

การศึกษาสมรรถนะการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วย
ของเหลวแบบวงปิดเพื่อลดอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

การศึกษาสมรรถนะการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วย
ของเหลวแบบวงปิดเพื่อลดอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง



ประดิษฐ์ นิลรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาสมรรถนะการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วย
ของเหลวแบบวงปิดเพื่อลดอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

ประติษฐ์ นิลรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงชัย มณีชูเกตุ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.ปริญา คงกระพันธ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาสมรรถนะการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวแบบวงปิดเพื่อลดอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง
ชื่อผู้เขียน	นายประดิษฐ์ นิลรัตน์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง โดยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด และ ศึกษาสมรรถนะการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้มีขนาดหลอดละ 10 W ซึ่งมีหลอด แอลอีดีแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน อยู่ในหลอดเดียวกัน โดยทำการทดลองกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W 20 W 40 W และ 80 W ตามลำดับ จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5A ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้ไม่เกิน 60°C ตามรายละเอียดที่ผู้ผลิตรระบุไว้ โดยทำการเปรียบเทียบการระบายความร้อน 3 ระบบคือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ ขณะทดลองควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25°C ทั้งนี้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ สามารถลดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง สูงสุดเท่ากับ 73.75 % เมื่อเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำนี้ ระบายความร้อนได้มากกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์คิดเป็น 5.63 % และมากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์เท่ากับ 10.01% และระบบระบายความร้อนด้วยน้ำยังสามารถรักษาสภาพการส่องสว่างในรูปแบบของค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) ที่มีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช สูงสุดเท่ากับ 31.51 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ซึ่งพบว่าสูงกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์เท่ากับ 0.07 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์เท่ากับ 1.45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ในทำนองเดียวกันหลอดแอลอีดีที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวสามารถสร้างค่าความเข้มแสง (Light Intensity) ได้สูงสุดเท่ากับ 1187 lux ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ พบว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีการลงทุนที่สูงกว่าระบบระบายความร้อนอื่นๆเท่ากับ 2,320 บาท 975บาท 825บาท ตามลำดับ ดังนั้นการลงทุนราคาต่อค่า PPFD ที่ 1 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ที่มีการกระจายค่า PPFD บนพื้นที่ 1 m^2 จะ

เห็นได้ว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยอยู่ที่ 131.0 บาทซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น แต่อย่างไรก็ตามระบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถลดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีได้ดีที่สุด และสร้างค่า PPDF ที่พืชต้องการใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดีเช่นกัน

คำสำคัญ : หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง, แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



Title	A PERFORMANCE STUDY OF USING THERMOELECTRIC INTEGRATED WITH A CLOSED LOOP LIQUID COOLING SYSTEM FOR TEMPERATURE REDUCTION IN HIGH POWER LED
Author	Mr. pradit ninrat
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Thongchai Maneechukate

ABSTRACT

The purpose of this research is to design a high power LEDs cooling system using Thermo- electric device combined with a liquid-cooled loop system. 10 watts each are used in the high power LED's, which have red, green and blue LED lights combined in the internal of one LED. The Experiments uses high power LEDs 10W 20W 40W and 80W, respectively. It was found that the minimal supply of electricity to the Thermoelectric at 0.5A can control the temperature of the LED high power to be steady at 60°C according to manufacturer specification. The comparison of three cooling systems comprised of Closed-loop liquid cooling, Heat pipe cooling and Heatsink cooling systems the room temperature 25°C. The Closed-loop liquid cooling system can reduce temperature up to 73.75% of high power LEDs compared to the Heat pipe cooling system at 5.63% and the Heatsink cooling system at 10.01%. The closed-loop liquid cooling system can also maintain the illumination in the form of Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) values which is a necessity for the plant's photonics, being equal to 31.51 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ which was higher than using Heat pipe cooling system at 0.07 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ and Heatsink cooling system at 1.45 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. The LEDs with Closed-loop liquid cooling system can produce a maximum light intensity equal to 1187 lux, which is higher than using the Heat pipe cooling on Heatsink cooling system. Considering the cost of cooling system, the three systems found that

the Closed-loop liquid cooling system uses a higher investment than the other two cooling systems, being 2,320 baht, 975 baht and 825 baht, respectively. Therefore, considering the investment cost of PPFD per $1 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ with distribution on the area of 1 m^2 shows that the Closed-loop liquid cooling system cost 131.0 baht per unit which was the highest cost compared to the other two systems. However, the Closed-loop liquid cooling system can reduce the temperature of the high power LEDs and create the PPFD values that plants need for photosynthesis better than other systems.

Keyword : High Power LEDs Thermolectric Heat Exchanger



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิรินุช จินดารักษ์ ซึ่งได้ให้เกียรติเป็นประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ ที่ได้รับเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆและคำปรึกษาตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่จนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วง สำเร็จไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน และ อาจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์ ซึ่งให้เกียรติเป็นที่ปรึกษาร่วม ในการทำวิทยานิพนธ์ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ รวมถึงตรวจแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน รวมถึงบุคลากร วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ผู้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งานอุปกรณ์ รวมทั้งให้คำแนะนำหลายๆ ด้าน และเป็นกำลังใจจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี สุดท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบคุณครอบครัว เพื่อน พี่และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน พร้อมทั้งคำแนะนำ และเป็นกำลังใจจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ประดิษฐ์ นิลรัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	๗
สารบัญภาพ.....	๘
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
ขอบเขตการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร.....	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การถ่ายเทความร้อน.....	4
2.1.1. การนำความร้อน (Heat Conduction).....	4
2.1.2. การพาความร้อน (Heat Convection).....	5
2.1.3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation).....	6
2.1.4. ความต้านทานการนำความร้อนของวัตถุ (Thermal Resistance).....	6
2.1.5. สมการหาการระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	7
2.1.6. สมการหาประสิทธิภาพระบบระบายความร้อน.....	7
2.2. เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric).....	8

2.2.1. ปราบกฎการณชีเบก (See beck effect)	8
2.2.2. ปราบกฎการณเพลเทียร์ (Peltier effect).....	10
2.2.3. ลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	11
2.2.4. ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก.....	12
2.2.5. การระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	13
2.2.6. ลักษณะการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	14
2.3. ทฤษฎีของแอลอีดีกำลังงานสูง	15
2.3.1. หลักการเกิดแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง.....	19
2.3.2. แสงและการเจริญเติบโตของพืช	22
1. การสังเคราะห์ด้วยแสง	22
2. รังควัตถุ.....	22
3. การตอบสนองของพืชต่อแสง	23
4. ค่าสำคัญที่บ่งบอกกายภาพของแสงกับพืช	24
2.3.3. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง (Light Emitting Diode: LED).....	25
2.3.4. การผสมสีของแสงด้วยหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง.....	26
2.3.5. คุณสมบัติของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง	27
2.4. ทฤษฎีเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูล.....	28
2.5. การตรวจเอกสาร	31
แนวคิดและสมมติฐานในการวิจัย	39
บทที่ 3 อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย	41
3.1. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิจัย	43
3.1.1. อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด.....	43
3.1.2. อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทปั๊ม.....	48
3.1.3. อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์.....	49

3.1.4. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า.....	51
3.1.5. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) FLUKE 2638A HYDRA SERIES III.....	53
3.1.6. เครื่องมือทดสอบความยาวคลื่นแสงและความเข้มแสง.....	54
3.2. วิธีการดำเนินการ	57
1. การทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน.....	61
1.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	62
1.2. ขั้นตอนการทดลองแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน.....	62
1.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบาย ความร้อน	63
2. การทดลองทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน	64
2.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบ ระบายความร้อน.....	65
2.2. ขั้นตอนการทดลองของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน	66
2.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของระบบที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนของ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง	68
2.4. ขั้นตอนในการทดสอบสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้ง ระบบระบายความร้อน	70
2. การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน ด้วยน้ำ	72
3.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	73
3.2. ขั้นตอนการติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำ .	74
3.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบาย ความร้อนด้วยน้ำ	78
3.4. ขั้นตอนในการทดสอบสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบ ระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ	81

4. การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์.....	84
4.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	85
4.2. ขั้นตอนการติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์	86
4.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์.....	88
5. การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์.....	91
5.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	92
5.2. ขั้นตอนการติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์	94
5.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	96
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	99
4.1. ผลของการทดลองคุณลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	101
4.1.1. ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	101
4.1.2. ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์.....	102
4.1.3. ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์.....	102
4.2 ผลของการระบายความร้อนด้วยระบบต่างๆ ต่ออุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง	105
ผลของการระบายความร้อนต่ออุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอดที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A	105

ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 2 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ดังตาราง ต่อไปนี่.....	108
ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 4 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ดังตาราง ต่อไปนี่.....	109
ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 8 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ดังตาราง ต่อไปนี่.....	110
4.3. ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง	111
ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด	111
ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 2 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิ เล็กทริกที่ 0.5A.....	116
ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 4 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิ เล็กทริกที่ 0.5A.....	117
ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิ เล็กทริกที่ 0.5A.....	118
วิเคราะห์ผลการวิจัย	121
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	122
1. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนแบบ LED Grow Light.....	122
2. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	122
3. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทไปป์.....	123

4. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทซิงค์.....	124
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	127
ข้อเสนอแนะ	127
บรรณานุกรม.....	128
ภาคผนวก.....	130
ภาคผนวก ก การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อน	131
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	135
ภาคผนวก ค งานวิจัยที่เผยแพร่	148
อักษรย่อ และสัญลักษณ์.....	183
บรรณานุกรม.....	185
ประวัติผู้วิจัย.....	185



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 มาตรฐานด้านความปลอดภัย.....	16
2 มาตรฐานอ้างอิงด้านสมรรถนะ	17
3 มาตรฐานอ้างอิงด้านการวัดและการทดสอบ.....	18
4 ข้อกำหนดทั่วไปของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply)	19
5 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน	68
6 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	78
7 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์.....	89
8 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์.....	97
9 ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง จำนวน 2 หลอด	3 ระบบ 108
10 ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง จำนวน 4 หลอด	3 ระบบ 109
11 ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง จำนวน 8 หลอด	3 ระบบ 110
12 ผลของสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง จำนวน 2 หลอด	3 ระบบ 116
13 ผลของสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง จำนวน 4 หลอด	3 ระบบ 117
14 ผลของสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง จำนวน 8 หลอด	3 ระบบ 118
15 รายละเอียดต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 4 ชุด.....	123
16 รายละเอียดต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทไปป์ จำนวน 4 ชุด ..	124
17 รายละเอียดต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทซิงค์ จำนวน 4 ชุด...	125
18 การเปรียบเทียบการลงทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนทั้งหมดต่อ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ที่มีการกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2	1 125

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	โครงสร้างของหลอด LED กำลังงานสูง 2
2	แบบการทดลองของ Thomas See beck..... 9
3	วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบก..... 9
4	วงจรการเกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์..... 11
5	ลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก..... 12
6	การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า 14
7	การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อน..... 15
8	อิเล็กตรอนเคลื่อนที่สวนทางกับโปรตอน..... 20
9	อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ลงหลุม (hole) ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า..... 20
10	พลังงานละหว่างที่เกิดขึ้นจากโฟตรอน 21
11	กราฟความสัมพันธ์ของการดูดกลืนแสงของรังควัดฤชนิตต่างๆ 22
12	ส่วนประกอบของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 25
13	ความยาวคลื่นของแอลอีดีกำลังงานสูงสีต่างๆ..... 26
14	ตารางแถบสี 26
15	สัญญาณ PWM และสีที่ได้จากการผสมสี 27
16	โครงสร้างของ Surface emitting LED..... 28
17	หลักการทํางานของเทอร์โมคัปเปิล..... 29
18	โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล..... 30
19	แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่างๆ..... 31
20	ระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับฮีทซิงค์ระบายความร้อน..... 32
21	ระบบระบายความร้อนด้วยไมติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 32
22	ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์..... 33
23	ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับพัดลม..... 34
24	ระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับฮีทซิงค์และพัดลม..... 34
25	ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์พัดลมร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและระบบระบาย ความร้อนด้วยน้ำร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 35
26	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงในการทำงานของแต่ละระบบระบายความร้อน 36

ภาพที่	หน้า
27	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ทั้ง 4 กรณีเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 300mA – 1000mA..... 36
28	ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยปรากฏการณ์ Peltier..... 38
29	การเปรียบเทียบของอุณหภูมิของแต่ละระบบ 39
30	ระบบระบายความร้อนแบบวงปิดของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 44
31	แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบบระบายความร้อน TEC1-12706 44
32	แผ่นอลูมิเนียมสำหรับระบบระบายความร้อน..... 45
33	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Heat Exchanger 45
34	ปั้มน้ำดีซีขนาด 12V 46
35	หม้อน้ำระบายความร้อน 46
36	ถังเก็บน้ำเย็น ขนาด 5 ลิตร 47
37	หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 8 หลอดต่อขนานกัน 47
38	ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์ 48
39	ฮีทไปป์ที่ใช้ระบายความร้อน 49
40	พัดลมระบายความร้อนฮีทไปป์..... 49
41	ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์ 50
42	ฮีทซิงค์ที่ใช้ระบายความร้อน 50
43	พัดลมระบายความร้อนฮีทซิงค์..... 51
44	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter) ที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ 51
45	Switching Power Supply DC..... 52
46	Fluke 2638A Hydra Series III 53
47	เครื่อง PAR Meter PG100N Handheld Spectrometer..... 55
48	ไดอะแกรมการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก..... 61
49	การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว 62
50	การทดสอบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก..... 63
51	ไดอะแกรมตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก..... 64
52	ตำแหน่งที่ T1 ตรวจวัดอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 64
53	ไดอะแกรมของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน.. 65
54	ไดอะแกรมของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน..... 66
55	หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 80 W..... 67

ภาพที่	หน้า
56	แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า DC 12V..... 67
57	ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบที่ไม่มีการระบายความร้อน 68
58	ตำแหน่ง T1 วัดอุณหภูมิที่เพลทแอลอีดีกำลังงานสูง และ ตำแหน่ง T2 อุณหภูมิที่เพลท. 69
59	ตำแหน่ง T3 วัดอุณหภูมิเพลทแอลอีดีกำลังงานสูง 69
60	การติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด..... 70
61	แสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน..... 71
62	เครื่องมือวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ PG100N Handheld Spectral PAR Meter 72
63	ไดอะแกรมของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำ..... 72
64	ไดอะแกรมระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำ 73
65	หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งบนแผ่นอลูมิเนียมขนาด 80 mm x 40 mm 75
66	แผ่นอลูมิเนียมที่ติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบบระบายความร้อน 75
67	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 76
68	หม้อน้ำระบายความร้อน 76
69	ปั้มน้ำ DC ขนาด 12V 77
70	ถังเก็บน้ำขนาด 2 ลิตร 77
71	อุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำ DC 12 V 78
72	ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด 79
73	ตำแหน่ง T1 วัดอุณหภูมิทางน้ำเข้าและตำแหน่ง T2 ทางน้ำออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยน 79
74	ตำแหน่ง T3 วัดอุณหภูมิทางน้ำเข้าและตำแหน่ง T4 น้ำออกของหม้อน้ำ 80
75	ตำแหน่ง T5 วัดอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำ..... 80
76	ตำแหน่ง T6 วัดอุณหภูมิระหว่างเพลทอลูมิเนียมกับเทอร์โมอิเล็กทริก ตำแหน่ง T7 วัด.. 81
77	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 82
78	อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 82
79	อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 83
80	ตัวอย่างค่าสเปกตรัมทางแสงของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด 83
81	ไดอะแกรมของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังงานสูง..... 84
82	ไดอะแกรมระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์..... 85
83	หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงติดตั้งบนแผ่นอลูมิเนียมสำหรับฮีทไปป์ 86
84	แผ่นอลูมิเนียมติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับฮีทไปป์..... 87
85	แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งบนระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ 87

ภาพที่	หน้า
86 พัฒนาระบายความร้อนสำหรับฮีทไปป์	88
87 ไดอะแกรมตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	89
88 ตำแหน่ง T1 วัดอุณหภูมิที่เพลทแอลอิตีกำลังงานสูงและตำแหน่ง T2 วัดอุณหภูมิ.....	90
89 ตำแหน่ง T3 วัดอุณหภูมิที่เพลทแอลอิตีกำลังงานสูง 2 ตำแหน่ง T4	90
90 ตำแหน่ง T5 วัดอุณหภูมิที่พัฒลมของฮีทไปป์	91
91 ไดอะแกรมของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอิตีกำลังงานสูงกำลังงานสูง	92
92 ไดอะแกรมระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอิตีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์	93
93 หลอดแอลอิตีกำลังงานสูงติดตั้งบนแผ่นอลูมิเนียมสำหรับฮีทซิงค์	94
94 แผ่นอลูมิเนียมติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบบฮีทซิงค์.....	95
95 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดเข้ากับระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	95
96 พัฒนาระบายความร้อนสำหรับฮีทซิงค์.....	96
97 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์.....	97
98 ตำแหน่ง T1วัดอุณหภูมิที่เพลทแอลอิตีกำลังงานสูงและตำแหน่ง T2 วัดอุณหภูมิที่	98
99 ตำแหน่ง T4 วัดอุณหภูมิที่ฮีทซิงค์และตำแหน่ง T5 วัดอุณหภูมิที่พัฒลมฮีทซิงค์.....	98
100 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	101
101 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์.....	102
102 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	103
103 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.5 A ด้วยการติดตั้งระบบระบาย ความร้อนทั้ง 3 ระบบ	104
104 อุณหภูมิของแอลอิตีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีเขียวและแสง	105
105 อุณหภูมิของหลอดแอลอิตีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงิน สูงสุด และสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50 % จำนวน 1 หลอด.....	106
106 อุณหภูมิของแอลอิตีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน	107
107 ค่าสเปกตรัมแสงของแอลอิตีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอิตีกำลังงานสูง	112
108 ค่าสเปกตรัมแสงของแอลอิตีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงิน	114
109 ค่าสเปกตรัมแสงของแอลอิตีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน	115

ภาพที่

หน้า

110 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสเปกตรัมแสงกับจำนวนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 119



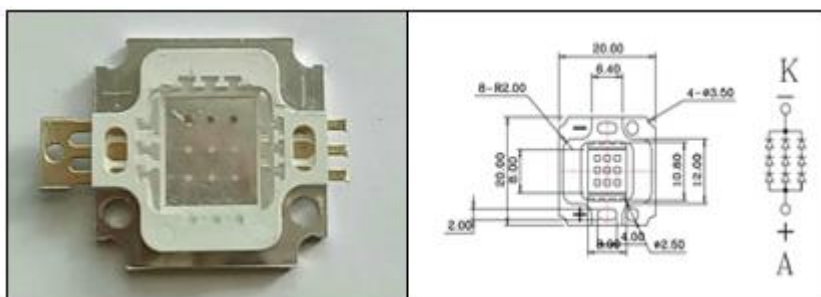
บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมโรงเรือนเพาะปลูกพืชมีการใช้หลอดไฟแอลอีดีกำลังงานสูง (High Power LED) มากขึ้นแสดงดังภาพที่ 1 เนื่องจากเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยขึ้นในทุกๆ วันจึงทำให้หลอดไฟประเภทแอลอีดีกำลังงานสูงเป็นที่นิยมใช้ในยุโรปและประเทศที่พัฒนาแล้วเกือบทั้งหมดเนื่องจากหลายๆ ประเทศต่างให้ความสำคัญกับปัญหาเรื่องพลังงาน ปัญหาโลกร้อน ปัญหาขยะสารพิษ และปัญหามลภาวะ มากขึ้น ดังนั้นการใช้ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงทดแทนหลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่ทุกๆ ประเทศนำไปพิจารณาในการลดการใช้พลังงาน เพราะว่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งในกระบวนการผลิตจะก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก การเลือกใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง มีส่วนช่วยลดการใช้พลังงานลงแต่อย่างไรก็ตามหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงต้องมีการระบายความร้อนก่อนจะนำไปใช้งาน และช่วยลดแก๊สเรือนกระจกและก๊าซพิษลงได้ ซึ่งแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน โดยหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง จะสามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างก็ยิ่งดีกว่าหลอดไฟแบบทั่วๆ ไป ไดโอดเปล่งแสงชนิดนี้ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ที่ประกอบเข้าด้วยกันมีผิวข้างหนึ่งเรียบเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อไดโอดถูกไบแอสตรงทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิด P ก่อให้เกิดพลังงานในรูปของประจุโฟตอนที่ทำให้การส่องแสงออกมา

ความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ทำให้เทคโนโลยีของแอลอีดีกำลังงานสูง ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วและยังมีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยได้มีการนำแอลอีดีกำลังงานสูง มาใช้ประโยชน์แพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น สัญญาณไฟจราจร จอภาพยนตร์ขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น และนำไปใช้เพื่อการส่องสว่างในโรงเรือนเพาะปลูกพืช กล่าวคือหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง หรือ Light Emitting Diode เป็นเทคโนโลยีของการส่องสว่างแบบใหม่ ที่มีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ให้ความสว่างสูง ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหลอดไฟแอลอีดีกำลังงานสูงและลดข้อเสียลงให้มากที่สุด



ภาพที่ 1 โครงสร้างของหลอด LED กำลังงานสูง

ที่มา : (Chew et al., 2559)

แต่อย่างไรก็ตาม ตัวของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงให้ค่าการกระจายความร้อนที่สูงมาก จึงเป็นปัญหาหลักที่สำคัญของการพัฒนาการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง เพราะเมื่อหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความเข้มของแสงจะลดลงโดยประมาณ 1% และความยาวคลื่นของแสงมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.2-0.3 nm ซึ่งจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสีของแสงทำให้ความเข้มแสงนั้นลดลง ถ้าไม่มีการระบายความร้อนออกไปจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ทำให้อุณหภูมิภายในหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง สูงเกินค่าวิกฤติ ความร้อนที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ระบบการทำงานภายในของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเกิดความเสียหาย เช่น อุณหภูมิเดิมของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงอยู่ที่ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถ้ามีการระบายความร้อนออกไปจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแล้ว อุณหภูมิภายในลดลง $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะทำให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงนั้นมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นจากเดิม 10,000 ชั่วโมง เป็น 20,000 ชั่วโมง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะควบคุมอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อน 3 แบบ ได้แก่ (1.) ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (2.) ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ (3.) ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ ซึ่งแต่ละระบบประกอบไปด้วยหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโมเดล TEC1-12706 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) บัมพ์น้ำโซล่าเซลล์ขนาด 12V และหม้อน้ำระบายความร้อน (Radiator) ฮีทไปป์ (Heat Pipe) และ ฮีทซิงค์ (Heat Zink) เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีโดยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด
2. เพื่อศึกษาสมรรถนะการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิดกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวระบายความร้อนออกจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด
2. ทำการทดสอบสมรรถนะระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด
2. ทราบถึงสมรรถนะระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการทำวิจัยเรื่องการศึกษาสมรรถนะการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิดเพื่อลดอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้ศึกษารวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนทำการทดลองโดยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จึงมีหลักการและทฤษฎีในการรองรับสมมติฐาน เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน

2.1 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเป็นการศึกษาถึงอัตราการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างระบบสองระบบหรือระหว่างระบบหนึ่งและสิ่งแวดล้อม เมื่อมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ โดยไม่มีการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบ ทำให้พลังงานในรูปของความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หรือกล่าวได้ว่าเกิดความลาดเอียงของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ขึ้นในระบบซึ่งหาได้จากค่าการกระจายของอุณหภูมิ (Temperature Distribution) เมื่อทราบถึงการกระจายของอุณหภูมิ ก็สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ได้ เป็นต้น การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบ ดังนี้ 1. การนำความร้อน 2. การพาความร้อน และ 3. การแผ่รังสีความร้อน (ธนรัฐ, 2557)

2.1.1. การนำความร้อน (Heat Conduction)

การนำความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ดังนั้นการนำความร้อนความร้อนเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการนำเกิดขึ้นบ้างในสถานะน้ำและก๊าซแต่แยกไม่ออก เพราะการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการนำความร้อนเคลื่อนที่ได้ดีโดยการเคลื่อนที่ของ Electron จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิที่ต่ำ (ธนรัฐ, 2557)

การคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อนเป็นไปตามกฎของ Joseph Fourier นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ดังสมการที่ 1

$$\dot{q}_k = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ

- \dot{q}_k = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (W)
- k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m. K)
- A = พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m²)
- T_1, T_2 = อุณหภูมิที่ผิวทั้ง 2 ด้านของวัตถุ (°C)
- L = ความหนาของวัตถุหรือตัวกลาง (m)

2.1.2. การพาความร้อน (Heat Convection)

การพาความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนถ่ายเทออกจากระหว่างผิวของวัตถุ โดยอาศัยของไหลเป็นตัวกลางในการพาความร้อนเข้าหรือออกจากผิวของวัตถุ กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาความร้อนเกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงาน และการเคลื่อนที่ของของไหล การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือการพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) และแบบธรรมชาติ หรือแบบอิสระ (Free or Natural convection) ซึ่งอัตราการพาความร้อนหาได้จากสมการที่ 2 (ธนรัฐ, 2557)

$$\dot{q}_v = h_v A (T_h - T_c) \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ

- \dot{q}_v = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (W)
- h_v = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m² · K)
- A = พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m²)
- T_h = อุณหภูมิที่ร้อนกว่าของของไหล หรือพื้นผิวของแข็ง (K)
- T_c = อุณหภูมิที่เย็นกว่าของของไหล หรือพื้นผิวของแข็ง (K)

2.1.3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นรังสีความร้อนนี้จะไม่ทำให้อากาศรอบๆ ตัวร้อนขึ้น แต่จะทำให้วัตถุที่ถูกกระทบจากคลื่นรังสีนี้ร้อนมากขึ้น โดยบางส่วนของรังสีความร้อนดังกล่าวจะถูกดูดซึมไว้ในตัววัสดุ ส่วนที่เหลือจะผ่านทะลุวัตถุ และบางส่วนจะสะท้อนกลับไป ซึ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะแตกต่างกันตามสภาพผิวของวัตถุที่คลื่นรังสีความร้อนนี้ตกกระทบ โดยอัตราการแผ่รังสีความร้อนสามารถหาได้จากสมการที่ 3 (ธนรัฐ, 2557)

$$\dot{q}_R = \epsilon \sigma A_s T_s^4$$

สมการที่ 3

เมื่อ

- \dot{q}_R = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากวัตถุดำ (W)
- σ = ค่า Stefan-Boltzmann Constant
มีค่าคงที่ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ จากวัตถุ
- ϵ = ค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)
- T_s = อุณหภูมิผิวของวัตถุ (K)
- A = พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m^2)

2.1.4. ความต้านทานการนำความร้อนของวัตถุ (Thermal Resistance)

ความต้านทานความร้อนของวัตถุแปรผันตามความหนาของตัวกลางและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุนั้นๆ ค่าความต้านทานความร้อนนี้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 (ธนรัฐ, 2557)

$$R = \frac{L}{kA}$$

สมการที่ 4

เมื่อ

L = ความหนาของวัตถุหรือตัวกลาง (m)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m·K)

A = พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m^2)

2.1.5. สมการหาการระบายความร้อนด้วยน้ำ

การถ่ายเทความร้อนจริงเป็นพลังงานที่ของไหลสูญเสียไป หรือพลังงานที่ของไหลเย็นได้รับ ในการคำนวณทั่วไปถือว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนในการทางอื่น ดังนั้นพลังงานทั้งสองส่วนต้องเท่ากันสามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 5 (ชนรัฐ, 2557)

$$q = \dot{m} c_p \Delta T$$

สมการที่ 5

เมื่อ

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล (kg/s)

c_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล (J/kg.K)

ΔT = เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำและอากาศ (K) (สุรศักดิ์, 2557)

2.1.6. สมการหาประสิทธิภาพระบบระบายความร้อน

การหาค่าประสิทธิภาพ (Efficiency), η ซึ่งในที่นี้ จะเป็นค่าประสิทธิภาพรวมของเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด ซึ่งจะหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta = \frac{Q_{\text{out}}}{\text{Power}_{\text{input}}} \times 100\%$$

สมการที่ 6

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพ (Efficiency) รวมของระบบ

Q_{output} = อัตราการถ่ายเทความร้อนสะสมที่ระบบระบายออก (W)

$\text{Power}_{\text{input}}$ = พลังงานที่จ่ายให้กับระบบระบายระบายความร้อน (W)

$$\eta = \frac{(T)_{\text{without cooling}} - (T)_{\text{with cooling}}}{IV}$$

สมการที่ 7

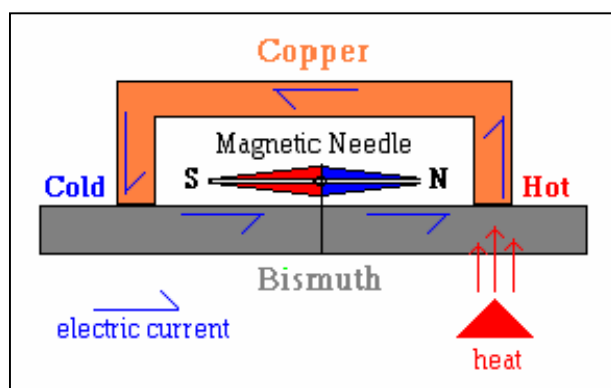
เมื่อ	$T_{\text{with out cooling}}$	= อุณหภูมิที่ไม่ได้ระบายความร้อน (°C)
	$T_{\text{with cooling}}$	= อุณหภูมิที่ได้ระบายความร้อน (°C)
	I	= กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบระบายความร้อน (A)
	V	= แรงดันไฟฟ้า (V)

2.2. เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของจุดสองจุด โดยอิเล็กตรอนวิ่งจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า วัสดุทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าและความต่างศักย์ ซึ่งสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ประโยชน์ได้ การเริ่มต้นพบปรากฏการณ์ซีเบก (Seebeck effect) และปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์สำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาและคิดค้นผลิตแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นมาในปัจจุบัน รวมไปถึงลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก การใช้งานหรือลักษณะการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จะต้องมีการระบายความร้อนด้วยแผงระบายความร้อน เพราะประสิทธิภาพของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งหมดเป็นรากฐานที่เกี่ยวข้องกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เมื่อได้รับความร้อน และยังสามารถผลิตความเย็น ได้เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าดังนี้ (Ruttanapun, 2557)

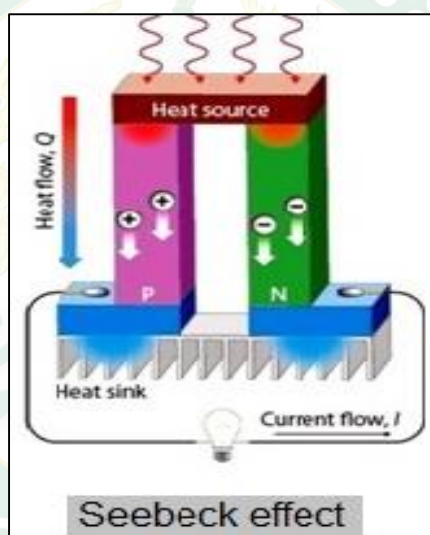
2.2.1. ปรากฏการณ์ซีเบก (Seebeck effect)

ในปี ค.ศ. 1821 Thomas Johann Seebeck ได้มีการค้นพบว่าถ้าให้ความร้อนระหว่างรอยต่อของโลหะ 2 ชนิด จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายโลหะทั้งสอง เนื่องจากกลุ่มอิเล็กตรอนในโลหะด้านร้อนจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าโลหะด้านเย็นและเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าดังภาพที่ 2 ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณอิเล็กตรอนที่ปลายโลหะนั้น (Yu. G. Gurevich, 2550)



ภาพที่ 2 แบบการทดลองของ Thomas Seebeck

ที่มา : (Yu. G. Gurevich ,2550)



ภาพที่ 3 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบก

ที่มา : (Yu. G. Gurevich ,2550)

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่ามีเส้นลวดโลหะสองชนิด (Conductor 1 และ Conductor 2) ถูกเชื่อมต่อโดยจุดเชื่อมต่อ X_h ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_H) และจุด X_c ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (T_C) ไฟฟ้าในตัวนำจะมีทิศทางไปในทิศทางเดียวกันกับการถ่ายเทอุณหภูมิ (Temperature gradient) ตามทิศทาง x ที่บริเวณด้านร้อนมีพลังงานสูง จึงแผ่ไปที่ด้านเย็นกว่าเพื่อลดพลังงานลงทำให้กระแสไฟฟ้าอยู่ในสภาวะสมดุล เนื่องจากขดลวดตัวนำไฟฟ้า ทั้งสองเป็นโลหะต่างชนิดกัน จึงมีค่าสัมประสิทธิ์การนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (α_{Sb}) ไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดแรงดันคร่อมจุดเชื่อมต่อทั้งสอง Seebeck สรุปได้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิในโลหะมีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์

ซีเบก (Seebeck effect) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ต่างกันของจุดต่อทั้งสองกับแรงดันที่เกิดขึ้นได้ดังสมการต่อไปนี้ (Yu. G. Gurevich ,2550)

$$\alpha_{Sb} = \frac{\Delta v}{(T_{Hot} - T_{Cool})} \quad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ

α_{Sb} = สัมประสิทธิ์ของซีเบก (V/K)

Δv = ผลต่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

T_{Hot} = อุณหภูมิด้านร้อน (K)

T_{Cool} = อุณหภูมิด้านเย็น (K)

2.2.2. ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

ในปี ค.ศ. 1834 Jean Peltier ได้ทำการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นโลหะทองแดง และแผ่นโลหะบิสมัทที่เชื่อมต่อกัน พบว่ารอยต่อระหว่างทองแดง และบิสมัทข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งจะเย็นลง เนื่องจากคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิดเมื่อกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านโลหะด้านหนึ่งจะปลดปล่อยความร้อน (Heat evolved) แต่อีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนความร้อน (Heat absorbed) ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ พบว่ามีการแพร่กระจายของอุณหภูมิจากจุด X_c ไปยังจุด X_h ทำให้อุณหภูมิที่จุด X_c มีค่าลดลงเท่ากับ T_c และทำให้อุณหภูมิที่จุด X_h มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ T_h ดังภาพที่ 4 ซึ่งเรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Yu. G. Gurevich ,2550) สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 9

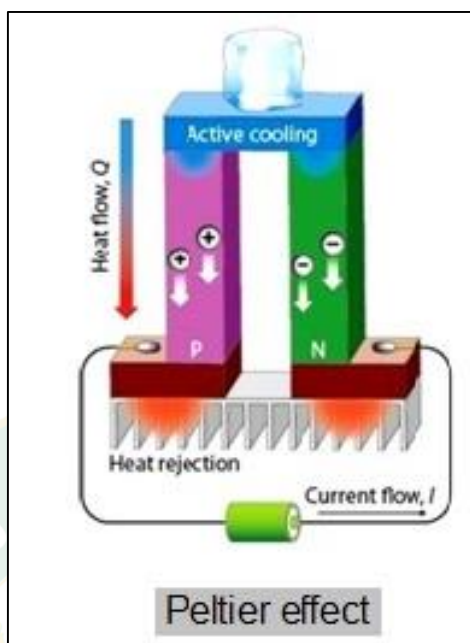
$$\dot{q}_{ab} = (\Pi_1 - \Pi_2) \times I \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ

\dot{q}_{ab} = ความร้อนที่โลหะตัวนำสามารถพาได้ (W)

Π = สัมประสิทธิ์เพลเทียร์หรือความร้อนที่ประจุไฟฟ้า 1 ประจุสามารถพาไปได้ (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)



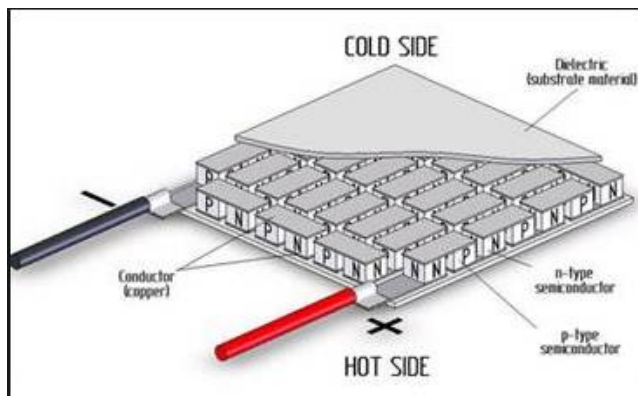
ภาพที่ 4 วงจรการเกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์

ที่มา : (Yu. G. Gurevich ,2550)

2.2.3. ลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีลักษณะเป็นแผ่น ที่มีผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นการใช้งานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไม่สูงมาก ประมาณ 67 °C ซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิขณะที่ไม่มีภาระความร้อน ลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก มีหลายรูปแบบ ทั้งขนาด และรูปร่าง ทั้งนี้มีคุณสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามการใช้งานดังภาพที่ 5 เช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดัน และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งสามารถสรุปลักษณะ และคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้ดังนี้ (ศิริกุล, 2553)

1. ขนาดพื้นที่ผิวหน้าเซรามิกส์มีขนาดตั้งแต่ $1.8 \times 3.4 - 62 \times 62 \text{ mm}^2$
2. ความสูงมีขนาดตั้งแต่ 2.54 - 5.8 mm
3. ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.2 - 125 W
4. ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.8 - 60 A
5. ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.4 - 15.4 V



ภาพที่ 5 ลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ที่มา : (ศิริกุล, 2553)

2.2.4. ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

การใช้งานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในด้านการผลิตความเย็นจากไฟฟ้าที่ได้รับ ทางเทอร์โมไดนามิกส์ใช้ค่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) ในการแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้ดังสมการต่อไปนี้ (นิตยา)

$$COP = \frac{Q_{Cool}}{Power_{input}}$$

สมการที่ 10

โดยที่ค่า Q_{Cool} และ $Power_{input}$ เป็นค่าที่มาจากหน่วยเดียวกัน ดังนั้นการทำความเย็นที่ด้านเย็น (Q_{Cool}) จะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{Cool} = (\alpha_{Sb} IT_{Cool} - \frac{1}{2} I^2 R - K\Delta T)$$

สมการที่ 11

เมื่อ

Q_{Cool} = การทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

α_{Sb} = สัมประสิทธิ์ของซีเบก (V/K)

R = ความต้านทานภายในของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Ω)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W/m·K)

- I = กระแสไฟฟ้า (A)
 T_{Cool} = อุณหภูมิด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
 ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อน และอุณหภูมิด้านเย็น (K)

2.2.5. การระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

การระบายความร้อนนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญมากสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เพราะกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่จะได้จากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นเมื่อมีการระบายความร้อนได้ไม่ดี อุณหภูมิทั้งสองข้างของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนที่จ่ายให้ระบบ

