลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	18.05	13.30	15.85	2.097
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	12.75	9.48	11.08	1.345
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	12.35	8.48	10.21	1.626
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	11.62	8.96	10.47	0.802
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	9.20	8.69	9.03	0.155
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	14.21	8.55	11.34	2.324
		13.03	9.58	11.33	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	20.70	16.81	18.90	1.565
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	14.16	11.33	12.51	0.913
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	14.16	11.33	12.51	0.912
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	12.66	7.91	10.65	1.084
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	12.61	7.27	10.51	1.196
		14.48	10.32	12.60	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 154 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนทิศทางลมในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย

4.2) การเปรียบเทียบทิศทางลมของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

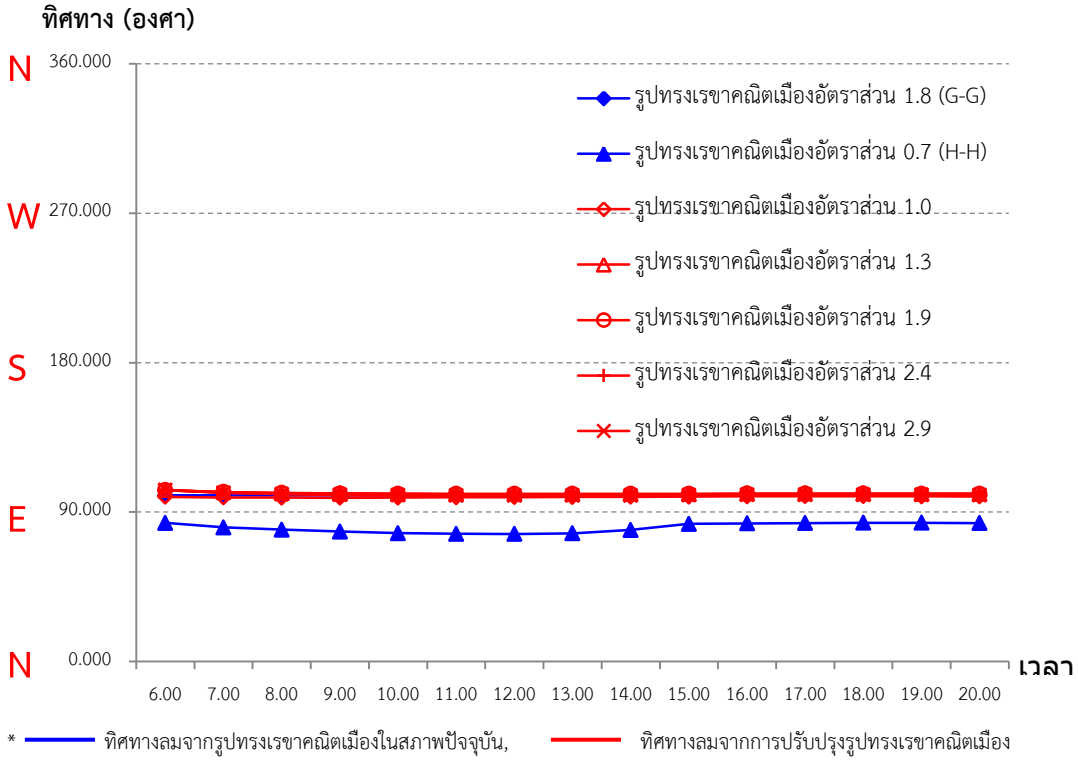
ผลจากการจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาในสภาพปัจจุบัน ส่วนทิศทางลมของบริเวณตัวอย่างเรขาคณิตเมืองในแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก พัดมาจากทิศตะวันออก เฉลี่ย 90.36 องศา ตามแนวถนนลอยเคราะห์ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ตลอดทั้งวันเช่นเดียวกัน สาเหตุเกิดจากอาคารที่ถูกปลูกสร้างขัดขวางและเป็นอุปสรรคต่อการไหลเวียนของกระแสลมในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer) ส่งผลให้กระแสลมสามารถไหลเวียนผ่านได้เฉพาะพื้นที่ว่างระหว่างอาคารและแนวถนนเท่านั้น

ผลจากการจำลองจุลภูมิอากาศจากการปรับปรุงเรขาคณิตเมือง ในบริเวณพื้นที่ตัวอย่างเรขาคณิตเมืองบนถนนลอยเคราะห์ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก พบว่าบริเวณพื้นที่ตัวอย่างเรขาคณิตเมืองทั้ง 6 ตัวอย่างมีทิศทางการไหลเวียนของลมเหนือพื้นดิน 1.80 เมตร พัดมาจากทิศตะวันออก ซึ่งพัดพามาตามช่องว่างระหว่างอาคารตามแนวถนนเช่นเดียวกัน อีกทั้งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงทิศทางลมในช่วงเวลา 6.00 - 20.00 น. มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันออกตลอดทั้ง 16 ชั่วโมง

ตารางที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบทิศทางลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	100.10	100.10	100.10	0.000
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	83.58	76.87	80.63	2.729
		91.84	88.49	90.37	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	99.55	98.60	99.14	0.329
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	103.21	100.93	101.28	0.614
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	103.21	100.93	101.28	0.614
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	103.40	100.43	100.90	0.793
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	103.20	100.05	100.54	0.834
		102.63	100.16	100.61	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 155 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนทิศทางลมในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย

5) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature)

การคำนวณอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยนั้นจำต้องใช้ตัวแปรสภาพอากาศในการคือ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม ดังนั้นค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลาย่อมได้รับอิทธิพลมาจากสภาพอากาศของพื้นที่ตัวอย่างนั้นๆ รวมถึงค่าจากการตรวจวัดความสามารถในการสะท้อนรังสีของ Globothermometer probe ซึ่งจะได้รับอิทธิพลมาจากแสงอาทิตย์และเงาของอาคารทั้งสองฝั่งของถนนที่บดบังแสงอาทิตย์

5.1) การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

ผลการจำลองจุลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาในสภาพปัจจุบัน พบว่าบริเวณเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือใต้ ได้แก่ เรขาคณิตเมือง0.8(A-A), 1.2(B-B), 1.3(D-D) และ 2.3(F-F) นั้นมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่มีรูปแบบเดียวกันเนื่องจากรูปแบบของสัดส่วนอาคารดังกล่าวไม่แตกต่างกันมาก มีวัสดุอาคารเป็นคอนกรีต และพื้นผิวปกคลุมคอนกรีตเหมือนกัน ทั้งยังได้รับแสงอาทิตย์ในเวลาเดียวกันตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 37.81 - 38.91 องศาเซลเซียส และเรขาคณิตเมือง 1.0(C-C) นั้นมีรูปแบบของค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเช่นเดียวกันกับกลุ่มเรขาคณิตเมืองข้างต้น เพียงแต่ช่วงเวลาของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น-ลดลง ช้ากว่าประมาณ 60-90 นาที แตกต่างจากเรขาคณิตเมือง 4.5 ที่มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ ตลอดทั้งวัน โดยมีค่าเฉลี่ย 31.00 องศาเซลเซียส เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้รับแสงอาทิตย์น้อยและในช่วงเช้ามีกระแสลมไหลผ่านค่อนข้างดี

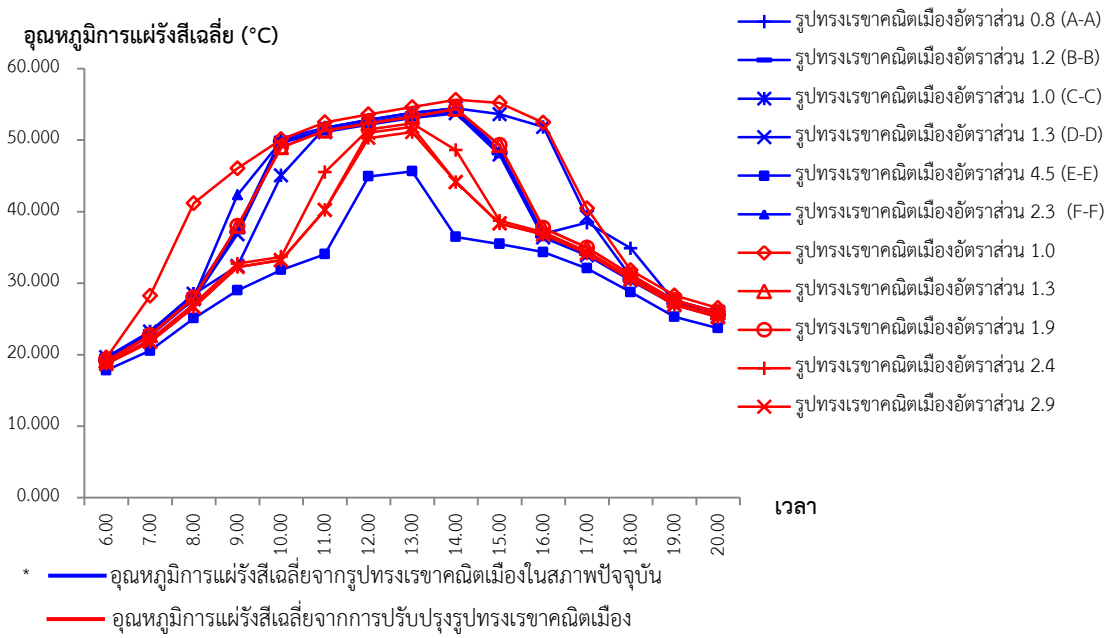
จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองเพื่อจำลองภูมิอากาศจุลภาคย่านช้างคลาน เมื่อพิจารณาผลของตัวแปรด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของแต่ละรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีความสูงของอาคารทั้งสองฝั่งถนนมีผลต่อช่วงเวลาการได้รับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์แตกต่างกัน ในรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลานที่วางตัวในแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 42.42 ℃ และสูงสุด 55.65 ℃ ในเวลา 14.00 น. รองลงมาคือรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 และ 1.9 ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน 38.33 ℃ และมีค่าสูงสุด 54.37 ℃ รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4 มีค่าเฉลี่ย 35.07 ℃ และสูงสุด 52.34 ℃ ซึ่งสูงกว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9 และ 3.3 ที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 34.13 และ 34.03 ตามลำดับ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในแง่ของรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยตามช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 6.00 – 20.00 น. พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 จะมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 7.00 น. ซึ่ง

เพิ่มขึ้นเร็วซึ่งกว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่น สูงสุดในเวลา 14.00 น. และลดลงในเวลา 16.00 น. ช้ากว่าตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่นเช่นกัน ส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 และ 1.9 อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นในเวลา 8.00 น. สูงสุดเวลา 14.00 น. หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในเวลา 15.00 -16.00 น. เนื่องจากพื้นที่บริเวณถนนจะได้รับร่มเงาจากอาคารฝั่งตะวันตก และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.4 และ 2.9 มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน โดยเวลา 6.00 – 10.00 น. อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะค่อยๆเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นเวลา 11.00 น. อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สูงสุดในเวลา 13.00 น. เนื่องจากบริเวณถนนเริ่มได้รับรังสีความร้อนแสงอาทิตย์ จนกระทั่งเวลา 14.00 น. อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจึงลดลงอย่างต่อเนื่องถึงช่วงหัวค่ำ

ตารางที่ 41 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.8 (A-A)	54.45	19.42	38.92	11.018
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.2 (B-B)	54.02	19.26	38.04	11.258
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 (C-C)	54.46	19.65	39.40	11.809
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 (D-D)	53.74	19.14	37.81	11.236
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 4.5 (E-E)	45.65	17.83	31.01	7.111
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.3 (F-F)	54.04	19.28	38.40	11.266
		52.73	19.10	37.26	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	55.65	19.58	42.42	12.481
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	54.37	19.15	38.33	12.333
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	54.37	19.15	38.33	12.333
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	52.34	18.86	35.07	10.529
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	51.87	18.72	34.13	9.843
		53.29	19.03	37.05	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 156 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้
ที่มา : ผู้วิจัย

5.2) การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

ผลจากการจำลองจุลภูมิอากาศเมือง ปัจจัยด้านอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันบนถนนแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.7(H-H) มีค่าเฉลี่ย 42.75 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 8.00 น. จนกระทั้ง 14.00 น. จึงลดลง แตกต่างจากเรขาคณิตเมือง 2.3(F-F) ที่มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย เฉลี่ย 32.70 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าเรขาคณิตเมืองในแนวถนนเหนือ – ใต้ เกิดจากบริเวณเรขาคณิตเมือง 2.3 นั้นได้รับเงาจากอาคารโรงแรมรอยัลลานนา เพราะในฤดูร้อนดวงอาทิตย์จะอ้อมทางทิศใต้

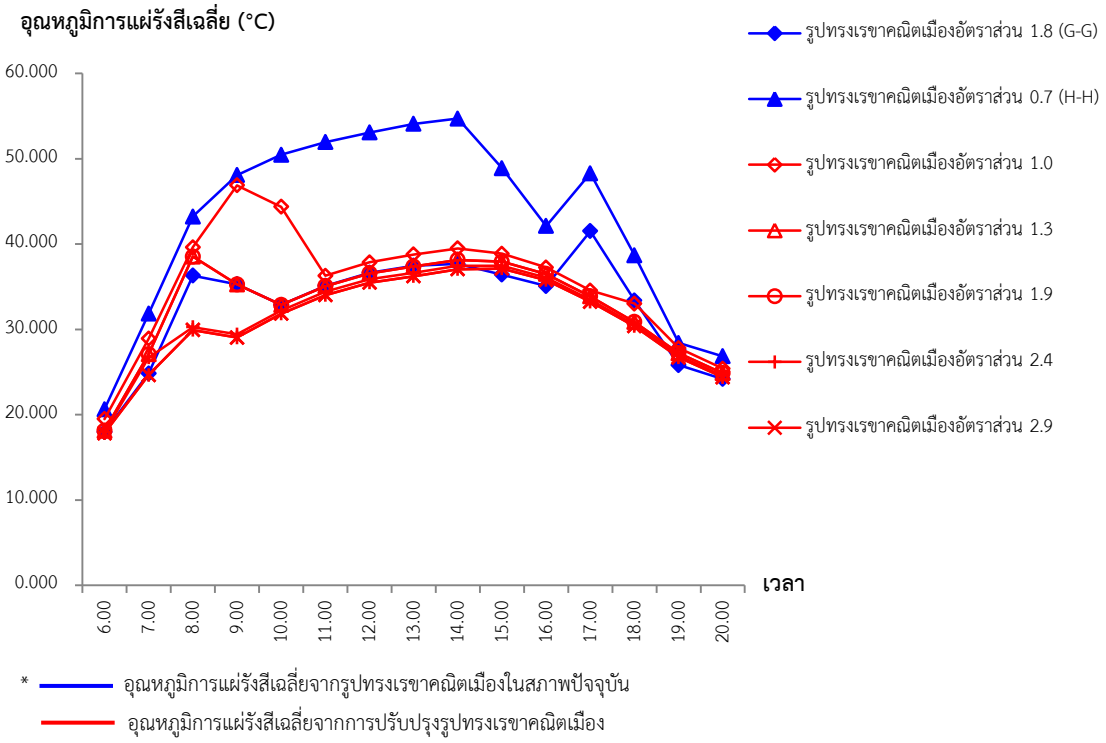
จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง พบว่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนลอยเคราะห์ และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 ที่มีทิศทางการวางตัวในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ส่งผลให้รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 มีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงสุด 46.88 เฉลี่ย 35.23 ℃ ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3 และ 1.9 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.68 ℃ เฉลี่ย 38.52 ℃ ส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 37.46 ℃ เฉลี่ย 31.32 ℃ และท้ายสุดรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 37.13 ℃ ในแง่ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ช่วงเวลา 6.00-20.00 น. ของรูปทรงเรขาคณิตเมือง

บนถนนที่มีทิศทางการวางตัวในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก นั้นก็ได้รับอิทธิพลแสงอาทิตย์เช่นเดียวกัน เนื่องจากในเดือนเมษายนดวงอาทิตย์มีการโคจรอ้อมลงมาทางทิศใต้ ส่งผลให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองในช่วงเช้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าสูงมากในรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0, 1.3 และ 1.9 เพราะตั้งแต่เวลา 6.00 – 9.00 น. บริเวณถนนได้รับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง หลังจากเวลา 10.00 น.เป็นต้นไปค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีมีค่าลดลงนั้นมีสาเหตุมาจากได้รับเงาของอาคารที่อยู่ฝั่งทิศใต้ของถนน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และลดลงอีกครั้งในช่วงพลบค่ำ ในตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4 และ 2.9 นั้นมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำกว่าตัวอย่างในอัตราส่วนเดียวกันของแนวถนนทิศเหนือ- ใต้ เนื่องจากความสูงของอาคารที่ช่วยบดบังแสงอาทิตย์ทำให้เกิดเงาบริเวณถนน โดยในช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 6.00 น. อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น สูงสุดในเวลาประมาณ 14.00 – 15.00 น. ของวัน หลังจากนั้นอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะค่อยลดลงจนกระทั่งพลบค่ำเช่นเดียวกันกับตัวอย่างอื่นๆ

ตารางที่ 42 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบัน และปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองในแนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก ของย่านช้างคลาน

		Max	Min	Mean	SD.
Existing Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.8 (G-G)	41.52	17.97	32.70	6.46
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 0.7 (H-H)	54.71	20.63	42.75	11.03
		48.11	19.30	37.73	
Modified Geometry	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	46.88	19.49	35.24	7.27
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	38.53	18.12	32.68	5.94
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	38.53	18.12	32.68	5.94
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	37.46	17.93	31.33	5.56
	รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	37.13	17.83	30.91	5.61
		39.27	18.22	32.29	

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 157 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในช่วงเวลา 6.00 – 20.00 น. ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันและปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมือง ในแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้
ที่มา : ผู้วิจัย

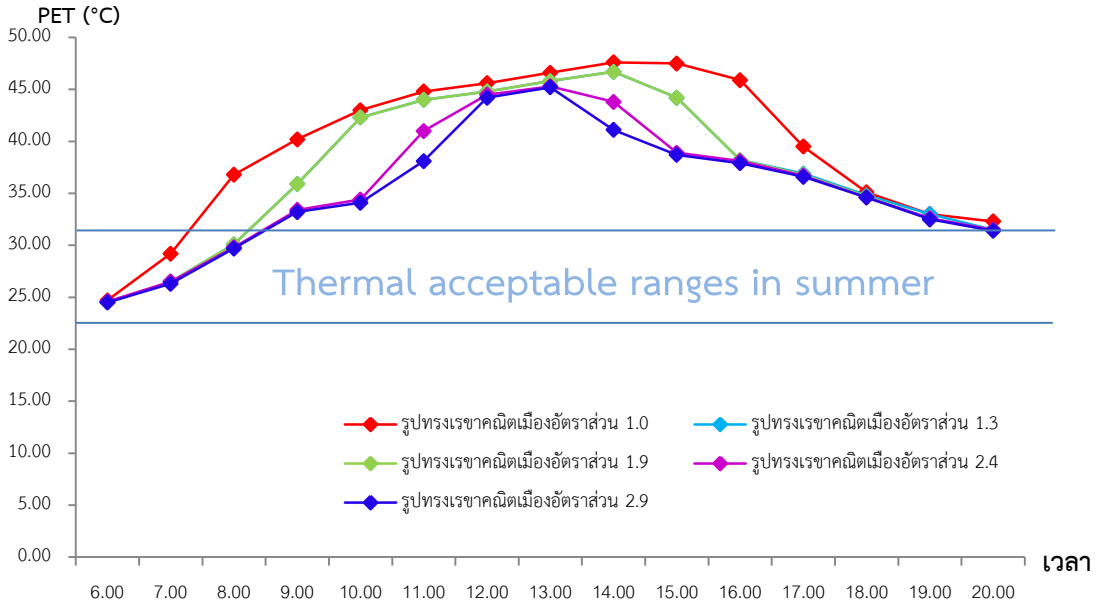
จากการศึกษาพบว่าถนนที่วางตัวในแนวตะวันออก – ตะวันตก จะได้รับแสงอาทิตย์ยาวนานกว่าถนนที่วางตัวในแนวเหนือ - ใต้ ส่งผลให้พื้นผิวของถนน วัสดุอาคารต่างๆได้รับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์มากกว่า จากการศึกษาของ ชินดนัย (2557) พบว่าผลกระทบของรูปแบบเมืองต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อน พื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มความสูงอาคารและลดขนาดเขตทาง ส่งผลให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง โดยแนวถนนที่วางตัวในแนวเหนือ – ใต้ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลงมากที่สุดเมื่อมีการเพิ่มความสูงอาคาร 12.5 เมตร เขตทางมีขนาดเท่ากับ 17 เมตร และแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลงสูงสุด ที่สัดส่วนความสูงอาคาร 6.5 เมตร และความกว้างเขตทางเท่ากับ 17 เมตร

4.3.4 วิเคราะห์ดัชนีความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort index)

ดัชนีความสบายเชิงความร้อนจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคาร

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารในแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ ที่อยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อน (Thermal acceptable ranges in summer) พบว่า เรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3, 2.4 และ 2.9 มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนมากที่สุดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 6.00-9.00 น. ในขณะที่เรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9 มีช่วงเวลาประมาณ 2.40 ชั่วโมง เวลา 6.00-8.40 น. ส่วนเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0 มีช่วงเวลาอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนน้อยที่สุด เพียง 1.30 ชั่วโมง 6.00-7.30 น. เท่านั้น (ภาพที่ 158)

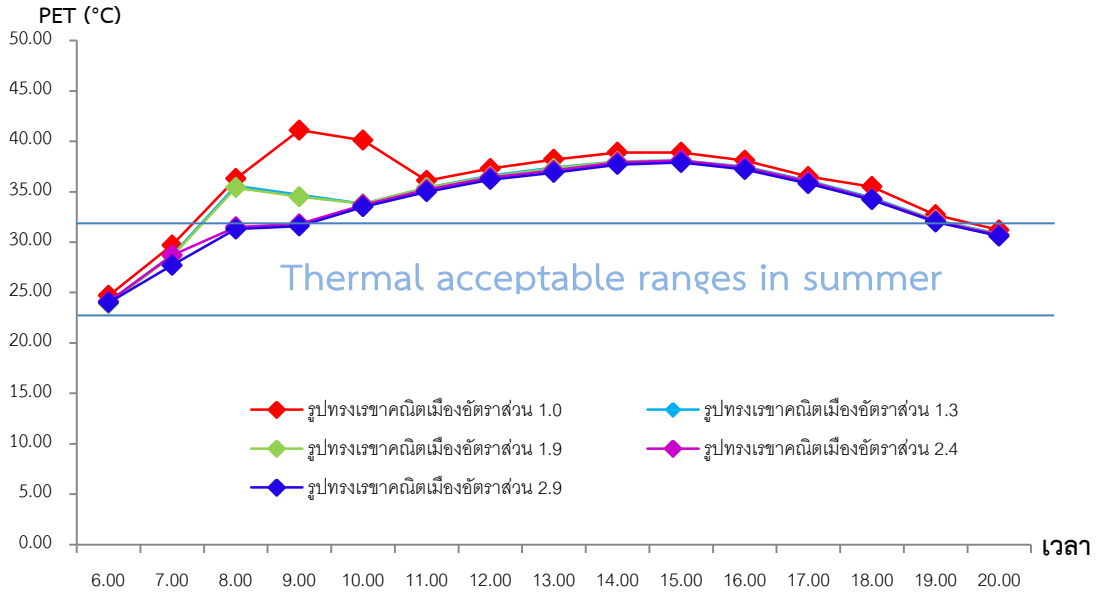
ในเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารในแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตรา 2.4 และ 2.9 มีอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อน 2 ชั่วโมง 6.00-8.00 น. ส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตรา 1.0, 1.3 และ 1.9 มีอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่ในช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อน 1.20 ชั่วโมงเท่านั้น ในเวลา 6.00-7.20 น. (ภาพที่ 159)



* ช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ 23.10-31.00 PET (°C)

ภาพที่ 158 แสดงอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารในแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้

ที่มา : ผู้วิจัย



* ช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ 23.10-31.00 PET (°C)

ภาพที่ 159 แสดงอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารในแนวถนนทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 43 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของจากอิทธิพลการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้

	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	24.70	29.20	36.80	40.20	43.00	44.80	45.60	46.60	47.60	47.50	45.90	39.50	35.10	33.00	32.30
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	24.50	26.50	30.10	35.90	42.30	44.00	44.80	45.80	46.70	44.20	38.20	36.90	34.80	33.00	31.50
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	24.50	26.50	30.10	35.90	42.30	44.00	44.80	45.80	46.70	44.20	38.20	36.80	34.70	32.60	31.40
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	24.60	26.50	29.80	33.40	34.40	41.00	44.50	45.30	43.80	38.90	38.10	36.70	34.60	32.60	31.50
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	24.50	26.30	29.70	33.20	34.10	38.10	44.20	45.20	41.10	38.70	37.90	36.60	34.60	32.50	31.40

* Thermal acceptable ranges Thermal unacceptable ranges

ที่มา : ผู้วิจัย

ตารางที่ 44 อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาของจากอิทธิพลการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองบนแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก

	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.0	24.70	29.70	36.30	41.10	40.10	36.10	37.30	38.20	38.90	38.90	38.10	36.50	35.50	32.70	31.20
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.3	24.10	28.70	35.60	34.70	33.80	35.40	36.60	37.40	38.00	38.10	37.50	36.10	34.40	32.20	30.80
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	23.90	28.60	35.40	34.50	33.80	35.40	36.50	37.30	38.00	38.10	37.40	36.00	34.30	32.20	30.70
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.4	24.10	28.70	31.50	31.80	33.70	35.20	36.40	37.10	37.90	38.10	37.40	36.00	34.30	32.10	30.70
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 2.9	24.00	27.70	31.30	31.60	33.50	35.00	36.20	36.90	37.70	37.90	37.20	35.80	34.20	32.00	30.60

* Thermal acceptable ranges Thermal unacceptable ranges

ที่มา : ผู้วิจัย

4.3.5 การพิสูจณ์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศ

การพิสูจณ์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาและตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศทั้ง 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยใช้การวิเคราเฉพาะข้อมูลของช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่นอกช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ (23.10-31.00 PET (°C)) หรือสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน (Thermal Discomfort) ของแต่ละรูปทรงเรขาคณิตเมือง ดังนี้

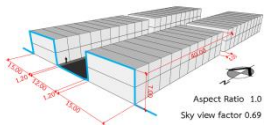
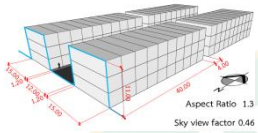
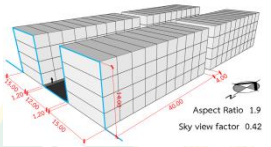
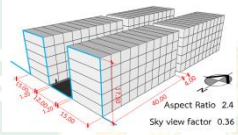
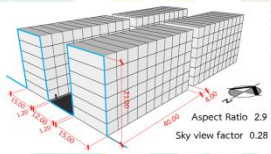
1) ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน (Thermal Discomfort) จากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน จากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุงโดยอ้างอิงตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ตามแนวถนนทิศเหนือทิศใต้ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 รูปทรงเรขาคณิตเมือง1.0 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิอากาศ ที่ส่งผลต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน โดยมีค่า Adjusted R^2 0.99 ในระดับความเชื่อมั่น 0.01 ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก อาคารที่มีความสูงเพียง 7.00 เมตร ทำให้แสงแดดสามารถส่องลงมาบริเวณทางเดินเท้าหรือถนนอย่างเต็มที่ในช่วงเวลากลางวัน ทำให้อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยในบริเวณดังกล่าว สูง