แผงระบายความร้อน (Heat sink) เป็นอุปกรณ์เพิ่มความเย็นหรือระบายความร้อนออกจากตัวอุปกรณ์โดยอาศัยหลักของอุณหพลศาสตร์ คือพลังงานที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลไปหาอุณหภูมิต่ำ โดยส่วนมากจะทำมาจากวัสดุประเภทโลหะ ซึ่งประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) อีกทั้งพื้นที่ผิวสัมผัสก็เป็นสิ่งสำคัญ ถ้าหากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากก็จะสามารถส่งถ่ายพลังงานความร้อนได้มาก ซึ่งพลังงานความร้อนที่ระบายได้สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ (Yu. G. Gurevich ,2550)

$$P_H = \frac{kA\Delta T}{d}$$

สมการที่ 12

เมื่อ

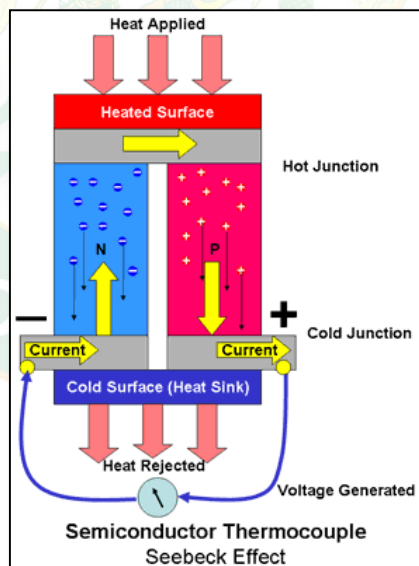
- P_H = พลังงานความร้อนที่ระบายได้ใน 1 sec (W)
 k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m)
 A = พื้นที่หน้าตัดของผิวสัมผัสของวัสดุ (m²)
 d = ความหนาของวัสดุ (m)
 ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อน และอุณหภูมิด้านเย็น (K)

2.2.6. ลักษณะการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และในทางตรงกันข้ามเมื่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนเป็นความร้อนและความเย็นได้ ซึ่งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) และชนิดพี (P-type) มาเรียงสลับกัน โดยมีโลหะนำไฟฟ้ามาเชื่อมเป็นจุดเชื่อมต่อให้มีลักษณะสลับกันไปเป็นคู่ๆ

การใช้งานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตไฟฟ้า (Thermoelectric Generator: TEG)

การใช้งานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้านั้น สามารถทำได้โดยการให้ความร้อนผ่านผิวของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน และทำการระบายความร้อนหรือดูดความร้อนอีกด้านหนึ่งของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ด้านเย็น) โดยการใช้แผงระบายความร้อน (Heat sink) ประกอบไว้ด้วยซิลิโคนระบายความร้อนดังภาพที่ 6 ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร (Yu. G. Gurevich ,2550)

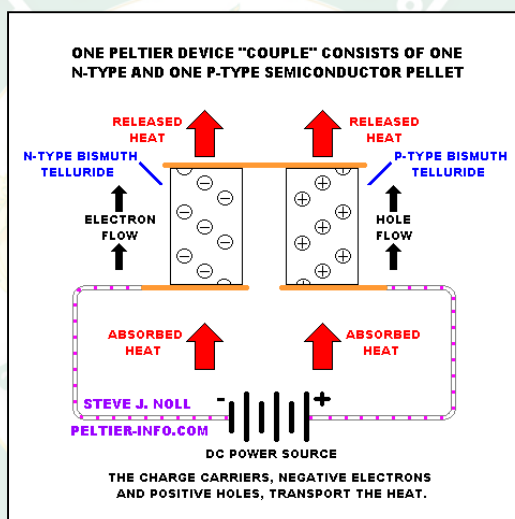


ภาพที่ 6 การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า

ที่มา : (Yu. G. Gurevich ,2550)

การใช้งานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตความเย็น (Thermoelectric Cooler: TEC)

สำหรับการใช้งานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตความร้อน ยังสามารถทำความเย็นได้ด้วย ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำมาใช้ในการผลิตความเย็น สามารถทำได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนจะเกิดความร้อน ส่วนด้านเย็นเกิดความเย็นดังภาพที่ 7 หากต้องการนำด้านเย็นไปใช้งานเป็นระยะเวลาหลายๆ เพื่อให้ความร้อนหรือความเย็นกระจายตัวได้อย่างเต็มที่ ต้องมีแผงระบายความร้อน (Heat sink) สำหรับลดอุณหภูมิด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ตามความเหมาะสม (Yu. G. Gurevich, 2550)



ภาพที่ 7 การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบายความร้อน

ที่มา : (Yu. G. Gurevich ,2550)

2.3. ทฤษฎีของแอลอีดีกำลังงานสูง

มาตรฐานอ้างอิงประสิทธิภาพหลอดไฟแอลอีดีกำลังงานสูง ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมรายละเอียดของ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ โดยมีรายละเอียดสรุปได้ ดังต่อไปนี้

หลักปฏิบัติวิชาชีพด้านการศึกษาและการติดตั้งอุปกรณ์ส่องและสว่างสถานะแข็งของสภาวิศวกร 2554: 8-15 (ศุภลักษณ์, 2556) มีการแบ่งรายละเอียดออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ (ชาญวิทย์, 2551)

- ก) มาตรฐานด้านความปลอดภัย
- ข) มาตรฐานด้านสมรรถนะ
- ค) มาตรฐานด้านการวัดและการทดสอบ
- ง) ข้อกำหนดทั่วไป ใช้กับหลอดโคมแอลอีดีกำลังงานสูงทุกประเภทในการใช้งาน

ที่มา : (นางศุภลักษณ์, 2556)

รายละเอียดของมาตรฐานแต่ละส่วนมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

ตารางที่ 1 มาตรฐานด้านความปลอดภัย

หน่วยงาน มาตรฐาน	หมายเลข	คำอธิบาย
UL	UL 8750	Outline of Investigation for Light Emitting Diode (LED Light Sources for Use In Lighting Products
IEC	IEC 62560	Self-ballasted LED-lamps for general lighting services by voltage>50V – Safety specifications เป็นข้อกำหนดเฉพาะด้านความปลอดภัย การเปลี่ยนกัน ได้ วิธีการทดสอบสำหรับหลอดไฟแอลอีดีกำลังงานสูง ชนิดมีบัลลาสต์ในตัวสำหรับงาน ส่องสว่างทั่วไปทำงานที่ แรงดันมากกว่า 50 โวลต์จนถึง 250 โวลต์ พิกัดกำลังไม่เกิน 60 W

ที่มา: (ศุภลักษณ์, 2556)

ตารางที่ 2 มาตรฐานอ้างอิงด้านสมรรถนะ

หน่วยงาน มาตรฐาน	หมายเลข	คำอธิบาย
IEC	IEC 61347-2-13	Part 2-13 Particular Requirements for d.c or a.c Supplied Electronic Control Gear for LED Modules เป็นข้อกำหนดเฉพาะสำหรับอุปกรณ์ควบคุมสำหรับโมดูล แอลอีดีกำลังงานสูงใช้ไฟกระแสตรงไม่เกิน 250 โวลต์
NEMA	NEMA LSD 49-2010	Solid State Lighting for Incandescent Replacement Best Practices for Dimming เกี่ยวข้องกับข้อปฏิบัติ สำหรับการหรี่แสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง
IEC	IEC PAS 62612 Pre-Standard	Self-ballasted LED-lamps for general lighting services-Performance requirements เป็นข้อกำหนดเฉพาะด้านสมรรถนะ สำหรับหลอดไฟแอลอีดีกำลังงานสูง ชนิดมี บาลาสต์ในตัวสำหรับงานส่องสว่างทั่วไปทำงานที่ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ แรงดันไม่เกิน 250 โวลต์ พิกัดกำลังไม่เกิน 60 W

ที่มา: (ศุภลักษณ์, 2556)

ตารางที่ 3 มาตรฐานอ้างอิงด้านการวัดและการทดสอบ

หน่วยงาน มาตรฐาน	หมายเลข	คำอธิบาย
CIE	CIE Pub.13.3-1995	วิธีสำหรับการวัดและกำหนดคุณสมบัติการเทียบสีของแหล่งกำเนิด ครอบคลุมขั้นตอนการจัดอันดับและการคำนวณ ดัชนีเทียบสี
IESNA	IESNA LM-79-08	การวัดทางไฟฟ้าและแสงของผลิตภัณฑ์ส่องสว่างสถานะแข็ง ประกอบด้วย วิธีการทดสอบเพื่อวัดปริมาณ ฟลักซ์ การส่อง สว่างรวม การกระจายของความเข้มการส่องสว่าง
IESNA	IESNA LM-80-0	การวัดค่าดำรง ถูเมนของแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดีกำลังงานสูง ซึ่งไม่รวม แหล่งจ่ายไฟ ประกอบด้วย การกำหนดสภาวะแวดล้อมทาง กายภาพของการทดสอบ

ที่มา : (ศุภลักษณ์, 2556)

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดทั่วไปของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply)

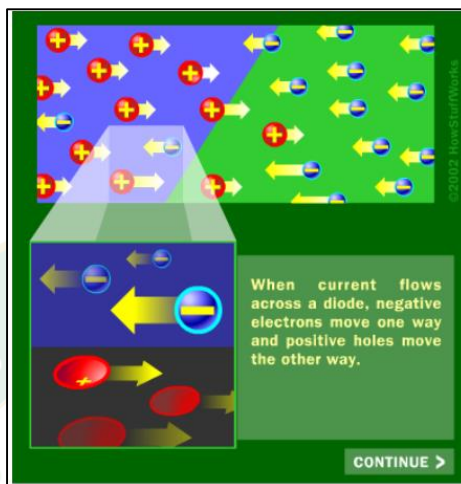
หน่วยงานมาตรฐาน	คำอธิบาย
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)	ไม่ต่ำกว่า 0.7 สำหรับใช้งานในที่พักอาศัย ไม่ต่ำกว่า 0.9 สำหรับใช้งานในที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย
ช่วงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด (Minimum and Maximum Operating Temperature)	ตามที่ผู้ผลิตระบุ พร้อมทั้งเงื่อนไขการใช้งานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง กับ อุณหภูมิและการระบายความร้อน
ค่าความถี่ขออกขณะทำงาน (Output Operating Frequency)	มากกว่าหรือเท่ากับ 100 Hz โดยค่าที่กำหนดนี้ จะต้องครอบคลุมทั้งกรณีสภาวะการทำงานปกติ และสภาวะที่มีการควบคุมความสว่าง (การหรี่แสง)
การรบกวนทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้าและสัญญาณวิทยุ (Electromagnetic and Radio Frequency Interference)	ต้องผ่านมาตรฐาน (มอก.1995-2551) หรือ FCC 47 CFR หรือ มาตรฐานเทียบเคียงอื่น
ระดับเสียงรบกวน (Acoustic Noise)	ไม่เกิน 24 dB
การป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินสภาวะชั่วคราว (Transient Protection)	แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะต้องผ่านมาตรฐาน ANSI C62.41-1991 หรือมาตรฐานเทียบเคียง

ที่มา : (ศุภลักษณ์, 2556)

2.3.1. หลักการเกิดแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

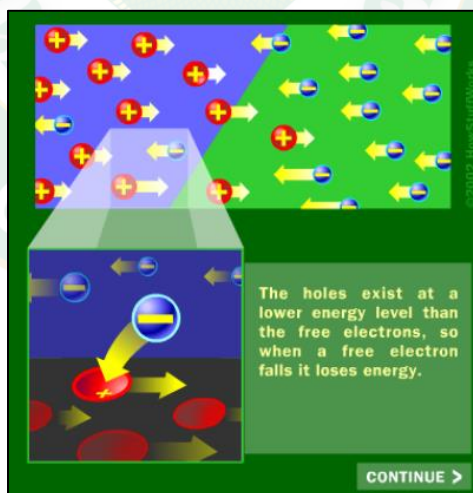
แสงที่เกิดขึ้นจากพลังงานที่ปลดปล่อยจากอะตอม แสงเป็นโฟตรอน (Photon) ที่มีพลังงานและโมเมนตัม (Momentum) ดังนั้นแสงจึงเป็นอนุภาคชนิดหนึ่งภายในอะตอมนั้นมีอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส และมีวงโคจรหลายวง แต่ละวงมีพลังงานที่แตกต่างกัน วงนอกมีพลังงานมากกว่าวงใน ถ้าอะตอมได้รับพลังงานจากภายนอกอิเล็กตรอนจะกระโดดจากวงโคจรในออกสู่วงโคจรนอกในทางกลับกัน ถ้าอิเล็กตรอนกระโดดจากวงโคจรนอกเข้าสู่วงโคจรในอะตอมจะปลดปล่อยพลังงานออกมา และพลังงานนี้ก็คือ แสง ขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ ไปที่โฮล (Holes) ของสาร P อิเล็กตรอนจะตกจากวงโคจรสูง หรือแถบนำไฟฟ้าไปสู่วงโคจรต่ำ หรือแถบวาเลนซ์มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตรอน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับไดโอดทุกชนิดแต่สามารถเห็นแสงได้ก็

ต่อเมื่อความถี่ ของพลังงานอยู่ในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ เช่น ไดโอดที่ทำจากซิลิคอนซึ่งมีช่องของแถบพลังงานแคบทำให้ได้โฟตรอนความถี่ต่ำ เป็นความถี่ที่ตามองเห็นซึ่ง อธิบายได้ตามภาพที่ 8 - 10 (Narendran and Yimin, 2548)



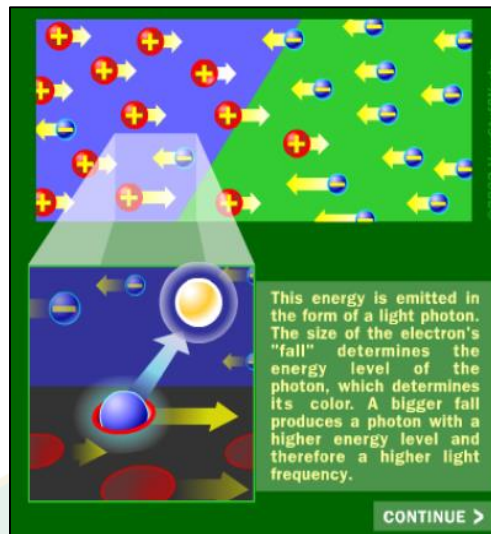
ภาพที่ 8 อิเล็กตรอนเคลื่อนที่สวนทางกับโปรตอน

ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)



ภาพที่ 9 อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ลงหลุม (hole) ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า

ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)



ภาพที่ 10 พลังงานระหว่างที่เกิดขึ้นจากโฟตรอน

ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)

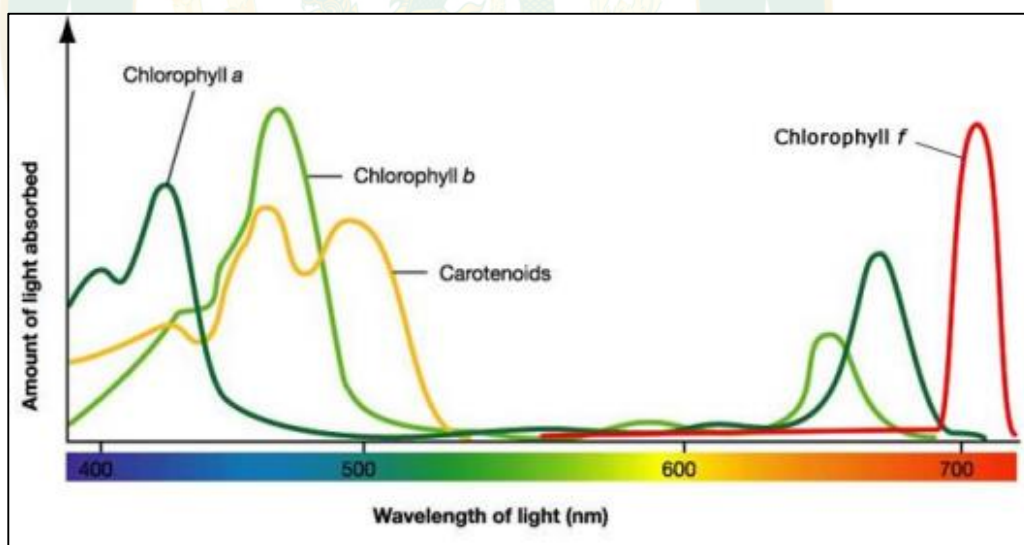
2.3.2. แสงและการเจริญเติบโตของพืช

1. การสังเคราะห์ด้วยแสง

เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พืช สาหร่าย และแบคทีเรียบางชนิดได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ สิ่งมีชีวิตแทบทั้งหมดล้วนอาศัยพลังงานที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโตทั้งทางตรงและทางอ้อม นอกจากนี้ยังมีการผลิตออกซิเจน ซึ่งมีเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่มากของบรรยากาศโลกด้วย สิ่งมีชีวิตที่สร้างพลังงานจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ เรียกว่า "phototrophs" โดยโมเลกุลที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีอยู่ในพืชและสิ่งมีชีวิตนี้คือ รงควัตถุ (pigment)

2. รงควัตถุ

รงควัตถุ คือสารที่สามารถดูดกลืนแสง รงควัตถุแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันแสดงดังภาพที่ 11 คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่พบในใบไม้สามารถดูดกลืนแสงสี ม่วง น้ำเงิน แดง ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ได้ดีแต่สะท้อนแสงสีเขียว



ภาพที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ของการดูดกลืนแสงของรงควัตถุชนิดต่างๆ

ที่มา : (ธนาพร, 2560)

3. การตอบสนองของพืชต่อแสง

แสง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เพราะแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างอาหารหรือการสังเคราะห์แสงของพืช โดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับแสงไปใช้เป็นพลังงานในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เป็นคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจน

1. ความเข้มของแสง (Light Intensity) คือ ปริมาณโฟตอนของแสงทั้งหมดที่พืชได้รับซึ่งความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล อิทธิพลของความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.1. ความเข้มของแสงน้อย จะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นน้อยกว่ากระบวนการหายใจ น้ำตาลถูกใช้หมดไป พืชจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชไม่ได้ ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงเท่านั้นแต่ยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น (คุณภาพ) ของแสง และช่วงเวลาที่ได้รับ

1.2. ความเข้มของแสงสูง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อุณหภูมิกับความเข้มของแสง มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงร่วมกัน คือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเพียงอย่างเดียว แต่ความเข้มของแสงน้อยจะไม่สามารถทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขีดหนึ่งแล้วอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดต่ำลงตามอุณหภูมิและความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้นและยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชอีกด้วย

2. ช่วงแสง หมายถึง ระยะเวลาของแสงในแต่ละวัน ซึ่งช่วงแสงในแต่ละวันจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาลและท้องถิ่น โดยทั่วไปช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตด้านลำต้น และการเจริญเติบโตด้านสืบพันธุ์ การตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงแบ่งออกเป็น

3 กลุ่ม

2.1. พืชวันสั้น เป็นพืชผักที่มีความต้องการช่วงแสงในวันหนึ่งๆสั้นกว่าช่วงวันวิฤติจึงจะออกดอก โดยช่วงวันวิฤตินี้จะมีค่าแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิดซึ่งพืชส่วนใหญ่จะมีช่วงวันวิฤติ 12-14 ชั่วโมง

2.2. พืชวันยาว เป็นพืชผักที่ต้องการช่วงแสงในวันหนึ่งๆยาวกว่าช่วงวันวิฤติ

2.3. พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง เป็นพืชผักที่สามารถเจริญได้ดีไม่ว่าจะมีช่วงแสงสั้นหรือยาว (ธนาพร, 2560)

4. ค่าสำคัญที่บ่งบอกกายภาพของแสงกับพืช

1. PAR (Photosynthetically Active Radiation) ก็คือค่าของแสงในช่วง 400-700 nm เนื่องจากนักวิทยาศาสตร์พบว่าแสงในช่วง 400-700 nm เป็นช่วงแสงที่มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

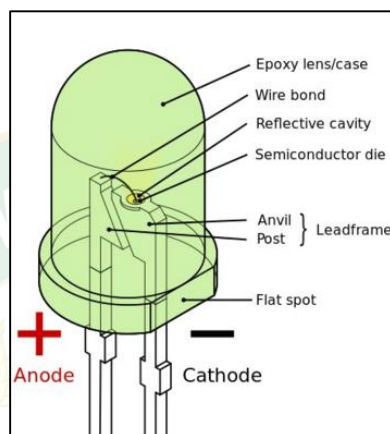
2. PPF หรือ (Photosynthetic Photon Flux) คือการวัดค่าแสงว่าแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆสามารถผลิตค่า PAR ต่อวินาทีได้ปริมาณเท่าไร มีหน่วยเป็น($\mu\text{mol}/\text{second}$)

3. PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) คือการวัดว่าพืชได้รับแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงเป็นปริมาณเท่าไรซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

4. Daily light integral (DLI) คือการวัดจำนวนอนุภาคของแสงหรือโฟตอนที่ตกต่อพื้นที่ (1 meter x 1 meter) ต่อวัน มีหน่วยเป็น $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ หากเป็นการปลูกต้นไม้แบบในร่มหรือโรงเรือน คำนี้อาจมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้ทราบได้ว่าสามารถเปิดไฟปลูกต้นไม้เป็นเวลากี่ชั่วโมงต่อวันเพื่อให้พืชได้รับค่า DLI ที่เพียงพอ ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 nm ซึ่งเป็นช่วงที่ให้พลังงานในการสังเคราะห์แสง ซึ่งโมลของแสงเป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 6.022×10^{23} ซึ่งเป็นค่าที่ขนาดใหญ่ จึงกำหนดให้ 1 mol เท่ากับ 6.022×10^{23} โฟตอน (ธนาพร, 2560)

2.3.3. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง (Light Emitting Diode: LED)

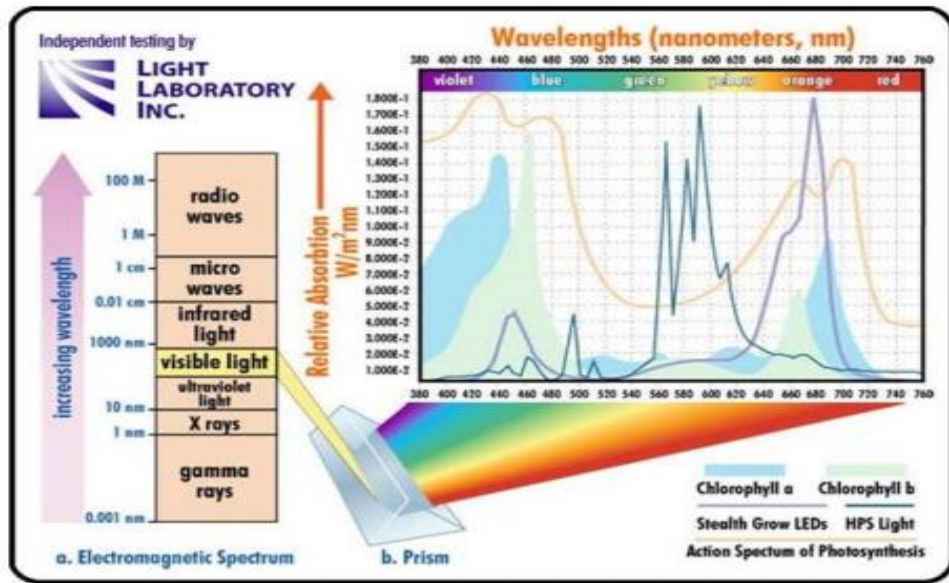
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง คืออุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงสว่างได้แสดงดังภาพที่ 12 ส่วนแอลอีดีในอดีตส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้งานเป็นส่วนแสดงผลการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่นการแสดงการเปิดปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพราะหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง เมื่อทำให้เกิดแสงขึ้นจะใช้กระแสต่ำเท่ากับ 1-20 mA. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน



ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)

ความยาวคลื่นของแสง (Wavelength) หรือสีของแสงที่เปล่งออกมา จะขึ้นอยู่กับประเภทสาร ที่ใช้ทำรอยต่อระหว่าง พีและเอ็น โดยความยาวคลื่นแสงของไดโอดเปล่งแสง อยู่ระหว่างช่วงใกล้ความยาวคลื่นอินฟราเรด (Near-infrared) และช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Near-ultraviolet) ซึ่งความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงการมองเห็น (Visible) ทั้งหมด ดังนั้น ไดโอดเปล่งแสงที่ผลิตขึ้นและมีจำหน่ายในท้องตลาด มีแสงสีต่างๆ ให้ใช้ได้มากมาย ไดโอดเปล่งแสงสามารถเปล่งแสงได้หลายๆ ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน การที่ ไดโอดเกิดแสงต่างๆ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำชิพของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง เช่น ไดโอดเปล่งสี ขาว (White light LED) สามารถสร้างจากการนำไดโอดเปล่งแสงสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสี น้ำเงิน (Blue) มาผสมกันจนเกิดแสงสีขาวแสดงดังภาพที่ 13 (ลีลาวดี, 2008) นอกจากนี้ ไดโอดเปล่งแสงสีขาวยังสามารถสร้างได้จาก ไดโอดเปล่งแสงสีอื่นๆ เช่น ถ้านำไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน ทำการเคลือบผิวชั้นบนด้วยสาร ฟอสเฟอร์ (Phosphor) สีเหลือง และได้ไดโอดเปล่งแสงสีขาว ซึ่งปัจจุบันนี้ มีการนำ ไดโอดเปล่งแสงสี ขาวมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการส่องสว่าง (Narendran and Yimin, 2548)



ภาพที่ 13 ความยาวคลื่นของแอลอีดีกำลังงานสูงสีต่างๆ

ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)

2.3.4. การผสมสีของแสงด้วยหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

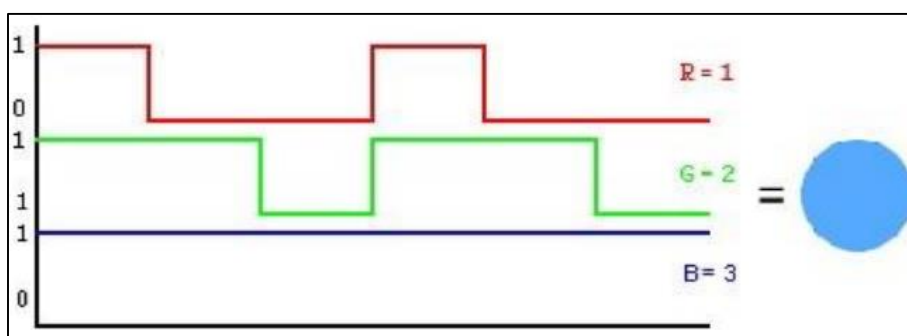
การที่หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสดงผลได้หลากหลายสีนั้น ใช้หลักการของการผสมสีทางแสง สำหรับแม่สีที่ใช้ในการผสมสีทางแสงนั้นจะมีสามสี คือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังนั้นในบทความนี้จะใช้แอลอีดีกำลังงานสูง ทั้งสามสีเป็นแม่สี หลักการในการผสมสีจะให้แต่ละสี มีความแตกต่างของสีอยู่ 4 ระดับ ซึ่งจะได้สีทั้งหมด $4 \times 4 \times 4 = 64$ สี สำหรับตารางของค่าแต่ละสีดูได้จากตารางสีดังภาพที่ 14 (Narendran and Yimin, 2548)

000	001	002	003	010	011	012	013	020	021	022	023	030	031	032	033
100	101	102	103	110	111	112	113	120	121	122	123	130	131	132	133
200	201	202	203	210	211	212	213	220	221	222	223	230	231	232	233
300	301	302	303	310	311	312	313	320	321	322	323	330	331	332	333

ภาพที่ 14 ตารางแถบสี

ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)

วิธีการดูค่าสีในตารางสีมีดังนี้ ค่าสีในตารางเทียบค่าจะมีตัวเลขอยู่สามตัว ตัวแรกเป็นสีแดง ตัวที่สองเป็นสีเขียว ตัวที่สามเป็นสีน้ำเงิน ตัวอย่างเช่น 333 ค่าสีแดง= 3, เขียว = 3, น้ำเงิน = 3 เมื่อผสมกันแล้วจะได้เป็นสีขาวสำหรับการผสมสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะใช้หลักการของ PWM (Pulse Width Modulation) มาใช้ในการผสมสี ค่าสีแต่ละค่าจะถูกแปลงไปเป็นความกว้างของ pulse เพื่อนำไปขับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแต่ละหลอด ดังภาพที่ 15 (Narendran and Yimin, 2548)



ภาพที่ 15 สัญญาณ PWM และสีที่ได้จากการผสมสี

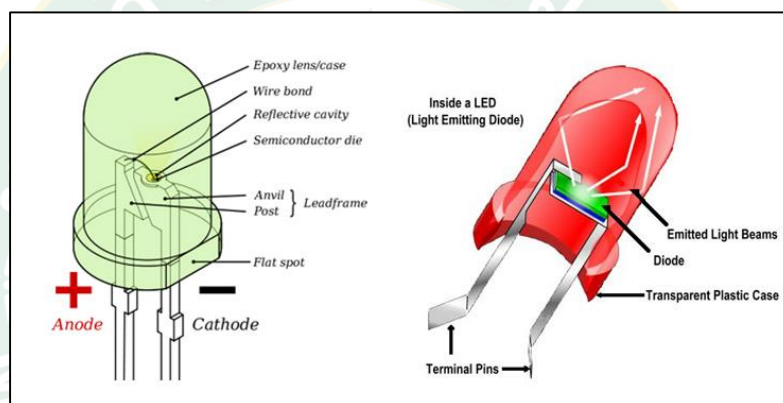
ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)

2.3.5. คุณสมบัติของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงนั้นมีหลักการทำงานพื้นฐานเหมือนกับหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบธรรมดาแต่สิ่งที่แตกต่างกันคือหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีค่าความเข้มของการส่องสว่างมากกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแบบธรรมดาซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีประสิทธิภาพการให้พลังงานแสงสว่างที่ระดับสูงถึง 70 lm/W สูงกว่าหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดที่มีประสิทธิภาพที่ระดับ 15 lm/W แม้ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงในปัจจุบันจะต่ำกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ แต่แสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จะแพร่ออกไปทุกทิศทางทำให้สูญเสียเปลวจำนวนมาก ขณะที่แสงสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจะส่องเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น ดังนั้นประสิทธิภาพของแอลอีดีกำลังงานสูง กำลังงานสูง ระดับ 70 lm/W จึงนับว่ามีมากกว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ระดับ 100 lm/W
2. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ซึ่งภายในบรรจุไอของปรอท

3. สามารถควบคุมคุณภาพของแสงให้ปล่อยออกมาได้ จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการให้แสงสว่างในสถานที่สำคัญ ตัวอย่างเช่น พิพิธภัณฑสถานของกรุงปารีส ได้ใช้แสงจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ในการให้แสงสว่างต่อภาพเขียนโมนาลิซ่า เนื่องจากสามารถควบคุมแสงสว่างจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงไม่มีส่วนผสมของแสงที่เป็นอันตรายต่อภาพเขียนเช่นแสงอินฟราเรด แสงอัลตราไวโอเล็ต ฯลฯ
4. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสามารถประหยัดพลังงานมากขึ้น
5. อายุการใช้งานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง มีอายุการใช้งานยาวนานถึง 100,000 h หรือ 11 year เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีอายุใช้งาน 30,000 h หรือหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดที่มีอายุใช้งานเพียง 1,000-2,000 h เท่านั้น (Narendran and Yimin, 2548)

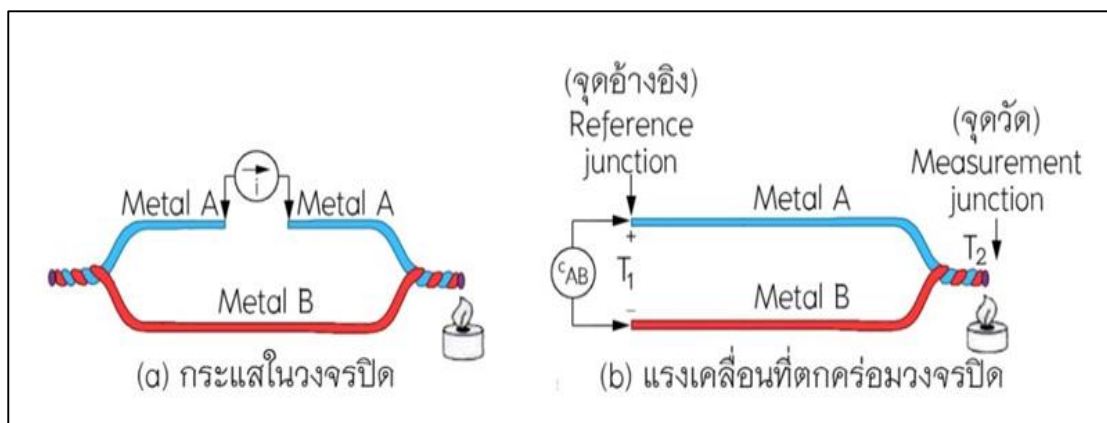


ภาพที่ 16 โครงสร้างของ Surface emitting LED

ที่มา : (Narendran and Yimin, 2548)

2.4. ทฤษฎีเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูล

1. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลสร้างจากโลหะตัวนำต่างชนิดกัน 2 ตัว ทำการเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดทั้งสองมีอุณหภูมิต่างก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง (เกศภู, 2546) แสดงดังภาพที่ 17 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของปรากฏการณ์ซีบีคตั้งข้างต้น



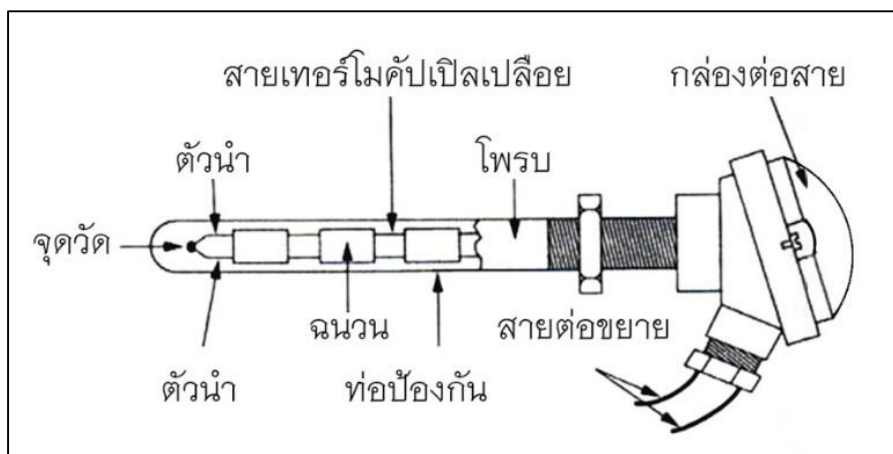
ภาพที่ 17 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล

ที่มา: (นวกัทร, 2555)

ตามทฤษฎีพื้นฐานของผลต่างของเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางกระแสไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้นๆ ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนที่มีความเร็ววิ่งไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ เพราะวโลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกัน

การเลือกเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้งานในงานวิจัย ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมตามคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples) ซึ่งหากเลือกใช้ใช้งานไม่เหมาะสมจะทำให้เทอร์โมคัปเปิลเกิดปัญหาตามมา เช่น ได้ข้อมูลที่คาดเคลื่อน ค่าพารามิเตอร์หายไป เป็นต้น ทั้งนี้แบ่งคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลที่ได้มาตรฐานออกเป็น 5 คุณสมบัติ ดังนี้

1. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะแสดงดังภาพที่ 18 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือตัวนำมีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า ท่อป้องกันส่วนมากจะทำจาก สแตนเลส เพราะความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกัน ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง



ภาพที่ 18 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

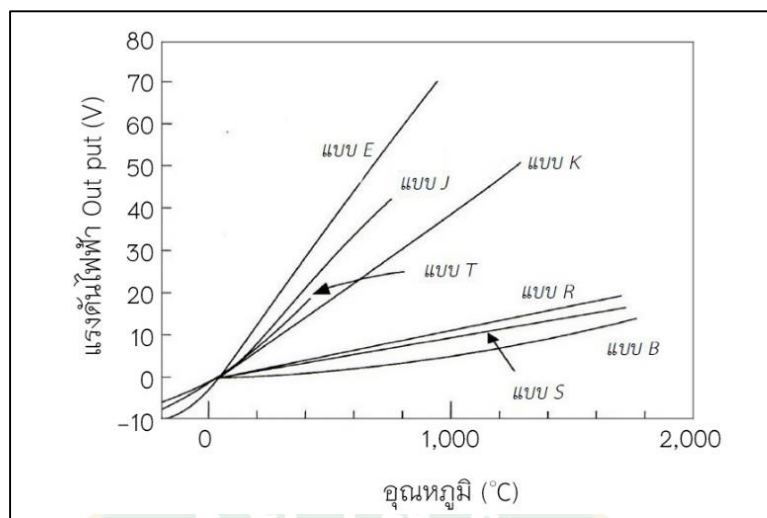
ที่มา: (นวกัทร, 2555)

2. ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานต่างๆ แสดงดังภาพที่ 17

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณ โดยใช้โอปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

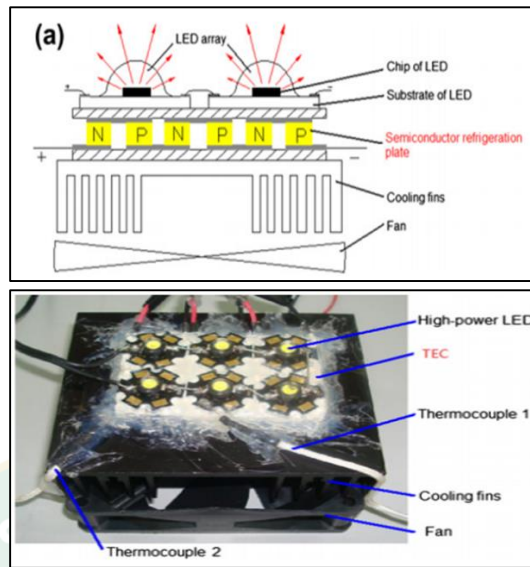


ภาพที่ 19 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่างๆ

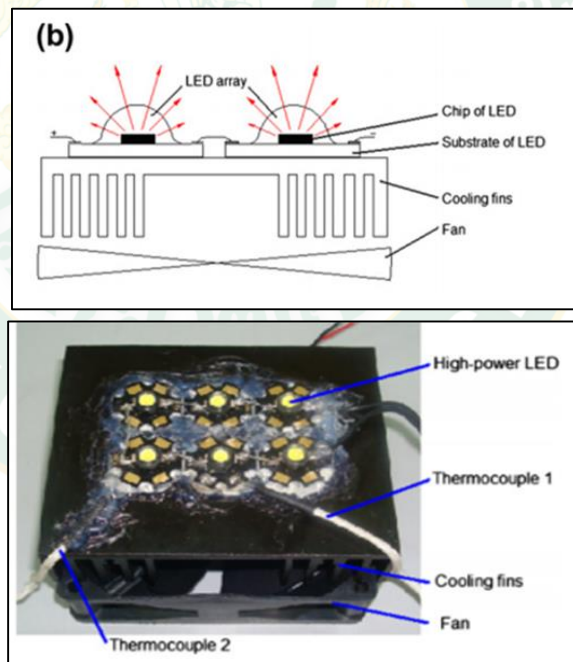
ที่มา: (นวกัทธา, 2555)

2.5. การตรวจเอกสาร

(Li et al., 2554) ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบทำความเย็นบนพื้นฐานของเทอร์โมอิเล็กทริก สำหรับการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง เพื่อปรับปรุงทดสอบสมรรถนะการระบายความร้อนของไดโอดเปล่งแสง (แอลอีดีกำลังงานสูง) ในการทดลองในครั้งนี้ใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขนาด 3 W จำนวน 6 หลอดต่อขนานกัน สองแถวในการสร้างโมเดลเป็นแหล่งกำเนิดแสงและกำหนดอุณหภูมิแวดล้อมที่ 17 °C อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงและครีระบายความร้อนจะถูกตรวจวัดโดย สายเทอร์โมคัปเปิล type K การศึกษาสมรรถนะการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงครั้งนี้ได้ทำการทดลองระบบระบายความร้อนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงดังภาพที่ 20 แสดงให้เห็นถึงระบบระบายความร้อนบนพื้นฐานของการใช้แผ่น เทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับครีระบายความร้อนและพัดลมจากโมเดลแหล่งกำเนิดแสงประกอบด้วยหลอดไฟแอลอีดีกำลังงานสูง จำนวน 6 หลอดขนาดหลอดเท่ากับ 3W ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโมเดล TEC1-6308 ขนาดเท่ากับ 40 mm x 20 mm การตรวจวัดในครั้งนี้ใช้สายเทอร์โมคัปเปิล type K ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -30 °C ถึง 150 °C ระบบระบายความร้อนที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 20 ระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับฮีทซิงค์ระบายความร้อน

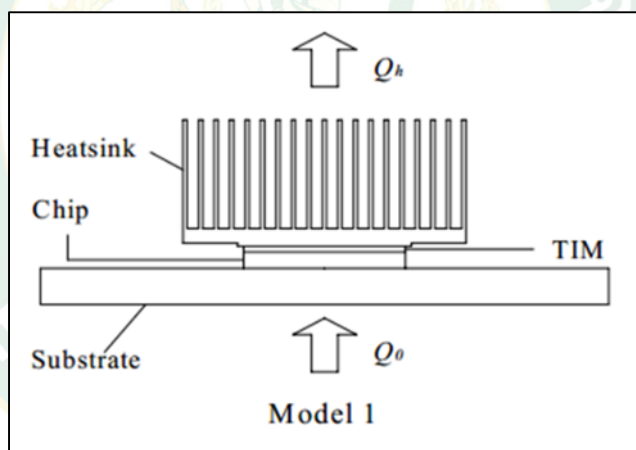


ภาพที่ 21 ระบบระบายความร้อนด้วยไม่ติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ที่มา : (Li et al, 2011)

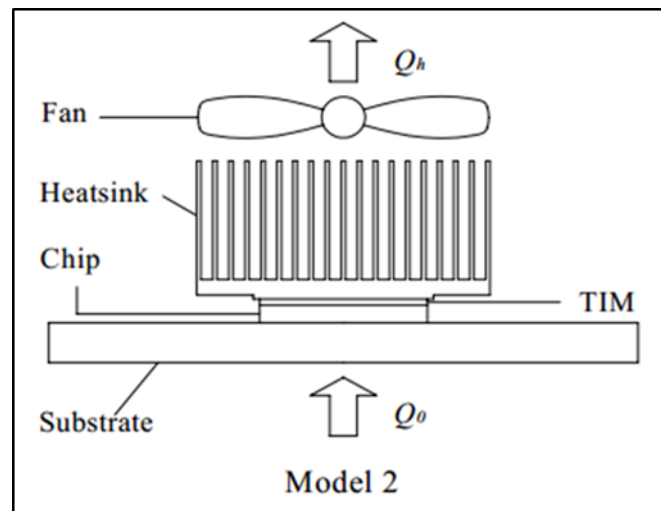
สรุปผลการทดลองของงานวิจัยนี้โดยการติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแนวทางช่วยในการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่สุด ซึ่งพบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้เปรียบเทียบกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งมีอุณหภูมิหลอดสูงสุดเท่ากับ $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกช่วยในการระบายความร้อนมีประสิทธิภาพดีที่สุด

(Daliang Zhong, 2553) ศึกษาสมรรถนะการออกแบบระบบระบายความร้อนด้วยการใช้ฮีทซิงค์ร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก วิธีการออกแบบระบบระบายความร้อนมีทั้งหมด 3 รูปแบบ (1.) ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์อย่างเดียวแสดงดังภาพที่ 22 (2.) ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับพัดลมแสดงดังภาพที่ 23 และ (3.) ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับพัดลมและแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงดังภาพที่ 24 การทดสอบครั้งนี้ใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10-50 W



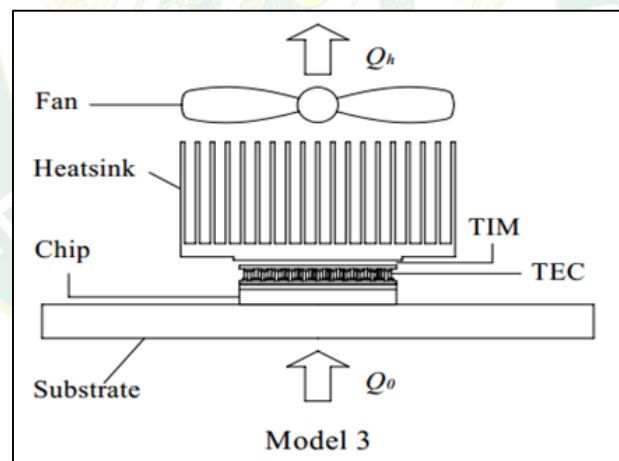
ภาพที่ 22 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

ที่มา : (Daliang Zhong, 2010)



ภาพที่ 23 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับพัดลม

ที่มา : (Daliang Zhong, 2010)

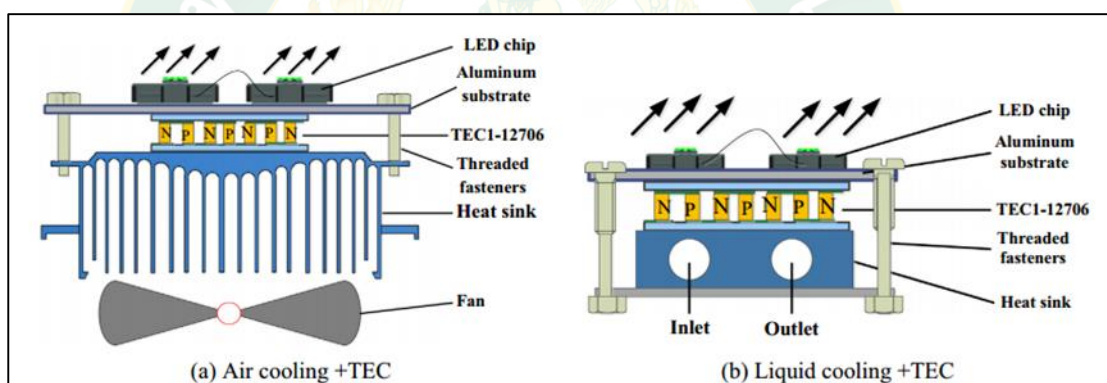


ภาพที่ 24 ระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับฮีทซิงค์และพัดลม

ที่มา : (Daliang Zhong, 2010)

สรุปผลการทดลองวิธีการระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ มีการกำหนดเงื่อนไขการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกตั้งแต่ 0.5A – 4.5A และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาเท่ากับ 3.0A – 3.5A หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีขนาดเท่ากับ 10-50 W ผลการทดลองพบว่า Model ที่ 3 ประกอบด้วยระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับฮีตซิงค์และพัดลม มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนที่ดีที่สุดซึ่งผลลัพธ์ของอุณหภูมิสูงสุดที่ได้เท่ากับ 15 °C 22 °C 33 °C 41 °C และ 50 °C ตามลำดับ

(Wang et al., 2558) ได้ศึกษาระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนด้วยฮีตซิงค์พัฒนาพร้อมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกดังภาพ (a) และระบบระบายความร้อนด้วยน้ำร่วมกับการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกดังภาพ (b) ซึ่งประเภทของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ชนิด LAFL-C4S-0850 ชิพ (chip) ของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงชนิดนี้ สามารถทำงานภายในช่วงอุณหภูมิ 0 °C ถึง 120 °C ดังภาพที่ 25

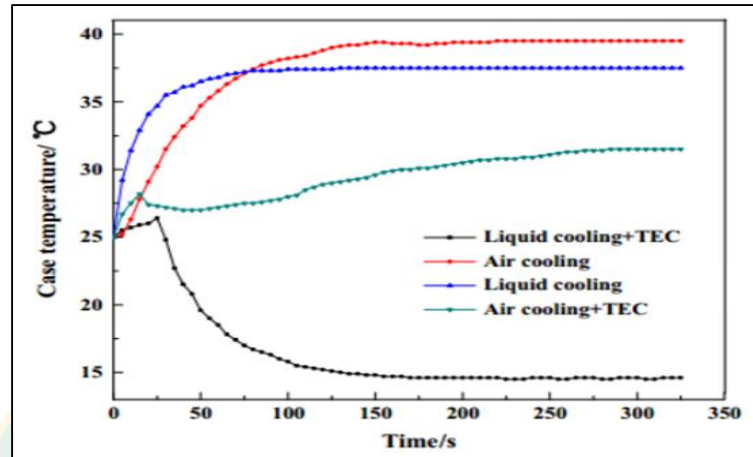


ภาพที่ 25 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีตซิงค์พัฒนาพร้อมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและระบบระบายความร้อนด้วยน้ำร่วมกับการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ที่มา : (Wang et al., 2558)

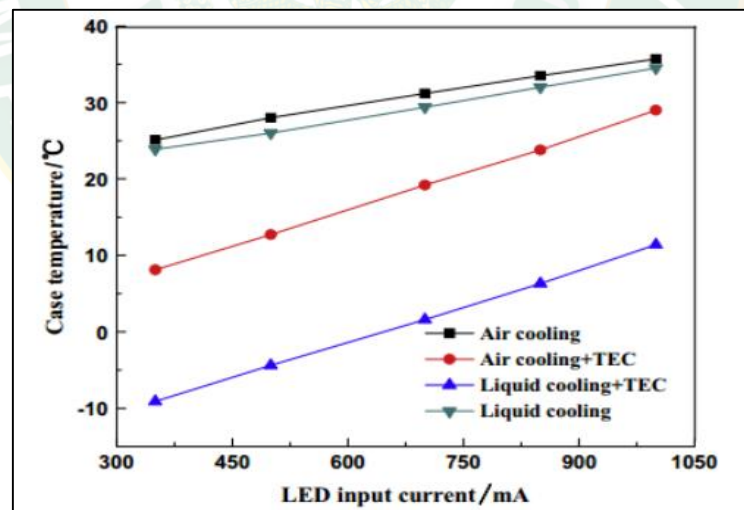
จากผลการทดลองอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงทั้ง 4 กรณี โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล type K ในการตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 26 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเท่ากับ 1000 mA มีการกำหนดอุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 °C พบว่ากรณีที่ 1ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำร่วมกับการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิหลอดสูงสุดเท่ากับ 22 °C กรณีที่ 2ระบบระบายความร้อนด้วยฮีตซิงค์พัฒนาอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสูงสุดเท่ากับ 45 °C กรณีที่ 3 ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวพบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสูงสุดเท่ากับ

38°C และ กรณีที่ 4 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีตซิงค์พัดลมร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสูงสุดเท่ากับ 32 °C ตามลำดับ (Wang et al, 2015)



ภาพที่ 26 อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงในการทำงานของแต่ละระบบระบายความร้อน

ที่มา : (Wang et al., 2558)



ภาพที่ 27 อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ทั้ง 4 กรณีเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 300mA – 1000 mA

ที่มา : (Wang et al., 2558)

จากภาพที่ 27 แสดงการพบวาระบบระบายความร้อนทั้ง 4 กรณี จ่ายกระแสไฟฟ้าที่หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเท่ากับ 300 ถึง 1,000 mA กรณีที่ 1 ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก กรณีที่ 2 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์พัดลม กรณีที่ 3 ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว และกรณีที่ 4 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์พัดลมร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสูงสุดเท่ากับ 10°C 35°C 34°C และ 28°C ตามลำดับ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 1,050 mA และอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีค่าต่ำสุดที่ -10 °C 25 °C 22 °C และ 9 °C ตามลำดับ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 300 mA

สรุปผลการทดลองทั้ง 4 กรณีพบว่าระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนคือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ -10 เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ 300 mA

(Jin-Sung Park, 2556) ได้ศึกษาทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพของการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง โดยใช้ปรากฏการณ์ See beck effect สมการที่ใช้อธิบาย See beck effect มีดังต่อไปนี้ S หมายถึง See beck coefficient เป็นได้ทั้งขั้ว บวกและลบ ขึ้นอยู่ที่ตัววัสดุว่ามีพาหะ (carrier) เป็นอะไร หรือมีคุณสมบัติเป็นเช่นไร E หมายถึง สนามไฟฟ้า See beck effect ใช้ในการออกแบบ generator หรือ อุปกรณ์สร้างกระแสไฟฟ้าจากความร้อนนักวิจัยหลายคนศึกษาปัญหานี้เพื่อที่พัฒนาวิธีการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ See beck สามารถใช้สำหรับระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้และปรากฏการณ์ See beck ร่วมกับปรากฏการณ์ Peltier ในการศึกษาครั้งนี้ใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 3W เป็นแหล่งกำเนิดแสงจ่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 10 V อุณหภูมิขององค์ประกอบ Peltier และ See beck ที่ตรวจวัดใช้สายเทอร์โมคัปเปิลและบันทึกข้อมูลลงใน Data Logger โดยมีการคำนวณประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อนดังนี้

$$R_{\text{total}} = \Delta T / Q \quad \text{สมการที่ 13}$$

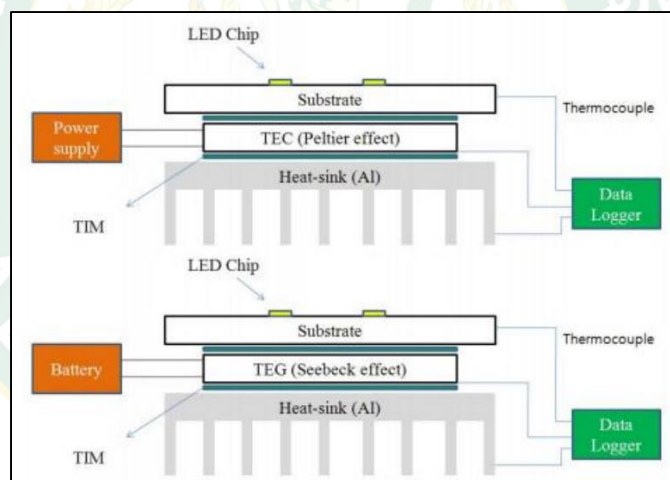
$$\Delta T = T_j - T_a \quad \text{สมการที่ 14}$$

$$Q = qA = K \cdot A \cdot (T_j - T_a) / L \quad \text{สมการที่ 15}$$

เมื่อ

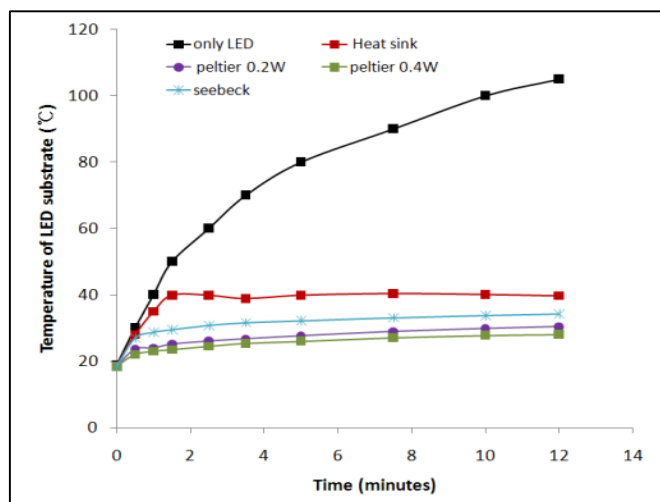
- Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน
 ΔT = เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำและอากาศ
 T_j = อุณหภูมิระหว่างรอยต่อของวัตถุ
 T_a = อุณหภูมิภายในห้อง
 k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
 A = พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน
 L = ความหนาของวัตถุหรือตัวกลาง

การทดสอบอุปกรณ์สำหรับการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยปรากฏการณ์ Peltier และปรากฏการณ์ Seebeck ดังภาพที่ 28 ซึ่งแสดงถึงขั้นตอนการทำงานของระบบ



ภาพที่ 28 ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยปรากฏการณ์ Peltier และปรากฏการณ์ Seebeck

ที่มา : (Jin-Sung Park, 2012)



ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบของอุณหภูมิของแต่ละระบบ

ที่มา : (Jin-Sung Park, 2012)

จากกราฟแสดงผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกรณีที่ไม่มีการติดตั้งชุดการระบายความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 110 °C กรณีที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปรากฏการณ์ Peltier 0.2 – 0.4W อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเท่ากับ 23 °C และ 25 °C กรณีที่ 3 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปรากฏการณ์ Seebeck พบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเท่ากับ 32 °C ดังนั้นผลการทดลองพบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้าน Peltier เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงนั้นต่ำลงตามลำดับ

สรุปผลจากการทดลองระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงร่วมกับปรากฏการณ์ Seebeck มีประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงาน เมื่อเปลี่ยนจากพลังงานความร้อนเป็นไฟฟ้าสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายลงได้ ซึ่งอุณหภูมิของปรากฏการณ์ Seebeck สูงกว่า อุณหภูมิของฮีทซิงค์ที่ 9 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิของปรากฏการณ์ Peltier 4 °C ดังนั้นจึงมีการเลือกใช้องค์ประกอบของ Peltier ในการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกันอย่างแพร่หลาย

แนวคิดและสมมติฐานในการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการศึกษาสมรรถนะการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงจรปิดเพื่อลดอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเป็นงานวิจัยเพื่อปรับปรุงพัฒนาเพิ่มเติมจากงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งเป็นปัญหาทางด้านกระจายความร้อนที่แผ่นหลังเพลาท ของตัวหลอดแอลอีดีกำลัง

งานสูงเอง ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้ทำการศึกษาการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิดเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ซึ่งทำให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงนั้นมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นและมีค่าความเข้มแสงและความยาวคลื่นหรือสเปกตรัมแสงนั้นคงที่ และสามารถนำระบบระบายความร้อนไปใช้งานทางด้านเกษตรกรรมได้



บทที่ 3

อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการวิจัยเป็นแบบแผนสำหรับใช้ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในโครงการการศึกษาสมรรถนะการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงจรปิดเพื่อลดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงและศึกษาต้นทุนในการผลิตระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง โดยทำการทดลองการควบคุมอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 3 รูปแบบ ได้แก่ 1.) ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงจรปิดร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2.) ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และ 3.) ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้ในการทดสอบมีแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินอยู่ในหลอดเดียวกัน มีขนาดหลอดละ 10 W ทำการทดสอบกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ มีขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษา คุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ 0.1A 0.5A 1.0A 1.5A 2.0A 2.5A และ 3.0A ตามลำดับ จากรายละเอียดของผู้ผลิตแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 3.0A ทดสอบในขณะที่ไม่มีโหลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง แต่อย่างไรก็ตามด้านเพลความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ถ้าไม่มีการระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขณะทำการทดสอบจะทำให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเกิดความเสียหาย ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ทำการทดสอบกับระบบระบายความร้อน 3 ระบบคือ

- 1.1 ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงจรปิด
- 1.2 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และพัดลม
- 1.3 ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์และพัดลม

2. ศึกษา คุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ จากรายละเอียดของผู้ผลิตหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงระบุไว้ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 340 mA ทั้ง 3 สี และจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 12V ซึ่งมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินค่าวิกฤติที่หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงรับได้ หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงนั้นเกิดความเสียหาย ขณะทดสอบหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อน พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขาดเสียหาย

- 2.1 ศึกษาอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน สูงสุดเท่ากับ 340mA ทั้ง 3 สี และบันทึกผลจนกระทั่งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงถึงจุดพังทลายเสียหาย
- 2.2 ศึกษา กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวที่มีค่ากำลังงานสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียว ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด
- 2.3 ศึกษา กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงขณะที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวแต่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด
3. ศึกษา อัตราการไหลของน้ำที่ไหลวนในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงินเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ปั้มน้ำ 12 V และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้พัดลมหม้อน้ำระบายความร้อนเท่ากับ 300mA เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
4. ศึกษา คุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับขณะทดสอบหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนการทดลองนี้ทำการทดลองกับระบบระบายความร้อน 3 ระบบคือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับพัดลม จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 340 mA ทั้ง 3 สี และจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 12V
- 4.1 ศึกษาอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน 3 ระบบ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน สูงสุดเท่ากับ 340mA ทั้ง 3 สี
- 4.2 ศึกษาอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวที่มีค่ากำลังงานสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียว ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด

4.3 ศึกษาอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงขณะที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวแต่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด และบันทึกผลการทดลอง

5. วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

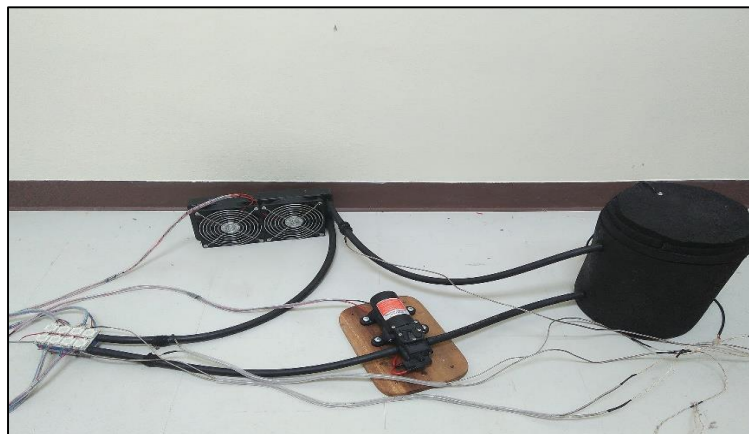
การวิเคราะห์ต้นทุนและประเมินความคุ้มค่าของระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบคือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และพัดลม และ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์และพัดลมตามหลักเศรษฐศาสตร์ โดยการประเมินต้นทุนที่ใช้ในการสร้างระบบระบายความร้อนและระยะเวลาในการคืนทุน

3.1. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้ 1.) อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ 2.) อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ 3.) อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ 4.) อุปกรณ์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า 5.) อุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง 6.) เครื่องมือทดสอบความยาวคลื่นแสงและความเข้มแสง

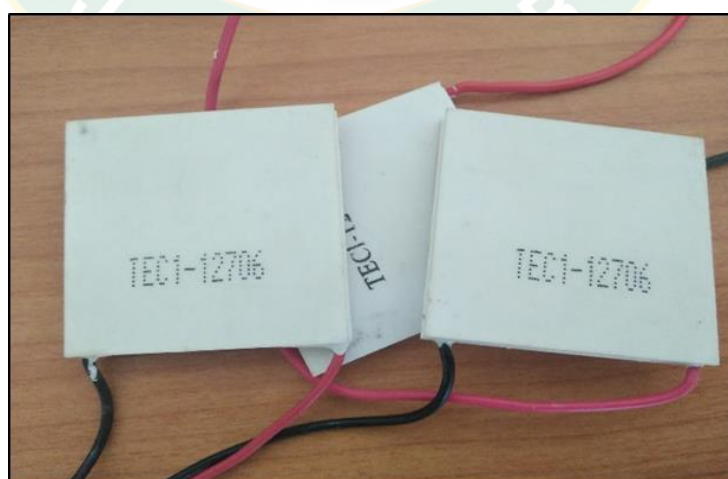
3.1.1. อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด

ระบบระบายความร้อนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำแสดงดังภาพที่ 30 ถูกสร้างขึ้น โดยทำการประกอบอุปกรณ์ ต่างๆ ดังต่อไปนี้ (1.) หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 8 หลอด (2.) ปั้มน้ำ DC ขนาด 12 V 1 ตัว (3.) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 1 ตัวขนาด 40mm x 80mm (4.) หม้อน้ำระบายความร้อนจำนวน 1 ตัว และ (5.) ถังเก็บน้ำขนาด 5 L



ภาพที่ 30 ระบบระบายความร้อนแบบวงปิดของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

1. แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงดังภาพที่ 31 ที่ใช้ในการระบายความร้อน เป็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพลเทียร์ TEC Thermoelectric Cooler Peltier (TEC1-12706) มีความกว้างเท่ากับ 40 mm ความยาวเท่ากับ 40mm ผลิตจากวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ที่คั่นกลางระหว่างแผ่นภายนอกที่ใช้วัสดุเป็นเซรามิก อายุการใช้งานอยู่ที่ 200,000 h โดยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะเริ่มทำงานที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0 ~ 15.2V และ 0 ~ 6A ตามลำดับ ขณะแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทำงานอุณหภูมิที่เพลทเย็นอยู่ในช่วง -30°C ถึง 70°C และ ใช้ติดตั้งบนอุปกรณ์ระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ



ภาพที่ 31 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบบระบายความร้อน TEC1-12706

2. แผ่นอลูมิเนียมมีมิติกว้าง 45 mm ยาว 80 mm และหนา 2 mm ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 32 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน K เท่ากับ $237 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (@ 300 K) ใช้สำหรับวางหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง จำนวน 8 หลอดและใช้ติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกกระจายความร้อนทั้ง 3 ระบบ



ภาพที่ 32 แผ่นอลูมิเนียมสำหรับระบบระบายความร้อน

3. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) แสดงดังภาพที่ 33 สร้างจากวัสดุที่เป็นอลูมิเนียม กว้างเท่ากับ 40 mm ยาว 80 mm และหนาเท่ากับ 12 mm ตามลำดับภายในติดตั้งครีบน้ำร้อนหนา 0.5 mm ระยะห่าง 1 mm ใช้น้ำเป็นสารทำงาน



ภาพที่ 33 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Heat Exchanger

4. ปั้มน้ำแรงดันสูงยี่ห้อ: SEAFLO รุ่น SFDP1-005-055-21 แบบ DC ขนาดแรงดันไฟฟ้า 12V อัตราการไหลของน้ำสูงสุดเท่ากับ 4.3 L/min กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.7 ถึง 2.7A อุณหภูมิในการทำงาน 0-60 °C แสดงดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ปั้มน้ำดีซีขนาด 12V

5. หม้อน้ำ (Radiator) แสดงดังภาพที่ 35 สร้างจากอลูมิเนียม ขนาดกว้าง 120 mm ยาว 257 mm สูง 30 mm และพัดลมขนาดกว้างเท่ากับ 105 mm และขนาดยาวเท่ากับ 105 mm จำนวน 2 ตัว ภายในติดตั้งครีบน้ำร้อนจำนวน 20 ครีบน้ำร้อนหนา 0.1 mm



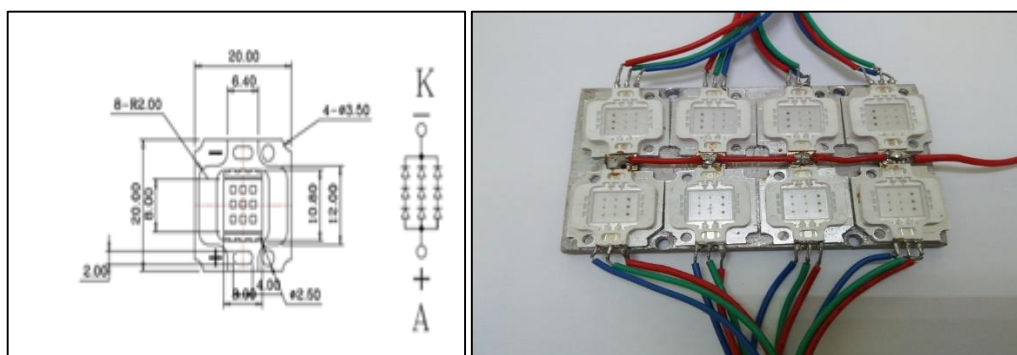
ภาพที่ 35 หม้อน้ำระบายความร้อน

6. ถังเก็บน้ำ ขนาด 5 ลิตร วัสดุทำจากพลาสติกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนลดการสูญเสียความร้อน แสดงดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ถังเก็บน้ำเย็น ขนาด 5 ลิตร

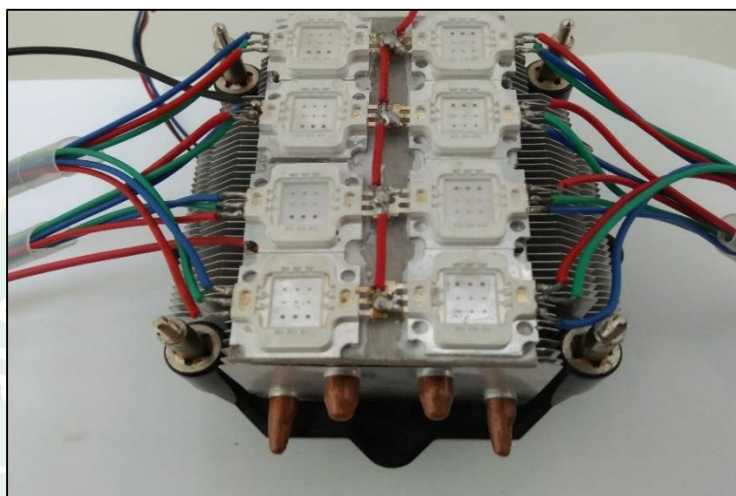
7. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W แสดงดังภาพที่ 37 ผลิตจากวัสดุที่ใช้ทำเป็นพลาสติกและอลูมิเนียมที่มีความกว้างเท่ากับ 2.0 ซม. 2.6 ซม. และหนาเท่ากับ 0.3 ซม. ซึ่งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงหนึ่งหลอด ประกอบด้วยแสงสีแดง เขียว และน้ำเงินรวมอยู่ด้วยกัน จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเท่ากับ 12 V ซึ่งสีแดงมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 635 ~ 700 nm สีเขียวมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 490 ~ 560 nm และสีน้ำเงินสามารถสร้างความยาวคลื่นในช่วง 450 ~ 590 nm ตามลำดับ ใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงติดตั้งบนอุปกรณ์ระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ



ภาพที่ 37 หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 8 หลอดต่อขนานกัน

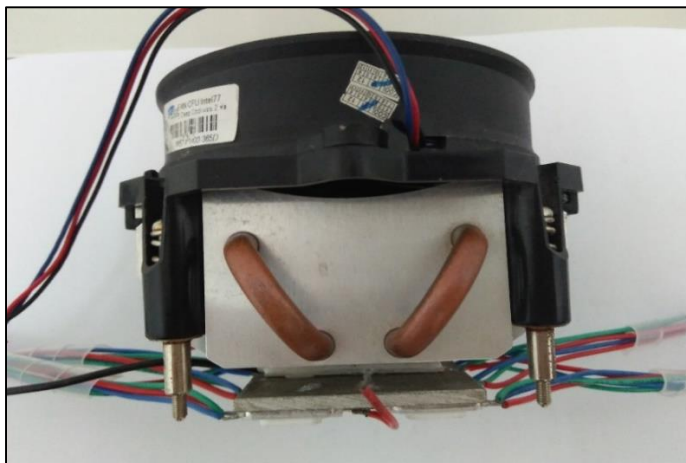
3.1.2. อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์

ระบบระบายความร้อนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงฮีทไปป์แสดงดังภาพที่ 38 ถูกสร้างขึ้น โดยทำการประกอบอุปกรณ์ ต่างๆ ดังต่อไปนี้ (1.) หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 8 หลอด (2.) พัดลม DC ขนาด 12V จำนวน 1 ตัว (3.) ฮีทไปป์ จำนวน 1 ตัว



ภาพที่ 38 ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์

1. ท่อฮีทไปป์ 2 เส้นขนาด 1 กลีบ (Heat Pipe) แสดงดังภาพที่ 39 มีความกว้างเท่ากับ 70 mm ยาวเท่ากับ 70 mm ความหนาเท่ากับ 2 mm และพัดลมระบายความร้อน ความกว้างเท่ากับ 70 mm ยาวเท่ากับ 70 mm สารทำงานภายในท่อฮีทไปป์เป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) R-22



ภาพที่ 39 ฮีทไปป์ที่ใช้ระบายความร้อน

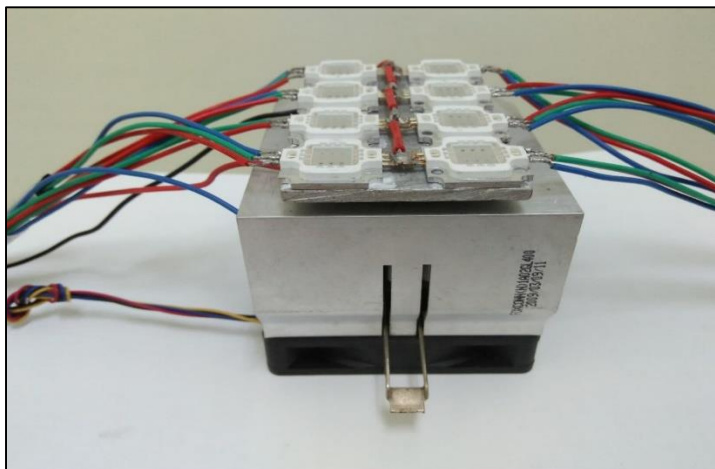
2. พัดลมมีความกว้าง 70 mm ยาว 70 mm และหนา 20 mm ตามลำดับแสดงดังภาพที่ 40 ความเร็วรอบเท่ากับ $2200 \pm 10\%$ rpm และความเร็วลมเท่ากับ $48 \text{ m}^3/\text{h}$



ภาพที่ 40 พัดลมระบายความร้อนฮีทไปป์

3.1.3. อุปกรณ์สำหรับการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

ระบบระบายความร้อนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์แสดงดังภาพที่ 41 ถูกสร้างขึ้นโดยทำการประกอบอุปกรณ์ ต่างๆ ดังต่อไปนี้ (1.) หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 8 หลอด (2.) พัดลม DC ขนาด 12V จำนวน 1 ตัว (3.) ฮีทซิงค์ จำนวน 1 ตัว



ภาพที่ 41 ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์

1. ฮีทซิงค์ (Heat Sink) แสดงดังภาพที่ 42 มีความกว้างเท่ากับ 70 mm ยาวเท่ากับ 70 mm ความหนาเท่ากับ 5 cm มีครีบบระบายความร้อนจำนวน 25 ครีบ และพัดลมระบายความร้อน ความกว้างเท่ากับ 70 mm ความยาวเท่ากับ 70 mm



ภาพที่ 42 ฮีทซิงค์ที่ใช้ระบายความร้อน

2. พัดลมไฟฟ้ากระแสตรงมีความกว้าง 70 mm ยาว 70 mm และหนา 10 mm ใช้กับระบบไฟฟ้า 12V และ 0.55 A ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 พัดลมระบายความร้อนซีพียู

3.1.4. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

มัลติมิเตอร์ (Multimeters) เป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 44 แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeters) กับ มัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multimeters) เพื่อใช้กับการทดลอง ซึ่งมัลติมิเตอร์แต่ละเครื่องมีความแตกต่างกันไป ในงานวิจัยในครั้งนี้จะใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและวัดแรงดันไฟฟ้าที่เครื่อง Switching Power Supply ที่จ่ายให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง



ภาพที่ 44 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter) ที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์

1. อุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ

ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) ขนาด 215x113x50MM แสดงดังภาพที่ 45 สามารถแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันสูงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันต่ำ แรงดันไฟฟ้า Input: 100-240VAC 50/60Hz และแรงดันไฟฟ้า Output Voltage : 12VDC Output Current : 30A Output power : 360W เพื่อใช้ในอุปกรณ์ระบายความร้อนซึ่งองค์ประกอบของ Switching Power Supply ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ

1. วงจรฟิลเตอร์และเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรง
2. คอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับความถี่สูง และแปลงกลับเป็นไฟตรงโวลต์ต่ำ
3. วงจรควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ วงจรควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ



ภาพที่ 45 Switching Power Supply DC

3.1.5. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) FLUKE 2638A HYDRA SERIES III

ระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูลพื้นฐาน ระบบของเครื่องบันทึกข้อมูล มีลักษณะแสดงดังภาพที่ 46 ในการวิจัยในครั้งนี้ใช้ Data logger รุ่น Fluke 2638A Hydra Series III เป็นเครื่องเก็บบันทึกข้อมูลอนุภาคขนาด 67 แชนเนล แบบพกพาใช้งานได้โดยลำพังสามารถวัดและบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ความต้านทาน ความถี่ RTD เทอร์โมคัปเปิล และเทอร์มิสเตอร์ (ปานเทพ, 2557)



ภาพที่ 46 Fluke 2638A Hydra Series III

ที่มา: (ปานเทพ, 2557)

คุณสมบัติของเครื่องบันทึกข้อมูล (Fluke Hydra Series III)

1. ความแม่นยำ DC 0.0024%
2. ความแม่นยำเทอร์โมคัปเปิลดีเยี่ยมที่สุดในอุตสาหกรรม 0.6°C (0.2°C เมื่อใช้ตัวอ้างอิงภายนอก)
3. อินพุตดิฟเฟอเรนเชียล 67 แชนเนล แยกจากกันทางไฟฟ้า
4. แสดงกราฟข้อมูลได้พร้อมกัน 4 ช่องบนจอแสดงผล
5. ระบบเมนูสำหรับตั้งค่าและจัดการข้อมูลที่ใช้ทำงานง่ายสามารถ แสดงข้อมูลหลายแชนเนลแบบ real-time
6. มีฟังก์ชันมอโนเตอร์ในการดูและทำชาร์ตแบบ real-time ในขณะสแกน

7. มีช่องสำหรับกระทำทางคณิตศาสตร์ในตัว 20 แชนเนลและบันทึกภาพชาร์ตหรือข้อมูลจากหน้าจอลง USB ด้วย ปุ่มเดียว
8. อัตราเร็วสแกน DC พื้นฐาน 45 แชนเนล/วินาที หน่วยความจำภายในเก็บข้อมูลได้ 57,000 ชุดข้อมูลมาสามารถใช้งานร่วมกับ USB แฟลชไดรฟ์ได้ มีเว็บเซิร์ฟเวอร์ในตัวสำหรับดูข้อมูลจากระยะไกลได้ ระบบนี้มีความปลอดภัยเรื่องข้อมูลเพื่อสอดคล้องกับมาตรฐานพิกัดความปลอดภัยด้านอินพุต 300V CAT II

ส่วนประกอบของเครื่องบันทึกข้อมูล (Fluke Hydra Series III)

Fluke 2638A เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลขนาด 3 สล็อตอินพุต เลือกจำนวนแชนเนลได้สูงสุด 60 แชนเนล กับอีก 6 แชนเนล สำหรับกระแสต่ำความแม่นยำสูงและอินพุต DMM แยกต่างหาก ด้านหน้า รองรับการวัดที่ Category II 300V ด้านหน้ามีจอแสดงผลสี TFD สำหรับแสดงข้อมูลพร้อมปุ่มควบคุมการทำงานหลัก เช่น การสแกน/มอนิเตอร์ บันทึก เลือกแชนเนล หน่วยความจำ ตั้งค่าการวัด และโหมด DMM มีไฟแสดงที่ปุ่มเพื่อแสดงสถานการณ์ทำงานช่องต่อ USB ด้านหน้าสำหรับโอนย้ายไฟล์ตั้งค่า ไฟล์ข้อมูลสแกนและไฟล์บันทึก DMM ไปยัง USB แฟลชไดรฟ์ได้ด้านหลังมีช่องต่อ USB (virtual serial port) , LAN 10/100 Gb, 8 DIO และ 6 TTL เอาต์พุตแจ้งเตือน

3.1.6. เครื่องมือทดสอบความยาวคลื่นแสงและความเข้มแสง

เครื่อง PAR Meter PG100N Handheld Spectrometer เป็นเครื่องวัดแสงสเปกตรัมแสงที่มีน้ำหนักเบาพกพาสะดวกและใช้งานง่ายหรือเครื่องวัดความสว่างแบบ Spectral IL luminance (LUX) ที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานด้านการเกษตรเป็นระบบโต้ตอบ และมีการรายงานผลการวิเคราะห์ผลสำหรับสเปกตรัมของ PPFD PFD การตรวจสอบอัตโนมัติและพารามิเตอร์อื่น ๆ แสดงดังภาพที่ 47 เพื่อการวิเคราะห์ในสภาวะแสงแวดล้อมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและการปรับค่าแหล่งกำเนิดแสงเทียมเพื่อควบคุมปัจจัยในการผลิตความปลอดภัยและผลผลิตได้ออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 47 เครื่อง PAR Meter PG100N Handheld Spectrometer

ที่มา: (UPRtek, 2557)

คุณสมบัติของเครื่อง (PAR Meter PG100N Handheld Spectrometer)