กรณีที่ 2 รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3, 1.9, 2.4 และ 2.9 พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อนได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและความเร็วลม โดยมีค่า Adjusted R^2 1.00 ในระดับความเชื่อมั่น 0.01 ทั้ง 4 รูปทรงเรขาคณิตเมือง โดยอาจมีสาเหตุอันเนื่องมาจากแสงแดดที่สามารถส่งลงมายังพื้นผิวถนนและทางเดินเท้าได้โดยตรงในเวลากลางวันส่งผลให้มีอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังความสูงของอาคารปิดกั้นการไหลเวียนของลม ทำให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศลดลง (ตารางที่ 45)

ตารางที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน (Thermal Discomfort) จากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุง แนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้

Aspect ratio	Geometry	Adjusted R^2	Independent variables	Standardized coefficients
1.0		2(0.99)	Tmrt	1.05**
			Ta	0.19**
1.3		3(1.00)	Tmrt	1.03**
			Ta	0.07**
			Ws	0.08**
1.9		3(1.00)	Tmrt	1.02**
			Ta	0.08**
			Ws	0.07**
2.4		3(1.00)	Tmrt	0.98**
			Ta	0.10**
			Ws	0.07**
2.9		3(0.99)	Tmrt	0.96**
			Ta	0.12**
			Ws	0.06**

*Significant level 0.05, **Significant level 0.01

ที่มา : ผู้วิจัย

จากผลการศึกษาข้างต้น พบว่าปัจจัยที่สำคัญ ที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อนบนถนนที่วางตัวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ บริเวณที่มีอาคารต่ำกว่า 7 เมตร คือปัจจัยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และอุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณแสงแดดที่ได้รับในเวลากลางวันยาวนานกว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่น โดยแสงแดดสามารถส่องลงมายังบริเวณทางเดินเท้าและพื้นผิวถนนได้โดยตรง ส่งผลให้มีช่วงความยอมรับความสบายเชิงความร้อนสั้น ส่วนในกรณีที่อาคารมีความสูงมากกว่า 7 เมตรขึ้นไป จากการทดสอบอาคารสูง 10.50, 14.00, 17.50 และ 21.00 เมตร นั้นมีความสัมพันธ์กับปัจจัยรูปแบบเดียวกันคือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และความเร็วลม สาเหตุอันเนื่องมาจากอุณหภูมิอากาศและการแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้รับอิทธิพลมาจากแสงแดดที่ได้รับในเวลากลางวัน และปัจจัยความเร็วลม เพราะกระแสลมมีความเร็วต่ำ อาคารที่มีความสูงเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการระบายอากาศลดต่ำลง ส่งผลให้พื้นที่บริเวณทางเดินเท้าและถนนมีการเก็บกักความร้อน และส่งผลกระทบต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน

4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุง แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

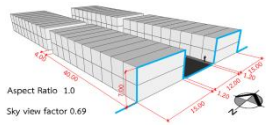
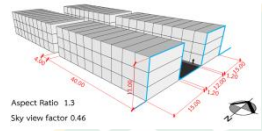
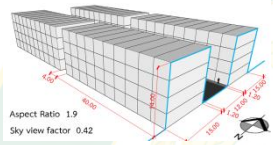
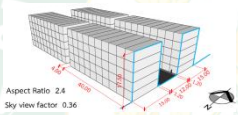
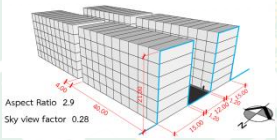
จากสมการแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อนบนถนนที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก พบว่ามีรูปแบบความสัมพันธ์ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 ที่มีความสูงอาคาร 7.00 เมตร มีปัจจัยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยยะสำคัญกับสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน โดยมีค่า Adjusted R^2 0.99 ในระดับความเชื่อมั่น 0.01 (ตารางที่ 46)

กรณีที่ 2 รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3, 1.9, 2.4 และ 2.9 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน คือ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยยะสำคัญกับสภาวะไม่น่าสบายเชิงความร้อน โดยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 มีค่า Adjusted R^2 0.99 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9, 2.4 และ 2.9 มีค่า Adjusted R^2 1.00 ในระดับความเชื่อมั่น 0.01 (ตารางที่ 46)

จากผลการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อสภาวะไม่น่าสบายในช่วงเวลาที่อุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาอยู่นอกช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่มากที่สุดคือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและความเร็วลม สาเหตุมาจากแนวการวางตัวของถนนทำให้แสงแดดที่สามารถส่องถึงบริเวณถนนได้ในช่วงเช้า-ช่วงบ่าย แต่ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเป็นช่วงฤดูร้อนทำให้พระอาทิตย์มีทิศทางการโคจรอ้อมลงมาทางด้านทิศใต้ในช่วงสายของวัน อีกทั้งปัจจัยความเร็วลม ที่แนวถนนมีทิศทางการวางตัวขวางทิศทางลมทำให้ กระแสลมที่พัดมาจากทางด้านทิศเหนือมีความเร็วต่ำ ประกอบกับในฤดูร้อนของพื้นที่ย่านช้างคลานนั้นมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงสภาวะไม่น่าสบายให้ลดลง เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์การยอมรับเชิงความร้อนหรือสภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) ควรเป็นลดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยบริเวณถนน อาจใช้พรรณไม้หรือโครงสร้างที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดการได้รับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ แต่ในขณะเดียวกันปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลต่อการไหลเวียนของกระแสลมเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 46 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสมดุลทางสรีรวิทยาจากอิทธิพลรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ได้รับการปรับปรุง แนวถนนทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก

Aspect ratio	Geometry	Adjusted R^2	Independent variables	Standardized coefficients
1.0		3(0.99)	Tmrt	1.12**
			Ws	0.22**
			Rh	-0.12**
1.3		2(0.99)	Tmrt	0.96**
			Ta	0.40**
1.9		2(1.00)	Tmrt	0.96**
			Ta	0.42**
2.4		2(1.00)	Tmrt	0.78**
			Ta	0.36**
2.9		2(1.00)	Tmrt	0.79**
			Ta	0.39**

*Significant level 0.05, **Significant level 0.01

ที่มา : ผู้วิจัย

เนื้อหาสำคัญในบทที่ 4 เป็นผลการศึกษาผลกระทบของรูปทรงของเมืองที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเมือง กรณีศึกษาถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ในสภาพปัจจุบันและการปรับปรุงอาคารโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งในต่อไปในบทที่ 5 จะเป็นการสรุปเนื้อหาในส่วนต่างๆข้างต้นที่สำคัญ พร้อมเพิ่มเติมข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงการวิจัยขั้นต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยที่ได้กล่าวในบทที่ผ่านมา ที่มาของความสำคัญ แนวความคิด วิธีการวิจัย และข้อมูลที่ได้จากผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ตลอดจนการนำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเมืองย่านช้างคลา จังหวัดเชียงใหม่แล้วนั้น ในบทนี้จะเป็นการสรุปเนื้อหาในส่วนต่างๆข้างต้นที่สำคัญ พร้อมเพิ่มเติมข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงการวิจัยขั้นต่อไป ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 รูปทรงเรขาคณิตเมืองและรูปแบบการวางตัวของอาคาร ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศในพื้นที่ย่านช้างคลาน

จากการศึกษารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อจุลภูมิอากาศเมือง ย่านช้างคลานของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองหรือสัดส่วนความสูงอาคารต่อความกว้างของถนน ในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลานมีลักษณะเป็นอาคารพาณิชย์ 2-3 ชั้น และมีอาคารขนาดใหญ่ 2-3 อาคาร เมื่อจำแนกรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามทิศทางการวางตัวของถนน ปรากฏว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ (ถนนช้างคลาน) 6 รูปแบบ มีค่า Aspect ratio เฉลี่ย 1.85 และSky view factor เฉลี่ย 0.33 และทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก (ถนนเจริญประเทศซอย 6 และถนนลอยเคราะห์) 2 รูปแบบ มีค่า Aspect ratio เฉลี่ย 1.25 และ Svf เฉลี่ย 0.36

เมื่อจำลองสภาพอากาศของวันที่ 24 เมษายน 2560 ของย่านช้างคลาน ด้วยโปรแกรม ENVI-met พบว่าตัวแปรสภาพจุลภูมิอากาศเหนือพื้นดิน 1.8 เมตร ทั้ง 4 ตัวได้แก่ อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม และอุณหภูมิอากาศแผ่รังสีเฉลี่ย มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่อยู่ตามแนวถนนทิศเหนือ - ทิศใต้ ประกอบด้วยถนนช้างคลานที่มีอาคารพาณิชกรรมที่มีความสูงประมาณ 12.00-13.00 เมตร และมีกิจกรรมเศรษฐกิจ และการใช้พื้นที่และบริเวณทางเดินเท้า ตลอดช่วงเวลา 6.00 – 24.00 น. โดยเรขาคณิตเมือง 1.2 ที่อยู่ด้านหน้าทางเข้าตลาดอนุสาร มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา 6.00-20.00 น. ต่ำที่สุด 35.46 องศาเซลเซียส ซึ่งมีลักษณะกายภาพประกอบด้วยอาคารพาณิชย์ฝั่งตะวันออกของถนน สูง 13.00 เมตร และทางด้านฝั่งตะวันตกสูง 15.00 เมตร และมีความกว้างของถนนและทางเดินเท้ารวม 20.80 เมตร ส่วนถนนท่าแพซอย 1 รูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 ต่ำที่สุด เฉลี่ย 35.33 องศาเซลเซียส แต่ในบริเวณนี้ไม่มีกิจกรรมบริเวณทางเดินเท้า เป็นเพียงถนนทางเข้าอาคารจอดรถของโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน โรงแรมดุสิตปริ้นเซส ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศตะวันออก-ตะวันตก พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.8 บริเวณตอนกลางถนนเจริญประเทศ ซอย 6 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.7 บริเวณถนนลอยเคราะห์

ระหว่างโรงแรมเลอ เมอร์ลิเดียน และโรงแรมสุริวงศ์ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 35.45 และ 35.47 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองของทั้งสองแนวถนนในสภาพปัจจุบันมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ในด้านประสิทธิภาพของการระบายอากาศของพื้นที่ศึกษาซึ่งพิจารณาจากตัวแปรความเร็วลม พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนที่วางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้ มีความเร็วลมสูงกว่าเรขาคณิตเมืองบนถนนทิศตะวันออกตะวันตก โดยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 มีความเร็วลมสูงสุดตลอดช่วงเวลา 6.00-20.00 น. เฉลี่ย 0.47 เมตร/วินาที เนื่องจากในช่วงฤดูร้อน ความเร็วลมในย่านช้างคลานมีความเร็วค่อนข้างต่ำ อีกทั้งมีทิศทางของกระแสลมมาจากทางด้านทิศเหนือตามแนวถนน

ในส่วนอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับ Svf โดยรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่มีค่า Svf ต่ำจะมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูง และรูปทรงเรขาคณิตเมืองที่มีค่า Svf สูงจะมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำ ซึ่งรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศเหนือ – ทิศใต้ที่มีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ บริเวณถนนท่าแพซอย 1 รูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 (ระหว่างอาคารจอดรถของโรงแรมเซนทารา ดวงตะวันและโรงแรมดุสิต ปริ้นเซส) มีค่าเท่ากับ 31.01 องศาเซลเซียส ในขณะที่เรขาคณิตเมืองบนถนนช้างคลาน (รูปทรงเรขาคณิตเมือง 0.8, 1.2, 1.0, 1.3 และ 2.3) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.81-38.91 องศาเซลเซียส และในขณะที่เรขาคณิตเมืองบนถนนที่วางตัวในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ถนนลอยเคราะห์และถนนเจริญประเทศ ซอย 6 พบว่าเรขาคณิตเมือง 1.8 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยเท่ากับ 32.70 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะได้รับอิทธิพลของเงาจากอาคารทางด้านทิศใต้ (โรงแรมรอยัลลานนา) ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยต่ำ และเรขาคณิตเมือง 0.7 มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 42.75 องศาเซลเซียส โดยมีสาเหตุจากพื้นที่บริเวณเรขาคณิตเมืองดังกล่าวได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

ในแง่ของสภาวะความสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ในพื้นที่บริเวณของถนนและบริเวณทางเดินเท้า ที่สามารถได้จากตัวแปรอุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ มีช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงการยอมรับความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคารของเมืองเชียงใหม่(23.10-31.00 PET (°C)) เพียงแค่ช่วงเช้าเท่านั้น โดยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 4.5 มีช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงการยอมรับความสบายเชิงความร้อนมากที่สุด ถึงเวลา 9.00 น. ส่วนเรขาคณิตเมืองอื่นอยู่ในช่วงการยอมรับเพียงเวลา 8.00 น. เท่านั้น ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมืองบนถนนตามแนวทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก ทั้งสองรูปทรงเรขาคณิตเมืองมีช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงการยอมรับความสบายเชิงความร้อนเพียง 7.00 น. เท่านั้น

5.2 รูปทรงเรขาคณิตเมืองที่ส่งเสริมการระบายอากาศ และนำไปสู่ความสามารถในการลดอุณหภูมิของพื้นที่ย่านช้างคลาน

การจำลองสภาพอากาศของย่านช้างคลาน หลังจากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ในพื้นที่ช้างคลาน ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ปี พ.ศ. 2560-2561 สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

อุณหภูมิอากาศบริเวณทางเดินเท้าเหนือพื้นดิน 1.8 เมตร ซึ่งเป็นบรรยากาศที่ส่งผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ พบว่ารูปทรงเรขาคณิตตามแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ บนถนนช้างคลาน อัตราส่วน 1.9 มีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 6.00-20.00 น. ต่ำที่สุด 35.01 องศาเซลเซียส ส่วนรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก อัตราส่วน 1.9 ก็อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.01 องศาเซลเซียส ในขณะที่ตัวแปรความเร็วลมของรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ มีความเร็วใกล้เคียงกัน เฉลี่ย 0.35-0.36 เมตร/วินาที และรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก มีค่าเฉลี่ย 0.18-0.23 เมตร/วินาที เนื่องจากแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ ขนานกับทิศทางของลมในช่วงฤดูร้อน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.2 ของสภาพปัจจุบัน กับรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ที่ได้รับการปรับปรุง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศมีความแตกต่างกัน 0.54 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 47) ถึงแม้รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 จะมีความเร็วลมเฉลี่ยที่มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย

ตารางที่ 47 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศและความเร็วลม ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.2 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9

	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (℃)	ความเร็วลมเฉลี่ย(m/s)
รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.2 *a	35.46	0.35
รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 *b	35.01	0.41

*a รูปทรงเรขาคณิตเมืองในสภาพปัจจุบันบนถนนช้างคลาน

*b รูปทรงเรขาคณิตเมืองจากการปรับปรุงโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคาร บนถนนช้างคลาน

ที่มา : ผู้วิจัย

ส่วนอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองที่วางตัวตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้และถนนทิศตะวันออก-ตะวันตก นั้นจะมีค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่แตกต่างกันแปรผันตามค่า Svf โดยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.0 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เนื่องจากได้รับรังสีแสงอาทิตย์ยาวนานกว่ารูปทรงเรขาคณิตเมืองอื่นๆ และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 3.3 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เนื่องจากได้รับเงาจากอาคารฝั่งทิศใต้ของถนนช่วยบดบังรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยทั้งสามที่กล่าวถึงในข้างต้นจะส่งผลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ในระดับทางเดินเท้าเช่นกัน

จากการวิเคราะห์สภาวะความสบายเชิงความร้อนของมนุษย์พบว่า รูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ อัตราส่วน 1.3, 1.9, 2.4, 2.9 และ 3.3 มีช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงการยอมรับความสบายเชิงความร้อนของเมืองเชียงใหม่ เวลา 6.00-8.40 น. ส่วนเรขาคณิตเมือง 1.0 มีช่วงเวลาที่สั้นที่สุด 6.00-7.30 น. เท่านั้น ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมืองตามแนวถนนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก มีช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงความยอมรับความสบายเชิงความร้อนที่สั้นกว่าตัวอย่างเรขาคณิตเมืองทิศเหนือ-ทิศใต้ เนื่องจากทิศทางของแสงอาทิตย์ขนานกับแนวถนน ส่งผลให้แสงแดดส่องถึงบริเวณถนนได้มากกว่าแนวถนนทิศเหนือ-ทิศใต้ นั้นเอง

5.3 เสนอแนะแนวทางในการวางแผนและออกแบบเมืองที่ส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดี ในพื้นที่ย่านช้างคลาน

เนื่องจากสภาพในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน อาคารหลายหลังถูกสร้างขึ้นก่อนปี พ.ศ. 2543 ที่จะที่มีการกำหนดกฎหมายควบคุมอาคาร การเว้นระยะห่างระหว่างอาคาร ความสูง หรือพื้นที่อาคารคลุมดิน ซึ่งส่งผลให้สภาพจุลภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาไม่ดี แต่ในปัจจุบันมีการประกาศใช้กฎหมายควบคุมอาคารดังกล่าว ดังนั้นในอนาคตหากมีการพัฒนาก่อสร้างอาคารในพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลานหรือในเขตภูมิอากาศ บริเวณแกนเมือง (Town center climatope) ที่เป็นเขตพื้นที่เมืองที่มีความเปราะบางสูงทางอุณหภูมิ (Highly temperature sensitive urban area) ในย่านเมืองเก่าที่ประกอบด้วยสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นด้วยปริมาณความร้อนสูงสุด ควรมีการพิจารณาถึงข้อกำหนดกฎหมายในการก่อสร้างอาคาร และการบังคับใช้กฎหมายเข้มข้น ทั้งนี้ควรมีการพิจารณาปัจจัยทางกายภาพของเมืองอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ปัจจัยทางด้านฮาร์ดสเคป (Hardscape) และซอฟต์สเคป (Softscape)

ข้อเสนอแนะในการออกแบบเมืองที่ส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดี เพื่อลดความรุนแรงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer: UCL) บรรยากาศชั้นเรือนยอดของเมืองถูกควบคุมการเปลี่ยนแปลงด้วยลักษณะของพื้นผิวของสิ่งก่อสร้าง เช่น ชนิด รูปทรง สีของวัตถุพื้นผิว ที่อยู่ในพื้นที่ระดับเล็กระหว่างอาคารสองอาคาร โดยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.3.1 องค์ประกอบทางกายภาพของเมือง

พื้นที่ศึกษาย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่พานิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก อีกทั้งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเป็นพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่ จึงมีข้อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบชุมชนเมือง ดังนี้

1) ควรพิจารณาในการกำหนดความหนาแน่นของอาคาร (F.A.R.) และความหนาแน่นระดับผิวดิน รูปแบบและความสูงของอาคาร หลีกเลี่ยงการสร้างอาคารต่อเนื่องกันตามแนวถนน การพิจารณาความกว้างของถนนและการวางทิศทางแนวถนน ในกรณีที่มีการสร้างถนนใหม่ในอนาคตให้สามารถรับลมประจำถิ่น เพื่อส่งเสริมการถ่ายเทของอากาศบริเวณทางเดินเท้าหรือระดับถนน ที่สามารถช่วยผลักดันความร้อนและมลพิษทางอากาศออกไปเขตเมือง

2) ควรมีพื้นที่โล่งไว้ในบริเวณพื้นที่เมืองแออัด ทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาย่านช้างคลานนั้นมีคลองแม่ข่า มีทิศทางการวางตัวทางทิศเหนือ-ทิศใต้ ขนานกับถนนช้างคลาน ควรพิจารณาและควบคุมกลุ่มอาคารตลอดแนวทางน้ำเพื่อให้กระแสลมพัดผ่านมากขึ้น การขุดลอกคลองเพื่อฟื้นฟูสภาพการไหลเวียนของน้ำ และกำหนดมาตรการเกี่ยวกับการปล่อยสิ่งปฏิกูลของอาคารบ้านเรือนลงสู่คลองแม่ข่า เพิ่มพืชพรรณเพื่อเพิ่มร่มเงาและพื้นที่สีเขียวให้กับเมือง

3) การควบคุมการการต่อเติมอาคารอย่างอย่างจริงจัง ทั้งในกรณีสร้างอาคารใหม่และปรับปรุงอาคารเดิม ไม่ให้รุกล้ำเข้าไปในพื้นที่เปิดโล่งซึ่งเป็นระยะร่นของอาคาร เพื่อให้การระบายอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ควรพิจารณาถึงรูปแบบของแผงบังแสงอาทิตย์(Facade) หรือการตกแต่งส่วนหน้าหรือพื้นผิวอาคาร

4) การปรับเปลี่ยนการใช้วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ควรเลือกใช้วัสดุที่มีการดูดซับความร้อนน้อย เพื่อลดการปลดปล่อยความร้อนของวัสดุก่อสร้างสู้พื้นอากาศโดยรอบในเวลาหัวค่ำ รวมถึงวัสดุที่ใช้ปูพื้นที่สามารถให้ความชื้นจากดินสามารถระเหยขึ้นมาได้ และน้ำผิวดินสามารถซึมซับลงไปในดินได้

5) เพิ่มพื้นที่สีเขียวไว้เป็นระยะ เพื่อช่วยในการกรองก๊าซพิษที่เกิดจากการจราจร รวมถึงการปลูกต้นไม้ตามแนวถนน ทั้งนี้ความมีการออกแบบภูมิทัศน์ พันธุ์ไม้ และระยะปลูก อย่างเหมาะสมกับพื้นที่ ซึ่งต้นไม้ที่ถูกปลูกนั้นอาจเป็นอุปสรรค์ต่อการไหลเวียนของกระแสลมบริเวณถนนได้เช่นกัน

6) การควบคุมพื้นที่กิจกรรมที่ส่งเสริมให้เกิดอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น เพื่อไม่ให้ปรากฏการณ์เกาะความร้อนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

5.3.2 พื้นที่สีเขียวและพืชพรรณในเมือง

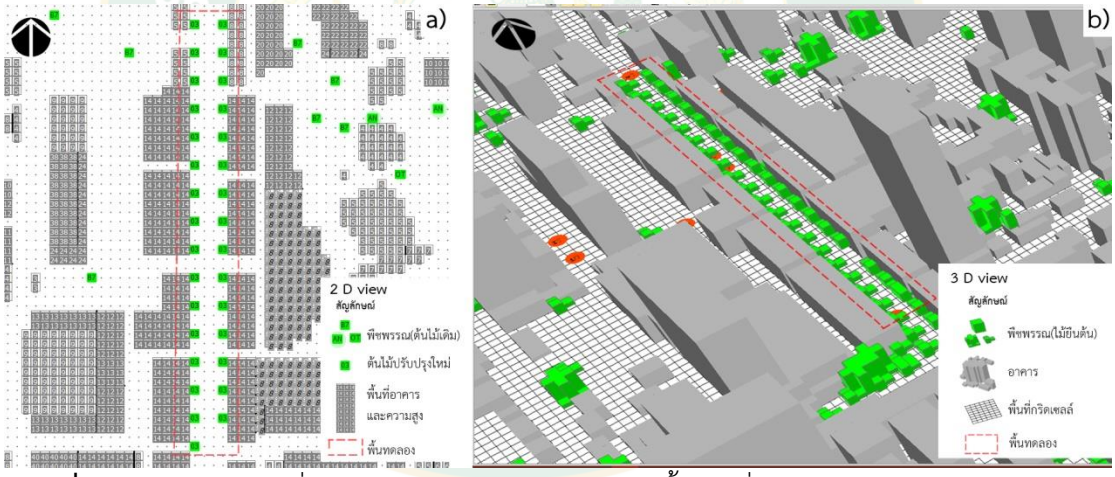
จากการปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองโดยอ้างอิงกฎหมายควบคุมอาคารที่มีผลบังคับใช้ในพื้นที่ช้างคลาน ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ปี พ.ศ.2560-2561 พบว่ารูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบริเวณทางเดินเท้าในช่วงเวลา 6.00-20.00 น. ต่ำที่สุด ถึงแม้จะมีความเร็วลมต่ำ ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบแบบจำลองของรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ด้วยการเพิ่มแนวต้นไม้บริเวณทางเดินเท้าทั้งสองฝั่งของถนนช้างคลาน โดยใช้ต้นตระกูลตะแบก ประกอบด้วยต้นตะแบก (*Lagerstroemia calyculata* Kurz.), ต้นอินทนิลบก (*Lagerstroemia macrocarpa* Wall.), อินทนิลน้ำ (*Lagerstroemia speciosa* (L.) Pers.) โดยมีทรงพุ่มทรงกลม (Round) กว้าง 5-6 เมตร สูง 6-7 เมตร เป็นพันธุ์ไม้พื้นเมืองของภาคเหนือ นิยมปลูกไว้เป็นไม้ริมทางและเป็นไม้ประดับ เนื่องจากมีดอกและใบที่สวยงาม โดยมีดอกสีชมพู ม่วง ขาว จะเริ่มออกเดือนมิถุนายนและจะบานต่อเนื่องกันประมาณ 1 เดือน ให้ร่มเงาและเจริญเติบโตเร็ว มีระยะปลูกที่เหมาะสม 6-8 เมตร อีกทั้งสามารถทนสภาพน้ำท่วมได้ เนื่องจากพื้นที่ย่านช้างคลานเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงและเคยถูกน้ำท่วมในอดีต ทั้งนี้ควรมีการตัดแต่งทรงพุ่มของต้นไม้อยู่เสมอ เพื่อให้ต้นไม้มีการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสมกับพื้นที่ย่านช้างคลานและไม่ให้เกิดปัญหาที่อาจจะเกิดตามมาในอนาคต แต่เนื่องจากโปรแกรม ENVI-met ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมัน ทำให้พันธุ์ไม้ทุกชนิดในโปรแกรมเป็นพันธุ์ไม้ท้องถิ่นของประเทศในแถบทวีปยุโรป ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ต้นฟิลด์เมเปิล (*Acer campestre* Louisa.) ที่มีทรงพุ่มและความสูงขนาดใกล้เคียงกัน มาใช้ในแบบจำลองแทนต้นตะแบก (ภาพที่ 160 และ ภาพที่ 161) ผลจากการเปรียบเทียบสภาพจุลภูมิอากาศทั้ง 2 กรณี พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน 0.39 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 162) ความชื้นสัมผัสเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น 3.65 % โดยมีความแตกต่างกันตลอดช่วงเวลา 6.00-20.00 น. (ภาพที่ 163) แต่ความเร็วลมเฉลี่ยลดต่ำลงเล็กน้อย โดยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 มีค่าเท่ากับ 0.35 เมตร/วินาที และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า มีค่าเท่ากับ 0.30 เมตร/วินาที เมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ปรากฏว่าในช่วง6.00-15.00 น. รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 มีความเร็วลมที่สูงกว่า ในขณะที่รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้น มีความเร็วลมต่ำในช่วงเช้า หลังจากเวลา 14.00 น. ความเร็วลมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและหลังจากเวลา 16.00 น. มีความเร็วลมคงที่ 0.41-0.43 เมตร/วินาที ส่วนอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างตลอดช่วงเวลา 6.00-20.00 น. เท่ากับ 4.51 องศาเซลเซียส โดยความแตกต่างเริ่มตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ส่งถึงบริเวณถนน ซึ่งต้นไม้ช่วยบดบังแสงอาทิตย์และให้ร่มเงาบริเวณทางเดินเท้าด้วย



ต้นตะแบก (*Lagerstroemia calyculata* Kurz.) **Field Maple** (*Acer campestre* Louisa)