1. Stand-alone Spectral Light meter ไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่น (เช่น PC, Smartphone)
2. ความเร็วในการประมวลผลสูงมีความเสถียรและแม่นยำ โดยใช้เทคโนโลยี CCD spectral ขั้นสูง ช่วงการวัด 380 - 780nm
3. มีหน่วยวัดมากกว่า 40 หน่วยรวมถึง PPFD (R / G / B / UV / FR), LUX, PFD, CCT, Ra, R1-R15, พิกัด Chromaticity CIE, Peak และ Dominant Wavelength และอื่น ๆ
4. หน้าจอสัมผัสขนาด 3.5 นิ้วเพื่อการใช้งานที่สะดวกและรวดเร็ว หัวเซนเซอร์ที่สามารถถอดออกได้สำหรับการวัดระยะไกล
5. ใช้ SD การ์ด ในการถ่ายโอนข้อมูล
6. บราวเซอร์ไฟล์ในตัวช่วยให้สามารถเข้าถึงข้อมูลที่บันทึกไว้ก่อนหน้านี้ได้อย่างรวดเร็ว การเชื่อมต่อสายเคเบิล USB เพื่อการจัดการข้อมูลที่ง่ายด้วยซอฟต์แวร์ uSpectrum PC
7. ง่ายต่อการใช้งานควบคุมระยะไกล Wi-Fi ผ่านทางแอปพลิเคชัน สมาร์ทโฟน หรือ แท็บเล็ต (IOS และ Android) และมีน้ำหนักเพียง 275 กรัม สามารถพกพาได้ง่าย

เครื่อง PAR Meter PG100N เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจวัดความยาวคลื่นแสงและความเข้มแสงซึ่งมีค่า PPFD (R / G / B / UV / FR) LUX PFD CCT Ra R1-R15 พิกัด Chromaticity CIE, Peak และ Dominant Wavelength PPFD คือ (Photosynthetic Photon Flux Density) หมายถึงจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบนพื้นที่ที่กำหนดไว้ในหนึ่งวินาที PPFD มีหน่วยวัดเป็น $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ พืชมีหลาย

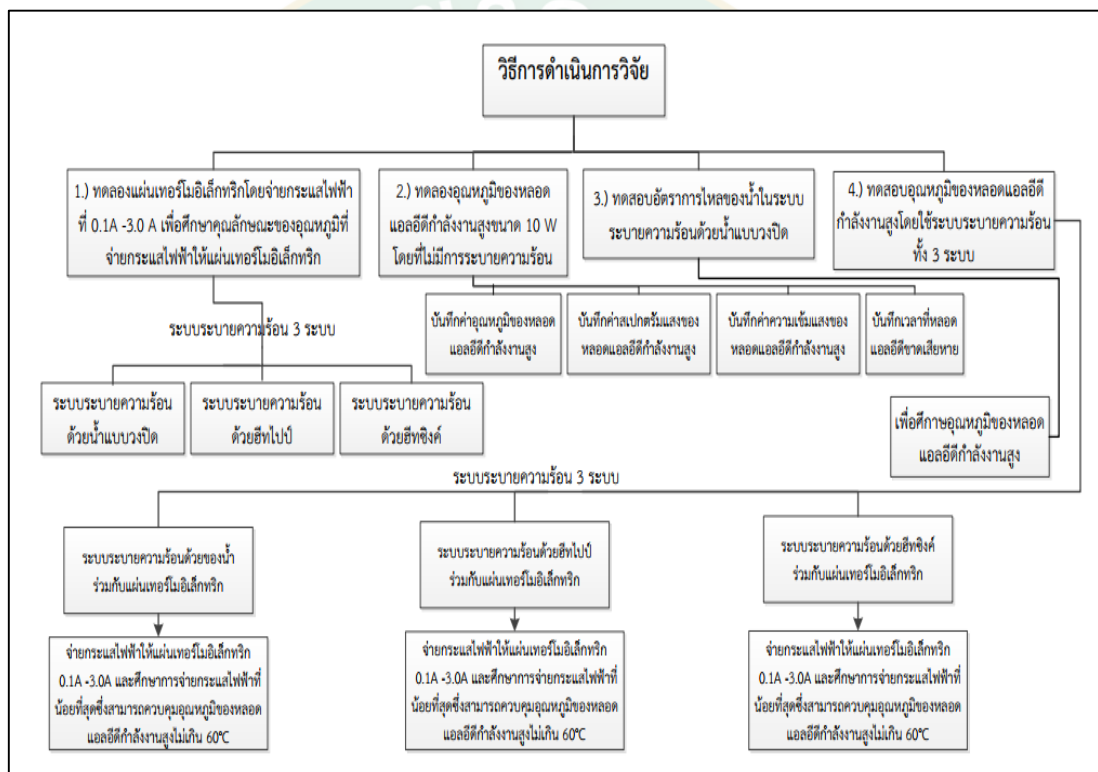
ชนิดและประเภทต่างๆที่มีความต้องการ PPFD ที่แตกต่างกันปกติความยาวคลื่นที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (PAR) คือ 400nm - 700nm ความเข้มของแสงและความยาวคลื่นมีผลการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน เช่น

1. แสงสีน้ำเงิน (400nm - 500nm) – การดูดซึมคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์สูงมีผลต่อการสังเคราะห์แสงอย่างมาก
2. แสงสีเขียว (500nm - 600nm) – การดูดซับด้วยเม็ดสีที่น้อย
3. แสงสีแดง (600nm - 700nm) – ปรับปรุงการออกดอกและการงอกของพืช
4. แสงยูวี (400 นาโนเมตร) - ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช แต่เหมาะสำหรับการสร้างเม็ดสีของพืช แสง FR (700 นาโนเมตร) – ปรับการออกดอกและการงอก



3.2. วิธีการดำเนินการ

การดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ ในขณะที่ทดสอบใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



จากภาพไดอะแกรมวิธีการดำเนินการมีลำดับดังนี้

1. ทดลองคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีขนาด 40 mm x 40 mm โดยที่ไม่มีการติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ณ ที่กระแสไฟฟ้าค่าต่างๆที่ 0.1A 0.5A 1.0A 1.5A 2.0A 2.5A และ 3.0A ตามลำดับ ให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และบันทึกข้อมูลคุณลักษณะทางอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แต่อย่างไรก็ตามในขณะที่ทดสอบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จำเป็นต้องมีการระบายความร้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อป้องกันความเสียหายที่เพิ่มขึ้นจากความร้อนสะสมภายในของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ
2. ทดลองคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ โดยที่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำ สูงสุดที่ 340 mA ทั้ง 3 สี จากรายละเอียดของผู้ผลิตหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ระบุไว้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 340 mA ทั้ง 3 สี และจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 12V ทำการบันทึกข้อมูลค่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่าสเปกตรัมแสง ค่าความเข้มแสง และเวลาที่หลอดแอลอีดีเกิดความเสียหาย
3. ทดลองหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลวนในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงินสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำ DC และพัดลมหม้อน้ำระบายความร้อน 12 V เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมต่อการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเพื่อนำไปใช้งานในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
4. ทดสอบอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงโดยการใช้ระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ
 - 4.1 ทดสอบคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิดผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ขนาด 40 mm x 80 mm x 12 mm ขณะทดสอบใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์

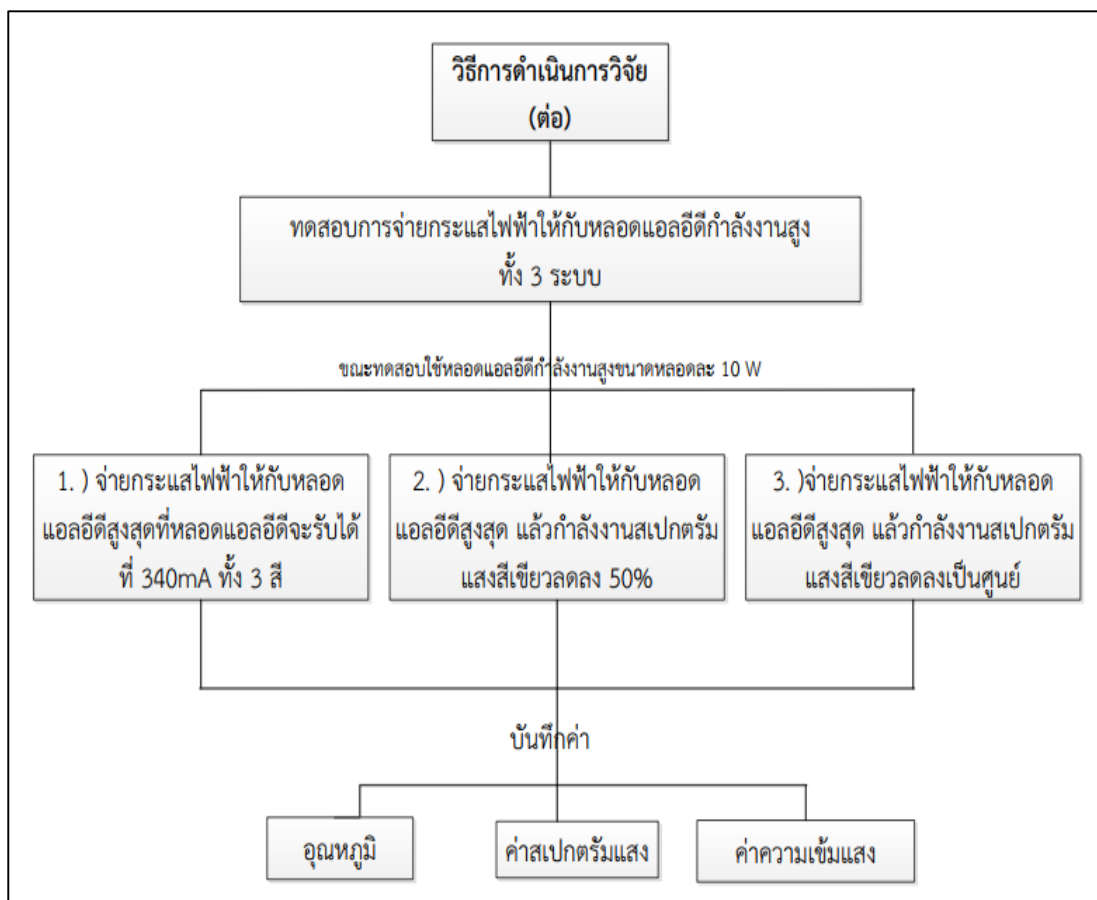
โมอีเล็กทริกที่ 0.1A-3.0A เพื่อศึกษาการกระจายไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอีเล็กทริกน้อยที่สุดและสามารถควบคุมอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้ไม่เกิน 60 °C ด้วยระบบระบายความร้อนโดยน้ำ

4.2 ทดสอบคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอีเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm ร่วมกับท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ (Heat Pipe) ขนาด 70 mm x 70 mm x 2 mm สารทำงานภายในท่อฮีทไปป์เป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) R-22 และพัดลมระบายความร้อนขนาด 70 mm x 70 mm ขณะทดลองใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอีเล็กทริกที่ 0.1A-3.0A เพื่อศึกษาการกระจายไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอีเล็กทริกน้อยที่สุดและสามารถควบคุมอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้ไม่เกิน 60 °C ด้วยระบบระบายความร้อนโดยฮีทไปป์

4.3 การทดสอบคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอีเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm ร่วมกับท่อความร้อนหรือฮีทซิงค์ (Heat Sink) 70 mm x 70 mm x 3 mm และพัดลมระบายความร้อนขนาด 70 mm x 70 mm ขณะทดลองใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอีเล็กทริกที่ 0.1A-3.0A เพื่อศึกษาการกระจายไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอีเล็กทริกน้อยที่สุดและสามารถควบคุมอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้ไม่เกิน 60 °C ด้วยระบบระบายความร้อนโดยฮีทซิงค์

การนำหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงไปใช้งานด้านการเพาะปลูกพืชมีอยู่ 2 ลักษณะดังนี้

1. ใช้สเปกตรัมแสงสีขาว ซึ่งประกอบไปด้วยการใช้สเปกตรัมแสงสีแดง สเปกตรัมแสงสีเขียวและสเปกตรัมแสงสีน้ำเงิน
2. ใช้แสงสเปกตรัมแสงสีแดง และสเปกตรัมแสงสีน้ำเงิน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพืชบางชนิดต้องการสเปกตรัมแสงสีเขียวในปริมาณที่น้อยกว่าสเปกตรัมแสงสีแดงและสเปกตรัมแสงสีน้ำเงิน จึงมีการออกแบบทดลองตามวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้



5. ทดลองคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับขณะทดสอบหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนการทดลองนี้ทำการทดลองกับระบบระบายความร้อน 3 ระบบคือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับพัดลม จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 340 mA ทั้ง 3 สี และจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 12V

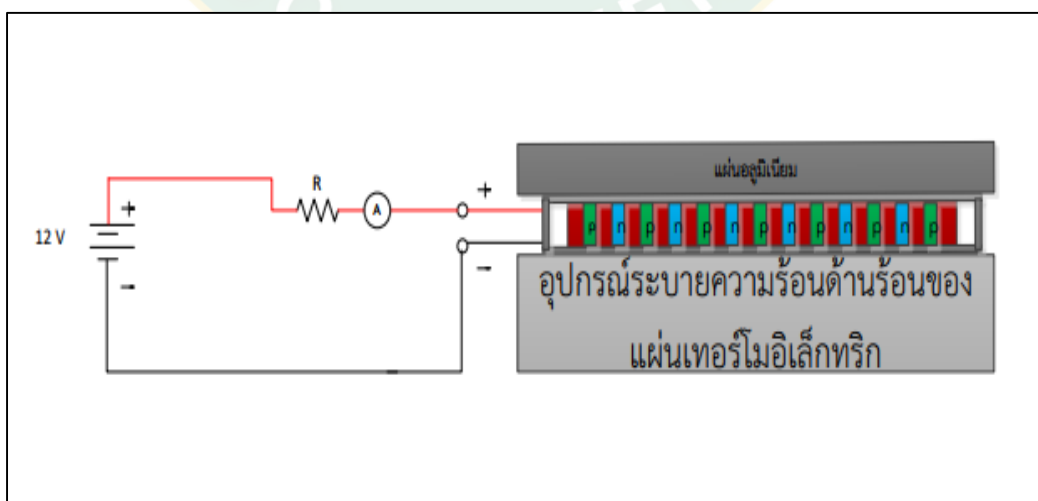
4.1 ทดลองอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน 3 ระบบ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน สูงสุดเท่ากับ 340mA ทั้ง 3 สี และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A

4.2 ทดลองอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวที่มีค่ากำลังงานสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียว ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A

4.3 ทดลองอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงขณะที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวแต่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด และบันทึกผลการทดลอง และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A

1. การทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

การทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40mm จำนวน 1 แผ่น ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน โดยการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นได้โดยมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน มีการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนจากระดับพลังงานต่ำทางด้านสารกึ่งตัวนำแบบพี ไปในระดับพลังงานที่สูงกว่าทางด้านสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น กระบวนการดังกล่าวส่งผลให้ผิวด้านหนึ่งของแผ่นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเย็นลง ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จะทดสอบอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งการระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1A -3.0A แสดงดังภาพที่ 48

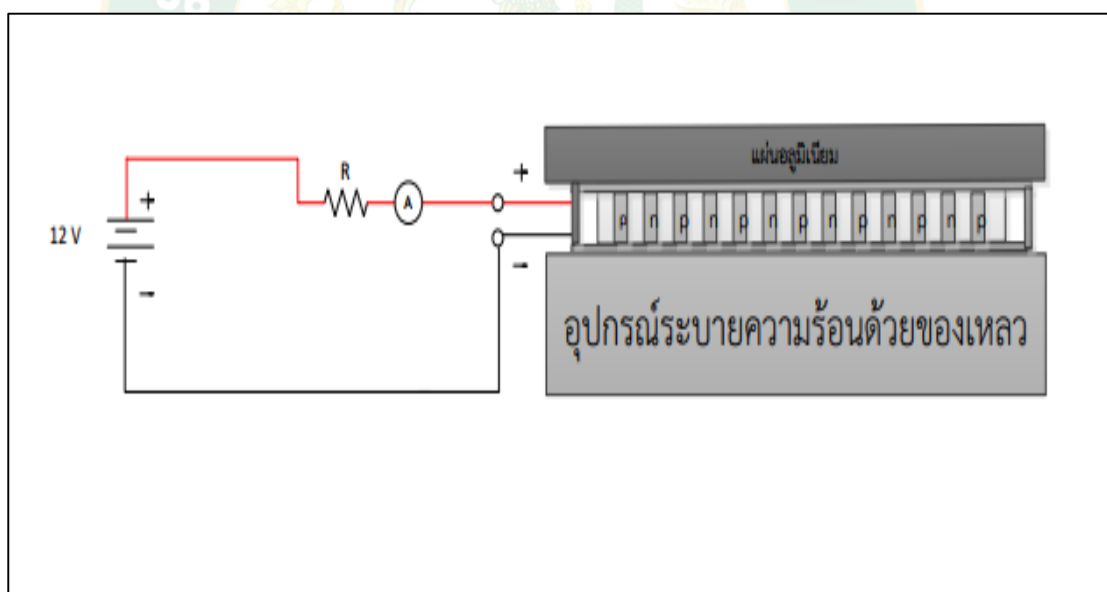


ภาพที่ 48 ไดอะแกรมการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

จากไดอะแกรมการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.1 A 0.5 A 0.8 A 1.0 A 1.5 A 2.0 A 2.5 A และ 3.0 A ตามลำดับ ในขณะที่ทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ตัวต้านทานขนาด 116 Ω 20 Ω 11 Ω 8 Ω 4 Ω 2.2 Ω และ 1.0 Ω ตามลำดับ จากรายละเอียดของผู้ผลิตแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 3.0A ทำการทดลองในขณะที่ไม่มีหลอดความร้อนที่เกิดขึ้นจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างไรก็ตามด้านเพลทร้อนถ้าไม่มีการระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขณะทดลองจะทำให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นเกิดความเสียหาย

1.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการสร้างและทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ แสดงดังภาพที่ 49

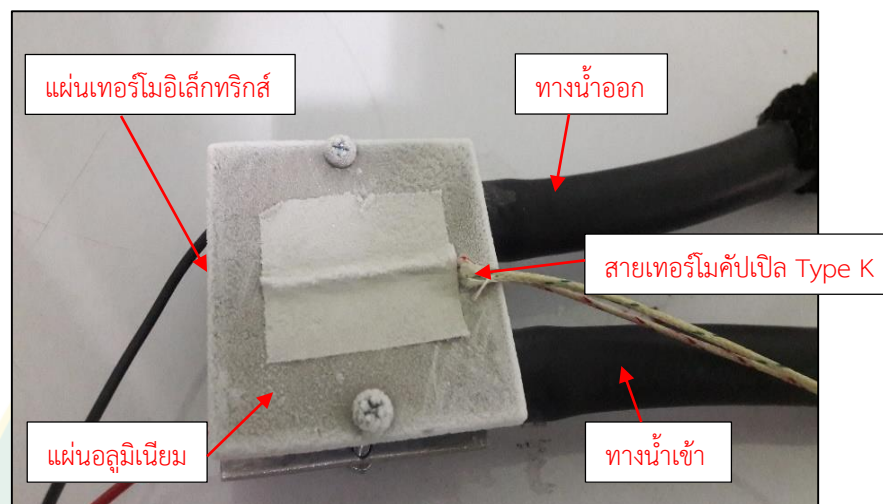


ภาพที่ 49 การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว

1.2. ขั้นตอนการทดลองแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

- นำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเท่ากับ 40 mm x 40mm ติดซิลิโคนกาว Heat sink Plaster วางทับบนอุปกรณ์ระบบระบายความร้อนและนำสายเทอร์โมคัปเปิลติดบนแผ่นอลูมิเนียมจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 0.1A 0.5A 0.8A 1.0A 1.5A

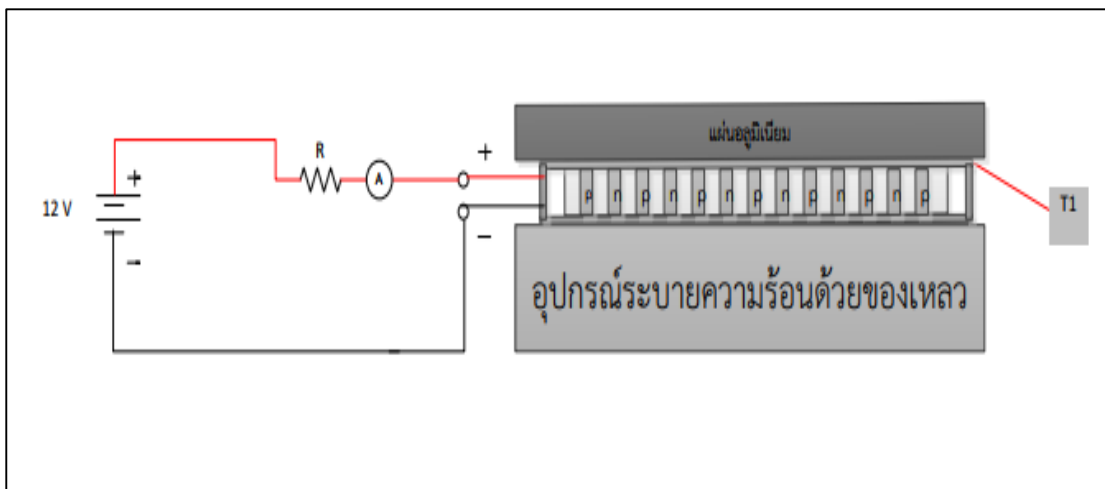
2.0A 2.5A และ 3.0A ตามลำดับ โดยใช้การปรับค่าด้วยตัวต้านทานขนาด 116 Ω 20 Ω 11 Ω 8 Ω 4 Ω 2.2 Ω และ 1.0 Ω ตามลำดับ และบันทึกค่าอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อนำใช้งาน แสดงดังภาพที่ 50



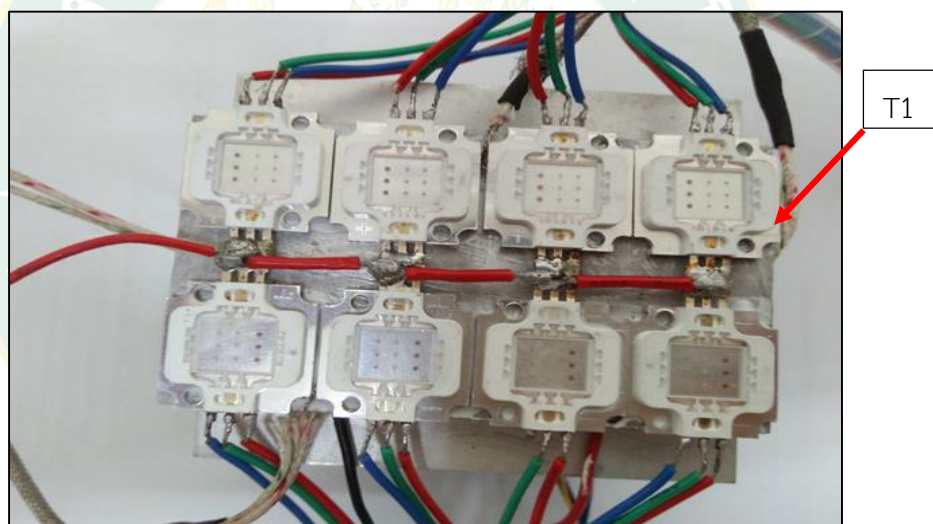
ภาพที่ 50 การทดสอบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

1.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

สำหรับขั้นตอนในการทดสอบอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบมีจุดตรวจวัดอุณหภูมิ T1 ที่ตำแหน่งระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นกับแผ่นอลูมิเนียม ขณะทดสอบได้ควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่ อยู่ที่ 25 °C สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิได้ใช้เครื่องมือวัด Data logger FLUKE 2638A HYDRA SERIES / DATA ACQUISITION UNIT โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ดังภาพที่ 51-52



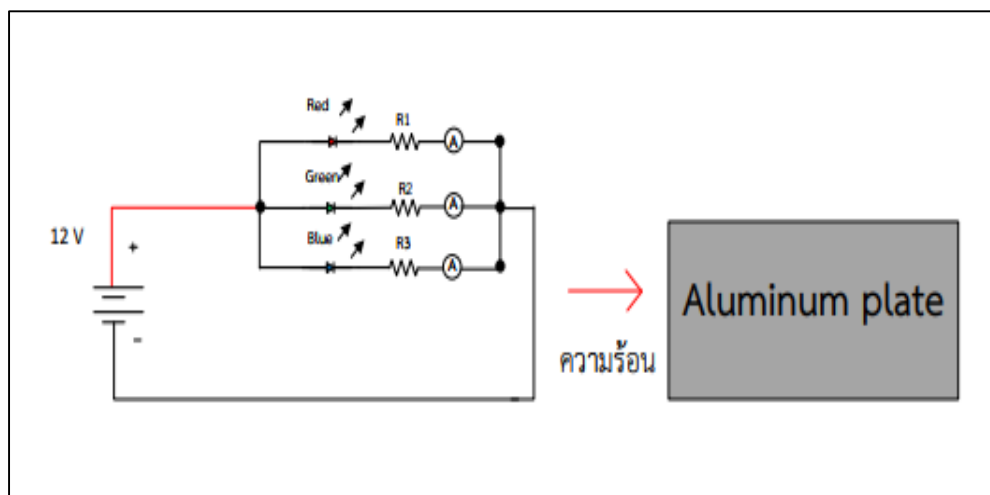
ภาพที่ 51 ไดอะแกรมตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพที่ 52 ตำแหน่งที่ T1 ตรวจวัดอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

2. การทดลองทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

การทดลองทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงในขณะที่ทดลองใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W ความกว้าง 2.0 cm ยาว 2.5 cm และ จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ทดสอบกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน แสดงดังภาพที่ 53

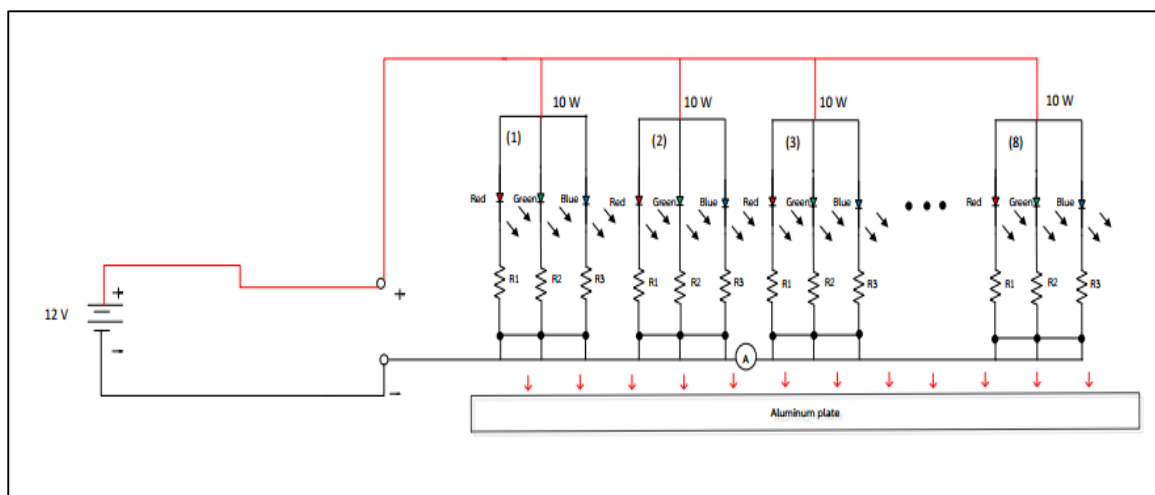


ภาพที่ 53 ไดอะแกรมของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

จากแผนภาพ Diagram system ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเริ่มต้นจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีการกระจายความร้อนที่ แผ่นเพลทด้านหลังของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง สูงมาก ซึ่งมีการกระจายความร้อนไปสู่แผ่นอลูมิเนียม และในขณะที่ทดสอบพบว่าแผ่นอลูมิเนียมเกิดความร้อนสะสมส่งผลทำให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง เกิดความเสียหายดังนั้นก็มีการระบายความร้อนที่แผ่นอลูมิเนียมโดยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

2.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการสร้างและทดลองหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน โดยมีการติดตั้งระยะห่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ 0.5 mm และเชื่อมต่อหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยวิธีการต่อแบบขนาดเข้าด้วยกัน ทั้งหมดจำนวน 8 หลอด แสดงดังภาพที่ 54



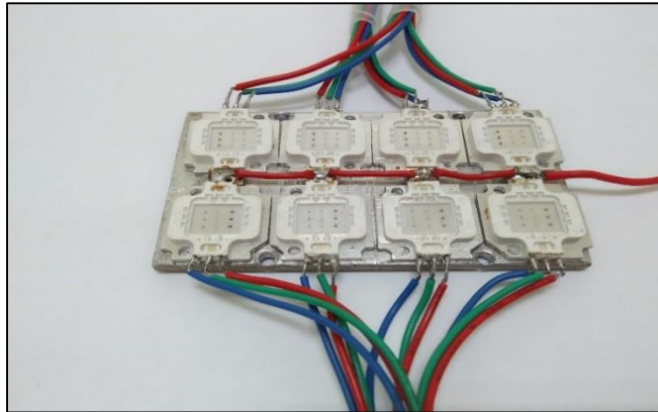
ภาพที่ 54 ไดอะแกรมของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและการทดลองของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน มีดังนี้

1. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด หลอดละ 10 W
2. แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 80 mm x 40mm x 2 mm จำนวน 1 แผ่น
3. สายเทอร์โมคัปเปิล Type K จำนวน 4 เส้น
4. สายไฟขนาด 24 AWG จำนวน 24 เส้น ยาว 50 cm
5. ซิลิโคนกาว Heat sink Plaster จำนวน 2 หลอด

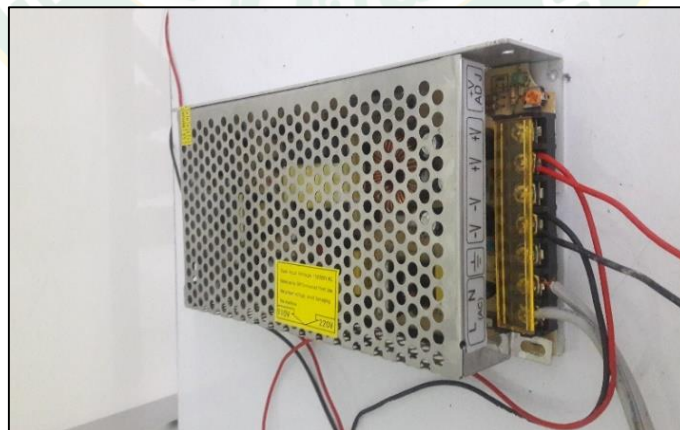
2.2. ขั้นตอนการทดลองของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน

1. นำหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีขนาด 10 W ภายในหลอดประกอบไปด้วยแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ติดกาวซิลิโคน Heat Sink Plaster ประกบบนแผ่นอลูมิเนียมที่มีขนาด 80 mm x 40 mm แสดงดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 80 W

2. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.5A และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี เพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่าสเปกตรัมแสง และค่าความเข้มแสงสูงสุด และมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวเท่ากับ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดและทำการทดสอบขณะที่ไม่มีสเปกตรัมของแสงสีเขียว (กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์) แสดงดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า DC 12V

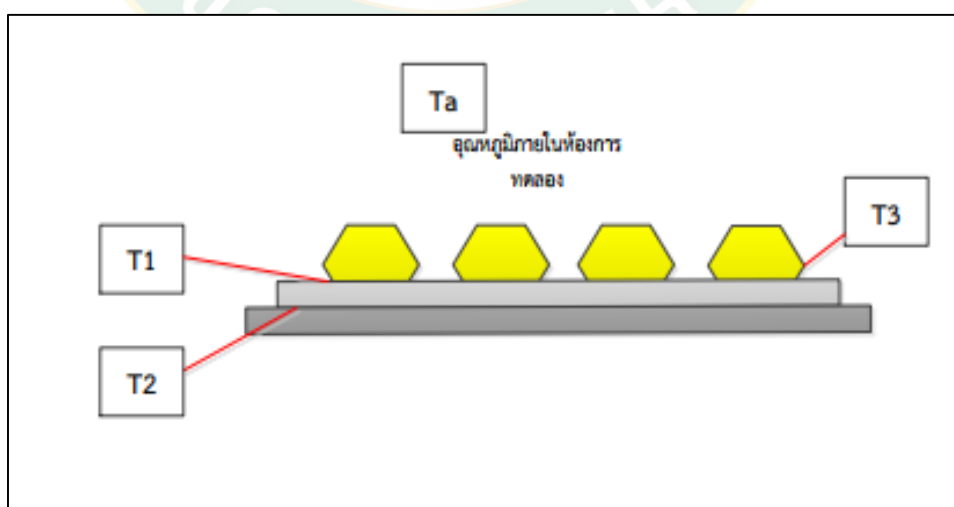
2.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของระบบที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

สำหรับขั้นตอนในการทดสอบอุณหภูมิของระบบที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีจุดตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 4 ตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 5 และ ขณะทดสอบได้ควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่อยู่ที่ 25 °C

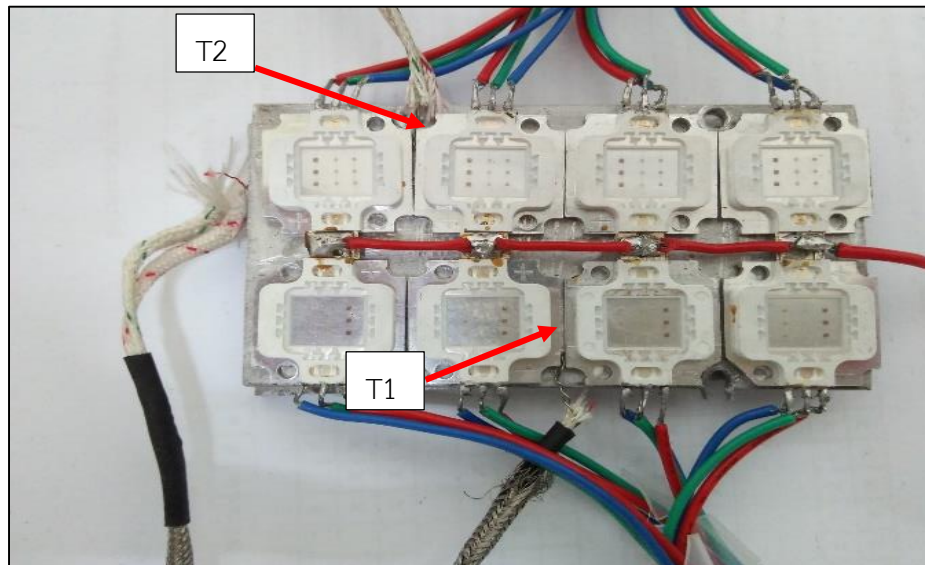
ตารางที่ 5 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน

ตัวแปรอุณหภูมิ	ตำแหน่งที่ตรวจวัด
T1	อุณหภูมิที่เพลาหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง
T2	อุณหภูมิที่เพลาอลูมิเนียม
T3	อุณหภูมิระหว่างเพลาหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกับเพลา อลูมิเนียม
Ta	อุณหภูมิแวดล้อมภายในห้อง

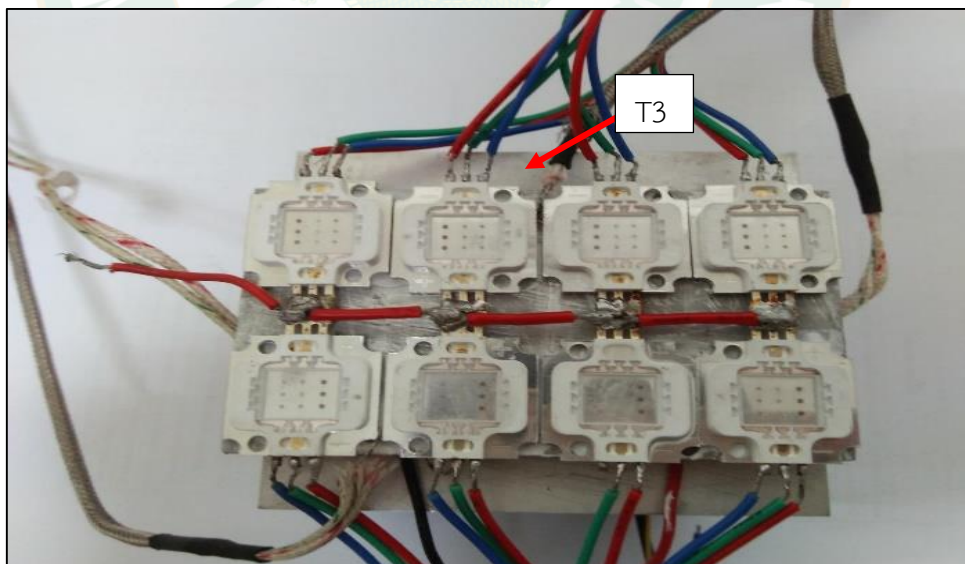
สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิใช้เครื่องมือวัด Data logger FLUKE 2638A HYDRA SERIES / DATA ACQUISITION UNIT โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ดังภาพที่ 57-59



ภาพที่ 57 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบที่ไม่มีการระบายความร้อน



ภาพที่ 58 ตำแหน่ง T1 วัตต์อุณหภูมิที่เพลาอลูมิเนียมกำลังงานสูง และ ตำแหน่ง T2 อุณหภูมิที่เพลาอลูมิเนียม

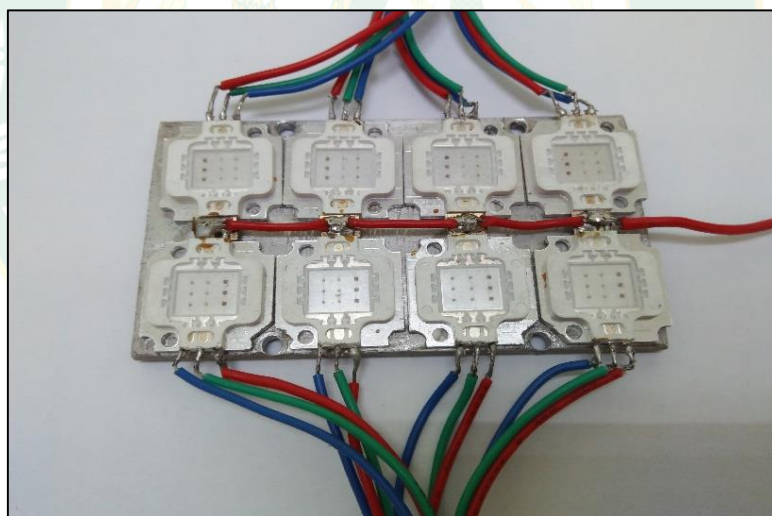


ภาพที่ 59 ตำแหน่ง T3 วัตต์อุณหภูมิเพลาอลูมิเนียมกำลังงานสูง

2.4. ขั้นตอนในการทดสอบสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน

การทดลองการวัดสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนและค่าพารามิเตอร์ทางแสงที่ได้คือ ค่าความเข้มแสง และค่าความส่องสว่างของแสงในรูปแบบของค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) หรือจำนวนโฟตอน ที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน่วยเป็นไมโครโมลตารางเมตรต่อวินาทีที่มีค่าระหว่าง $0-2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ และค่าความเข้มแสง มีหน่วยเป็น LUX โดยใช้เครื่องมือวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ PG100N Handheld Spectral PAR Meter ทำการทดสอบ ขณะทดลองควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่อยู่ที่ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยขั้นตอนการทดลองดังนี้