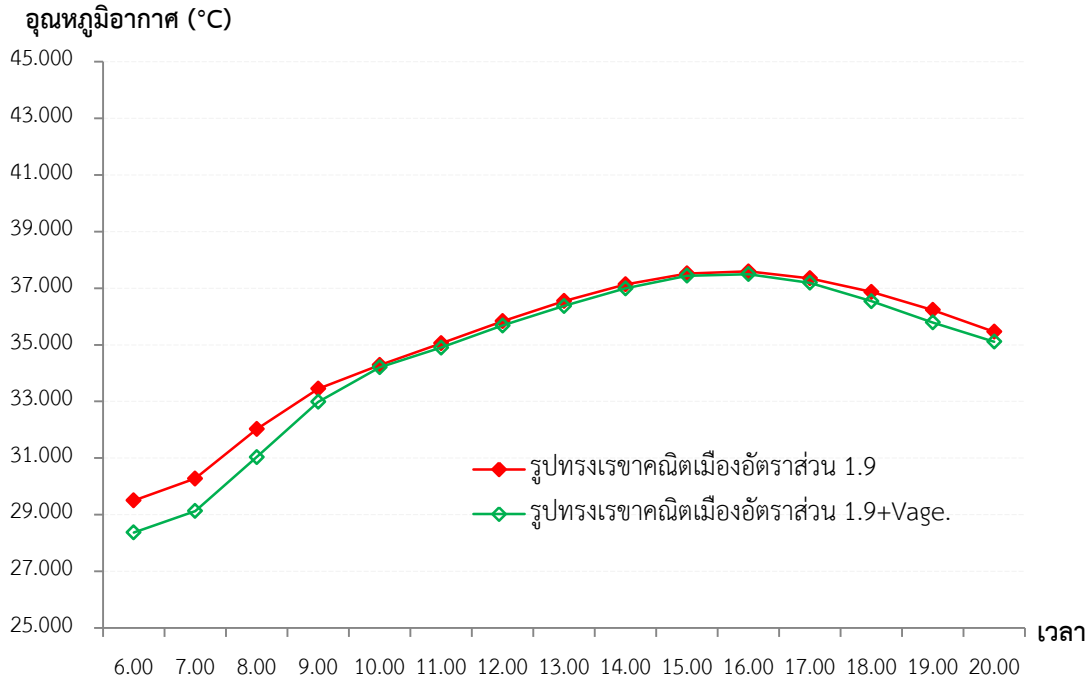
ภาพที่ 160 แสดงการเปรียบเทียบพันธุ์ไม้ระหว่างต้นตะแบกและต้นฟิลด์เมเปิล

ที่มา : ผู้วิจัย (ดัดแปลงจากที่มาที่ปรากฏในภาพ)



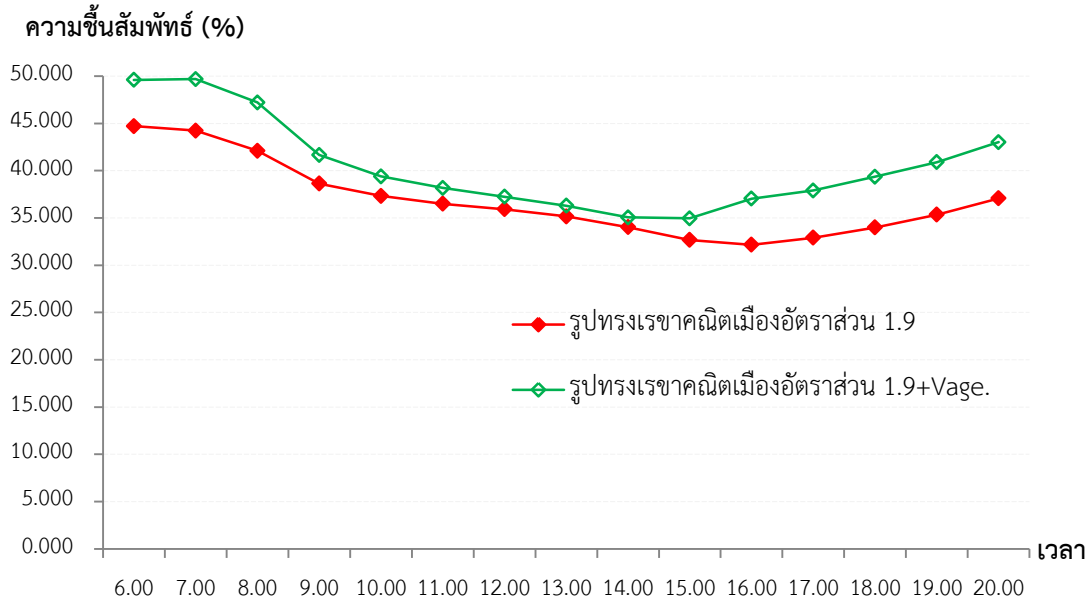
ภาพที่ 161 แสดงการเพิ่มพืชพรรณบริเวณทางเดินเท้าทั้งสองฝั่งของถนนช้างคลาน a) แสดงตำแหน่งต้นไม้ในมุมมอง 2 มิติ b) แสดงตำแหน่งต้นไม้ในมุมมอง 3 มิติ

ที่มา : ผู้วิจัย



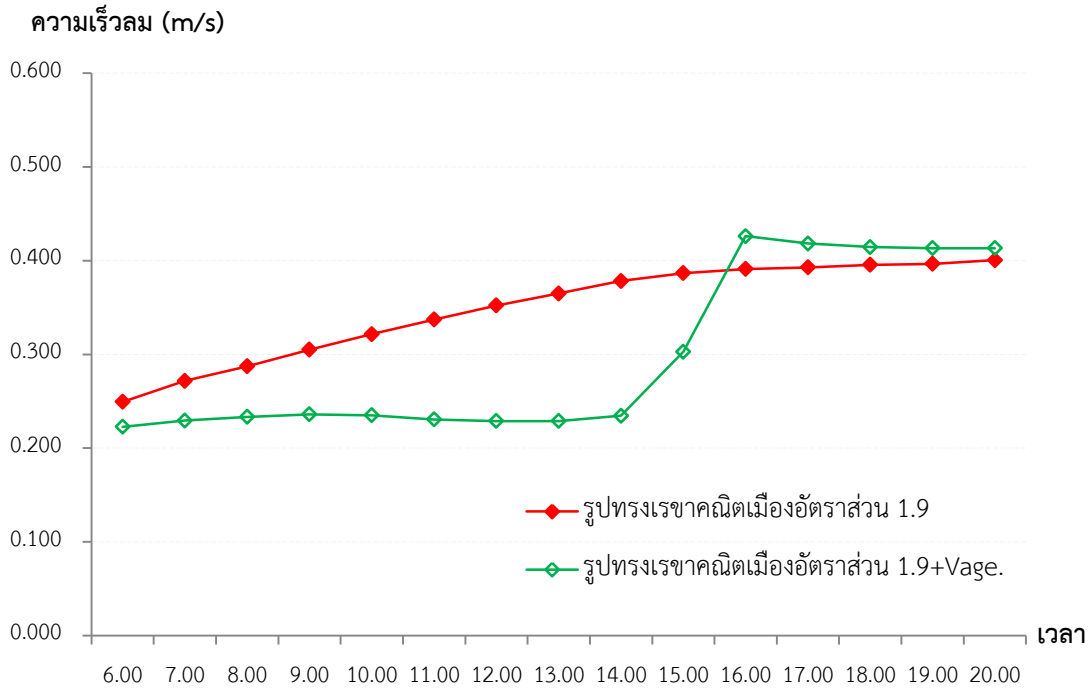
ภาพที่ 162 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า

ที่มา : ผู้วิจัย



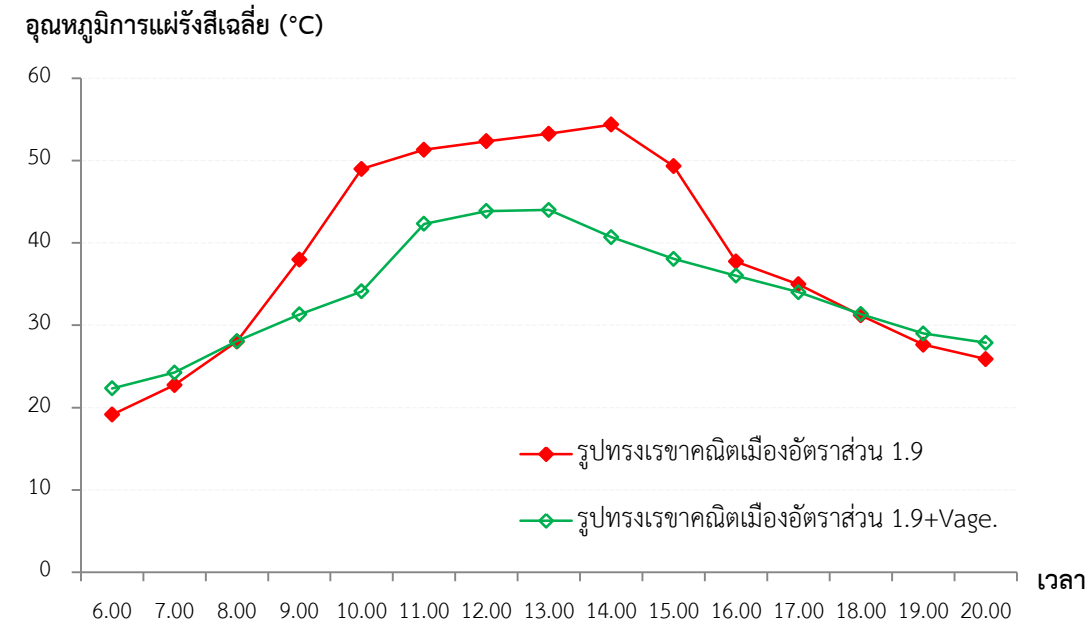
ภาพที่ 163 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 164 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า

ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 165 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้า

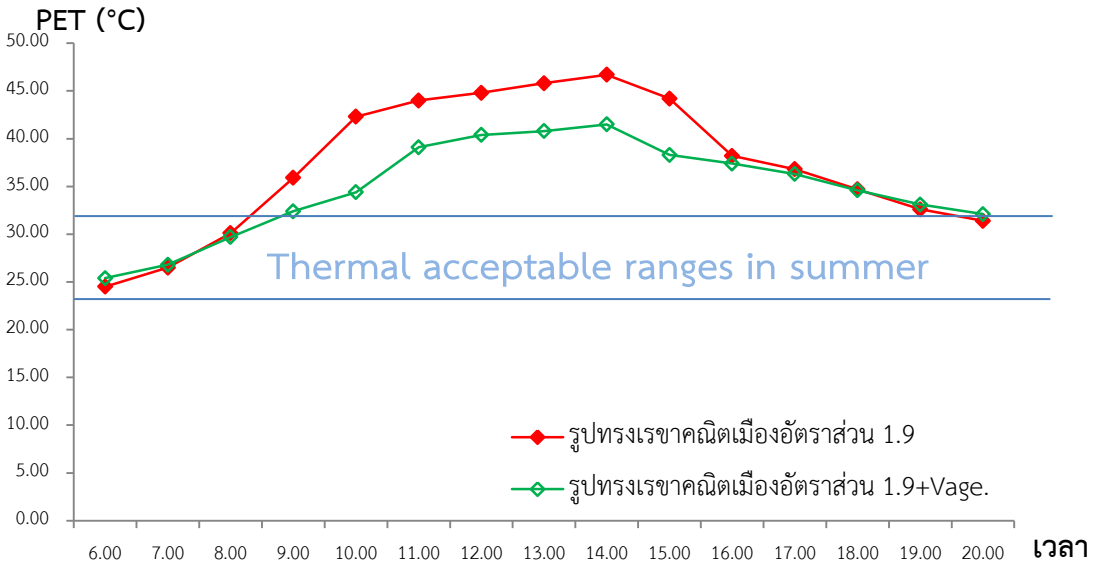
ที่มา : ผู้วิจัย

จากการวิเคราะห์ปัจจัยด้านสภาพอากาศบริเวณทางเดินเท้าระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มพืชพรรณบริเวณทางเดินเท้า ด้วยแบบจำลองสภาพอากาศ พบว่าเมื่อพิจารณาสภาวะความสบายเชิงความร้อน พบว่าเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มไม้ยืนต้นบริเวณทางเดินเท้ามีค่าอุณหภูมิทางสรีระวิทยา (PET) อยู่ในช่วงยอมรับความสบายเชิงความร้อนของเมืองเชียงใหม่มากกว่า เรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9 ประมาณ 20-30 นาที อีกทั้งมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทางสรีระวิทยาที่ต่ำกว่าในช่วงเวลา 9.00-18.00 น. อย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน 9.34 PET จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าการปลูกต้นไม้บริเวณทางเดินเท้าช่วยปรับปรุงสภาพอากาศในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer: UCL) ให้ดีขึ้นได้ (ภาพที่ 166)

ตารางที่ 48 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย บริเวณจุดตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง ตามแนวถนนเหนือ – ใต้

	Min	Max	Average	SD.
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9	24.50	46.70	39.04	7.24
รูปทรงเรขาคณิตเมืองอัตราส่วน 1.9+Vage.	25.40	26.80	29.70	4.97

ที่มา : ผู้วิจัย



* ช่วงความยอมรับเชิงความร้อนในฤดูร้อนในฤดูร้อนเมืองเชียงใหม่ 23.10-31.00 PET (°C)

ภาพที่ 166 แสดงการเปรียบเทียบสภาวะความสบายเชิงความร้อนระหว่างรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 และรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 ร่วมกับการเพิ่มพืชพรรณบริเวณทางเดินเท้า

ที่มา : ผู้วิจัย

5.3.2 แผนผังแสดงรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่

จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถสร้างแผนผังแสดงตำแหน่งแสดงรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่ ได้ดังภาพที่ 167 และคำอธิบายดังนี้

1) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.3 (พื้นที่สีเหลือง) บริเวณตามแนวถนนช้างคลาน สามารถสร้างอาคารสูง 12.00 เมตร (เนื่องจากตามกฎหมายผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ พ.ศ. 2555 ข้อ 18 วรรค 2 ดังนี้ “การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการก่อสร้างอาคารในบริเวณระยะ 100 เมตร จากที่ดินประเภทสถาบันศาสนา) วัดจากระดับพื้นที่ก่อสร้างอาคารถึงพื้นดาดฟ้าหรือยอดผนังชั้นบนสุด โดยมีระยะถอยร่นจากแนวถนนอย่างน้อย 2.00 เมตร

2) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.7 (พื้นที่สีส้ม) บริเวณถนนท่าแพซอย 1 และถนนลอยเคราะห์ซอย 4 พื้นที่ดังกล่าวถนนมีความกว้างเพียง 8.00 เมตร สามารถก่อสร้างอาคารสูง 7.00 เมตร ตลอดแนวถนน วัดจากระดับพื้นที่ก่อสร้างอาคารถึงพื้นดาดฟ้าหรือยอดผนังชั้นบนสุด มีระยะร่น 1.00 เมตรจากถนน

3) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 (พื้นที่สีแดง) บริเวณตามแนวถนนช้างคลาน และถนนลอยเคราะห์ สามารถสร้างอาคารสูง 14.00 เมตร วัดจากระดับพื้นที่ก่อสร้างอาคารถึงพื้นดาดฟ้าหรือยอดผนังชั้นบนสุด โดยมีระยะถอยร่นจากแนวถนนอย่างน้อย 2.00 เมตร

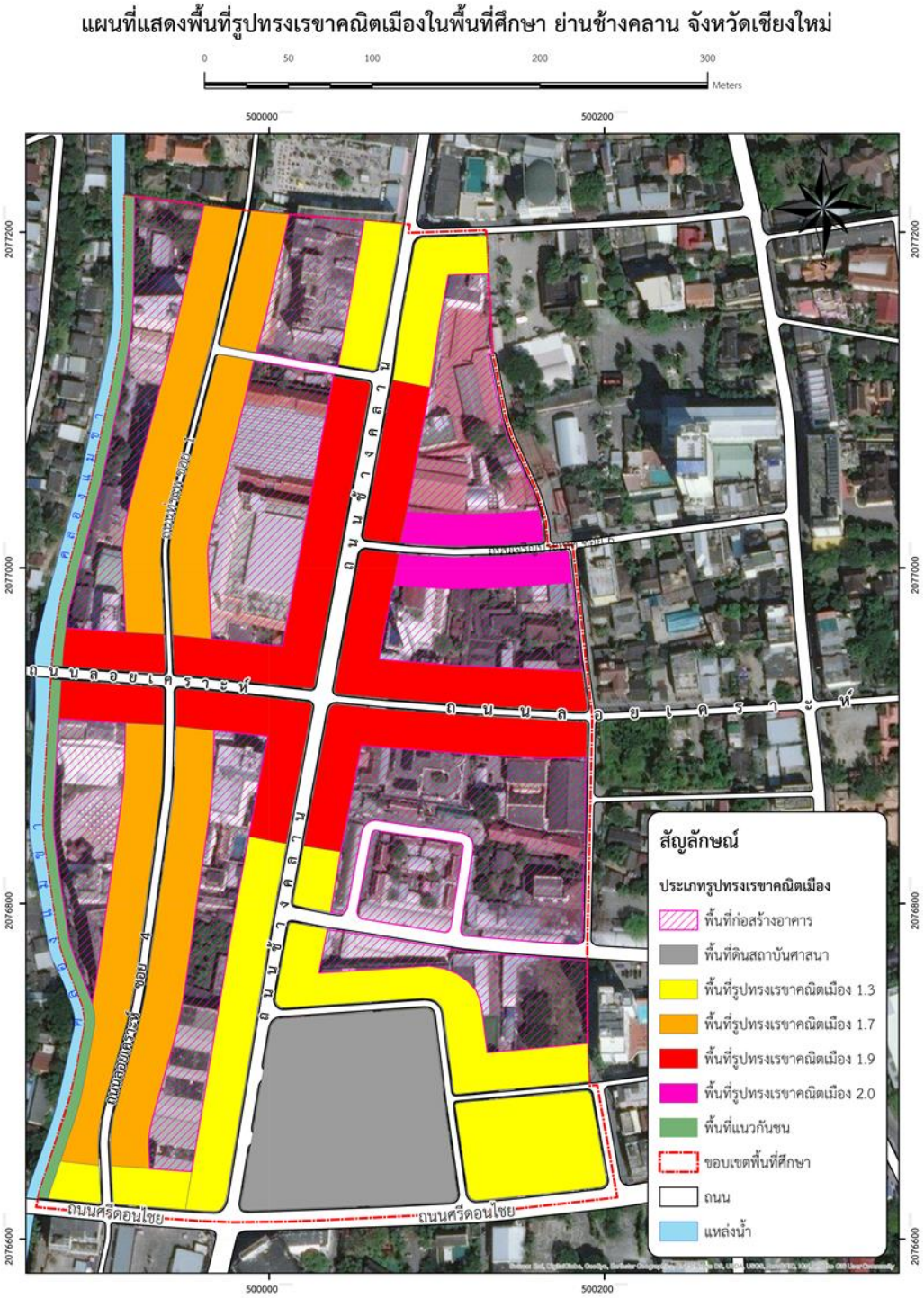
4) รูปทรงเรขาคณิตเมือง 2.0 (พื้นที่สีชมพู) บริเวณถนนเจริญประเทศซอย 6 ถนนมีความกว้าง 5.00 เมตร สามารถสร้างอาคารสูงได้ 12 เมตร วัดจากระดับพื้นที่ก่อสร้างอาคารถึงพื้นดาดฟ้าหรือยอดผนังชั้นบนสุด มีระยะร่นจากกึ่งกลางถนน 6.00 เมตร

5) พื้นที่แนวกันชน (พื้นที่สีเขียว) พื้นที่ร่นจากแนวทางน้ำสาธารณะคลองแม่ข่า 6.00 เมตร ห้ามมีสิ่งปลูกสร้างโดยเด็ดขาด

6) พื้นที่ก่อสร้างอาคาร (พื้นที่แนวทะแยงสีชมพู) พื้นที่ดังกล่าวนี้ควรก่อสร้างอาคารตามกฎหมายควบคุมอาคารและกฎหมายการใช้ประโยชน์ที่ดิน

7) พื้นที่ดินสถาบันศาสนา (พื้นที่สีเทา) พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่วัดศรีดอนไชย และโรงเรียนชุมชนเทศบาลวัดศรีดอนไชย

จากกผังแสดงรูปทรงเรขาคณิตเมืองดังกล่าวเป็นแนวทางในการกำหนดความสูงของอาคารตามแนวถนนที่วางตัวตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ และทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ทั้งนี้การสร้างอาคารควรพิจารณาข้อบังคับ หรือกฎหมายควบคุมอาคาร และกฎหมายการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การเว้นระยะห่างระหว่างอาคาร, อัตราส่วนของที่ว่างต่อพื้นที่อาคารรวม (Open Space Ratio : OSR), อัตราส่วนพื้นที่อาคารรวมต่อพื้นที่ดิน (Floor Area Ratio : FAR)



ภาพที่ 167 แผนผังแสดงรูปทรงเรขาคณิตเมืองในพื้นที่ศึกษา ย่านช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : ผู้วิจัย

5.4 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลการศึกษาพบว่าย่านช้างคลานมีลักษณะภูมิอากาศเขตพื้นที่เมืองที่มีความเปราะบางสูงทางอุณหภูมิ (Highly temperature sensitive urban area) ประกอบด้วยอาคารพาณิชยกรรมเก่าและมีอาคารที่ถูกสร้างขึ้นมาใหม่บางส่วน ซึ่งมีการปลูกสร้างต่อเนื่องกันเป็นแนวตามถนนช้างคลาน ทำให้ได้รับความร้อนจากรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ และความร้อนจากการสัญจรของรถยนต์ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35.32 - 35.57 องศาเซลเซียส สูงที่สุดในเวลา 15.00-16.00 น. ประกอบกับอากาศไม่สามารถถ่ายเทได้อย่างสะดวก ทำให้ความร้อนถูกเก็บกับอยู่ในพื้นที่ว่างระหว่างถนน เมื่อปรับปรุงรูปทรงเรขาคณิตเมืองตามกฎหมายควบคุมอาคารในพื้นที่ศึกษา โดยมีการเว้นพื้นที่ว่างระหว่างอาคารตามแนวถนน ระยะร่นจากแนวถนน และเพิ่มความสูงอาคาร ปรากฏว่าอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นดิน 1.8 เมตร มีแนวโน้มลดลงเฉลี่ย 0.54 องศาเซลเซียส โดยรูปทรงเรขาคณิตเมือง 1.9 อันประกอบด้วย อาคารสูง 14.00 เมตร ทั้งสองฝั่งของถนน และถนนกว้าง 14.40 เมตร (ถนนกว้าง 12.00 เมตร รวมกับทางเดินเท้า 1.2 เมตรทั้งสองฝั่งถนน) มีศักยภาพมากที่สุดในการลดอุณหภูมิอากาศ ถึงแม้ความเร็วลมจะลดต่ำลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดรวม 1 ตารางกิโลเมตร ทำให้ปัจจัยสภาพภูมิอากาศจากพื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษาส่งผลกระทบมายังพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกัน

5.5 การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าถนนที่วางตัวในแนวตะวันออก – ตะวันตก จะได้รับแสงอาทิตย์ยาวนานกว่าถนนที่วางตัวในแนวเหนือ - ใต้ ส่งผลให้พื้นผิวของถนน วัสดุอาคารต่างๆได้รับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์มากกว่า จากการศึกษาของ ชินดนัย (2557) ที่ศึกษาผลกระทบของรูปแบบเมืองต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อน ในที่ดินประเภทพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนแบบทุ่งหญ้าสะวันนา (Tropical savanna climate หรือ Tropical wet and dry climate) เช่นเดียวกันกับเมืองเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มความสูงอาคารและลดขนาดเขตทาง ส่งผลให้อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง โดยแนวถนนที่วางตัวในแนวเหนือ – ใต้ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลงมากที่สุดเมื่อมีการเพิ่มความสูงอาคาร 12.5 เมตร เขตทางมีขนาดเท่ากับ 17 เมตร และแนวถนนตะวันออก – ตะวันตก อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยลดลงสูงสุด ที่สัดส่วนความสูงอาคาร 6.5 เมตร และความกว้างเขตทางเท่ากับ 17 เมตร และจากการผลการศึกษาพบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ ชินดนัย (2557) ในแง่ของอาคารทั้งสองฝั่งของถนนมีส่วนช่วยในการบดบังแสงอาทิตย์ ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยบริเวณถนนและทางเดินเท้า

และความเร็วลมที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการระบายอากาศ ยังช่วยในการลดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยด้วยเช่นกัน

การออกแบบเมื่อที่คำนึงถึงรูปทรงเรขาคณิตเมืองและส่งเสริมให้เกิดการระบายอากาศที่เหมาะสมจะช่วยลดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยบริเวณถนนและทางเดินเท้าได้ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมยังแสดงให้เห็นว่าการลดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจะช่วยปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนให้ดีขึ้นด้วยเช่นกัน

5.6 ปัญหาและข้อจำกัดในการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พบข้อบกพร่องในการวิจัยในบางประการ ซึ่งส่งผลให้การวิจัยไม่สมบูรณ์ ได้แก่

1) การตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนาม ในขั้นตอนการตรวจวัดปัจจัยสภาพอากาศภาคสนามของการวิจัยนี้มีการใช้เครื่องมือตรวจวัดเพียง 1 ชุด เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงและมีขั้นตอนการใช้งานที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ จึงทำให้ไม่สามารถตรวจวัดสภาพภูมิอากาศได้หลายๆ จุดของพื้นที่ศึกษาในวันและเวลาเดียวกัน ซึ่งปัญหาในส่วนนี้ผู้วิจัยจึงทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดตรวจวัดบริเวณลานวัดศรีดอนไชยเป็นเวลา 3 วัน คือ วันที่ 24-25 และ 28 เมษายน 2560 (วันที่ 26-27 มีเมฆฝนปกคลุมท้องฟ้า)

2) การประมวลผลแบบจำลองที่ยาวนาน ในขั้นตอนการปรับแก้และยืนยันความเชื่อมั่นแบบจำลอง (Calibration and Validation) และการจำลองสภาพจุลภูมิอากาศ(Model Simulation) ใช้เวลาในการประมวลผลของแบบจำลองที่ยาวนานมาก ทำให้การวิจัยล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนด เนื่องจากแบบจำลองมีขนาดพื้นที่ข้อนข้างใหญ่(พื้นที่รวม 1 ตารางกิโลเมตร)

3) ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะให้ความสำคัญในการทบทวนวรรณกรรม และศึกษาทฤษฎีในประเทศและต่างประเทศ ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง และปัจจัยด้านกายภาพของสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่อสภาพจุลภูมิอากาศในศูนย์กลางเมืองเท่านั้น เนื่องจากภูมิอากาศในศูนย์กลางเมืองยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อภูมิอากาศด้วย เช่น ปริมาณจราจร กิจกรรมจากประชนในพื้นที่ เป็นต้น

4) ขนาดของแบบจำลอง ณ ปัจจุบันโปรแกรม ENVI-met มีข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองขนาดใหญ่ที่สุดเพียง 250x250x30 กริดเซลล์เท่านั้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานโปรแกรมดังกล่าวควรเป็นการศึกษาในระดับย่าน หรือพื้นที่ที่มีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป เพื่อผลของแบบจำลองที่มีความถูกต้อง

5.7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ในส่วนนี้จะเป็นการเสนอแนะเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมถึงประสบการณ์ที่ได้ในการทำวิจัย และแนวคิดที่เกิดในช่วงที่ทำการวิจัยนี้ โดยมีลักษณะเป็นการวิจารณ์ข้อด้วยของการวิจัย พร้อมทั้งเสนอแนะประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการวิจัยในโอกาสต่อไป ดังนี้

1) การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพื้นที่ แต่ขอเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปความมุ่งเน้นในประเด็นการออกแบบภูมิทัศเมือง หรือประเด็นการบริหารจัดการเมือง การมีส่วนร่วมในการพัฒนาในระดับย่านหรือเมือง เป็นต้น

2) ในขั้นตอนการวิจัยโดยใช้แบบจำลองโปรแกรม ENVI-met สามารถประยุกต์ใช้งานด้านการจำลองอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่ส่งผลต่อสภาพจุลภูมิอากาศในเมืองได้ เช่น ปัจจัยด้านมลภาวะทางอากาศ การถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างอาคารและพื้นที่โดยรอบ และศักยภาพของพื้นที่สีเขียวในการลดความร้อนในเขตเมือง เป็นต้น หรือการใช้สร้างแบบจำลองของพื้นที่โครงการเพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศในพื้นที่ต่อโครงการ หรือผลกระทบทางสภาพอากาศที่จะส่งผลต่อพื้นที่โดยรอบโครงก่อนการก่อสร้างได้

3) การจำลองสภาพอากาศและเปรียบเทียบปัจจัยสภาพอากาศในฤดูอื่นๆของปี ทั้งนี้จะต้องมีการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนามด้วย การเลือกจุดติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดทางอุตุนิยมวิทยาไม่ควรจะอยู่ในที่ที่มีความเสี่ยงต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล เช่น ฝนตก หรือ เทศกาลสงกรานต์ ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นได้ว่าผลจากการทดลองช่วงเดือนเมษายนซึ่งปกติเป็นช่วงหน้าร้อนที่สุดของปี

4) เนื่องจากเมืองเชียงใหม่เป็นเมืองที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีการขยายเมืองไปยังอำเภอที่อยู่รอบๆอย่างรวดเร็ว เพราะมีถนนเป็นตัวนำความเจริญจากเมืองไปสู่ชนบท มีการสร้างอาคารหมู่บ้านจัดสรรเป็นจำนวนมาก จากผลการวิจัยข้างต้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหรือข้อกำหนดในการสร้างอาคารตามแนวถนน ในพื้นที่เมืองได้

การศึกษาปัญหาของพื้นที่ในระดับย่าน และปัจจัยด้านเรขาคณิตเมืองที่ส่งผลต่อภูมิอากาศย่านช้างคลาน ในระดับชั้นเรือนยอดของเมือง (Urban Canopy Layer: UCL) ที่เป็นส่วนหนึ่งของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองของเมืองเชียงใหม่ ได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้แล้วตามแนวทางและกระบวนการวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยนี้สามารถสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อเสนอแนะรูปทรงเรขาคณิตเมือง เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนชุมชนเมืองในอนาคตที่สามารถลดความรุนแรงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในระดับหนึ่ง อีกทั้งช่วยปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนในบริเวณทางเท้า และลดความเสี่ยงอาการเจ็บป่วยของประชาชนที่เกิดจากความร้อน อย่างไรก็ดีรูปทรงเรขาคณิตเมืองเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน

เมือง ซึ่งปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองยังประกอบด้วยปัจจัยอีกมากมาย ในการศึกษาต่อไปควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อค้นหาแนวทางที่ช่วยลดความรุนแรงของปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของเมืองเชียงใหม่ต่อไป

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

บรรณานุกรม

ข้อมูลเส้นทางแสงอาทิตย์ (**Sun path),** ความยาวช่วงวัน (**Day length)** และรูปแบบเงา (**Shade pattern)**. [Online]. Available https://www.timeanddate.com/ (30 เมษายน 2560).

วิษณุ ก่อพิมพ์, 2556. **อิทธิพลของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนพื้นผิวของกรุงเทพมหานคร.** สาขาวิชาเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

วันเพ็ญ เจริญตระกูลปีติ, 2555. อิทธิพลของสิ่งปกคลุมดินที่มีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร. **วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม** 8(1).

ปริญญา ฉายะพงษ์. 2553. **การวิเคราะห์ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเขตเมืองเชิงพื้นที่และความสัมพันธ์กับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินและการบริโภคพลังงานไฟฟ้า กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.** ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ชูเกียรติ แซ่ลิ้ม. 2553. **การศึกษาระยะราบต่อความสูงอาคารเพื่อส่งเสริมการระบายอากาศโดยธรรมชาติ เพื่อเจือจางก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของถนนในเมือง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนตรี ตั้งศิริมงคล. 2546. **ลักษณะขององค์ประกอบภูมิทัศน์เมืองที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศบริเวณถนน.** ภูมิสถาปตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. วิทยานิพนธ์ปริญญา-โท. จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

ชินดนัย ตันสกุล. 2557. **การศึกษาผลกระทบของรูปแบบเมืองต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อน พื้นที่กรุงเทพมหานคร.** มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. สารนิพนธ์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

จารุวรรณ ทองมีแสง. 2554. **การวิเคราะห์ปัจจัยการเกิดเกาะความร้อนในเมืองเชียงใหม่. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธนกฤต เทียนมณี. 2545. **ปรากฏการณ์เกาะความร้อนกับสภาพทางกายภาพของเมือง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

บุญญวัฒน์, จ. 2542. โดมความร้อนเหนือมหานคร วิธีการตรวจวัดและแนวทางการควบคุม. จุฬาวิจัย, 18 (5), 13-17.

ธราวุฒิ บุญเหลือ. 2556. **รูปทรงของเมืองที่ยั่งยืนในอนาคต (Future Form for Sustainability)**. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิตศิลป์. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสารคาม. ประเทศไทย.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นวภัทรา หนูนาค. (2555). กฎของสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ "**Stefan-Boltzmann's law** ". In ส. ค. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (Ed.). กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.

ภาวิณี เอี่ยมตระกูล, ทัตเทพ หนูสุข และ พรจณัฐ อุบลฉาย. 2557. ผลกระทบของปัญหาสภาวะเกาะความร้อนเมืองต่อการใช้ชีวิตประจำวันของคนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies : JARS**, 11(2), 53-72.

ภาวิณี เอี่ยมตระกูล และ พัชราพร ฤกษ์หร่าย. 2556. **แผนงานวิจัยการบรรเทาปัญหาสภาวะเกาะความร้อนเมืองด้วยการพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

มานัส ศรีวณิช, สุดารัตน์ อุทธารัตน์. 2558. สภาพแวดล้อมเชิงความร้อนฤดูร้อนและความรู้สึกสบายภายใต้ร่มเงาภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารสำหรับการอยู่อาศัยในเขตเมืองเชียงใหม่. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies : JARS**, 12(2), 53-72.

---. 2559. การจำแนกความคล้ายเชิงพื้นที่ทางความเสถียรเชิงความร้อนพื้นผิวเพื่อกำหนดความแตกต่างของเขตบรรยากาศประจำถิ่นในเมืองเชียงใหม่. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies : JARS**, 13(1), 1-22.

วันเพ็ญ เจริญตระกูลปีติ และนิกร มหาวัน. 2557. มิติเชิงพื้นที่และเวลาของสภาวะเกาะแห่งความร้อนเมืองเชียงใหม่. **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.**, 19(14), 10.

วันเพ็ญ เจริญตระกูลปีติ, นิกร มหาวัน และวัชรี เจนจัดการ. 2553. **รายงานการวิจัยการวิเคราะห์เปรียบเทียบและตรวจสอบความเข้มข้นของปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองหลักของประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มานัส ศรีวนิช. 2010. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับลักษณะเชิงพื้นที่ต่อปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเมืองเชียงใหม่ (**Effects of Climate Change and Spatial Characteristics on Urban Heat Island in Chiang Mai Metropolitan Area, Thailand**.). 19 – 21 August 2010.

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ. 2560. **ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นที่จังหวัดต่าง ๆ ของไทย.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.narit.or.th/index.php/pr-news/2916-27-april-2560-

bangkok (2 กุมพาพันธ์ 2560)

อนุศาสน์ สิทธิเวช. 2554. **การศึกษาลักษณะเชิงพื้นที่ของปัญหา และปัจจัยสำคัญของการเกิดเกาะความร้อนในพื้นที่เมืองเชียงใหม่.** การวางแผนชุมชนเมืองและสภาพแวดล อมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สุดารัตน์ อุทธารัตน์, มานัส ศรีวนิช และณัฐสิทธิ์ ศรีนุรักษ์. 2558. **การศึกษาแนวคิดการออกแบบทางผังเมืองเพื่อสร้างองค์ความรู้สำหรับใช้เป็นแนวทางในการลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเมืองเชียงใหม่.** เชียงใหม่, ประเทศไทย: สถาบันวิจัยสังคม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

---. 2558. **การศึกษาแนวคิดการออกแบบทางผังเมืองเพื่อสร้างองค์ความรู้สำหรับใช้เป็นแนวทางในการลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในเขตเมืองเชียงใหม่.**

สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวณิค. 2536. **การวิเคราะหสภาวะนาสบายและสภาพแวดลอมที่เกี่ยวของกับอาคารสถาปตยกรรมไทย.** คณะสถาปตยกรรมศาสตร. จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.

สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวณิค. 2546. **การใช้กระจกยุคใหม่เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม.** ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย.

เสกสรร วรรณแก้ว, วิทยา ดวงธิมา, นิกร มหาวัน, ลักษณา สัมมานิธิ และมานัส ศรีวณิช. 2560. อิทธิพลของเรขาคณิตเมืองที่มีผลต่อการเกิดปรากฏการเกาะความร้อนเมือง :การศึกษาทดลองในพื้นที่วิทยาเขตของมหาวิทยาลัยแม่โจ้. **วารสารวิชาการการวางแผนภาคและเมือง**, 2(1), 211-228.

หอจดหมายเหตุแห่งชาติ. 2542. **ย่านช้างคลาน :ไนท์บาซ่าร์ในเวลากลางวัน** เมื่อ พ.ศ. 2542. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://library.cmu.ac.th/ntic/picturelanna/detail_picturelanna.php?picture_id=1183 (6 กุมภาพันธ์ 2560)

สุรัตน์ อัตถจริยากุล. 2550. ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับอากาศในประเทศไทย. **วิศวกรรมสาร มข.**, 34(2), 141-150 Acero, A., J., Herranz-Pascual & Karmele. 2015. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. **Building and Environment**, 93(245-257.

Al-ameri, A. Q. & Ossen, D. 2014. **Effect of asymmetrical street aspect ratios on microclimates in hot, humid regions**.

Ali-Toudert, F. & Mayer, H. 2006. **Numerical Study on the effects of aspect ratio**

and orientation on an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate.

---. 2007. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**, 81(6), 742-754.

Anderson, J. R., E.E. Hardy, J. T. Roach & Witmer, R. E. 1976. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data.** p. 28. In.

Arakawa, A. Lamb & V.R. 1977. "Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model." **New York: Academic Press.**, 173–265.

Arnfield, A. 2003. **Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island**.

ASHRAE. 1992. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta.: Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers Inc.

Auer, A. H. 1978. Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. **J. Appl. Meteor**, 17(636–643.

Black & M. 1952. **Critical Thinking: An Introduction to Logic and Scientific Method.** Prentice Hall.

Blocken, B., Janssen, W. D. & van Hooff, T. 2012. CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus. **Environmental Modelling & Software**, 30(15-34.

Brown, R. P. C., J. Foster. & Connell. 1995. Remittances, saving, and policy formation in pacific island states. . **Asian Pacific Migration journal**, 4(1), 17-18.

Brunn, S. D., J. F. Williams & Eds. 1983. **Cities of the World: World Regional Urban Development.**: Harper and Row.

Bruse, M. & Fleer, H. 1998. **Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model**.

Chandler & T. J. 1965. **The Climate of London. Hutchinson**.

Chao Rena, Tejo Spitb, Sanda Lenzholzerc, Hung Lam Steve Yimd, Bert Heusinkvelde, Bert van Hovee, Liang Chena, Sebastian Kupskif, René Burghardtf & Lutz

Katzschnerf. 2012. Urban Climate Map System for Dutch spatial planning. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 18, 207-221.

Chen, L. & Ng, E. 2012. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. **Cities**, 29(2), 118-125.

Chen, Q. & Srebric, J. 2002. A Procedure for Verification, Validation, and Reporting of Indoor Environment CFD Analyses. **HVAC&R Research**, 8(2), 201-216.

Chen, Y.-C., Lin, T. P. & Matzarakis, A. 2014. **Comparison of mean radiant temperature from field experiment and modelling: a case study in Freiburg, Germany**.

Conry, P., Sharma, A., Potosnak, M. J., Leo, L. S., Bensman, E., Hellmann, J. J. & Fernando, H. J. S. 2015. Chicago's Heat Island and Climate Change: Bridging the Scales via Dynamical Downscaling. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 54(7), 1430-1448.

Duarte, D. H. S., Shinzato, P., Gusson, C. d. S. & Alves, C. A. 2015. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, 14(224-239.

Ellefsen & R. 1991. Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. **Energ. Buildings**, 15-16(1025–1049.

---. 1990. Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. **Energ. Buildings.**, 15(16), 1025–1049.

ENVI-Met. 2015. ENVI-Met SERVICES. [Online]. Available http://www.envi-met.com/services (18 November 2017).

EPA. 2015. **Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM).** [Online]. Available https://www.epa.gov/scram (19 November 2017)

Erell, E., Pearlmutter, D., Boneh, D. & Kutiel, P. B. 2014. Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. **Urban Climate**, 10(367-386)

Erell, E. & Williamson, T. 2006. Comments on the correct specification of the analytical CTTC model for predicting the urban canopy layer temperature. **Energy and Buildings**, 38(8), 1015-1021.

Fanger, P. O. 1970. **Thermal comfort : analysis and applications in environmental engineering.** Copenhagen, 1970.: Danish Technical Press.