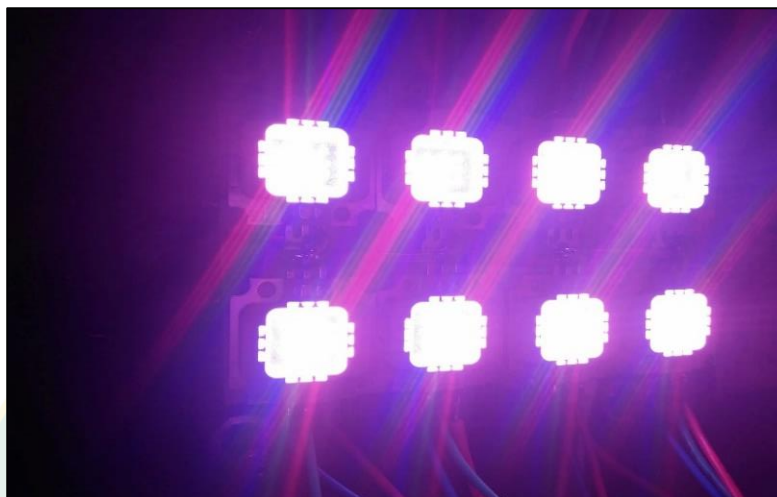
1. นำหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนวางตั้งฉากในแนวตั้งกับเครื่องมือวัดโดยมีปรับระยะความสูงอยู่ในช่วงค่าความสูงต่ำสุดที่ 20 -100 cm แสดงดังภาพที่ 60



ภาพที่ 60 การติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด

2. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง แสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินโดยมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี และทดสอบกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวเท่ากับ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการ

จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดและทำการทดสอบขณะที่ไม่มีสเปกตรัมของแสงสีเขียว(กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์) แสดงดังภาพที่ 61



ภาพที่ 61 แสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน

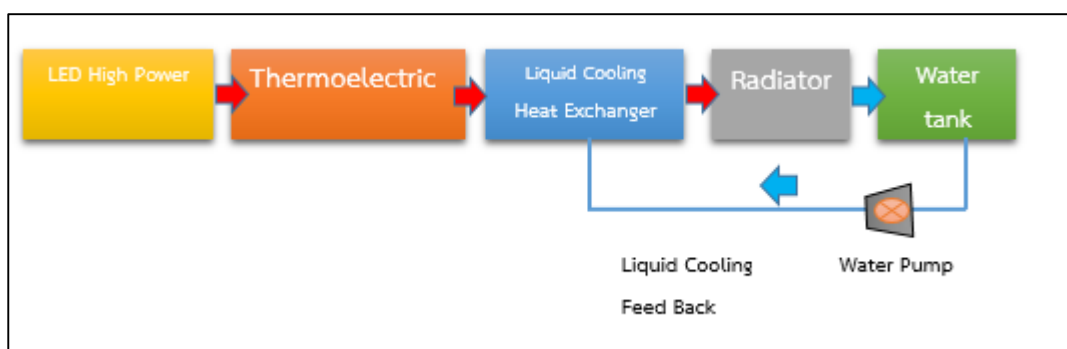
3. ใช้เครื่องมือวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ PG100N Handheld Spectral PAR Meter บันทึกพารามิเตอร์ Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) ซึ่งเป็นค่าที่มีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืชประกอบด้วย $PPFD = \text{ค่าความหนาแน่นของโฟตอน อนุภาคของแสงรวม}$ $PPFD - R = \text{ค่าความหนาแน่นของโฟตอน อนุภาคของแสงสีแดง}$ $PPFD - G = \text{ค่าความหนาแน่นของโฟตอนอนุภาคของแสงสีเขียว}$ และ $PPFD - B = \text{ค่าความหนาแน่นของโฟตอน อนุภาคของแสงน้ำเงิน}$ แสดงดังภาพที่ 62



ภาพที่ 62 เครื่องมือวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ PG100N Handheld Spectral PAR Meter

2. การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

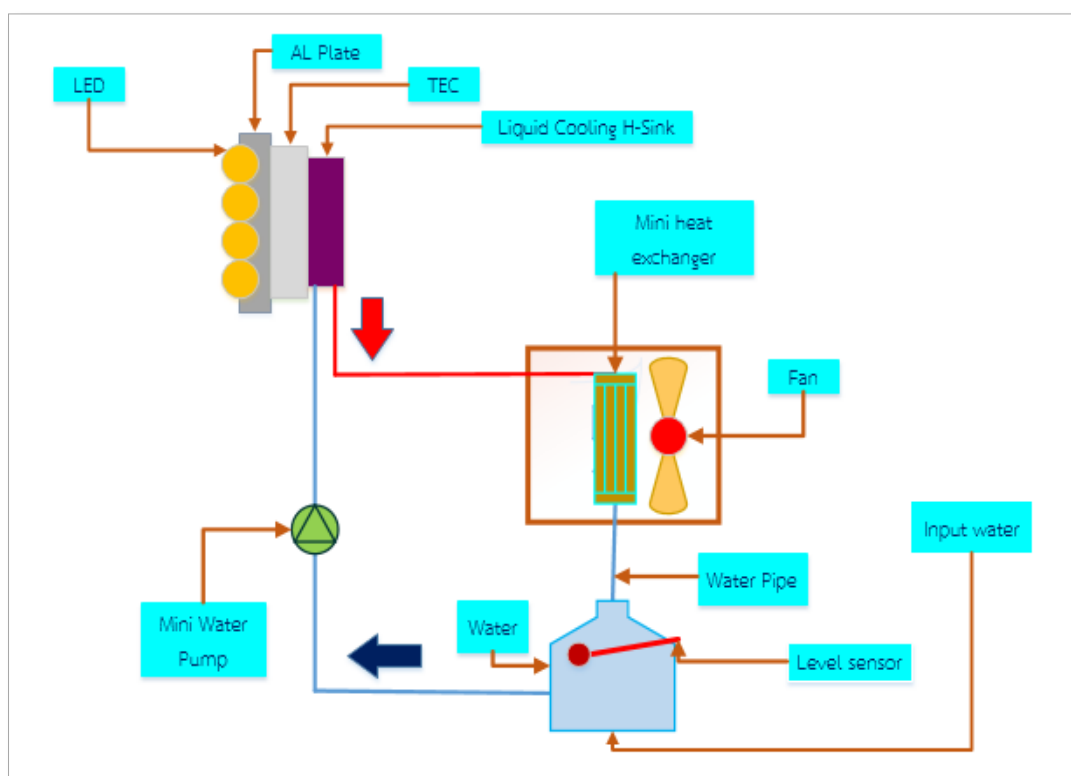
การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงหลอดละ 10 W โดยทำการทดสอบกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ขนาด 40 mm x 80 mm x 12 mm ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จะทดสอบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ แสดงไดอะแกรมดังภาพที่ 63



ภาพที่ 63 ไดอะแกรมของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำ

3.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการสร้างและทดสอบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ แสดงดังภาพที่ 64



ภาพที่ 64 ไดอะแกรมระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำ

จากภาพไดอะแกรมระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 10 W จำนวน 1หลอด 2หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี ทดสอบเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่าสเปกตรัมแสงและค่าความเข้มแสงสูงสุด หากมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวเท่ากับ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดและทำการทดสอบขณะที่ไม่มีสเปกตรัมของแสงสีเขียว(กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์) พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีการกระจายความร้อนสูงดังนั้นจึงมีการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.5A เพื่อรับความร้อนจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ซึ่งความร้อนที่ได้ส่งผ่านผิวของเทอร์โมอิเล็กทริกทางด้านร้อนหลังจากนั้นทำการพาความร้อน

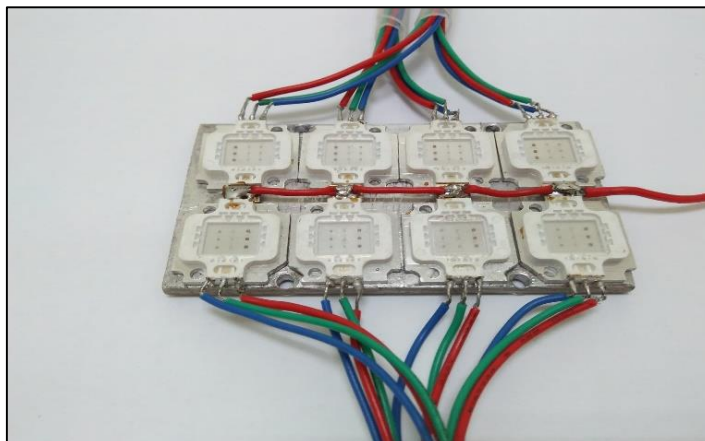
ส่งผ่านให้ตัวของอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อรับความร้อนจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนต่อจากนั้นความร้อนที่ได้จากตัวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนส่งผ่านท่อน้ำทางออกเพื่อที่จะลดอุณหภูมิของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยความร้อนของน้ำร้อนจะถูกพาออกไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอกด้วยหม้อน้ำ ซึ่งจะได้น้ำเย็นและถูกนำมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเย็น ซึ่งน้ำเย็นนี้จะถูกปั๊มน้ำนำกลับไปหมุนวนเพื่อรับความร้อนจากเพลทด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอีกครั้ง ซึ่งระบบจะมีการทำงานวนซ้ำเดิมไปเรื่อยๆ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง มีดังนี้

1. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด หลอดละ 10 W
2. แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด 40mm x 40mm จำนวน 1 แผ่น
3. แผ่นอะลูมิเนียม ขนาด 8mm x 4mm จำนวน 2 แผ่น
4. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Heat exchanger ขนาด 80 mm x 40 mm x12 mm
5. สายยางหม้อน้ำรถยนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8mm ยาว 60 cm จำนวน 4 เส้น
6. สายเทอร์โมคัปเปิล Type K จำนวน 8 เส้น
7. สายไฟขนาด 24 AWG จำนวน 24 เส้น ยาว 50 cm
8. หม้อน้ำรถยนต์ ขนาด 257(L) x 120(W) x 30(H) mm จำนวน 1 ตัว
9. ปั๊มน้ำโซล่าเซลล์ ขนาด 12 V จำนวน 1 ตัว
10. ถังน้ำพลาสติก ขนาด 5 ลิตร จำนวน 1 ใบ
11. ซิลิโคนขาว Heat sink Plaster จำนวน 2 หลอด

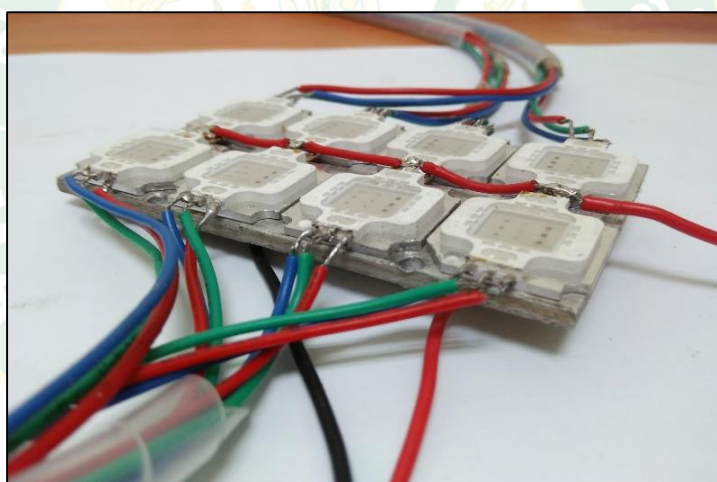
3.2. ขั้นตอนการติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำ

1. นำหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีขนาด 10 W ภายในหลอดประกอบไปด้วยแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ติดด้วยซิลิโคนขาว Heat sink Plaster และติดตั้งบนแผ่นอะลูมิเนียมที่มีขนาด 80 mm x 40 mm แสดงดังภาพที่ 65



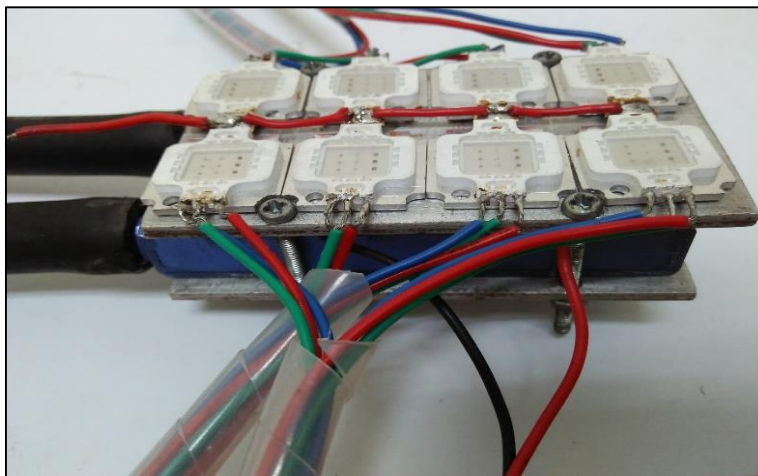
ภาพที่ 65 หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งบนแผ่นอลูมิเนียมขนาด 80 mm x 40 mm

2. นำแผ่นอลูมิเนียมวางบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm แสดงดังภาพที่ 66



ภาพที่ 66 แผ่นอลูมิเนียมที่ติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
สำหรับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

3. นำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกวางประกบบนตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Liquid Cooling Heat exchanger ที่มีขนาด 80 mm x 40 mm x 4 mm แล้วยึดด้วยน็อตทั้งสี่มุมแสดงดังภาพที่ 67



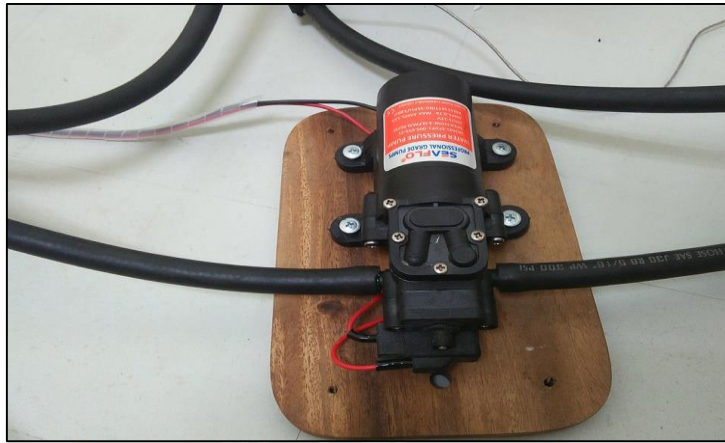
ภาพที่ 67 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

4. นำท่อสายยางต่อจากทางน้ำออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเชื่อมยังทางเข้าของหม้อน้ำ หลังจากนั้นต่อท่อของทางน้ำออกของหม้อน้ำเพื่อเชื่อมต่อท่อสายยางเข้าถังเก็บน้ำ แสดงดังภาพที่ 68



ภาพที่ 68 หม้อน้ำระบายความร้อน

5. เชื่อมต่อปั้มน้ำ DC ขนาด 12V สูบน้ำจากถังน้ำเข้าไประบายความร้อนในตัว Liquid Cooling Heat exchanger และน้ำอุณหภูมิสูงจะผ่านหม้อน้ำจะได้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำออกมา ซึ่งมีการไหลวนน้ำเย็นที่ได้จากการแลกเปลี่ยนน้ำกลับไปใช้อีกครั้งการทำงานจะเป็นลักษณะแบบวงจรปิด น้ำจากหม้อน้ำไหลเข้าไปยังถังเก็บน้ำเพื่อที่จะดึงน้ำเย็นกับมาใช้ซ้ำ แสดงดังภาพที่ 69-70

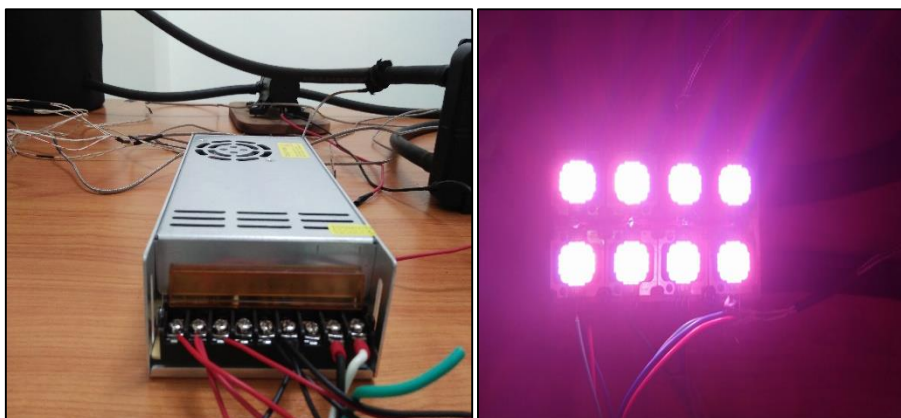


ภาพที่ 69 ปั๊มน้ำ DC ขนาด 12V



ภาพที่ 70 ถังเก็บน้ำขนาด 2 ลิตร

6. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.5A จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำ DC 12 V และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้พัดลมระบายความร้อน เท่ากับ 0.3A เพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ค่าสเปกตรัมแสง และค่าความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง แสดงดังภาพที่ 71



ภาพที่ 71 อุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำ DC 12 V

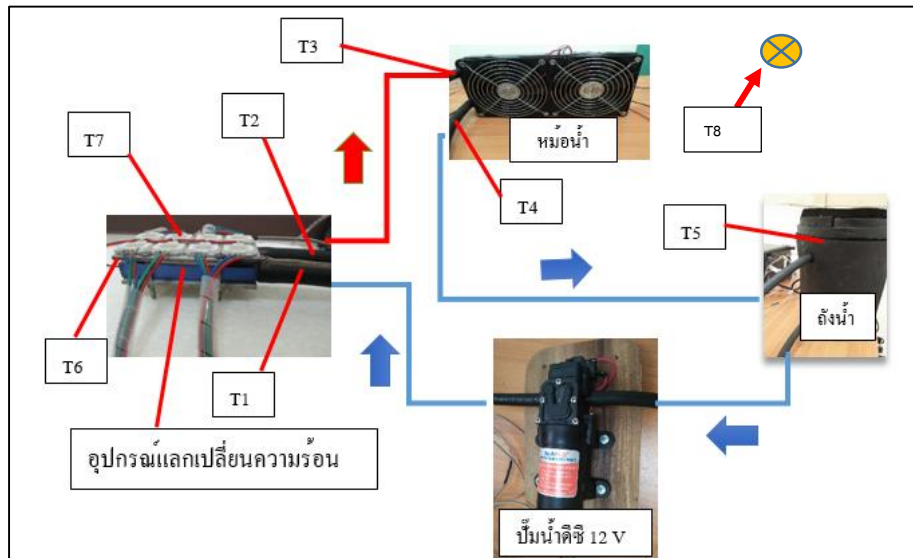
3.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

สำหรับขั้นตอนในการทดสอบอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยน้ำมีจุดตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 8 ตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 6 ขณะทดสอบควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่อยู่ที่ 25 °C แสดงดังภาพที่ 72-76

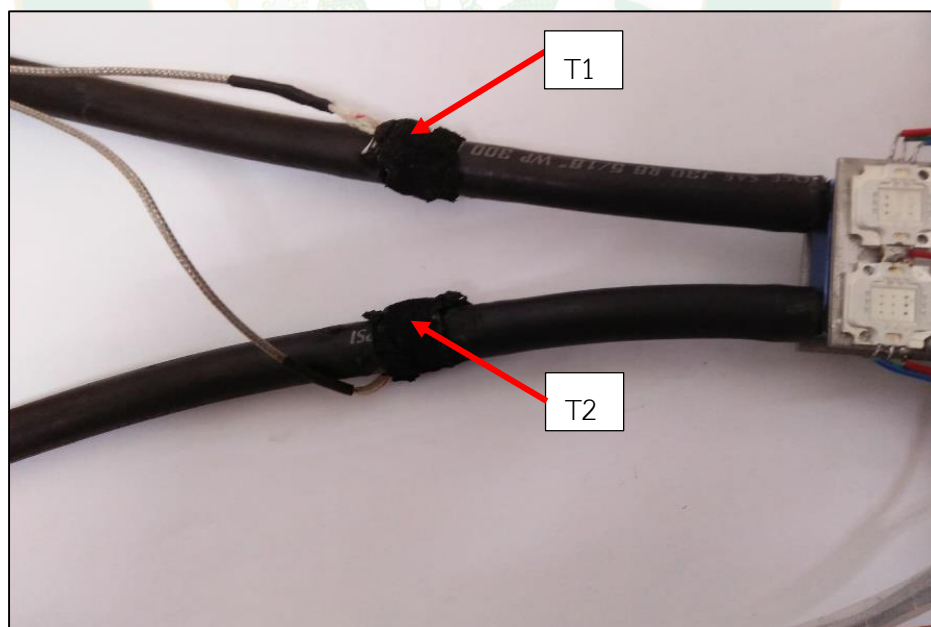
ตารางที่ 6 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

ตัวแปรอุณหภูมิ	ตำแหน่งที่ตรวจวัด
T1	อุณหภูมิของน้ำทางเข้าที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
T2	อุณหภูมิของน้ำทางออกที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
T3	อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหม้อน้ำระบายความร้อน
T4	อุณหภูมิของน้ำทางออกหม้อน้ำระบายความร้อน
T5	อุณหภูมิของน้ำในถัง
T6	อุณหภูมิระหว่างเพลท อลูมิเนียมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
T7	อุณหภูมิที่เพลท RGB แอลอีดีกำลังงานสูง
T8	อุณหภูมิแวดล้อมภายในห้อง

สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิได้ใช้เครื่องมือวัด Data logger FLUKE 2638A HYDRA SERIES / DATA ACQUISITION UNIT โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K แสดงดังภาพที่ 72-76

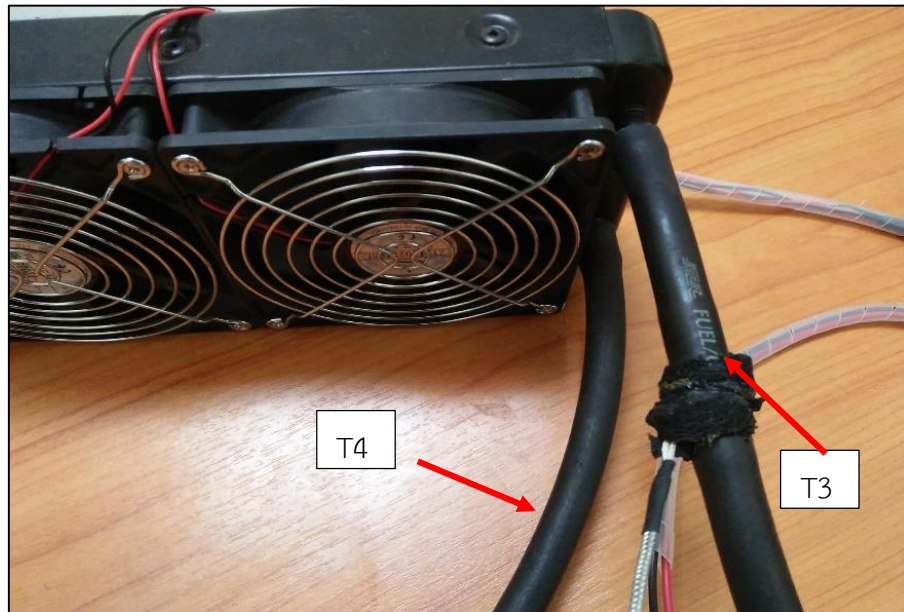


ภาพที่ 72 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด

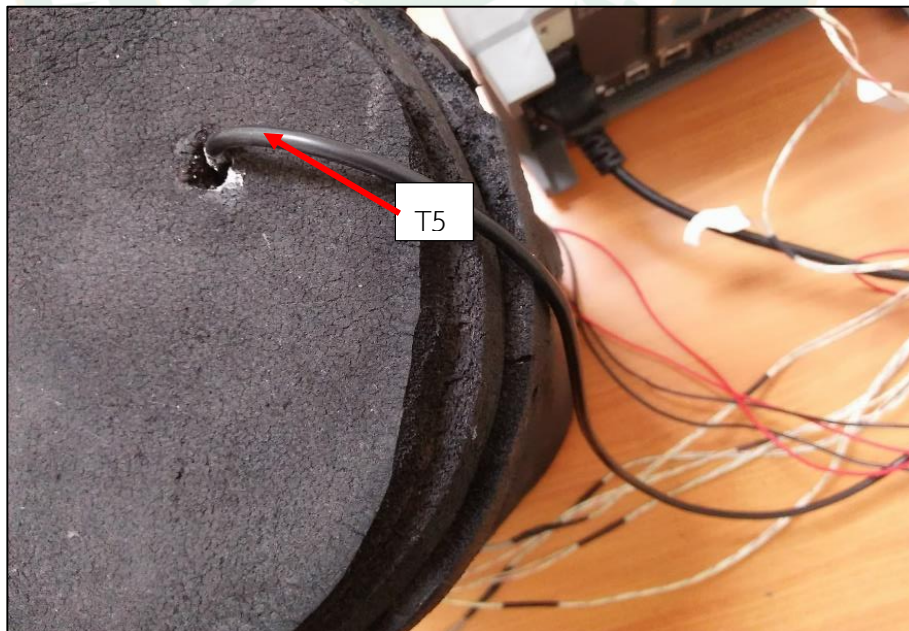


ภาพที่ 73 ตำแหน่ง T1 วัดอุณหภูมิทางน้ำเข้าและตำแหน่ง T2 ทางน้ำออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยน

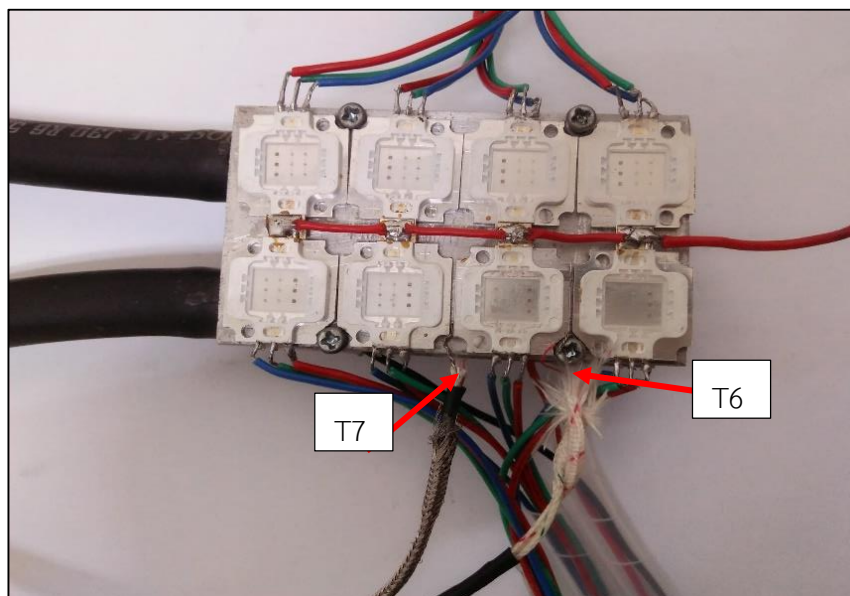
ความร้อน



ภาพที่ 74 ตำแหน่ง T3 วัดอุณหภูมิทางน้ำเข้าและตำแหน่ง T4 น้ำออกของหม้อน้ำ



ภาพที่ 75 ตำแหน่ง T5 วัดอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำ

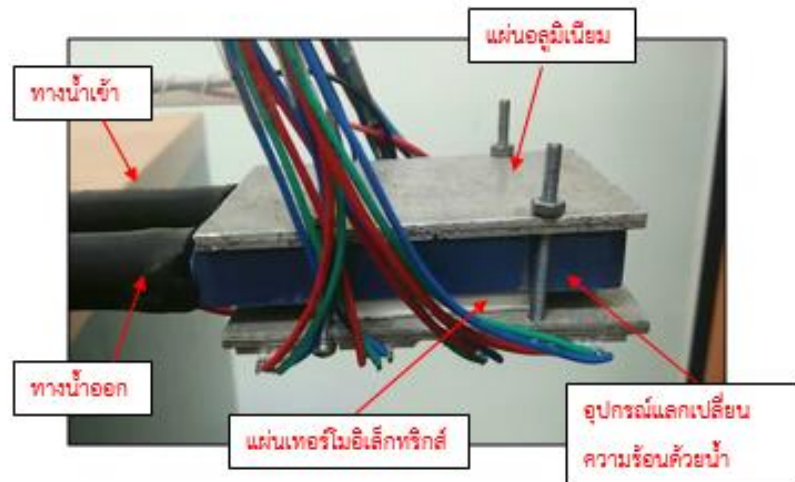


ภาพที่ 76 ตำแหน่ง T6 วัดอุณหภูมิระหว่างเพลทอลูมิเนียมกับเทอร์โมอิเล็กทริก ตำแหน่ง T7 วัดอุณหภูมิที่เพลทของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงและตำแหน่ง T8 วัดอุณหภูมิภายในห้องทดลอง

3.4. ขั้นตอนในการทดสอบสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ

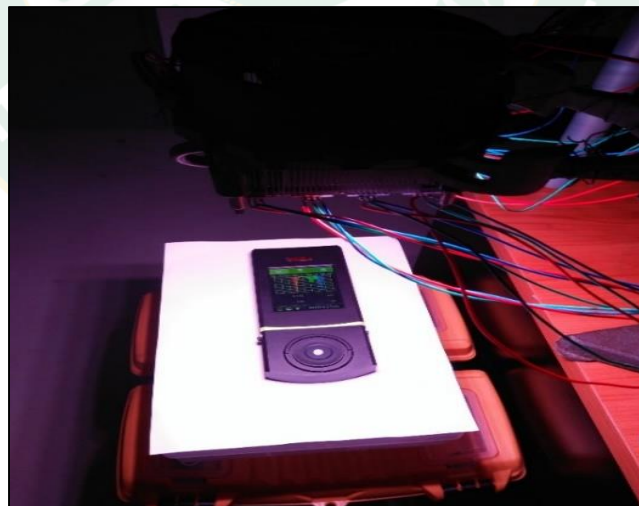
สำหรับการวัดสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อน ทั้ง 3 ระบบ คือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ สำหรับค่าพารามิเตอร์ทางแสงที่ได้ทำการตรวจวัดคือ ค่าความส่องสว่างของแสงในรูปแบบของค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) หรือจำนวนโฟตอน ที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน่วยเป็นไมโครโมล $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ และค่าความเข้มแสง มีหน่วยเป็น LUX โดยใช้เครื่องมือวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ PG100N Handheld Spectral PAR Meter ทำการทดสอบ ขณะทดสอบควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่ อยู่ที่ 25 °C มีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

1. นำอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยน้ำติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงวางตามแนวตั้งที่มีความสูงจากพื้น 20 -100 cm แสดงดังภาพที่ 77



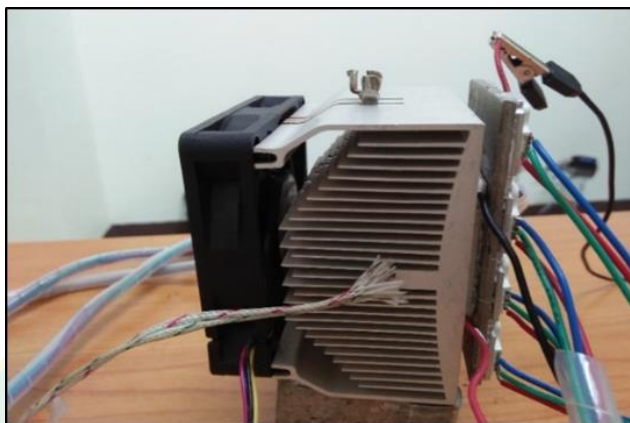
ภาพที่ 77 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

2. นำอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงวางตามแนวตั้งที่มีความสูงจากพื้น 20 -100 cm แสดงดังภาพที่ 78



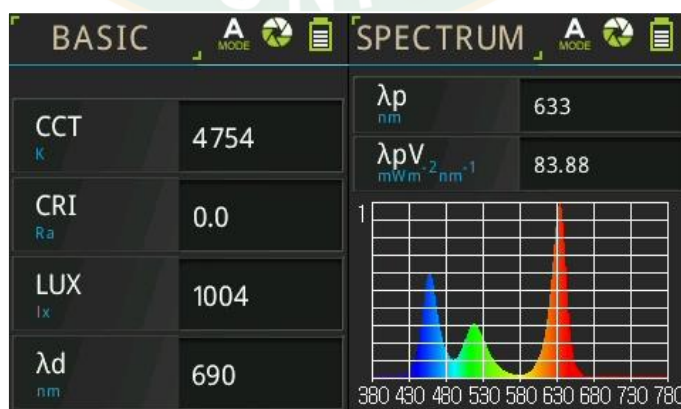
ภาพที่ 78 อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

3. นำอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงวางตามแนวตั้งที่มีความสูงจากพื้น 20 -100 cm แสดงดังภาพที่ 79



ภาพที่ 79 อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

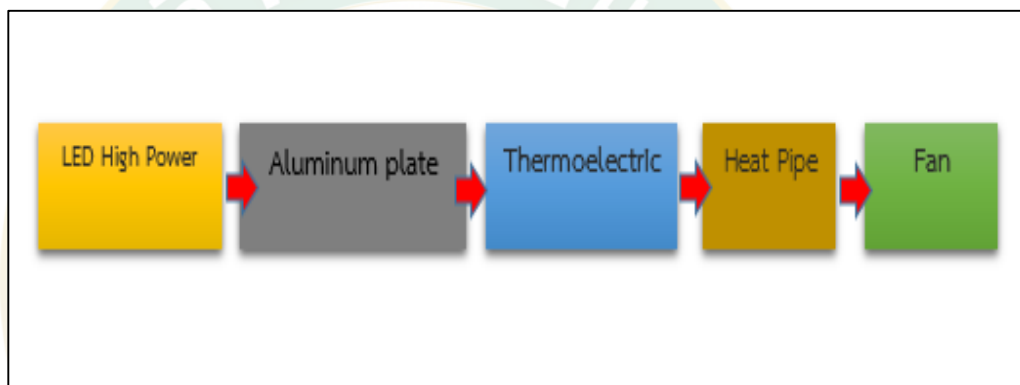
4. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5 A และหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงดังกล่าวข้างต้นและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำ DC เท่ากับ 12 V เพื่อดึงน้ำในถังช่วยในการระบายของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จ่ายกระแสไฟฟ้าให้พัดลม 0.3A และ นำเครื่องมือวัดทางแสงวางตำแหน่งที่ตั้งฉากในแนวตั้งกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงปรับตำแหน่งความสูงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงตามที่กำหนดไว้ตั้งแต่ 20 cm - 100 cm เริ่มเปิดเครื่องมือวัดแสงเพื่อบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางแสง แสดงดังภาพที่ 80



ภาพที่ 80 ตัวอย่างค่าสเปกตรัมทางแสงของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด

4. การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์

การทดสอบการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W ขณะทดสอบใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ที่ติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ (Heat Pipe) 70 mm x 70 mm x 2 mm และพัดลมระบายความร้อนขนาด 70 mm x 70 mm ตามลำดับแสดงดังภาพที่ 81

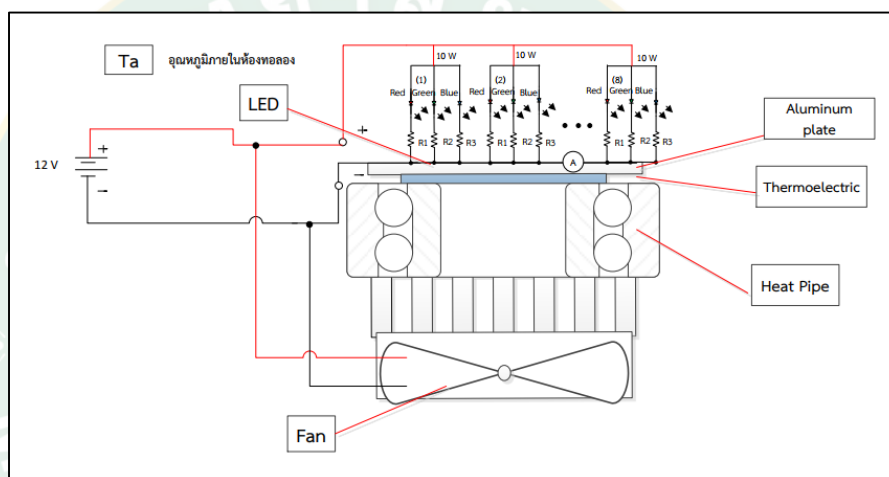


ภาพที่ 81 ไดอะแกรมของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์

จากแผนภาพไดอะแกรม ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเริ่มต้นจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการกระจายความร้อนที่สูงไปยังแผ่นอลูมิเนียมที่ยึดติดกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ดังนั้นจึงใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นไปรับความร้อนจากแผ่นอลูมิเนียม เพื่อพาความร้อนผ่านผิวของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนหลังจากนั้นความร้อนที่ปลายด้านร้อนส่งความร้อนผ่านให้ตัวฮีทไปป์ เพื่อให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเย็นและความร้อนที่ตัวของฮีทไปป์ใช้พัดลมพาความร้อนไปทิ้งยังสิ่งแวดล้อม

4.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการสร้างและทดลองระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ซึ่ง ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก โดยมีลักษณะเป็นท่อทองแดงปิดหัวปิดท้ายภายในเป็นสุญญากาศบรรจุสารทำงานอยู่ภายใน เป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) R-22 การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงานโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) แสดงดังภาพที่ 82



ภาพที่ 82 ไดอะแกรมระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์

จากภาพไดอะแกรม ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 10 W จำนวน 1หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอดตามลำดับ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี ทดสอบเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่าสเปกตรัมแสงและค่าความเข้มแสงสูงสุด หากมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวเท่ากับ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดและทำการทดสอบขณะที่ไม่มีสเปกตรัมของแสงสีเขียว(กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์) พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีการกระจายความร้อนสูงดังนั้นจึงมีการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.5A ให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อรับความร้อนจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ซึ่งความร้อนที่ได้ส่งผ่านผิวของเทอร์โมอิเล็กทริก

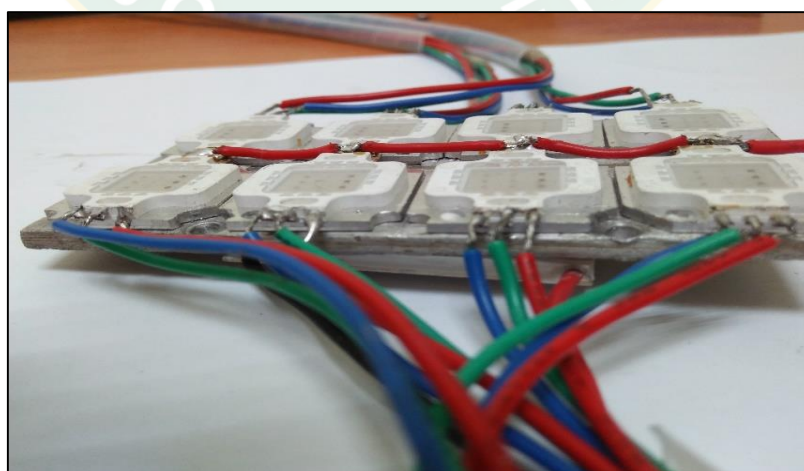
เล็กทริกทางด้านร้อนหลังจากนั้นทำการพาความร้อนส่งผ่านให้ตัวของอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์เพื่อรับความร้อนจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนต่อจากนั้นความร้อนที่ได้จากตัวของฮีทไปป์ร่วมกับพัดลมความร้อนส่งผ่านครีระบายความร้อนเพื่อที่จะลดอุณหภูมิของตัวฮีทไปป์โดยความร้อนถูกพาออกไปยังสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง มีดังนี้

1. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด หลอดละ 10 W
2. แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด 40mm x 40mm จำนวน 1 แผ่น
3. แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 80mm x 40mm จำนวน 1 แผ่น
4. ฮีทไปป์ (Heat Pipe) 70 mm x 70 mm x 2 mm
5. พัดลมระบายความร้อนขนาด 70 mm x 70 mm
6. สายเทอร์โมคัปเปิล Type K จำนวน 6 เส้น
7. สายไฟขนาด 24 AWG จำนวน 24 เส้น ยาว 50 cm
8. ซิลิโคนกาว Heat sink Plaster จำนวน 2 หลอด

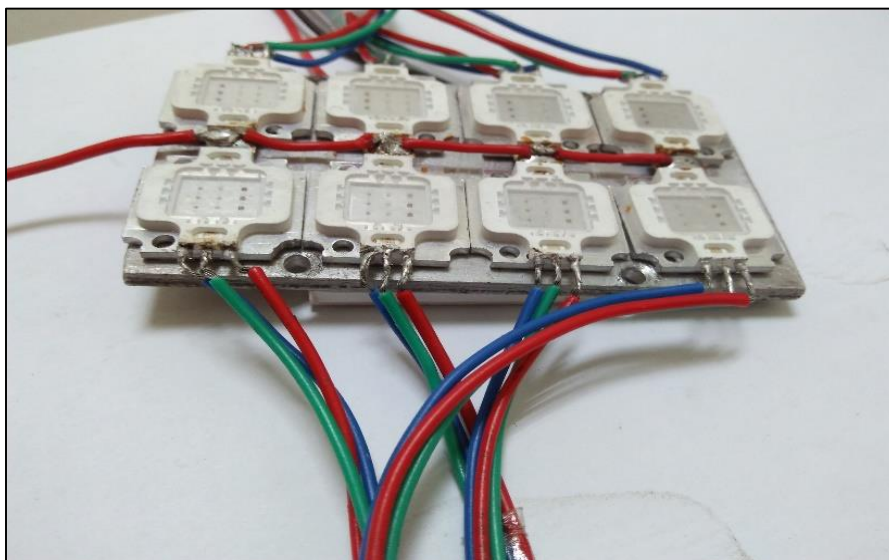
4.2. ขั้นตอนการติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์

1. นำหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีขนาด 10 W ภายในหลอดประกอบไปด้วยแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน มาติดซิลิโคนกาว Heat sink Plaster กับแผ่นอะลูมิเนียมที่มีขนาดเท่ากับ 80 mm x 40 mm แสดงดังภาพที่ 83



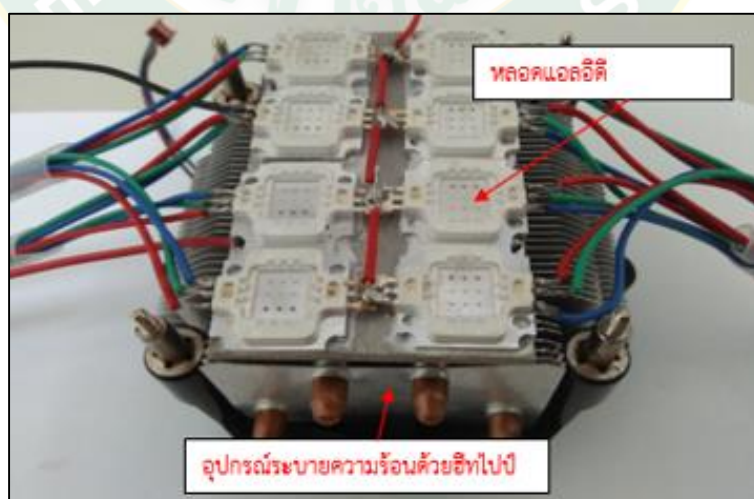
ภาพที่ 83 หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงติดตั้งบนแผ่นอลูมิเนียมสำหรับฮีทไปป์

2. นำแผ่นอลูมิเนียมมาวางบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเท่ากับ 40 mm x 40 mm แสดงดังภาพที่ 84



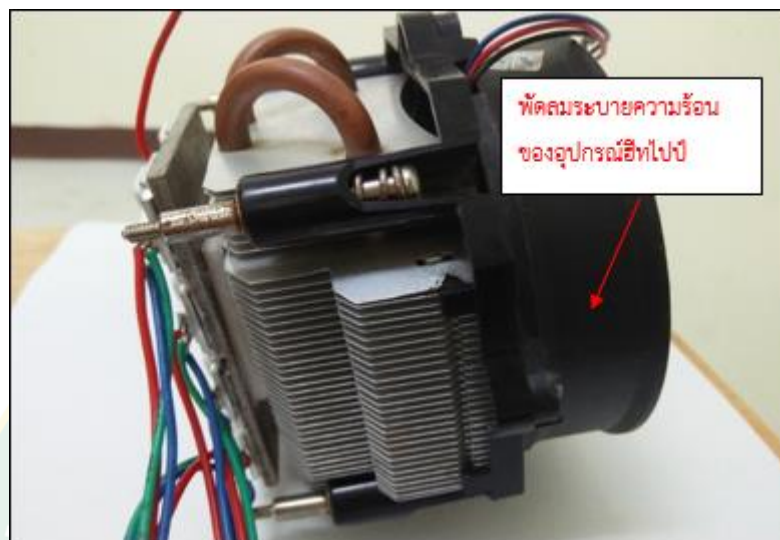
ภาพที่ 84 แผ่นอลูมิเนียมติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับฮีทปั๊ม

3. นำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งบนอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทปั๊มที่มีขนาดเท่ากับ 70 mm x 70 mm x 2 mm แสดงดังภาพที่ 85



ภาพที่ 85 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งบนระบบระบายความร้อนด้วยฮีทปั๊ม

- นำพัดลมระบายความร้อนขนาดเท่ากับ 70 mm x 70 mm ติดตั้งข้างหลังตัวอุปกรณ์ฮีทไปป์ แสดงดังภาพที่ 86



ภาพที่ 86 พัดลมระบายความร้อนสำหรับฮีทไปป์

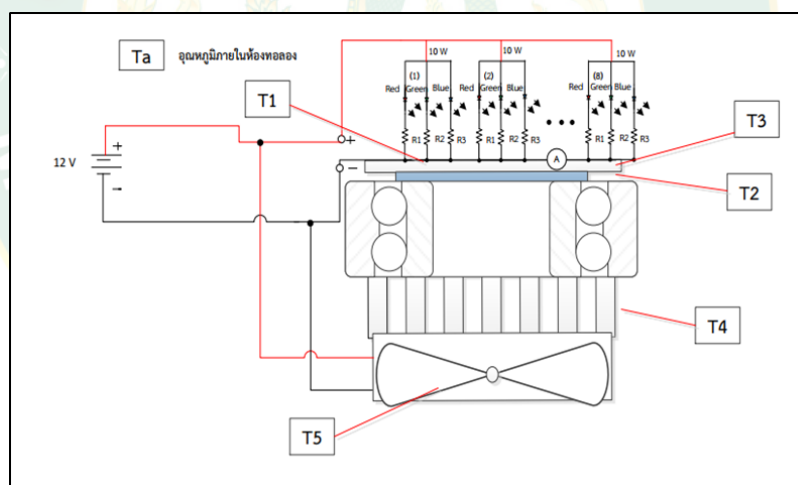
4.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทไปป์

สำหรับขั้นตอนในการทดสอบอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์มีจุดตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 6 ตำแหน่ง ดังตารางที่ 7 ขณะทดสอบได้ควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่อยู่ที่ 25 °C

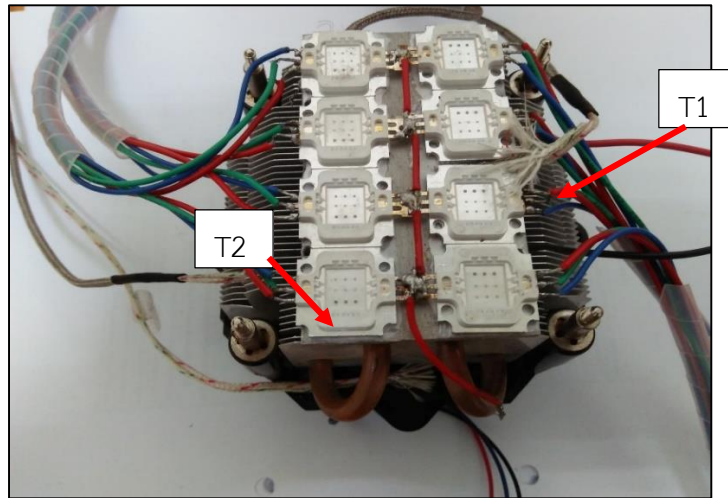
ตารางที่ 7 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทปั๊ม

ตัวแปรอุณหภูมิ	ตำแหน่งที่ตรวจวัด
T1	อุณหภูมิที่เพลทหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง จุดที่ 1
T2	อุณหภูมิระหว่างเพลทอลูมิเนียมกับเทอร์โมอิเล็กทริก
T3	อุณหภูมิที่เพลทหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง จุดที่ 2
T4	อุณหภูมิที่เพลทฮีทปั๊ม
T5	อุณหภูมิที่พัดลมของฮีทปั๊ม
Ta	อุณหภูมิแวดล้อมภายในห้อง

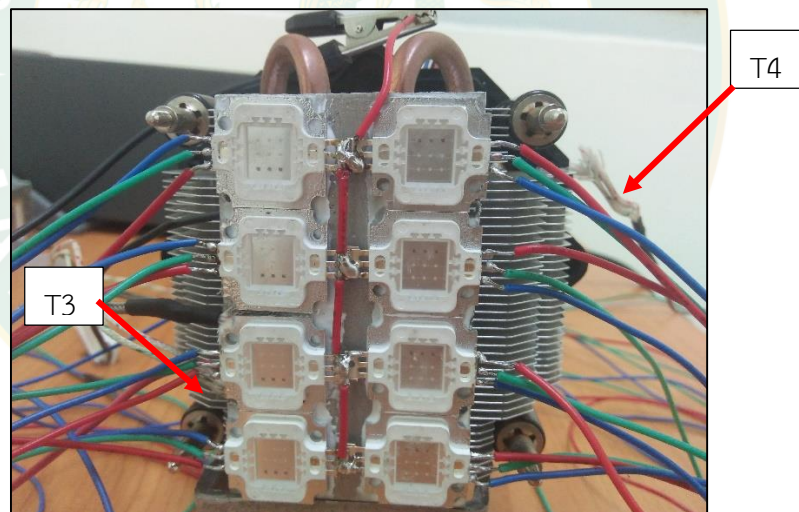
สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิได้ใช้เครื่องมือวัด Data logger FLUKE 2638A HYDRA SERIES / DATA ACQUISITION UNIT โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K แสดงดังภาพที่ 87-90



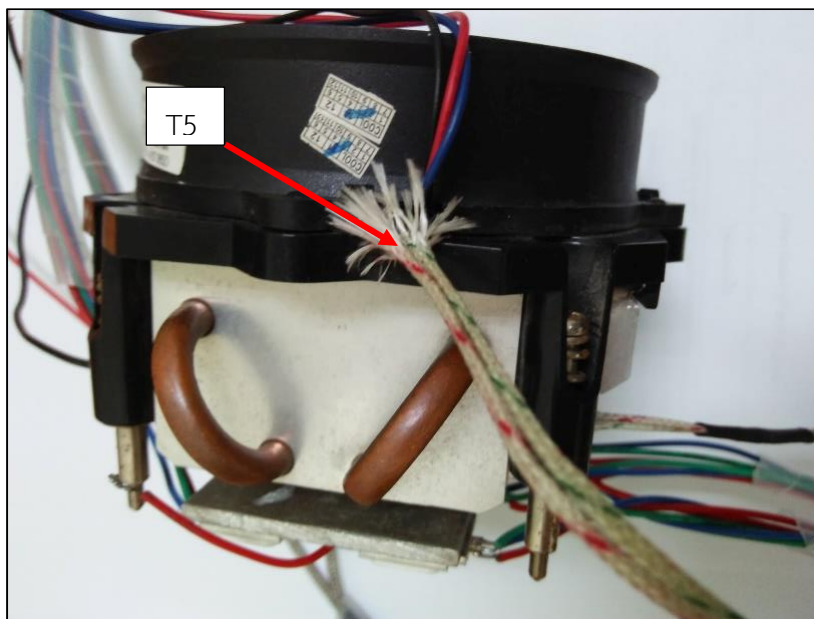
ภาพที่ 87 ไดอะแกรมตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทปั๊ม



ภาพที่ 88 ตำแหน่ง T1 วัดอุณหภูมิที่เพลทแอลอีดีกำลังงานสูงและตำแหน่ง T2 วัดอุณหภูมิที่เพลทอลูมิเนียมของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์



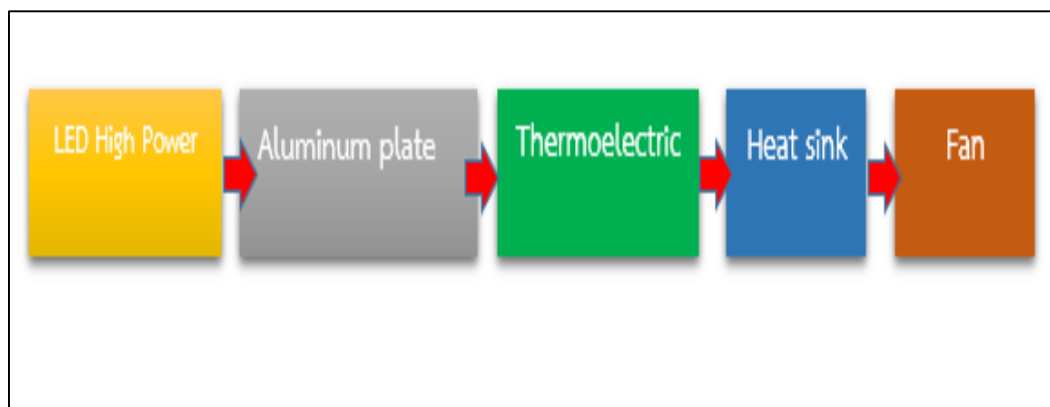
ภาพที่ 89 ตำแหน่ง T3 วัดอุณหภูมิที่เพลทแอลอีดีกำลังงานสูง 2 ตำแหน่ง T4 วัดอุณหภูมิที่เพลทฮีทไปป์



ภาพที่ 90 ตำแหน่ง T5 วัดอุณหภูมิที่พัดลมของฮีทไปป์

5. การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

การทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W ทดสอบกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm ร่วมกับฮีทซิงค์ (Heat Sink) ขนาด 70 mm x 70 mm x 3 mm กรณีที่ 5 ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จะทดสอบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ แสดงดังภาพที่ 91

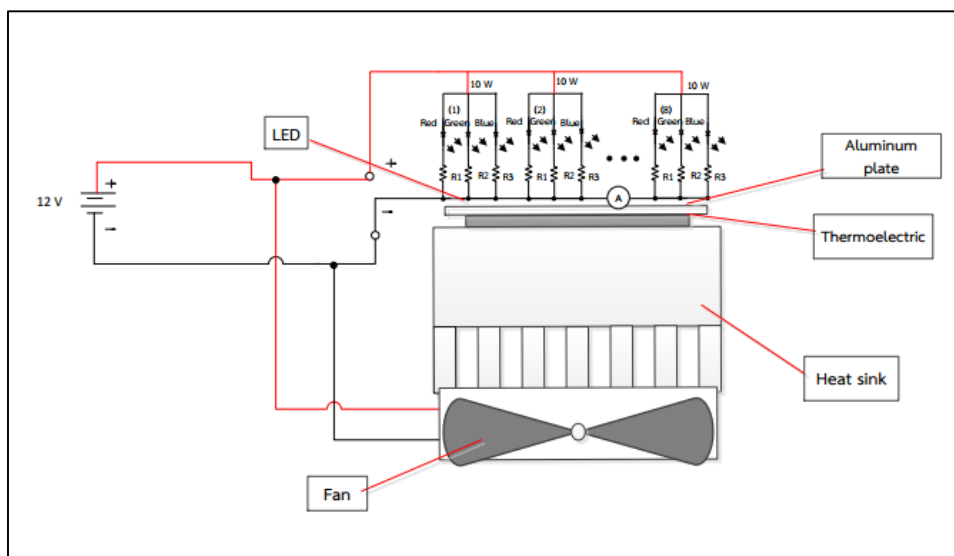


ภาพที่ 91 ไดอะแกรมของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์

จากแผนภาพไดอะแกรม ระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเริ่มต้นจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการกระจายความร้อนที่สูงไปยังแผ่นอลูมิเนียมที่ยึดติดกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ดังนั้นจึงใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นไปรับความร้อนจากแผ่นอลูมิเนียม เพื่อพาความร้อนผ่านผิวของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนหลังจากนั้นความร้อนที่ปลายด้านร้อนส่งความร้อนผ่านให้ตัวฮีทซิงค์ เพื่อให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเย็นและความร้อนที่ตัวของฮีทซิงค์ถูกพัดลมดูดทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อม

5.1. ขั้นตอนการออกแบบและการทดลองของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการสร้างและทดสอบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ แสดงดังภาพที่ 92



ภาพที่ 92 ไดอะแกรมระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์

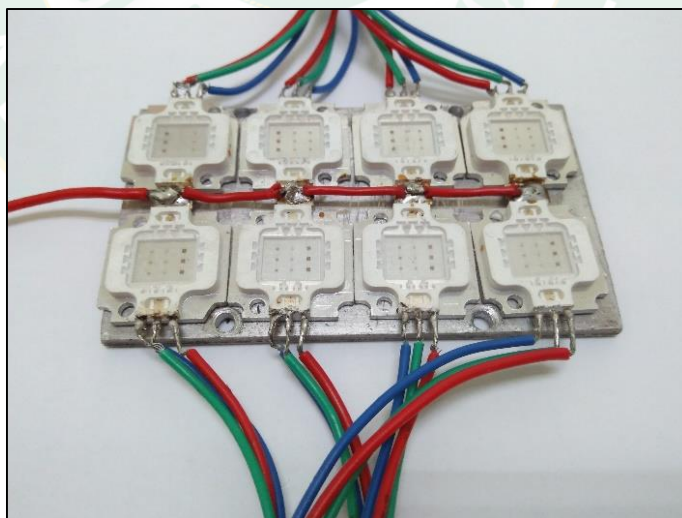
จากภาพไดอะแกรมระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง แสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี ทดสอบเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่าสเปกตรัมแสงและค่าความเข้มแสงสูงสุด หากมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวเท่ากับ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดและทำการทดสอบขณะที่ไม่มีสเปกตรัมของแสงสีเขียว (กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์) พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีการกระจายความร้อนสูงดังนั้นจึงมีการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.5A ให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อรับความร้อนจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ซึ่งความร้อนที่ได้ส่งผ่านผิวของเทอร์โมอิเล็กทริกทางด้านร้อนหลังจากนั้นทำการพาความร้อนส่งผ่านให้ตัวของอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์เพื่อรับความร้อนจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนต่อจากนั้นความร้อนที่ได้จากตัวของอุปกรณ์ฮีทซิงค์ร่วมกับพัดลมความร้อนส่งผ่านครีระบายความร้อนเพื่อที่จะลดอุณหภูมิของฮีทซิงค์โดยความร้อนถูกพาออกไปยังสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง มีดังนี้

1. หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด หลอดละ 10 W
2. แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด 40mm x 40mm จำนวน 1 แผ่น
3. แผ่นอะลูมิเนียม ขนาด 80mm x 40mm จำนวน 1 แผ่น
4. ฮีทซิงค์ (Heat Sink) ขนาด 70 mm x 70 mm x 3 mm
5. พัดลมระบายความร้อนขนาด 70 mm x 70 mm
6. สายเทอร์โมคัปเปิล Type K จำนวน 6 เส้น
7. สายไฟขนาด 24 AWG จำนวน 24 เส้น ยาว 50 cm
8. ซิลิโคนกาว Heat sink Plaster จำนวน 2 หลอด

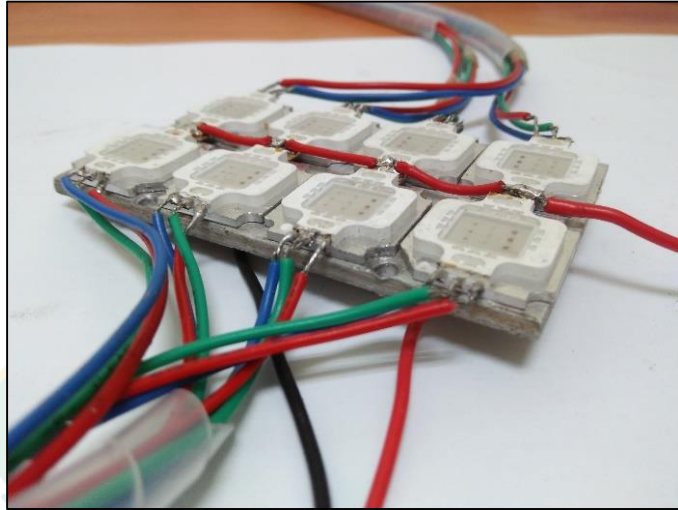
5.2. ขั้นตอนการติดตั้งระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์

1. นำหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีขนาด 10 W ภายในหลอดประกอบไปด้วยแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน มาติดซิลิโคนกาว Heat sink Plaster กับแผ่นอะลูมิเนียมที่มีขนาดเท่ากับ 80 mm x 40 mm แสดงดังภาพที่ 93



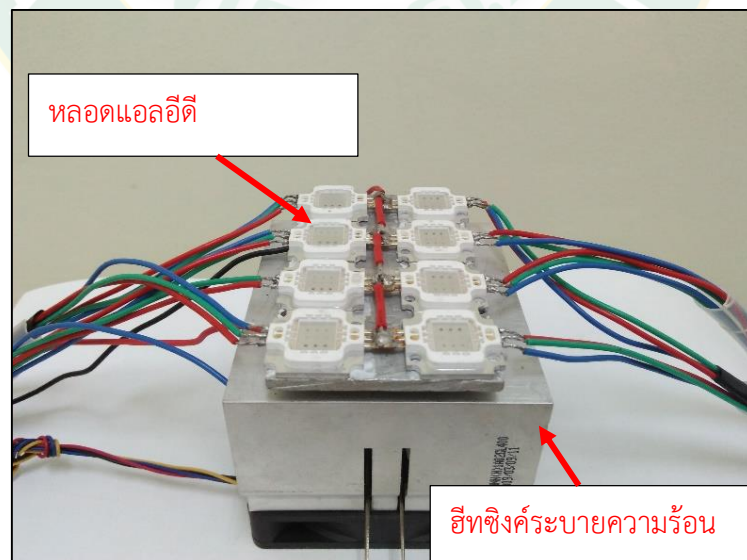
ภาพที่ 93 หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงติดตั้งบนแผ่นอะลูมิเนียมสำหรับฮีทซิงค์

- นำแผ่นอลูมิเนียมติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเท่ากับ 40 mm x 40 mm แสดงดังภาพที่ 94



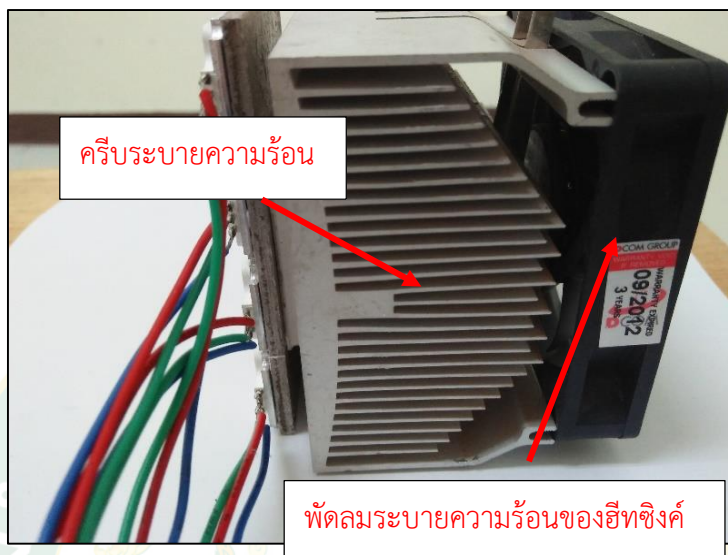
ภาพที่ 94 แผ่นอลูมิเนียมติดตั้งบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบบฮีทซิงค์

- นำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งบนตัวของฮีทซิงค์ที่มีขนาดเท่ากับ 70 mm x 70 mm x 3 mm แสดงดังภาพที่ 95



ภาพที่ 95 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดเข้ากับระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

- นำพัดลมระบายความร้อนขนาดเท่ากับ 70 mm x 70 mm ติดตั้งข้างหลังตัวอุปกรณ์ฮีทซิงค์ แสดงดังภาพที่ 96



ภาพที่ 96 พัดลมระบายความร้อนสำหรับฮีทซิงค์

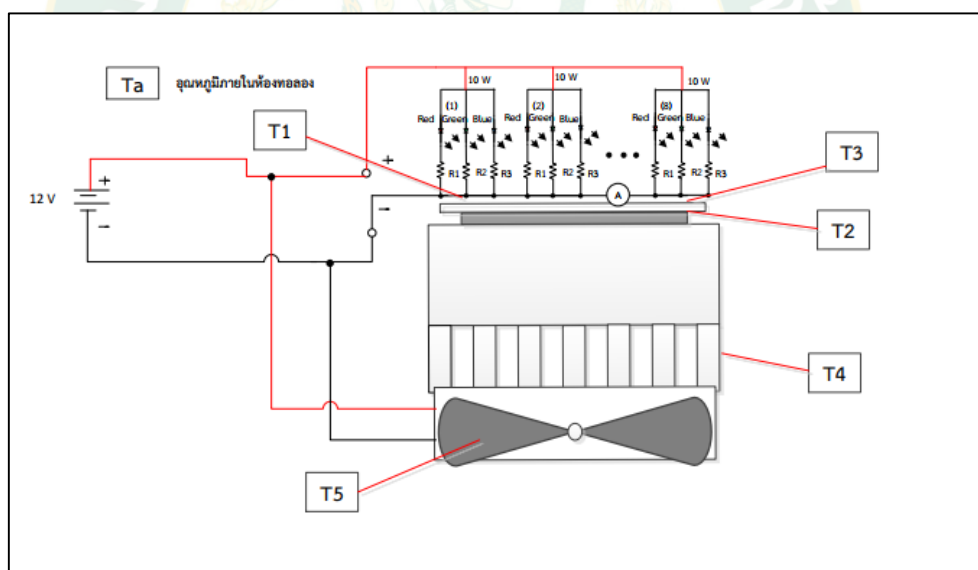
5.3. ขั้นตอนในการตรวจวัดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

สำหรับขั้นตอนในการทดสอบอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยฮีทซิงค์มีจุดตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 6 ตำแหน่งดังตารางที่ 8 ขณะทดสอบได้ควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่อยู่ที่ 25 °C

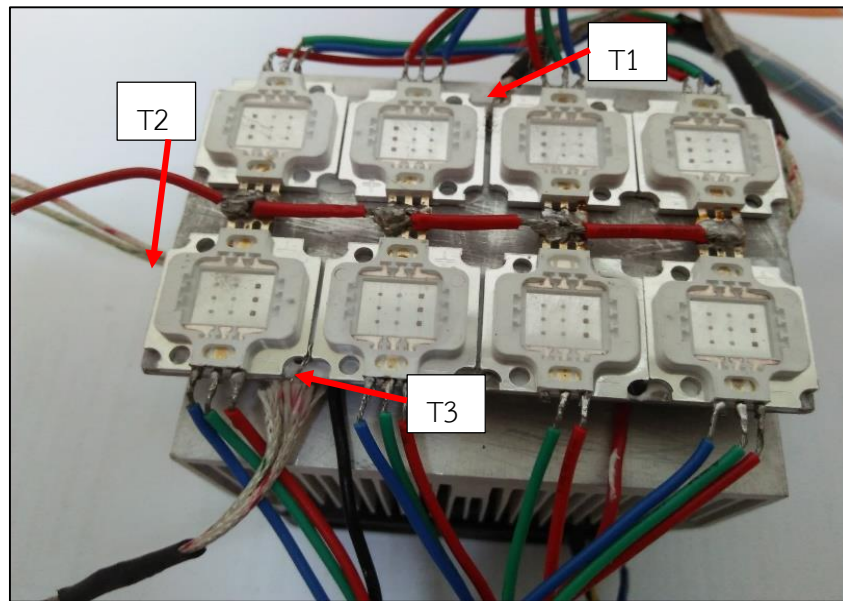
ตารางที่ 8 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

ตัวแปรอุณหภูมิ	ตำแหน่งที่ตรวจวัด
T1	อุณหภูมิที่เพลทหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง จุดที่ 1
T2	อุณหภูมิระหว่างเพลทอลูมิเนียมกับเทอร์โมอิเล็กทริก
T3	อุณหภูมิที่เพลทหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง จุดที่ 2
T4	อุณหภูมิที่เพลทฮีทซิงค์
T5	อุณหภูมิที่พัดลมของฮีทซิงค์
Ta	อุณหภูมิแวดล้อมภายในห้อง

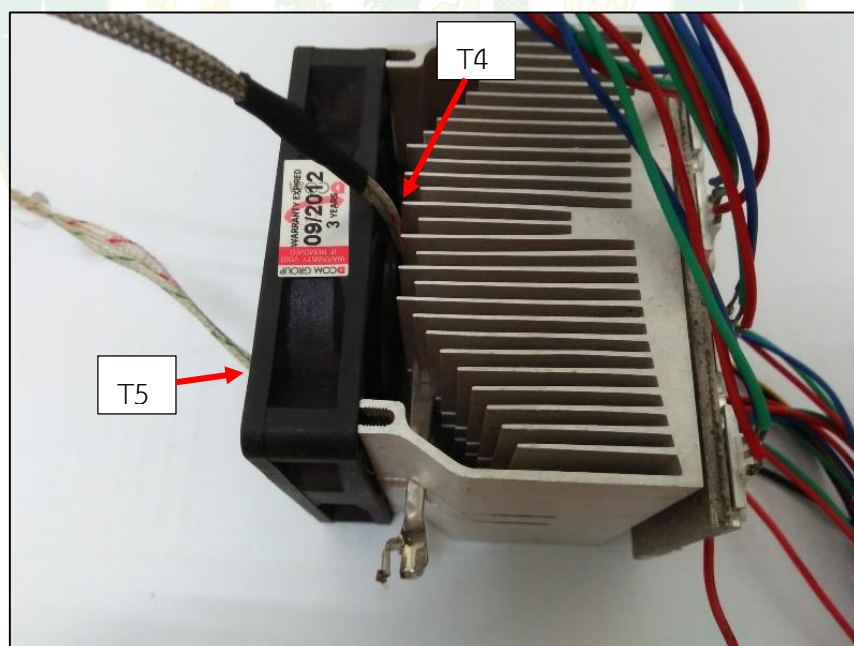
สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิได้ใช้เครื่องมือวัด Data logger FLUKE 2638A HYDRA SERIES / DATA ACQUISITION UNIT โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K แสดงดังภาพที่ 97 -99



ภาพที่ 97 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์



ภาพที่ 98 ตำแหน่ง T1 วัตอุณหภูมิที่เฟลทแอลอีดีกำลังงานสูงและตำแหน่ง T2 วัตอุณหภูมิที่เฟลทอลูมิเนียมของระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์



ภาพที่ 99 ตำแหน่ง T4 วัตอุณหภูมิที่ฮีทซิงค์และตำแหน่ง T5 วัตอุณหภูมิที่พัดลมฮีทซิงค์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ทดลองการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบคือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ในขณะทดสอบใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การทดลองทั้ง 5 แบบดังนี้

1. ผลการทดลองคุณลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ 0.1A 0.5A 1.0A 1.5A 2.0A 2.5A และ 3.0A ตามลำดับ ในขณะทดสอบต้องการระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อลดความเสียหายของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยการใช้ระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วย ฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

2. ผลการทดลองคุณลักษณะอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง โดยไม่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อน จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 340 mA ทั้ง 3 สี และจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 12V บันทึกข้อมูลอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่าสเปกตรัมแสง และค่าความเข้มแสง

3. ผลการทดลองหาอัตราการไหลของน้ำที่ไหลวนในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงินเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำ 12 V และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้พัดลมหม้อน้ำระบายความร้อนเท่ากับ 300 mA เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

4. ผลการทดลองคุณลักษณะทางด้านอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับขณะทดสอบหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อน การทดลองนี้ทำการทดลองกับระบบระบายความร้อน 3 ระบบคือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ร่วมกับการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกิน 340 mA ทั้ง 3 สี และจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 12V

5. ผลการทดลองอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน 3 ระบบ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน สูงสุดเท่ากับ 340mA ทั้ง 3 สี ผลการทดลองอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวที่มีค่ากำลังงานสเปกตรัมแสงลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียว ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดง และสีน้ำเงินสูงสุด

6. ผลการทดลองอุณหภูมิ กำลังงานสเปกตรัมแสง และความเข้มแสงขณะที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวแต่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด และบันทึกผลการทดลอง

5.วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ต้นทุนและประเมินความคุ้มค่าของระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบคือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และพัดลม และ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ ตามหลักเศรษฐศาสตร์ โดยการประเมินต้นทุนที่ใช้ในการสร้างระบบระบายความร้อนและระยะเวลาในการคืนทุน

ข้อกำหนดของโมดูลแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 สำหรับการใช้งานในการระบายความร้อน

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงสุดถึง 130 °C อุณหภูมิด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต้องไม่เกินค่าวิกฤติเท่ากับ 120 °C ดังนั้น ขณะทดลองการระบายความร้อนในครั้งนี้อาจจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.1 – 3.0A เพื่อหาค่าคุณลักษณะทางอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมต่อการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

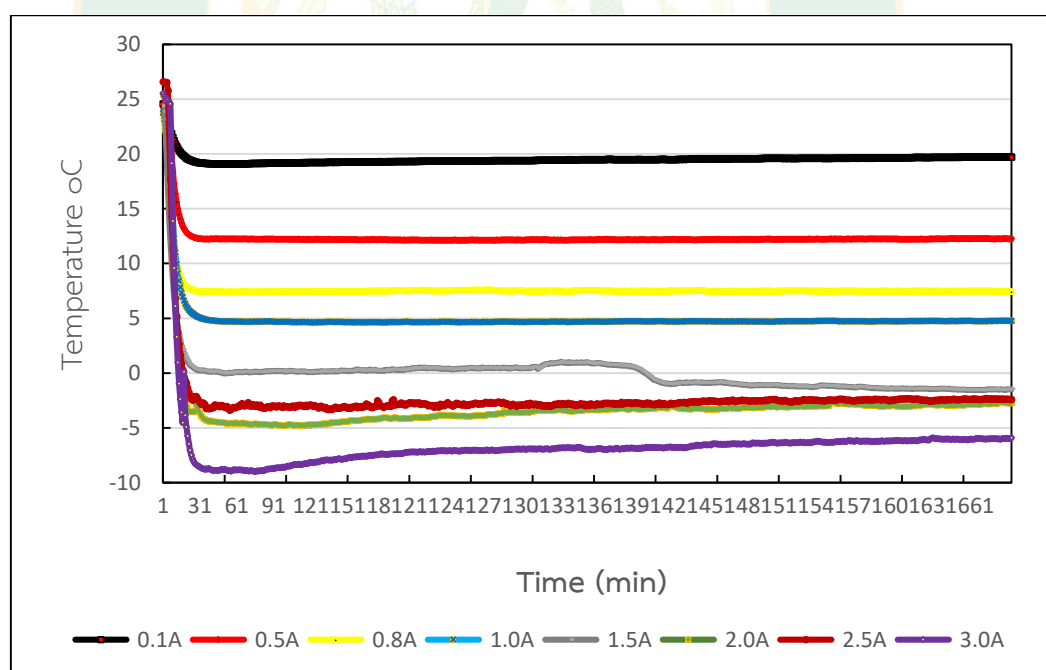
ข้อกำหนดของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสำหรับการส่องสว่างในการสังเคราะห์แสงของพืช

จากรายละเอียดของผู้ผลิตประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงซึ่งอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมากกว่า 60 °C จะทำให้กระแสไฟฟ้าในหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสูงขึ้นและความเข้มแสงลดลง

4.1. ผลของการทดลองคุณลักษณะของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

4.1.1. ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

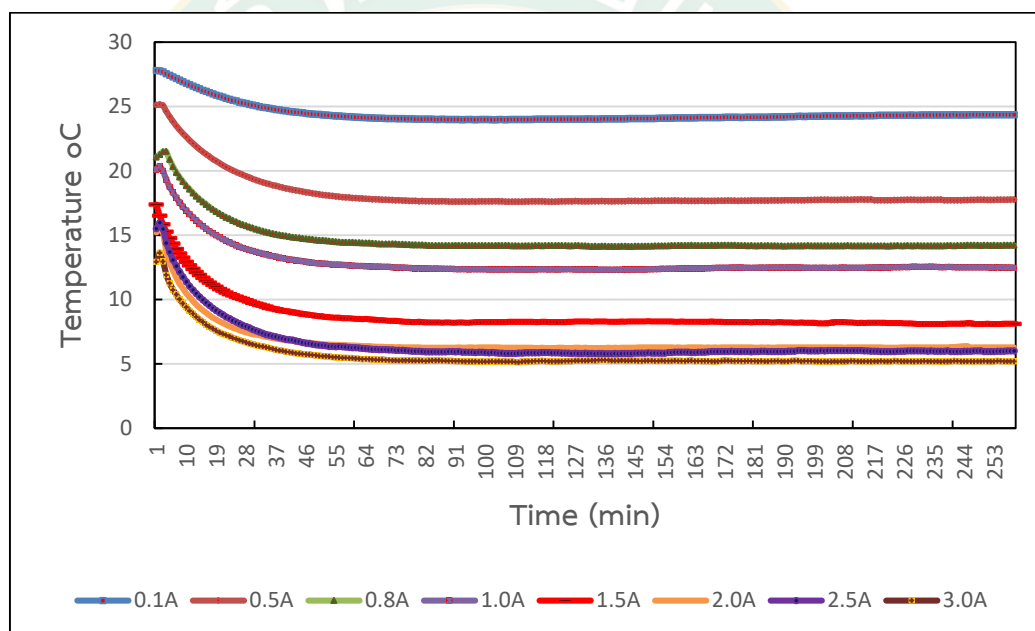
ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm จำนวน 1 แผ่น ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 0.1A – 3.0A พบว่าอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจากการทดลองโดยระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ในกรณีที่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1A มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 20°C จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.5A มีอุณหภูมิเท่ากับ 12 °C และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 3.0A อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ -8 °C ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกลดลง แปรผันตามกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แสดงดังภาพที่ 100



ภาพที่ 100 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ

4.1.2. ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์

ผลการทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm จำนวน 1 แผ่น ที่ติดตั้งระบบฮีทไปป์ ในกรณีที่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1A แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 24 °C จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.5A มีอุณหภูมิเท่ากับ 17.5 °C และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 3.0A พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 5.2 °C ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกลดลง แปรผันตามกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แสดงดังภาพที่ 101