G. W. Paltridge & C. M. R. Platt 1977. Radiative processes in meteorology and climatology. **Geophysical Journal International**, 48(3), 553-554.

Gagge, A. P. 1971. An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response. **ASHRAE Trans.**, 77(247-262)

Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U. & Ghaffarianhoseini, A. 2015. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. **Building and Environment**, 87(154-168)

Givoni, B. 1998. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. Canada: John Wiley and Sons, Inc. .

Grigg, D. 1965. THE LOGIC OF REGIONAL SYSTEMS. **Annals of the Association of American Geographers**, 55(3), 465-491.

Grimmond, C. & Oke, T. 1991. **An Evapotranspiration-Interception Model for Urban Areas**.

Grimmond, C., Oke, T. & G. Steyn, D. 1986. **Urban Water Balance:** 1. **A Model for Daily Totals**.

Grimmond, C. S. B. & Oke, T. R. 1999. Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form. **Journal of Applied Meteorology**, 38(9), 1262-1292.

Hamdi, R. & Masson, V. 2008. Inclusion of a drag approach in the Town Energy Balance (TEB) scheme: offline 1-D validation in a street canyon. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 47(PP. 2627-2644.

Häubi, F. & Roth, U. 1980. Wechselwirkung zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen (Interaction between settlement structure and heating supply systems). p. 10, 270 pp. In **Forschungsprojekt BMBau RS II** 4-704102-77.

Hedquist, B. C. & Brazel, A. J. 2014. Seasonal variability of temperatures and outdoor human comfort in Phoenix, Arizona, U.S.A. **Building and Environment**, 72(377-388.

Homer, C. & Coauthors. 2007. **Completion of the** 2001 **national land cover**

database for the coterminous United States.

Höppe, P. 2002. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, 34(6), 661-665.

Huang, H., Ooka, R. & Kato, S. 2005. Urban thermal environment measurements and numerical simulation for an actual complex urban area covering a large district heating and cooling system in summer. **Atmospheric Environment**, 39(34), 6362-6375.

Huttner S. 2012. **Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVImet. .** PhD thesis. Johannes Gutenberg University.

J., D. 2000. **Urban heat island definition: Atmospheric Environment**.

Jänicke, B., Meier, F., Hölscher, M.-T. & Scherer, D. 2015. **Evaluating the Effects of Façade Greening on Human Bioclimate in a Complex Urban Environment**.

Järvi, L., Grimmond, C. S. B. & Christen, A. 2011. The Surface Urban Energy and Water Balance Scheme (SUEWS): Evaluation in Los Angeles and Vancouver. **Journal of Hydrology**, 411(3), 219-237.

Jarvis, P. G. 1976. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, 273(927), 593-610.

Jauregui, E. 1997. Heat island development in Mexico City. **Atmospheric Environment**, 31(3821- 3831.

Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R. & Krüger, E. 2014. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. **Urban Climate**, 10(Part 2), 346-366.

Jr., A. H. A. 1978. Correlation of Land Use and Cover with Meteorological Anomalies. **Journal of Applied Meteorology**, 17(5), 636-643.

Karlsson, R. 2014. **The SOLWEIG-model.** [Online]. Available https://gvc.gu.se/english/staff/staff/thorsson-sofia/current-projects/the-solweig-model (19 November 2017)

Kataoka, K., Matsumoto, F., Ichinose, T. & Taniguchi, M. 2009. Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years. **Science of The Total**

Environment, 407(9), 3112-3119.

Kokkonen, T. V., Grimmond, C. S. B., Räty, O., Ward, H. C., Christen, A., Oke, T. R., Kotthaus, S. & Järvi, L. 2018. Sensitivity of Surface Urban Energy and Water Balance Scheme (SUEWS) to downscaling of reanalysis forcing data. **Urban Climate**, 23(36-52.

Kostof & S. 1991. **The City Shaped: Urban Patterns and Meanings through History.** . Thames and Hudson.

Krüger, E. L., Minella, F. O. & Rasia, F. 2011. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, 46(3), 621-634.

Kuhn, P. M. 1963. Radiometersonde Observations of Infrared Flux Emissivity of Water Vapor. **Journal of Applied Meteorology**, 2(3), 368-378.

Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y. & Kimura, F. 2001. A Simple Single-Layer Urban Canopy Model For Atmospheric Models: Comparison With Multi-Layer And Slab Models. **Boundary-Layer Meteorology**, 101(3), 329-358.

Landberg, H. E. 1981. The Urban Climate. **New York: Academic Press.**, 83.

Launder, B. E. & Spalding, D. B. 1974. The numerical computation of turbulent flows. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, 3(2), 269-289.

Lee, H., Mayer, H. & Chen, L. 2016. Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. **Landscape and Urban Planning**, 148(37-50.

Lemonsu, A., Kounkou-Arnaud, R., Desplat, J., Salagnac, J.-L. & Masson, V. 2013. Evolution of the Parisian urban climate under a global changing climate. **Climatic Change**, 116(3), 679-692.

Liljequist, G. H. (2006). Die Kondensationsprozesse in der Atmosphäre. In G. H. Liljequist & K. Cehak (Eds.), **Allgemeine Meteorologie** (pp. 109-130). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Lindberg, F. & Grimmond, C. 2011. **The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: Model development and evaluation**.

Liu, J., Chen, J. M., Black, T. A. & Novak, M. D. 1996. E-**ε** modelling of turbulent air flow downwind of a model forest edge. **Boundary-Layer Meteorology**, 77(1), 21-44.

Loridan, T. & Grimmond, C. S. B. 2012. Characterization of Energy Flux Partitioning in Urban Environments: Links with Surface Seasonal Properties. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 51(2), 219-241.

M. Bruse. 2004a. Envi-met implementation of the a-gs model to calculate the stomata conductance (working paper).

M., H. (1995). **The** 1994 **British Crime Survey**. London. (H. O. R. Study. Document Number)

Marsh, W. M. 1991. **Landscape Planning: Environment Application**. Johnson Willey &son inc.

Masson, V. 2000. **A Physically-Based Scheme For The Urban Energy Budget In Atmospheric Models**.

Mellor, G. L. & Yamada, T. 1974. A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 31(7), 1791-1806.

Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Martin, C. A. & Guhathakurta, S. 2014. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. **Landscape and Urban Planning**, 122(16-28.

Mochida, A. & Lun, I. Y. F. 2008. Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 96(10), 1498-1527.

Montazeri, H. & Blocken, B. 2013. CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis. **Building and Environment**, 60(137-149.

Moonen, P., Defraeye, T., Dorer, V., Blocken, B. & Carmeliet, J. 2012. Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand. **Frontiers of Architectural Research**, 1(3), 197-228.

Müller, N., Kuttler, W. & Barlag, A.-B. 2014. Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort. **Theoretical and**

Applied Climatology, 115(1), 243-257.

Ng, E., Chen, L., Wang, Y. & Yuan, C. 2012. **A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong**.

O'Connor & A. 1983. **The African City.** Hutchinson. 359.

Oke, T. R. 1981. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat-Island – Comparison of Scale Model and Field Observations. **Journal of Climatology,**, 1(237).

Oke, T. R. 1982. The Energetic Basis of the Urban Heat-Island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 108(1-24.

---. 1987a. **Boundary Layer Climates**. University of Cambridge: Routledge.

---. 1987b. **Boundary Layer Climates.** . Routledge, London, UK.

Oke, T. R. 1988. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, 11(1), 103-113.

Oke, T. R. 1995. **The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects. In J. E. Cermak, A. G. Davenport, E. J. Plate,& D. X. Viegas (Eds.)**. Dordrecht: Kluwer Academic.

Oke, T. R. 2004. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** [Online]. Available www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf. (22 October 2017)

Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 11(5), 1633-1644.

Pigeon, G., Zibouche, K., Bueno, B., Le Bras, J. & Masson, V. 2014. Improving the capabilities of the Town Energy Balance model with up-to-date building energy simulation algorithms: an application to a set of representative buildings in Paris. **Energy and Buildings**, 76(1-14.

Potter, R. B. & S. Lloyd-Evans. 1998. **The City in the Developing World.**: Longman.

Robert, B. D. a. T., Gillespie J. 1995. **Microclimate Landscape Design**. U.S.A.: John Wiley & Sons. Inc.

Robinette, G. D. (1972). **Plant People and Environmental Quality**. U.S.A.: US Department of Interior with American Society of Landscape Architects.

Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, R. & de Lieto Vollaro, A. 2016. Urban

microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data. **Sustainable Cities and Society**, 26(318-343.

Santamouris, M. K., D. 2016. **Urban Climate Mitigation Techniques**. Taylor & Francis.

Scherer, D., Fehrenbach, U., Beha, H. D. & Parlow, E. 1999. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. **Atmospheric Environment**, 33(24), 4185-4193.

Schlünzen, K. H., Hinneburg, D., Knoth, O., Lambrecht, M., Leitl, B., López, S., Lüpkes, C., Panskus, H., Renner, E., Schatzmann, M., Schoenemeyer, T., Trepte, S. & Wolke, R. 2003. Flow and Transport in the Obstacle Layer: First Results of the Micro-Scale Model MITRAS. **Journal of Atmospheric Chemistry**, 44(2), 113-130.

Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J. & Salleh, E. 2012. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. **Building and Environment**, 58(245-257.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor, H.L. Miller & (eds.). (2007). **Summary for Policymakers. In: Climate Change** 2007: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge.: United Kingdom, New York, USA.

Song Bonggeun & Park Kyunghun. 2015. **Contribution of Greening and High-Albedo Coatings to Improvements in the Thermal Environment in Complex Urban Areas**.

Spirn, A. W. 1984. **The Granite Garden: Urban nuture and Human Design.** New York : Basic Books.

Srivanit, M. 2012. EFFECTS OF URBAN DEVELOPMENT AND SPATIAL CHARACTERISTICS ON URBAN THERMAL ENVIRONMENT IN CHIANG MAI METROPOLITAN, THAILAND. **LOWLAND TECHNOLOGY INTERNATIONAL**, 14(2), 9-22.

Srivanit Manat & Hokao Kazunori. 2013. Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. **Building and Environment**, 66(158-172.

Stewart, I. D. & Oke, T. R. 2012. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies.

Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879-1900.

Stewart, I. D. & R., O. T. 2012. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 93(12), 1879-1900.

Stewart, L. D. 2011. **Redefining the urban heat island.** Doctor of Philosophy. The University of British Columbia (Vancouver).

Taesler, R. & Andersson, C. 1984. A method for solar radiation computations using routine meteorological observations. **Energy and Buildings**, 7(4), 341-352.

Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M. & van den Dobbelsteen, A. 2015. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. **Building and Environment**, 83(65-78.

Theurer, W. 1999. Typical building arrangements for urban air pollution modelling. **Atmospheric Environment**, 33(24), 4057-4066.

Vance, J. E. & Jr. 1990. The Continuous City: Urban Morphology in Western Civilization. John Hopkins University Press., 552.

Voogt, A. J. (2002). **Urban Heat Island : Causes and consequences of global environmental change**. Canada: University of Western Ontario. Document Number)

W., C. P. a. V. 2004. Energy and radiation balance of a central European city. **International Journal of Climatology**, 24(1395-1421.

Wang, Y., Berardi, U. & Akbari, H. 2016. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. **Energy and Buildings**, 114(2-19.

Wang, Y. & Zacharias, J. 2015. Landscape modification for ambient environmental improvement in central business districts – A case from Beijing. **Urban Forestry & Urban Greening**, 14(1), 8-18.

Ward, H. C., Kotthaus, S., Järvi, L. & Grimmond, C. S. B. 2016. Surface Urban Energy and Water Balance Scheme (SUEWS): Development and evaluation at two UK sites. **Urban Climate**, 18(1-32.

Wiernga, J. 1993. Representative roughness parameters for homogeneous terrain. **Boundary-Layer Meteorology**, 63(4), 323-363.

Wilmers & F. 1991. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energ Build**, 15–16(507–514.

Wong, E. 2008. **Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies.** [Online]. Available https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium

Wong, N. H., Kardinal Jusuf, S., Aung La Win, A., Kyaw Thu, H., Syatia Negara, T. & Xuchao, W. 2007. Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. **Building and Environment**, 42(8), 2949-2970.

Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y. & Wong, N. C. 2009. Energy simulation of vertical greenery systems. **Energy and Buildings**, 41(12), 1401-1408.

Xuan, L., Xian-Xiang, L., Suraj, H., Matthias, R. & Erik, V. 2017. Evaluation of an urban canopy model in a tropical city: the role of tree evapotranspiration. **Environmental Research Letters**, 12(9), 094008.

Yamada., T. 1982. A numerical study of turbulent airflow in and above a forest canopy. **Meteorolog Society.**, 60), 439–454.

Yamashita, S. 1996. Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in Metropolitan Tokyo. **Atmospheric Environment**, 30(3), 429-435.

Yoshie, R., Mochida, A., Tominaga, Y., Kataoka, H., Harimoto, K., Nozu, T. & Shirasawa, T. 2007. Cooperative project for CFD prediction of pedestrian wind environment in the Architectural Institute of Japan. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 95(9), 1551-1578.

Zhao, W., Zhang, N., Sun, J. & Zou, J. 2014. Evaluation and Parameter-Sensitivity Study of a Single-Layer Urban Canopy Model (SLUCM) with Measurements in Nanjing, China. **Journal of Hydrometeorology**, 15(3), 1078-1090.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	เสกสรร วรรณแก้ว	
เกิดเมื่อ	2 พฤษจิกายน 2531	
ประวัติการศึกษา	2555	สถ.บ. (เทคโนโลยีภูมิทัศน์) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	2553	ARAVA International Center of Agriculture, ARAVA, Israel.
	2552	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (สาขาวิชาพืชศาสตร์) วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีร้อยเอ็ด
	2549	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (สาขาวิชาพืชศาสตร์) วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสงขลา
ประวัติการทำงาน	2555-2558	นักออกแบบภูมิทัศน์ บริษัท Chongqing WISTO Landscape Architects จำกัด เมืองฉงชิ่ง, ประเทศจีน