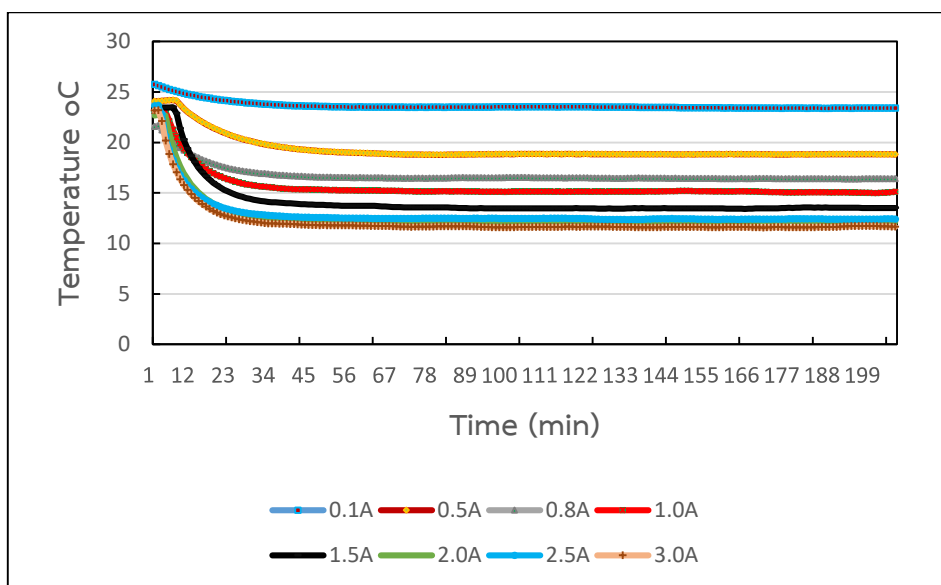


ภาพที่ 101 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์

4.1.3. ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

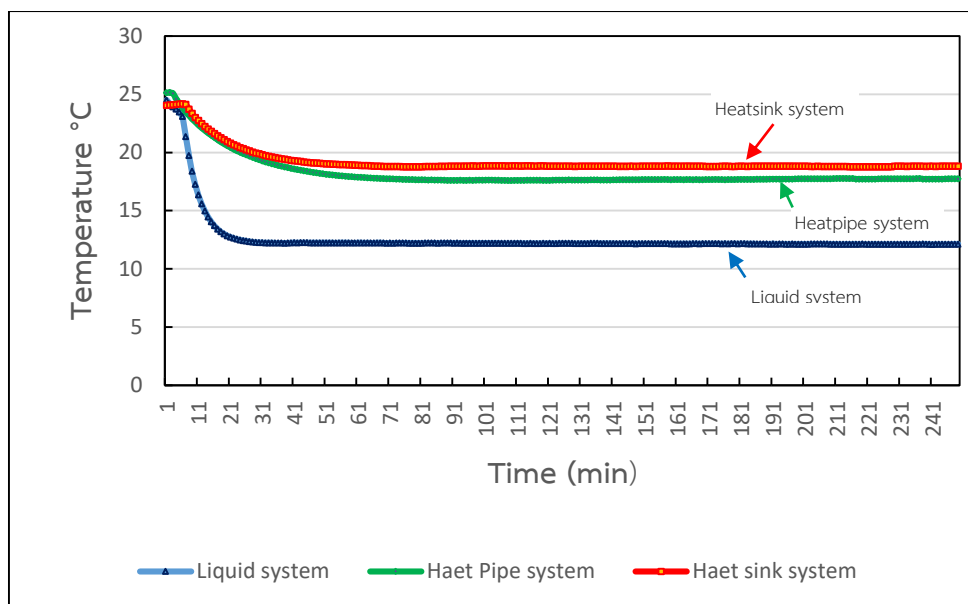
ผลการทดลองการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 mm x 40 mm จำนวน 1 แผ่น ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ ในขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.1A แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 23.50 °C จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.5A มีอุณหภูมิเท่ากับ 18.50 °C และจ่าย

กระแสไฟฟ้าที่ 3.0A พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 11.50 °C ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกลดลงแปรผันตามกับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงดังภาพที่ 102



ภาพที่ 102 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์

ผลการทดลองอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งทั้ง 3 ระบบขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.5A



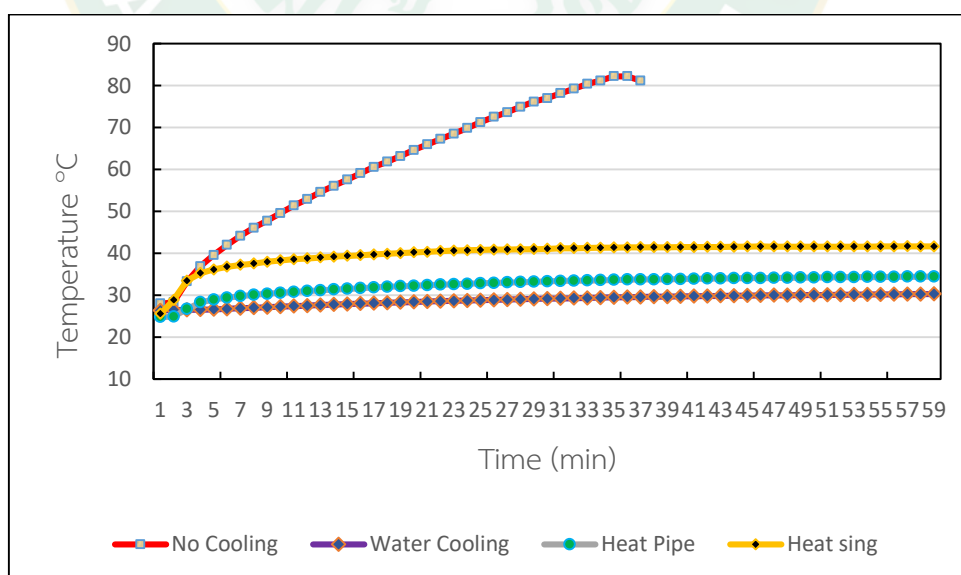
ภาพที่ 103 อุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 0.5 A ด้วยการติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ

จากข้อมูลกราฟอุณหภูมิของภาพที่ 103 จะพบว่าอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์มีอุณหภูมิเท่ากับ 20 °C โดยที่ไม่มีการติดตั้งหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขณะที่อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีค่าเท่ากับ 80 °C เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.5A ให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์มีอุณหภูมิสูงกว่าระบบระบายความร้อนทั้ง 2 ระบบอยู่ที่ 78.1% และ 86.25% ดังนั้น ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด มีความสามารถในการระบายความร้อนได้มากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้ การทดลองกับกรณีที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.5A สำหรับการทดสอบกับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับดังนี้

4.2 ผลของการระบายความร้อนด้วยระบบต่างๆ ต่ออุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

ผลของการระบายความร้อนต่ออุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A

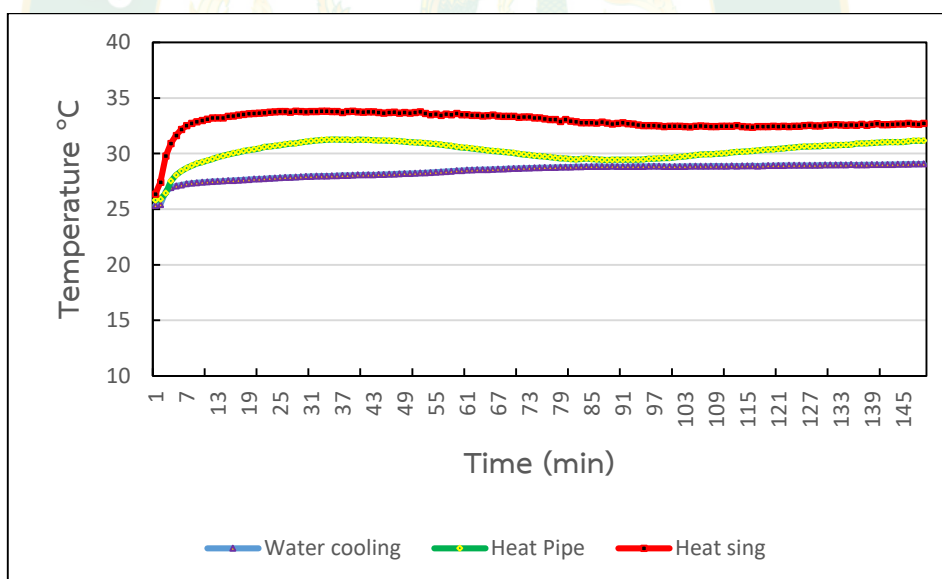
ผลการทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟารวมเท่ากับ 0.870 A พบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 81 °C 31 °C 34 °C และ 41 °C ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้รับการติดตั้งระบบระบายความร้อนคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 61.72% 58.02% และ 49.38% ตามลำดับ และจากการทดลองยังพบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ทำการระบายความร้อนจะเกิดการเสียหายเมื่อทำงานด้วยระยะเวลาประมาณ 35 min ในขณะที่หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้รับการติดตั้งระบบระบายความร้อนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขณะทำการทดสอบที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 104



ภาพที่ 104 อุณหภูมิของแอลอีดีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีเขียวและแสง

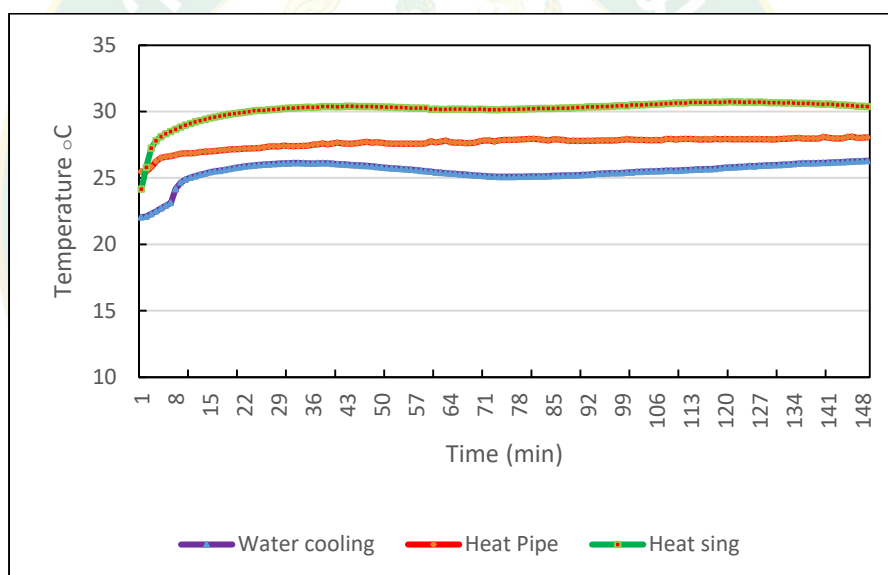
สีน้ำเงินสูงสุดเท่ากับ 340 mA รวมทั้ง 3 สี จำนวน 1 หลอด

ผลทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวเท่ากับ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินสูงสุด ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับ 0.710 A พบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ มีแนวโน้มอุณหภูมิกงที่ ณ ที่เวลา 145 min มีอุณหภูมิต่ำกว่า 29°C 30.5°C และ 33 °C ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 4.9% และ 12.1% ในขณะที่หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้รับการติดตั้งระบบระบายความร้อนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องได้เป็นระยะเวลานาน แสดงดังภาพที่ 105



ภาพที่ 105 อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินสูงสุด และสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50 % จำนวน 1 หลอด

ผลทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุด และทดสอบกรณีที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าให้หลอดแสงสีเขียว ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับ 0.590 A พบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ มีแนวโน้มอุณหภูมิคงที่ ณ ที่เวลา 140 min มีอุณหภูมิ เท่ากับ 25.5 °C 28 °C และ 30 °C ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเห็นได้ว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ มีอุณหภูมิต่ำกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 16.6% และ 6.6% โดยอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขณะทำการทดลองที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 106



ภาพที่ 106 อุณหภูมิของแอลอีดีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็นศูนย์ จำนวน 1 หลอด

ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ
จำนวน 2 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 9 ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 2 หลอด

ระบบระบายความร้อน	ขนาดของหลอดแอลอีดีหลอดละ 10 W	จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 340 mA ทั้ง 3 สี (°C)	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% (°C)	จ่ายกระแสไฟฟ้า สูงสุดแสงสีแดงและ แสงสีน้ำเงินแล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียว ลดลงเป็นศูนย์ (°C)
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีติดตั้งระบบระบายความร้อน	1x2 หลอด	120	-	-
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	1x2 หลอด	42	35	32
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	1x2 หลอด	44	40	35
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	1x2 หลอด	51	45	42

จากตารางที่ 9 พบว่ากรณีที่ 1 อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเท่ากับ 120 °C ณ เวลา 31 min หลังจากนั้นหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเกิดความเสียหายหรือขาด ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และ ระบบบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 65 % 63% และ 57% ตามลำดับ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 340 mA ทั้ง 3 สี กรณีที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุดและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 12.5% และ 22.2% ตามลำดับ และกรณีที่ 3 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินสูงสุดโดยที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียวใน

ทำนองเดียวกันพบว่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 8.5% และ 23.8% ตามลำดับ

ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 4 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 4 หลอด

ระบบระบายความร้อน	ขนาดของหลอดแอลอีดีหลอดละ 10 W	จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 340 mA ทั้ง 3 สี (°C)	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% (°C)	จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินแล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็นศูนย์ (°C)
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีติดตั้งระบบระบายความร้อน	1x4 หลอด	140	-	-
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	1x4 หลอด	44	39	35
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	1x4 หลอด	48	40	39
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	1x4 หลอด	52	47	43

จากตารางที่ 10 พบว่ากรณีที่ 1 อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานเท่ากับ 140 °C ณ เวลา 35 min ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และ ระบบบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 68.5 % 65.7% และ 62.8% ตามลำดับ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 340 mA ทั้ง 3 สี กรณีที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุด และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% จะเห็นได้ว่า

อุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 2.5% และ 17.02% ตามลำดับ และกรณีที่ 3 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินสูงสุดโดยที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียวในทำนองเดียวกันพบว่าอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 10.25% และ 18.60% ตามลำดับ

ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 8 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 11 ผลของอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 8 หลอด

ระบบระบายความร้อน	ขนาดของหลอดแอลอีดีหลอดละ 10 W	จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 340 mA ทั้ง 3 สี (°C)	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% (°C)	จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินแล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็นศูนย์ (°C)
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีติดตั้งระบบระบายความร้อน	1x8 หลอด	160	-	-
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	1x8 หลอด	46	43	38
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	1x8 หลอด	51	45	42
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	1x8 หลอด	58	50	45

จากตารางที่ 11 พบว่ากรณีที่ 1 อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานเท่ากับ 160 °C ณ ที่เวลา 35 min ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และ ระบบบาย

ความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 71.25 % 68.1% และ 63.7% ตามลำดับ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 340 mA ทั้ง 3 สี กรณีที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุด และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 4.4% และ 14.0% ตามลำดับ และกรณีที่ 3 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินสูงสุดโดยที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียวในทำนองเดียวกันพบว่าอุณหภูมิหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 9.5% และ 15.5% ตามลำดับ

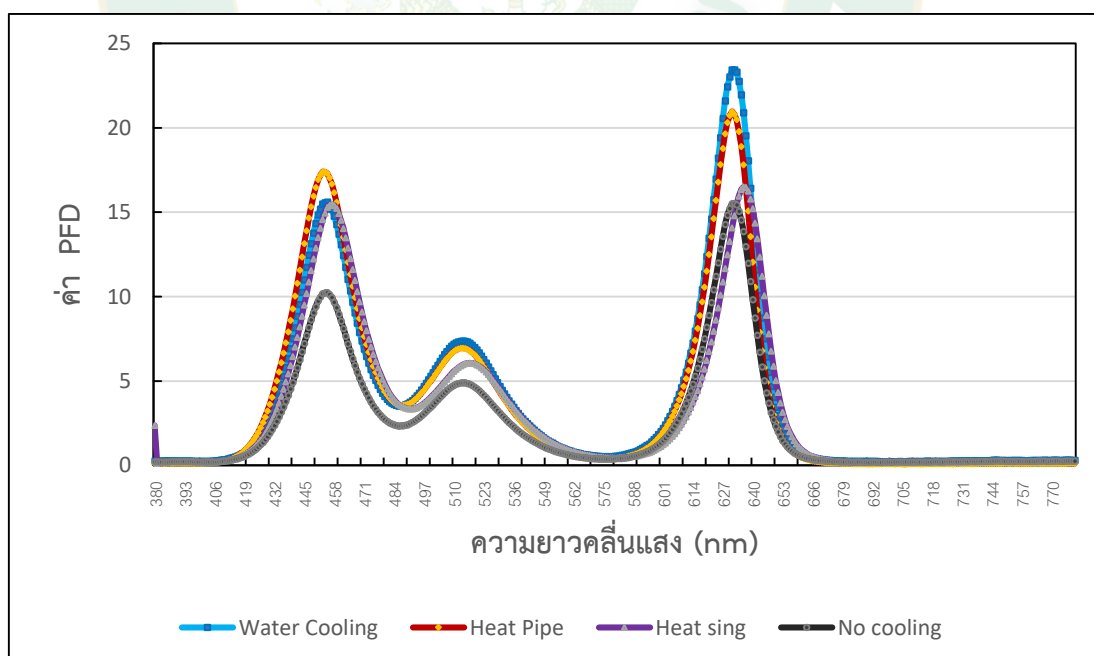
4.3. ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง

ผลการทดลองของสเปกตรัมแสงและความเข้มแสง ของหลอดแอลอีดีที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน และติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ คือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขทั้ง 4 กรณีดังกล่าวข้างต้น โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดแสงในแนวตั้งห่างจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ทำการทดลองเป็นระยะคงที่เท่ากับ 50 cm ทำการบันทึกข้อมูลค่าต่างๆ ประกอบด้วยค่าสเปกตรัมแสง หรือ Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงของพืช โดยค่าดังกล่าวควรอยู่ในช่วง 20-40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ สำหรับเพาะปลูกผักกาดหอมและพืชใบ (กรวิทย์, 2018) และค่าความเข้มแสง (Light Intensity) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ระบุถึงความสามารถในการส่องสว่างของอุปกรณ์กำเนิดแสง ทำการเลือกระยะห่างจากหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงถึงเครื่องมือวัดที่ 50 cm แสดงผลการทดลองโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด

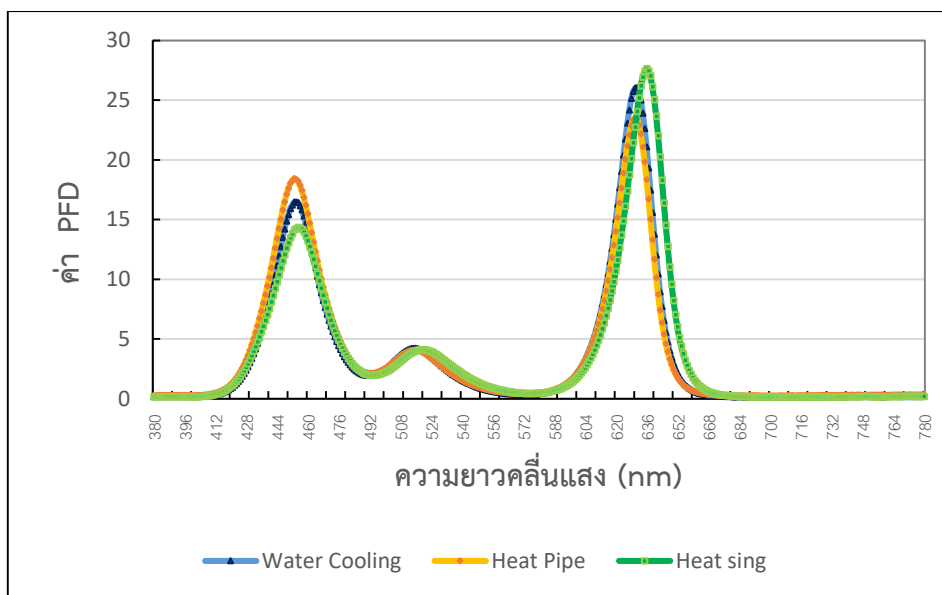
ผลการทดลองค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีสูงสุดเท่ากับ 340 mA ทั้ง 3 สี ค่ากระแสไฟฟารวมเท่ากับ 0.870 A และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ด้วยเงื่อนไขการทดลองค่าสเปกตรัม

แสงและความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนและระบบที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ คือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้ในการทดลองมีค่าความหนาแน่นของโฟตอน อนุภาคของแสงรวมที่พืชต้องการในรูปแบบของค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) ได้สูงสุดเท่ากับ $4.489 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ $6.946 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ $6.529 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ และ $5.706 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบมีสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงค่าสูงกว่าระบบที่ไม่ได้รับการติดตั้งระบบระบายความร้อนคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 36.2% 32.0% และ 22.8% ตามลำดับ โดยผลการทดสอบค่าสเปกตรัมแสงของแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด สามารถแสดงดังภาพที่ 107 และจากการทดลองยังพบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้ในการทดลองสามารถสร้างค่าความเข้มแสง (Light Intensity) ภายใต้เงื่อนไขการทดลองได้สูงสุดเท่ากับ 192.0 lux 289.8 lux 267.6 lux และ 230.0 lux ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ มีค่าสูงกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้รับการติดตั้งระบบระบายความร้อนคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 33.5% 28.2% และ 16.7% ตามลำดับ



ภาพที่ 107 ค่าสเปกตรัมแสงของแอลอีดีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด ที่ 340 mA รวมทั้ง 3 สี

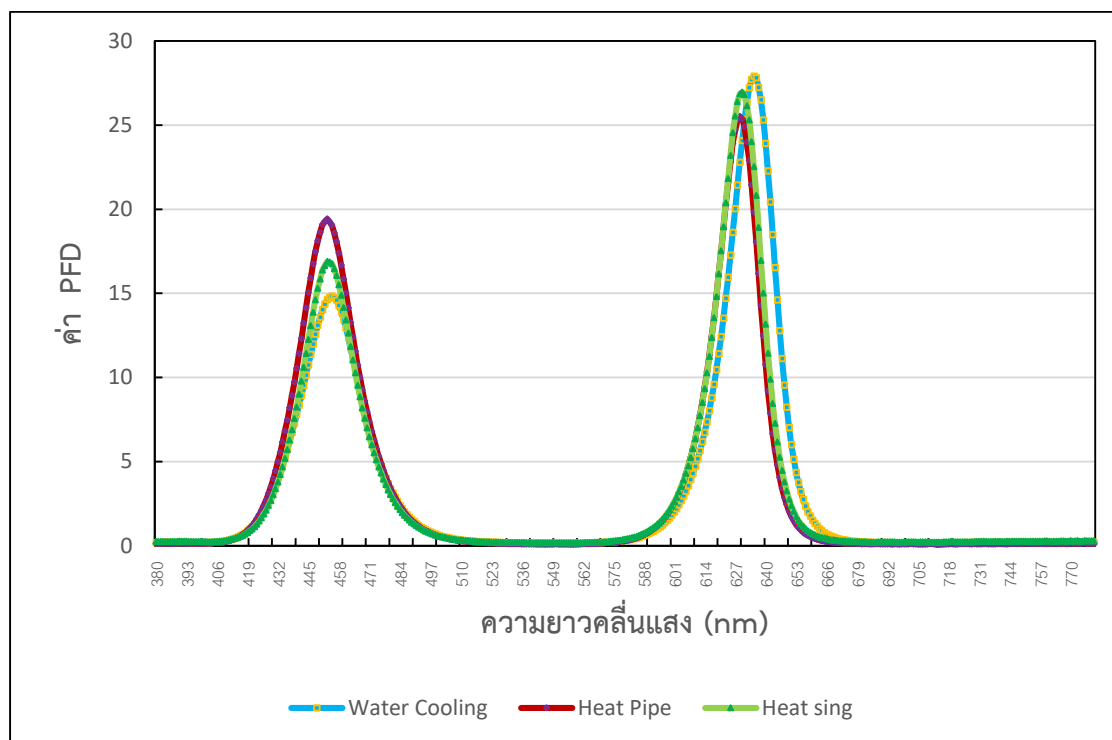
ผลการทดลองค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังสูงขนาด 10 W จำนวน 1 หลอด ที่ได้รับการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีเขียวเท่ากับ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50 % ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและสีน้ำเงินสูงสุด ค่ากระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับ 0.710 A ทั้ง 3 สี และจ่ายจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ด้วยเงื่อนไขการทดลองค่าสเปกตรัมแสงและความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้ในการทดลองสามารถสร้างสเปกตรัมในรูปแบบของค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) ได้สูงสุดเท่ากับ $6.833 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ $6.388 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ และ $6.378 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ มีค่าสเปกตรัมแสงสูงกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และฮีทซิงค์ คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 6.5% และ 6.7% ตามลำดับ โดยผลการทดสอบค่าสเปกตรัมแสงของแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอดสามารถแสดงดังภาพที่ 108 และจากการทดสอบยังพบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้ในการทดลองสามารถสร้างค่าความเข้มแสง (Light Intensity) ภายใต้เงื่อนไขการทดลองระบบระบายความร้อน 3 ระบบ ได้สูงสุดเท่ากับ 244.5 lux 239.0 lux และ 231.0 lux ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสูงกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 2.2% และ 5.5% ตามลำดับ



ภาพที่ 108 ค่าสเปกตรัมแสงของแอลอีดีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินสูงสุดและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50 % ขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด

ผลการทดลองค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด ได้รับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุด และไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดแสงสีเขียว ค่ากระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับ 0.590 A ด้วยเงื่อนไขการทดลองค่าสเปกตรัมแสงและความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ พบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้ในการทดลองสามารถสร้างสเปกตรัมในรูปแบบของค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) ได้สูงสุดเท่ากับ $6.109 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ $5.861 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ และ $5.844 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสเปกตรัมแสงสูงกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 4.0% และ 4.3% ตามลำดับ โดยผลการทดสอบค่าสเปกตรัมแสงของแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอดสามารถแสดงดังภาพที่ 109 และจากการทดสอบยังพบว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ใช้ในการทดลองสามารถสร้างค่าความเข้มแสง (Light Intensity) ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบทั้ง 3 ระบบได้สูงสุดเท่ากับ 177.5 lux 169.8 lux และ 167.2 lux ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันจะ

เห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ได้ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสูงกว่าหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 4.3% และ 5.8% ตามลำดับ



ภาพที่ 109 ค่าสเปกตรัมแสงของแอลอีดีกำลังงานสูงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และไม่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็นศูนย์ ขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด

ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 2 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A

ตารางที่ 12 ผลของสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 2 หลอด

ระบบระบายความร้อน	ขนาดของหลอดแอลอีดีหลอดละ 10 W	จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 340 mA ทั้ง 3 สี ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสี เขียวลดลงเป็น 50% ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	จ่ายกระแสไฟฟ้า สูงสุดแสงสีแดงและ แสงสีน้ำเงินแล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียว ลดลงเป็นศูนย์ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีติดตั้งระบบระบายความร้อน	1x2 หลอด	7.919	-	-
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	1x2 หลอด	12.00	11.60	10.68
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	1x2 หลอด	11.00	10.80	9.89
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	1x2 หลอด	9.760	9.62	9.55

จากตารางที่ 12 พบว่ากรณีที่ 1 ค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานเท่ากับ 7.919 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ซึ่งมีค่าสเปกตรัมต่ำกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 34% 28% และ 18.5% ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 340 mA ทั้ง 3 สี กรณีที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุดและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% จะพบว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสเปกตรัมแสงมากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 6.8% และ 17.2% ตามลำดับ และกรณีที่ 3 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงิน

สูงสุดโดยที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียวในทำนองเดียวกันพบว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสเปกตรัมแสงสูงกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 8.2% และ 10.5% ตามลำดับ

ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 4 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A

ตารางที่ 13 ผลของสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อน ทั้ง 3 ระบบ จำนวน 4 หลอด

ระบบระบายความร้อน	ขนาดของหลอดแอลอีดีหลอดละ 10 W	จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 340 mA ทั้ง 3 สี ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินแล้วสเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็นศูนย์ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน	1x4 หลอด	12.79	-	-
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	1x4 หลอด	20.01	20.59	19.05
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	1x4 หลอด	19.45	19.76	18.72
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	1x4 หลอด	15.81	19.42	18.0

จากตารางที่ 13 พบว่ากรณีที่ 1 ค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานเท่ากับ 12.79 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ซึ่งมีค่าสเปกตรัมต่ำกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 36% 34% และ 19.1% ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด

ที่ 340 mA ทั้ง 3 สี กรณีที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุดและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% จะพบว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสเปกตรัมแสงมากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 4.3% และ 5.7% ตามลำดับ และกรณีที่ 3 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินสูงสุดโดยที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียวในทำนองเดียวกันพบว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสเปกตรัมแสงสูงกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 1.8% และ 5.5% ตามลำดับ

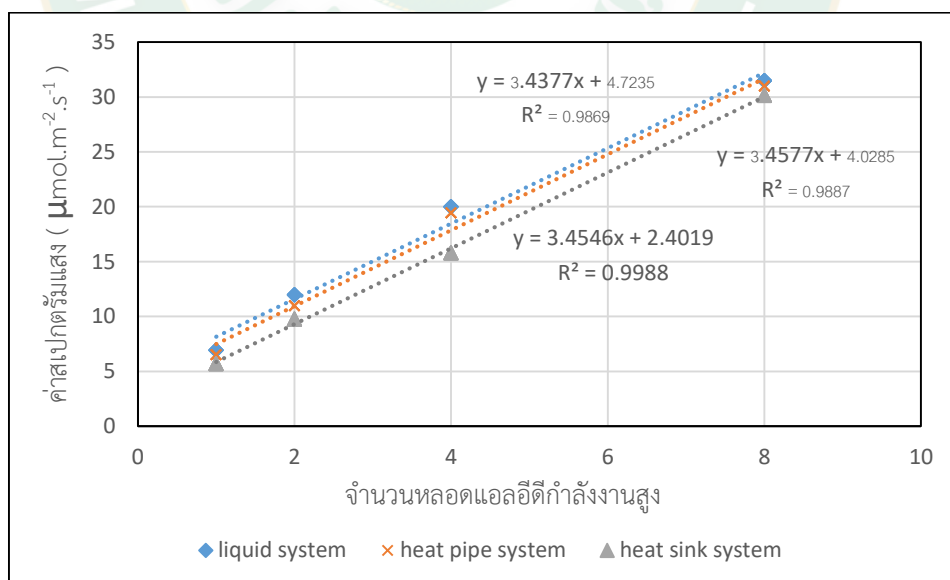
ผลของการระบายความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อความสามารถในการส่องสว่างของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A

ตารางที่ 14 ผลของสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ จำนวน 8 หลอด

ระบบระบายความร้อน	ขนาดของหลอดแอลอีดีหลอดละ 10 W	จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 340 mA ทั้ง 3 สี ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด แสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินแล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็นศูนย์ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่มีติดตั้งระบบระบายความร้อน	1x8 หลอด	26.18	-	-
ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	1x8 หลอด	31.51	29.53	27.23
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	1x8 หลอด	31.44	28.36	26.58
ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	1x8 หลอด	30.15	26.34	25.41

จากตารางที่ 14 พบว่ากรณีที่ 1 ค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานเท่ากับ $26.18 (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ ซึ่งมีค่าสเปกตรัมต่ำกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 16.9% 16.7% และ 13.1% ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 340 mA ทั้ง 3 สี่ กรณีที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง แสงสีน้ำเงินสูงสุดและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แสงสีเขียวที่ 110 mA แล้ว สเปกตรัมแสงสีเขียวลดลงเป็น 50% จะพบว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสเปกตรัมแสงมากกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 3.9% และ 10.8% ตามลำดับ และกรณีที่ 3 ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินสูงสุดโดยที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแสงสีเขียวในทำนองเดียวกันพบว่าค่าสเปกตรัมแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าสเปกตรัมแสงสูงกว่า ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 2.3% และ 6.6% ตามลำดับ

การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าสเปกตรัมแสง $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ กับจำนวนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงแสดงได้ดังภาพที่ 110



ภาพที่ 110 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสเปกตรัมแสงกับจำนวนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงทั้ง 3 ระบบ

เมื่อ y คือค่า PPFD

x คือ จำนวนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W

จากกราฟพบว่ากราฟมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสเปกตรัมแสง $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ กับจำนวนหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าเท่ากับ $y = 3.4377x$ (จำนวนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขนาด 10W) + 4.7235 และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์เท่ากับ $y = 3.4577x$ (จำนวนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขนาด 10W) + 4.0285 และในทำนองเดียวระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์เท่ากับ $y = 3.4546x$ (จำนวนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ขนาด 10W) + 2.4019 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 ของแต่ละระบบมีค่าเป็น 0.9869 0.9887 และ 0.9988 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของข้อมูลระหว่างตัวแปรทั้งสอง สมการทั้งสามสามารถนำไปหาจำนวนหลอดแอลอีดีที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิดได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน



วิเคราะห์ผลการวิจัย

ผลการทดลองคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและผลการทดลองการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาดหลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอดตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองทั้ง 4 กรณีดังกล่าวข้างต้นพบว่าระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ ให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงสามารถลดอุณหภูมิให้กับหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้ โดยพบว่าหากไม่ทำการติดตั้งระบบระบายความร้อนจะทำให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงเกิดความเสียหายเนื่องอุณหภูมิสะสมภายในระยะเวลาอันสั้นในทุกเงื่อนไขการทดสอบ และอุณหภูมิสะสมดังกล่าวยังส่งผลต่อสเปกตรัมแสงในรูปแบบของค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD) และค่าความเข้มแสง (Light Intensity) ของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงอีกด้วย กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสะสมภายในหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงมีค่าสูงจะทำให้อายุการใช้งานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่า PPFD และค่าความเข้มแสงของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงลดลง ส่งผลต่อความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นการใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงกำลังสูงเพื่อการส่องสว่างในการเพาะปลูกพืชจึงมีความจำเป็นต้องใช้ระบบระบายความร้อนให้กับหลอดแอลอีดีอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนแบบ LED Grow Light

จากการประเมินต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยแบบ Double Modes BLOOM&VEG LED Grow Light ขนาด 400 mm x 170 mm x 60 mm (MasterGrow, 2561) อุปกรณ์ชุดนี้สามารถสร้าง Photosynthetic Photon Flux Density PPFD สูงสุดได้เท่ากับ $260 (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ ที่การจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด การวัดค่า PPFD ขณะทดสอบที่ระดับความสูงห่างจากพื้น 50 cm ระบบนี้สามารถให้ค่า PPDF ครอบคลุมพื้นที่ 0.1855 m^2 ดังนั้นหากต้องการให้แสงครอบคลุมบนพื้นที่ 1 m^2 ได้จึงจำเป็นต้องใช้ระบบให้แสงชุดนี้ จำนวน 6 ชุด แต่ละชุดมีราคาอยู่ที่ 5,320 บาท ดังนั้นเมื่อรวมราคาทั้งหมดจะมีค่าใช้จ่ายรวม 31,920 บาท และเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบระบบอื่น จึงได้มีการคำนวณ ต้นทุนราคาต่อค่า PPDF ที่ $1 (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ ที่มีการกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2 ซึ่งพบว่าระบบดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยอยู่ที่ 122.7 บาท

2. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิดใช้งบประมาณที่ 4,130 บาท ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำนี้สามารถสร้างค่า PPDF ได้สูงสุดเท่ากับ $31.5 (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ขณะที่ทดสอบวัดค่า PPDF ระดับความสูงห่างจากพื้นในแนวตั้งที่ 50 cm และระบบระบายความร้อนนี้สามารถให้ค่า Photosynthetic Photon Flux Density ครอบคลุมพื้นที่ 0.25 m^2 หากต้องการให้มีการกระจายแสงครอบคลุมบนพื้นที่ 1 m^2 จำเป็นต้องใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 1 ชุด ซึ่งแต่ละชุดมีราคาอยู่ที่ 2,320 บาท ซึ่งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำนี้สามารถใช้ปั๊มน้ำและหม้อน้ำระบายความร้อนร่วมกันถึง 4 ชุดด้วยกันได้ ดังนั้นเพิ่มเพียงโมดูลกำเนิดแสงเป็น 4 ชุดเมื่อรวมราคาทั้งหมดมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 4,130 บาท แสดงดังตารางที่ 15 เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบจึงได้มีการคำนวณ การลงทุนราคาต่อค่า PPDF ที่ $1 (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ ที่มีการกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2 ซึ่งเห็นได้ว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยอยู่ที่ 131.0 บาท แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 15 รายละเอียดต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 4 ชุด

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา (บาท)	
			ต่อหน่วย	รวม
ปั้มน้ำ DC ขนาด 12 V	1	ตัว	1,300	1,300
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W	32	หลอด	35	1,120
แผ่นอลูมิเนียมขนาด 20 x 20 cm	8	แผ่น	50	400
หม้อน้ำและพัดลม	1	ตัว	450	450
อุปกรณ์ระบายความร้อน (Heat Exchanger)	4	ตัว	90	360
ท่อน้ำ	7	เมตร	15	105
ถังเก็บน้ำ	1	ถัง	20	20
ซิลิโคนขาว (Heat sink plaster)	7	หลอด	20	140
สายไฟ ขนาด AWG 24	15	เมตร	5	75
ตัวต้านทาน	32	ตัว	5	160
รวมต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ				4,130

3. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทไปป์

ในการลงทุนสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ ซึ่งอุปกรณ์ระบายความร้อนชุดนี้สามารถสร้างค่า PPFD สูงสุดได้เท่ากับ $31.44 \text{ (}\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ทดสอบวัดค่า PPDF ในระดับความสูงในแนวตั้งห่างจากพื้นที่ 50 cm ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ชุดนี้สามารถส่องสว่างครอบคลุมบนพื้นที่ได้ 0.25 m^2 ดังนั้นต้องการให้มีการส่องกระจายแสงให้ครอบคลุมบนพื้นที่ ที่ต้องการจำเป็นต้องเพิ่มระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์จำนวน 4 ชุด ราคาในการสร้างระบบแต่ละชุดอยู่ที่ 975 บาท พบว่าระบบระบายความร้อนนี้สามารถใช้แผ่นอลูมิเนียมและซิลิโคนขาว (Heat sink plaster) ร่วมกันทั้งสี่ชุดได้ดังนั้นราคารวมทั้งหมดเท่ากับ 3,895 บาท แสดงดังตารางที่ 16 เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณในการลงทุนราคา ต่อค่า PPDF ที่ $1 \text{ (}\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$ ที่สามารถกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2 จะเห็นได้ว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์มีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยอยู่ที่ 124.04 บาท แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 16 รายละเอียดต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทไปป์ จำนวน 4 ชุด

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา (บาท)	
			ต่อหน่วย	รวม
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W	32	หลอด	35	1,120
แผ่นอลูมิเนียมขนาด 20 x 20 cm	8	แผ่น	50	400
อุปกรณ์ฮีทไปป์	4	ตัว	500	2,000
ซิลิโคนขาว (Heat sink plaster)	7	หลอด	20	140
สายไฟ ขนาด AWG 24	15	เมตร	5	75
ตัวต้านทาน	32	ตัว	5	160
รวมต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์				3,895

4. ต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทซิงค์

จากการลงทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ มีความสามารถในการสร้างค่า PPDF สูงสุดเท่ากับ $30.15 (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด ขณะที่ทดสอบค่า PPDF ระดับความสูงห่างจากพื้นแนวตั้งที่ 50 cm ซึ่งมีการกระจายแสงครอบคลุมพื้นที่ 0.25 m^2 หากต้องการให้แสงกระจายครอบคลุมบนพื้นที่ 1 m^2 จำเป็นต้องใช้ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ จำนวน 4 ชุด ราคากระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์แต่ละชุดราคาเท่ากับ 825 บาท พบว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์นี้สามารถใช้แผ่นอลูมิเนียมและซิลิโคนขาว (Heat sink plaster) ร่วมกันทั้งสองชุดได้ ดังนั้นเมื่อรวมราคาทั้งหมดเท่ากับ 3,295 บาท แสดงดังตารางที่ 17 และเพื่อสะดวกต่อการเปรียบเทียบระบบอื่น จึงได้มีการคำนวณ ต้นทุนราคาต่อค่า PPDF ที่ $1 (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ ที่มีการกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2 ซึ่งพบว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยอยู่ที่ 109.28 บาท

ตารางที่ 17 รายละเอียดต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ฮีทซิงค์ จำนวน 4 ชุด

รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา (บาท)	
			ต่อหน่วย	รวม
หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขนาด 10 W	32	หลอด	35	1,120
แผ่นอลูมิเนียมขนาด 20 x 20 cm	8	แผ่น	50	400
อุปกรณ์ฮีทซิงค์	4	ตัว	350	1,400
ซิลิโคนขาว (Heat sink plaster)	7	หลอด	20	140
สายไฟ ขนาด AWG 24	15	เมตร	5	75
ตัวต้านทาน	32	ตัว	5	160
รวมต้นทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนฮีทซิงค์				3,295

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบการลงทุนในการสร้างระบบระบายความร้อนทั้งหมดต่อ 1 ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) ที่มีการกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2

รายละเอียด	ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์	ระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์	ระบบระบายความร้อนแบบ LED Grow Light
จำนวนเงินลงทุน (บาท)	4,130	3,895	3,295	31,920

ค่า PPDF

($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)

ที่ได้ต่อพื้นที่

$1 \times 1 \text{ m}^2 = 31.5 \quad 31.4 \quad 30.15 \quad 260$

$1 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1} = 131.0 \text{ (บาท)} \quad 124.04 \text{ (บาท)} \quad 109.28 \text{ (บาท)} \quad 122.7 \text{ (บาท)}$

จากการเปรียบเทียบระบบระบายความร้อนทั้ง 4 ระบบ มีการลงทุนในการสร้างระบบที่มีความแตกต่างกันเท่ากับ 4,130 บาท 3,895 บาท 3,295 บาท และ 31,920 บาทมีค่า PPDF ที่แตกต่างกัน เท่ากับ 31.5 31.4 30.15 และ 260 ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 18 และอีกทั้งมีพื้นที่รับแสงที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ปรับเปลี่ยนหน่วยพื้นที่ให้เป็นหน่วยเดียวกัน เพื่อที่จะเปรียบเทียบค่า PPDF ให้ง่ายขึ้น มีการเปรียบเทียบพบว่าระบบที่มีการลงทุนต่ำที่สุดคือระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์เพราะว่าระบบนี้มีติดตั้งด้วยอุปกรณ์ฮีทซิงค์เพียงอย่างเดียวที่มีราคาขายในท้องตลาดที่ราคาถูกแต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการลงทุนที่ต่ำเท่ากับ 3,295 บาทผลลัพธ์ที่ตามคือระบบระบายความร้อนนี้ให้ค่า PPDF เท่ากับ $30.15 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ที่มีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์ของพืชที่ต่ำลงไปด้วย ต้นทุนราคาต่อค่า PPDF ที่ $1 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ที่มีการกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2 ซึ่งพบว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายต่อ 1 หน่วยอยู่ที่ 109.28 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนที่มีราคาที่สูงเท่ากับ โดยพิจารณาจากการลงทุนในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะเห็นได้ว่าระบบนี้มีการลงทุนให้การสร้างระบบที่สูงเท่ากับ 4,130 บาท แต่ผลลัพธ์ที่ได้คือค่า PPDF เท่ากับ $31.5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ที่สูงกว่าระบบที่มีการลงทุนต่ำซึ่งเกิดจากระบบระบายความร้อนต้องมีการเสริมอุปกรณ์เข้ามาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีที่ส่งทำให้ค่า PPDF ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยแต่เพียงพอที่พืชต้องการ ต้นทุนราคาต่อค่า PPDF ที่ $1 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ที่มีการกระจายค่า PPDF บนพื้นที่ 1 m^2 ซึ่งพบว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าใช้จ่ายต่อ 1 หน่วยอยู่ที่ 131.0 บาท ซึ่งในทำนองเดียวกันระบบระบายความร้อนที่มีการลงทุนสูงผลลัพธ์ที่ได้ตามคือมีอายุการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นกว่าระบบระบายความร้อนที่มีราคาต่ำ มีการซ่อมบำรุงน้อยครั้ง ซึ่งพบว่าระบบระบายความร้อนที่มีราคาสูง เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชที่มีพื้นที่มากกว่า 1 m^2 เช่นเดียวกับกับระบบระบายความร้อนที่ลงทุนต่ำมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทดลองออกแบบระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำขณะทดลองใช้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูง หลอดละ 10 W จำนวน 1 หลอด 2 หลอด 4 หลอด และ 8 หลอด ตามลำดับ จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5A ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถควบคุมอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงได้ไม่เกินค่าวิกฤตที่ 60 °C ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงลงได้เท่ากับ 73.5% จากอุณหภูมิสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนด้วย ฮีทซิงค์และสามารถสร้างค่า Photosynthetic Photon Flux Density (PPDF) หรือค่าสเปกตรัมแสง ที่มีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช เท่ากับ $31.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ และค่าความเข้มแสงเท่ากับ 1187 lux ได้สูงตามไปด้วยเมื่อเทียบระบบอื่นๆ จะเห็นได้ว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีข้อดีที่ระบบนี้สามารถเพิ่มโมดูลแสงได้โดยไม่ต้องเพิ่มการติดตั้งระบบปั้มน้ำและหม้อน้ำระบายความร้อน มีการซ่อมบำรุงที่น้อยครั้ง แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ มีการลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่สูงกว่าระบบระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ที่การส่องสว่างบนพื้นที่ 1 m^2

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยนี้พบว่าค่าอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ค่าสเปกตรัมแสงและค่าความเข้มแสงเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง โดยเมื่อหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงนั้นเกิดการกระจายความร้อนที่สูงมากเกินค่าวิกฤตทำให้หลอดแอลอีดีกำลังงานสูงนั้นเกิดความเสียหายและค่าความยาวคลื่นแสงนั้นลดลง ซึ่งมีผลกระทบต่อค่า PPDF ที่สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นจึงมีการสร้างระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงขึ้น เพื่อลดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงและยืดอายุการใช้งานของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูง ทำให้ค่าสเปกตรัมแสง และค่าความเข้มแสงคงที่เพื่อตอบสนองการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่าการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่สูง จึงเหมาะต่อการปลูกพืชบนพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ดีต่อการลงทุน

บรรณานุกรม

- Chew, I., Kalavally, V., Oo, N. W. & Parkkinen, J. 2559. Design of an energy-saving controller for an intelligent LED lighting system. **Energy and Buildings**, 120 1-9.
- Daliang Zhong, H. Q., Changhong Wang, Zecheng Xiao. 2553. Thermal Performance of Heatsink and Thermoelectric Cooler Packaging Designs in LED. p. In **International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging**.
- Jin-Sung Park, C.-S. H. 2556. A Study on Improved Efficiency and Cooling LED Lighting using a Seebeck Effect. p. In **IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy**.
- Li, J., Ma, B., Wang, R. & Han, L. 2554. Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal management of high-power LEDs. **Microelectronics Reliability**, 51(12), 2210-2215.
- Narendran, N. & Yimin, G. 2548. Life of LED-based white light sources. **IEEE Journal of Display Technology**, 1(1), 167-171.
- Ruttanapun, C. 2557. Thermoelectric Properties Improvement of Cu-based Delafossite by Partial Substitution Doping. **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง**, 2(23), 1-18.
- UPRtek. 2557. **PG100N Quantum Spectrometer**
- Wang, J., Zhao, X.-J., Cai, Y.-X., Zhang, C. & Bao, W.-W. 2558. Experimental study on the thermal management of high-power LED headlight cooling device integrated with thermoelectric cooler package. **Energy Conversion and Management**, 101 532-540.
- Yu. G. Gurevich , G. N. L.,2550. Theory of thermoelectric cooling in semiconductor structures. p. 337-349. In **REVISTA MEXICANA DE FISICA**.
- เกศภูษา. 2546. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple).
- กรวิทย์. 2018. LED Lighting Design for Indoor Planting Based on Daily Light Integral. **Agricultural Sci**, 498-501.

- ชาญวิทย์. 2551. A Study of Lighting Design Performance Using High Power LED. Document Number.
- ชนรัฐ. 2557. HEAT TRANSFER ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. In HEAT TRANSFER.
- ชนาพร. 2560. ผลกระทบของสัดส่วนของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จากหลอด LED ต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาของพืชเบญจมาศ คาร์เนชั่น ลิเซียนทัส และสตรอว์เบอร์รี่. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นวกัทร. 2555. Standard thermocouple / เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน. การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.
- นิตยา. 2557. Investigation of Effect of Air Flow direction by Thermoelectric Cooling System. p. In.
- ปานเทพ. 2557. เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ Fluke 2638A Hydra Series III
- ลีลาวดี. 2008. COLOR MIXING CONTROL OF POWER LEDs. BURAPHA UNIVERSITY.
- ศิริกุล. 2553. การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ศุภลักษณ์. 2556. การทดสอบประสิทธิภาพหลอดแอลอีดีโดยการออกแบบการทดลอง. มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุรศักดิ์. 2557. การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและน้ำผสมแวนอลอยในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อน

สมการหาประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อน

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{Q_{out}}{\text{Power}_{input \text{ to cooling system}}} \times 100\%$$

$$Q_{out} = Q_{without \text{ cooling system}} - Q_{with \text{ cooling system}}$$

$$\eta = \frac{(Q_{without \text{ cooling system}} - Q_{with \text{ cooling system}})}{IV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\left\{ \frac{[m_{LED} \cdot c_{p_{LED}}(T_2 - T_1)]}{t} \text{ without cooling} - \frac{[m_{LED} \cdot c_{p_{LED}}(T_2 - T_1)]}{t} \text{ with cooling} \right\}}{IV} \times 100\%$$

$$\left(\frac{m_{LED} \cdot c_{p_{LED}}}{t} \right)_{\text{without cooling}} = \left(\frac{m_{LED} \cdot c_{p_{LED}}}{t} \right)_{\text{with cooling}}$$

$$\eta = \frac{\{[(T_2 - T_1)]_{\text{without cooling}} - [(T_2 - T_1)]_{\text{with cooling}}\}}{IV} \times 100\%$$

$$T_{1\text{without cooling}} = T_{1\text{with cooling}} = 25^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{(T_2)_{\text{without cooling}} - (T_2)_{\text{with cooling}}}{IV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{(T_2)_{without\ cooling} - (T_2)_{with\ cooling}}{(I_{thermo\ electric} + I_{fan} + I_{water\ pump})V} \times 100\%$$



ตัวอย่างการคำนวณการหาประสิทธิภาพระบบระบายความร้อน

$$\eta = \frac{(T_2)_{without\ cooling} - (T_2)_{with\ cooling}}{IV} \times 100\%$$

เมื่อ $T_{2\ with\ out\ cooling} =$ อุณหภูมิที่ไม่ได้ระบายความร้อน เท่ากับ $81\ ^\circ\text{C}$

$T_{1\ with\ cooling} =$ อุณหภูมิที่ได้ระบายความร้อน เท่ากับ $30\ ^\circ\text{C}$

$I =$ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบระบายความร้อนเท่ากับ $1.5\ \text{A}$

$V =$ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) เท่ากับ $12\ \text{V}$

ตัวอย่าง

$$\eta = \frac{(81 - 31)}{(1.5) \times 12} \times 100\%$$

$$\eta = 5.543\ \%$$



ภาคผนวก ข
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลการทดลองอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 1 หลอด ด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ

เวลา (น.)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
8.30	26.37946	24.82602	25.57485	24.84799
8.31	26.47058	24.91594	28.89996	24.87171
8.32	26.51576	26.71792	33.48389	24.88752
8.33	26.56882	28.32788	35.26852	24.9067
8.34	26.66504	28.97348	36.13647	24.90283
8.35	26.77468	29.41669	36.78639	24.91034
8.36	26.9062	29.78001	37.2397	24.92109
8.37	27.02083	30.10494	37.56643	24.93212
8.38	27.15937	30.33404	37.97573	24.93511
8.39	27.28498	30.59095	38.33043	24.9504
8.4	27.42293	30.82344	38.59005	24.95192
8.41	27.54245	31.01542	38.76526	24.96183
8.42	27.66414	31.17891	39.02066	24.97725
8.43	27.78408	31.37368	39.21532	25.00112
8.44	27.88668	31.52703	39.39957	25.00789
8.45	28.00601	31.69594	39.52665	25.02714
8.46	28.11174	31.86493	39.71936	25.02508
8.47	28.21294	32.00948	39.88771	25.03576
8.48	28.30654	32.13326	40.05912	25.04367
8.49	28.40696	32.26923	40.21643	25.05995
8.50	28.5039	32.39251	40.35789	25.05433



8.51	28.59136	32.52778	40.53086	25.06225
8.52	28.67034	32.63391	40.65043	25.06192
8.53	28.75901	32.71994	40.74242	25.06234
8.54	28.83835	32.85252	40.8036	25.05723
8.55	28.90085	32.95652	40.88477	25.04766
8.56	28.98169	33.06825	40.91457	25.0423
8.57	29.05576	33.1419	40.96075	25.03539
8.58	29.13318	33.22639	40.98469	25.02776
8.59	29.1934	33.30555	41.08701	25.01678
9.00	29.24873	33.40335	41.20914	25.00328
9.01	29.30923	33.46038	41.23362	24.98456
9.02	29.3645	33.52682	41.30473	24.97462
9.03	29.42881	33.60192	41.33015	24.95311
9.04	29.49557	33.64996	41.36775	24.93795
9.05	29.54462	33.72707	41.40949	24.92441
9.06	29.59121	33.77525	41.44031	24.90076
9.07	29.64841	33.77098	41.44374	24.88113
9.08	29.67538	33.82484	41.46222	24.85903
9.09	29.72267	33.87712	41.48592	24.83708
9.10	29.75715	33.92837	41.48657	24.80488
9.11	29.81104	33.97944	41.52491	24.77745
9.12	29.84024	34.01584	41.54713	24.76778
9.13	29.88611	34.0529	41.56227	24.72702
9.14	29.9192	34.08881	41.6067	24.71726
9.15	29.96043	34.08736	41.62817	24.67674

9.16	29.98909	34.1175	41.59945	24.6552
9.17	30.01779	34.16307	41.60292	24.62104
9.18	30.04283	34.19209	41.61547	24.59042
9.19	30.07199	34.2253	41.60581	24.56168
9.20	30.08792	34.26516	41.6123	24.52998
9.2	30.12494	34.30476	41.60817	24.5113
9.21	30.1509	34.32162	41.62451	24.47698
9.22	30.17648	34.35289	41.59573	24.44987
9.23	30.20867	34.36922	41.62878	24.44695
9.24	30.23834	34.3987	41.65902	24.42816
9.25	30.25438	34.42484	41.67541	24.41226
9.26	30.27279	34.43106	41.65731	24.39614
9.27	30.30076	34.46197	41.65013	24.39027
9.28	30.27279	34.43106	25.57485	24.84799
9.29	30.30076	34.46197	28.89996	24.87171
9.30	30.27279	34.46197	33.48389	24.88752

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลการทดลองอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 2 หลอด ด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ

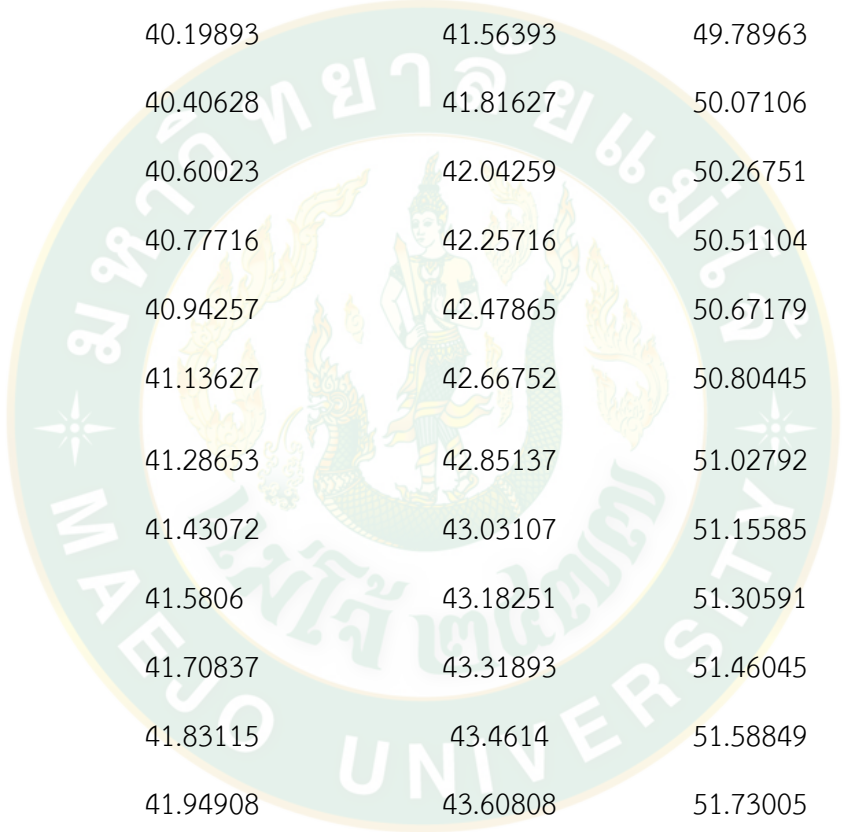
เวลา (น.)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
10.00	25.14838	25.72524	25.57485	24.84799
10.01	25.23668	25.90981	28.89996	24.87171
10.02	27.25663	28.86212	33.48389	24.88752
10.03	30.71446	31.20123	35.26852	24.9067
10.04	32.01466	32.30354	36.13647	24.90283
10.05	32.81347	33.03846	36.78639	24.91034
10.06	33.44939	33.57615	37.2397	24.92109
10.07	34.03025	34.05818	37.56643	24.93212
10.08	34.56104	34.49951	37.97573	24.93511
10.09	35.03313	34.90519	38.33043	24.9504
10.10	35.44922	35.28094	38.59005	24.95192
10.11	35.85126	35.63079	38.76526	24.96183
10.12	36.22892	35.9752	39.02066	24.97725
10.13	36.55774	36.27897	39.21532	25.00112
10.14	36.88875	36.57601	39.39957	25.00789
10.15	37.20065	36.86	39.52665	25.02714
10.16	37.51239	37.14164	39.71936	25.02508
10.17	37.78502	37.40196	39.88771	25.03576
10.18	38.04546	37.66554	40.05912	25.04367
10.19	38.2793	37.9044	40.21643	25.05995
10.20	38.50828	38.13388	40.35789	25.05433

10.21	38.72916	38.36384	40.53086	25.06225
10.22	38.92754	38.57359	40.65043	25.06192
10.23	39.13699	38.78254	40.74242	25.06234
10.24	39.32676	38.96341	40.8036	25.05723
10.25	39.48021	39.16897	40.88477	25.04766
10.26	39.63702	39.35748	40.91457	25.0423
10.27	39.80066	39.54693	40.96075	25.03539
10.28	39.92957	39.71816	40.98469	25.02776
10.29	40.0396	39.89476	41.08701	25.01678
10.30	40.16478	40.05471	41.20914	25.00328
10.31	40.27105	40.19107	41.23362	24.98456
10.32	40.41555	41.67393	41.30473	24.97462
10.33	40.51313	41.77687	41.33015	24.95311
10.34	40.62006	41.86912	41.36775	24.93795
10.35	40.73045	41.95317	41.40949	24.92441
10.36	40.84958	42.03228	41.44031	24.90076
10.37	40.92848	42.11801	41.44374	24.88113
10.38	41.02015	42.17945	41.46222	24.85903
10.39	41.11084	42.23376	41.48592	24.83708
10.40	41.18955	42.79257	41.48657	24.80488
10.41	41.24805	42.81631	41.52491	24.77745
10.42	41.31841	42.85899	41.54713	24.76778
10.43	41.38121	42.92142	41.56227	24.72702
10.44	41.43415	42.98102	41.6067	24.71726
10.45	41.49367	43.02098	41.62817	24.67674

10.46	41.5702	43.05722	41.59945	24.6552
10.47	41.62903	43.08661	41.60292	24.62104
10.48	41.68255	43.12444	41.61547	24.59042
10.49	41.72828	43.15407	41.60581	24.56168
10.50	41.78173	43.20705	41.6123	24.52998
10.51	41.82542	43.94531	41.60817	24.5113
10.52	41.84651	43.96061	41.62451	24.47698
10.53	41.89038	43.97966	41.59573	24.44987
10.54	41.94323	43.98854	41.62878	24.44695
10.55	41.97501	44.00489	41.65902	24.42816
10.56	41.97501	44.00834	41.67541	24.41226
10.57	41.97501	44.01542	41.65731	24.39614
10.58	41.97501	44.02004	41.65013	24.39027
10.59	41.97501	44.02004	41.65013	24.84799
11.00	41.97501	44.02004	41.65013	24.87171
11.01	41.97501	44.02004	41.65731	24.88752

ตารางภาคผนวกที่ 3 ข้อมูลการทดลองอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 4 หลอด ด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ

เวลา (น.)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยฮีทไปป์ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ (°C)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)
13.00	25.01171	25.12215	25.62333	24.84799
13.01	25.10596	25.26798	25.88803	24.87171
13.02	26.95504	27.09593	26.12457	24.88752
13.03	28.89063	28.23506	30.01645	24.9067
13.04	29.9714	29.17298	33.37098	24.90283
13.05	30.84969	30.05264	35.45268	24.91034
13.06	31.63709	30.9631	36.95355	24.92109
13.07	32.32386	31.77132	38.19911	24.93212
13.08	32.98904	32.58857	39.3551	24.93511
13.09	33.62024	33.33886	40.3927	24.9504
13.10	34.18214	34.02294	41.41097	24.95192
13.11	34.72136	34.70033	42.26521	24.96183
13.12	35.261	35.3152	43.05348	24.97725
13.13	35.75461	35.89397	43.79307	25.00112
13.14	36.16823	36.48446	44.44464	25.00789
13.15	36.59076	37.04636	45.10556	25.02714
13.16	36.99334	37.54507	45.65411	25.02508
13.17	37.3746	38.02525	46.164	25.03576
13.18	37.74913	38.48574	46.67216	25.04367
13.19	38.08158	38.89499	47.13787	25.05995
13.20	38.41116	39.30853	47.52948	25.05433



13.21	38.70799	39.66714	47.96129	25.06225
13.22	38.96687	40.03097	48.33135	25.06192
13.23	39.23808	40.37206	48.6493	25.06234
13.24	39.4962	40.68443	48.96952	25.05723
13.25	39.7493	40.97496	49.30163	25.04766
13.26	39.98434	41.29444	49.56713	25.0423
13.27	40.19893	41.56393	49.78963	25.03539
13.28	40.40628	41.81627	50.07106	25.02776
13.29	40.60023	42.04259	50.26751	25.01678
13.30	40.77716	42.25716	50.51104	25.00328
13.31	40.94257	42.47865	50.67179	24.98456
13.32	41.13627	42.66752	50.80445	24.97462
13.33	41.28653	42.85137	51.02792	24.95311
13.34	41.43072	43.03107	51.15585	24.93795
13.35	41.5806	43.18251	51.30591	24.92441
13.36	41.70837	43.31893	51.46045	24.90076
13.37	41.83115	43.4614	51.58849	24.88113
13.38	41.94908	43.60808	51.73005	24.85903
13.39	42.06189	43.72661	51.82652	24.83708
13.40	42.16563	43.86018	51.86148	24.80488
13.41	42.26798	43.98858	51.91814	24.77745
13.42	42.37385	44.07398	52.06262	24.76778
13.43	42.48178	44.21637	52.15313	24.72702
13.44	42.55198	45.00916	52.23441	24.71726
13.45	42.64566	45.06929	52.268	24.67674

13.46	42.72167	45.13104	52.37552	24.6552
13.47	42.81831	45.18099	52.41178	24.62104
13.48	42.88786	45.25108	52.46061	24.59042
13.49	42.95511	46.00004	52.42978	24.56168
13.50	43.0211	46.5.0001	52.52507	24.52998
13.51	43.07914	47.00114	52.55917	24.5113
13.52	43.10442	47.26444	52.58279	24.47698
13.53	43.15449	48.08425	52.62306	24.44987
13.54	43.20257	48.20776	52.71329	24.44695
13.55	44.00447	48.28778	52.70454	24.42816
13.56	44.014	48.32464	52.65433	24.41226
13.57	44.03927	48.32458	52.7343	24.39614
13.58	44.03455	48.32349	52.77973	24.39027
13.59	44.03927	48.32349	52.77973	24.84799
14.00	44.03455	48.32349	52.77973	24.87171
14.01	44.03455	48.32349	52.77973	24.88752

ตารางภาคผนวกที่ 4 ข้อมูลการทดลองอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงจำนวน 8 หลอด
ด้วยระบบระบายความร้อนทั้ง 3 ระบบ

เวลา (น.)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีกำลังงานสูงที่ ระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนด้วยน้ำ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดี กำลังงานสูงที่ระบายความ ร้อนด้วยฮีทไปป์ (°C)	อุณหภูมิของหลอดแอลอีดี กำลังงานสูงที่ระบายความ ร้อนด้วยฮีทซิงค์ (°C)	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
15.00	25.12215	22.00049	24.87262	24.84799
15.01	25.26798	22.05789	27.75824	24.87171
15.02	27.09593	22.10044	30.38667	24.88752
15.03	28.23506	23.93017	32.77031	24.9067
15.04	29.17298	25.93501	35.0204	24.90283
15.05	30.05264	27.65082	37.03518	24.91034
15.06	30.9631	29.18542	38.92044	24.92109
15.07	31.77132	30.62173	40.52321	24.93212
15.08	32.58857	31.99977	41.68449	24.93511
15.09	33.33886	33.26522	42.90575	24.9504
15.10	34.02294	34.45515	43.9861	24.95192
15.11	34.70033	35.5781	45.05979	24.96183
15.12	35.3152	36.58891	46.35891	24.97725
15.13	35.89397	37.60889	47.26976	25.00112
15.14	36.48446	38.53595	48.26805	25.00789
15.15	37.04636	39.37617	49.0135	25.02714
15.16	37.54507	40.13288	49.97807	25.02508
15.17	38.02525	40.88948	50.59513	25.03576
15.18	38.48574	41.58448	51.12965	25.04367
15.19	38.89499	42.27072	51.96743	25.05995
15.20	39.30853	42.85176	52.62158	25.05433



15.21	39.66714	43.41845	52.88574	25.06225
15.22	40.03097	44.01433	53.60647	25.06192
15.23	40.37206	44.53297	53.82632	25.06234
15.24	40.68443	44.98149	54.24968	25.05723
15.25	40.97496	45.41434	54.68285	25.04766
15.26	41.29444	45.83802	55.20801	25.0423
15.27	41.56393	46.24531	55.67336	25.03539
15.28	41.81627	46.62508	55.65903	25.02776
15.29	42.04259	46.92271	55.6314	25.01678
15.30	42.25716	47.21869	56.00029	25.00328
15.31	42.47865	47.53111	56.25539	24.98456
15.32	42.66752	47.78436	55.87069	24.97462
15.33	42.85137	48.01347	56.1978	24.95311
15.34	43.03107	48.29299	56.53198	24.93795
15.35	43.18251	48.50695	56.63066	24.92441
15.36	43.31893	48.74651	56.44874	24.90076
15.37	43.4614	48.96971	56.82414	24.88113
15.38	43.60808	49.22948	56.69967	24.85903
15.39	43.72661	49.40092	56.88489	24.83708
15.40	43.86018	49.57407	57.40601	24.80488
15.41	43.98858	49.73495	57.26281	24.77745
15.42	44.07398	49.93216	57.53968	24.76778
15.43	44.21637	50.13414	57.41578	24.72702
15.44	44.29519	50.30503	57.55717	24.71726
15.45	44.39841	50.43755	57.61123	24.67674

15.46	44.47474	50.49503	57.66273	24.6552
15.47	44.57034	50.65608	57.58787	24.62104
15.48	44.64102	50.80431	57.67163	24.59042
15.49	44.72404	50.90761	57.96965	24.56168
15.50	44.79655	51.006	57.81719	24.52998
15.51	45.06929	51.12168	57.90682	24.5113
15.52	45.13104	51.23886	57.75826	24.47698
15.53	46.18099	51.36588	58.03889	24.44987
15.54	46.25108	51.44456	58.0288	24.44695
15.55	46.32117	51.48545	58.17849	24.42816
15.56	46.39126	51.55863	58.18764	24.41226
15.57	46.46135	51.66161	58.18679	24.39614
15.58	46.53144	51.71981	58.19594	24.39027
15.59	46.53144	51.71981	24.87262	24.84799
16.00	46.53144	51.71981	27.75824	24.87171
16.01	46.53144	51.71981	30.38667	24.88752



ภาคผนวก ค
งานวิจัยที่เผยแพร่

การเผยแพร่งานวิจัยในงานประชุมวิชาการ

- (1.) เผยแพร่งานวิจัยหัวข้อ เรื่อง ระบบระบายความร้อน สำหรับ RGB แอลอีดีกำลังงานสูงด้วยการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด The High Power RGB LED Thermal Cooling System by Using Thermoelectric with Closed-Loop Water Cooling System ในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่
- (2.) เผยแพร่งานวิจัยหัวข้อ เรื่อง การควบคุมอุณหภูมิหลอด RGB LED กำลังงานสูง 80 W ด้วยเทคนิคเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ The Temperature Control of RGB LED High Power 80 watt By Thermoelectric with Liquid Cooling System Technique ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนครศรีอยุธยา ครั้งที่ 3 Proceedings of the 3rd. RMUTP Conference of Engineering and Technology ระหว่างวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2561 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัด กรุงเทพมหานคร

E-NETT 13TH

การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
13TH CONFERENCE ON ENERGY NETWORK OF THAILAND
 “ Sustainable Energy Development for Community and Innovation ”

31 พ.ค. - 2 มิ.ย. 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



**MAEJO
GO ECO
UNIVERSITY**

ITALTHAI
บริษัท อิตัลไทย จำกัด

STC
สตาร์ทอัพ
สตาร์ทอัพ

cristalla
TCC smart industry

SCB
ไทยพาณิชย์

จัดการประชุมโดย : วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ร่วมกับ วิทยาลัยเทคโนโลยีระบบงคลธรณีบุรี

www.e-nett.org Enett13.mju@gmail.com 053 875590 fax : 053 875599

ประสาทเทียม		
ENETT13-CE-181	การตรวจทานกบนหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพ	386-391
ENETT13-CE-194	ระบบเฝ้าตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านเว็บไซต์ในโรงเรือนเพาะเห็ด	392-397
ENETT13-CE-198	การวิเคราะห์และจำลองชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าแบบสมาร์ทสำหรับแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์	398-402
ENETT13-CE-199	การจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์เอชบริดจ์หลายระดับสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยใช้การมอดูเลตแบบ PD-PWM และ PS-PWM	403-408
ENETT13-CE-202	วิธีการลดการสูญเสียจากการสวิตช์ของตัวเรียงกระแสสองระดับชนิดทิศทางเดียวแบบเคล็ดำบนพื้นฐานวิธีการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์	409-414
ENETT13-CE-204	วิธีการสร้างสัญญาณขับนำสวิตช์แบบไม่ต่อเนื่องบนฐานการมอดูเลตเชิงสเปซเวกเตอร์ เพื่อลดการสูญเสียจากการสวิตช์ของสวิตช์กำลังสำหรับอินเวอร์เตอร์สามระดับชนิดครึ่งจุดนิวทรัล	415-420
ENETT13-CE-210	ระบบระบายความร้อน สำหรับ RGB แอลอีดีกำลังงานสูงด้วยการใช้ เทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด	421-426
ENETT13-CE-211	อุปกรณ์ตรวจสอบสมรรถนะการทำความเย็นเบื้องต้นโดยพิจารณาคุณสมบัติของสารทำความเย็น ชนิด R22 ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และชนิด R134a ของเครื่องปรับอากาศในรถยนต์	427-432
ENETT13-CE-214	การวิเคราะห์สัญญาณเวลาที่เครื่องรับสัญญาณ GNSS กับสัญญาณเวลาระบบ	433-438
ENETT13-CE-229	การออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์รูปคลื่นไซน์ความถี่สูงโดยใช้เทคนิคยูนิโพลาร์เอสทีดับสวิตช์ สำหรับวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย	439-447
ENETT13-CE-230	การวิเคราะห์จุดกำลังงานสูงสุดของระบบส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย	448-452

ระบบระบายความร้อน สำหรับ RGB และอีดีทีกำลังงานสูงด้วยการใช้
 เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด
 The High Power RGB LED Thermal Cooling System by Using Thermoelectric with Closed-
 Loop Water Cooling System

ประสิทธิ์ นิลรัตน์, ธงชัย มณีบุญสุข

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 63/1 หมู่ 6 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
 รหัสไปรษณีย์ 50290

*Email: pradit_nirat@hotmail.com, Tel. 0806774572

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอระบบระบายความร้อนของหลอด RGB และอีดีทีกำลังงานสูงขนาด 20 วัตต์ ด้วยการใช้น้ำและเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำเป็นสารทำงานแบบวงปิด โดยทดสอบกับอัตราการไหลของน้ำที่ 1 L/min. และ 2 L/min. จากการทดสอบพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 2 L/min. สามารถทำให้อุณหภูมิที่แหล่งกำเนิดของหลอด RGB และอีดีทีกำลังงานสูงลดลงจนกระทั่งคงที่เท่ากับ 30 °C และที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min. มีอุณหภูมิเท่ากับ 35 °C ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถทำได้ ณ ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min. และ 2 L/min. มีค่าเท่ากับ 122.81 W และ 175.85 W ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าระบบระบายความร้อน RGB และอีดีทีกำลังงานสูงขนาด 20 วัตต์ที่ใช้น้ำและอีดีทีกำลังงานสูงที่ไหลในระบบที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 2 L/min.

คำหลัก: RGB และอีดีทีกำลังงานสูง เทอร์โมอิเล็กทริก ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิด

Abstract

In this paper, the new technique of the 20 watt high power RGB LED thermal cooling system by using thermoelectric with closed-loop water cooling system is presented. The system testing with the water flow rate are 1 L / min. and 2 L / min., it is found that at a flow rate of 2 L / min, the temperature of the high power RGB LED substrate is decreasing and stable at 30 °C. For a flow rate of 1 L / min. Its temperature is 35 °C. The heat transfer coefficient of system at the flow rate of 1 L / min. and 2 L / min. are 122.81 watt and 175.85 watt respectively. It was found that the proposed 20 watt high power RGB LED cooling system, the flow rate of the water in the appropriate system is 2 L / min.

Keywords: RGB LED, thermoelectric, heat exchanger

1. บทนำ

ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diodes) หรือ แอลอีดี (LEDs) เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่เปล่งแสงที่มีประสิทธิภาพสูงมากต่อการเปล่งแสงในอุตสาหกรรมหลอดไฟฟ้ ในปัจจุบันหลอด LED ได้รับความพัฒนาทั้งทางด้านประสิทธิภาพความสว่างและคุณภาพสี โดยมีการนำไปใช้ทดแทนหลอดไส้ชนิดเดิมเกือบทุกประเภท อย่างไรก็ตามทางด้านเกษตรกรรมหลอด LED ยังมีบทบาทสำคัญต่อการปลูกพืชในโรงเรือนเป็นอย่างมากเนื่องจากมีคุณลักษณะที่ดีต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายประการ เช่น มีความยาวคลื่นแสง สีของแสง อุณหภูมิและความเข้มแสง ที่เหมาะสมต่อการอบการสังเคราะห์แสง (photo synthesis) ของพืช อีกทั้งยังมีราคาถูกและมีอายุการ

ใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไฟประเภทอื่นๆ การเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตร ค่าตัวแปรทางธรรมชาติที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชคือความเข้มแสงและสเปกตรัมความยาวคลื่นของแสง อุณหภูมิของหลอด LED จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของพืช เพราะตัวของหลอด LED กำลังงานสูง (High Power LED) ให้ค่าการกระจายความร้อนที่แหล่งกำเนิดของหลอด LED สูงมาก จึงเป็นปัญหาหลักที่สำคัญของการพัฒนาการส่องสว่างของหลอด LED ดังนั้นเมื่อความร้อนของหลอด LED มีอุณหภูมิสูงมากเกินกว่าวิกฤติจะทำให้ค่าความยาวคลื่นแสงของหลอด LED นั้นเปลี่ยนไปจากเดิมและค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอด LED จะเพิ่มมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของแสงจากหลอด LED อันเนื่องมาจาก

ความร้อนในตัวหลอด LED นี้จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชโดยตรงเมื่อมีการเพาะปลูกพืชที่อาศัยแสงจากหลอด LED เพราะฉะนั้นการใช้งานหลอด LED กำลังงานสูงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนออกจากแหล่งตัวนำของหลอด LED ที่พืชจึงจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของหลอด LED ไม่เปลี่ยนแปลงไป จากการสืบค้นตรวจสอบบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดความร้อนให้กับหลอด LED กำลังงานสูงได้มีผู้ทำการศึกษาและวิจัยดังนี้

ในปี ค.ศ. 2005 Jan-Han C. และคณะ [1] ได้นำเสนอสมรรถนะการทำความร้อนให้กับ LED กำลังงานสูงโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric, TEC) โดยมีเหตุผลทั้งสองด้านของ TEC ที่สร้างจากวัสดุซิลิกอน ซึ่งแตกต่างจาก TEC ที่มีใช้โดยทั่วไปที่ผลิตสร้างขึ้นจากเซรามิกโดยทำการทดสอบวัดค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมกับอุณหภูมิแหล่งกำเนิดของ TEC ทำการศึกษากับ TEC ชนิด 12 คู่และ 16 คู่ โดยใช้กึ่งตัวนำที่แรงดันเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ จากผลการศึกษาพบว่าค่าผลต่างของอุณหภูมิสูงสุดของ TEC ชนิด 12 คู่และ 16 คู่คือ 11.5 °C และ 24.9 °C ตามลำดับ ผลของสมรรถนะการทำความร้อนของ TEC ที่มีเหตุผลเป็นซิลิกอนอยู่บน LED กำลังงานสูงที่หาทางอื่นคือวิธี electrical-thermal conversion จะพบว่าค่าความต้านทานเชิงอุณหภูมิของ LED (LED thermal-resistance) ระหว่างรอยต่อกับสภาพแวดล้อมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ปี ค.ศ. 2010 Daliang Z. และคณะ [2] ได้ศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิของหลอด LED ใน 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกส์ TEC ร่วมกับฮีตซิงค์และพัดลม รูปแบบที่ 2 ใช้ ฮีตซิงค์และพัดลม รูปแบบที่ 3 การใช้ฮีตซิงค์เพียงอย่างเดียว เพื่อแก้ปัญหาในการระบายความร้อนของหลอด LED ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วลมของฮีตซิงค์อยู่ที่ 3.6 m/s ประสิทธิภาพของ TEC ร่วมกับฮีตซิงค์และพัดลมเป็นวิธีดีกว่าวิธีฮีตซิงค์ร่วมกับพัดลมเมื่อใช้ขนาดของหลอดน้อยกว่า 35 W และจะมีประสิทธิภาพของ TEC สูงสุดเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 3.0 - 3.5 A. และปี ค.ศ. 2011 Zhong L. และคณะ [3] ได้ศึกษาผลของการระบายความร้อนของหลอด LED ด้วยแผ่นอุณหภูมิแบบ oscillating heat pipes (OHP) ที่มีการเชื่อมต่อกันในช่องเป็นรูปสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับ conventional tubular OHP ที่มีท่อในลักษณะเป็นรูป (loop) การทดลองในครั้งนี้ใช้อะซิโตน (acetone) เป็นของเหลวในการทำงานและทดสอบกับหลอด LED จำนวน 4 หลอด ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการระบายความร้อนด้วยแผ่นอุณหภูมิแบบ oscillating heat pipes (OHPs) สามารถระบายความร้อนได้คงที่ 50 °C ส่วน conventional tubular อุณหภูมิอยู่ที่ 65 °C ปี ค.ศ. 2011 Junhui L. และคณะ [4] ได้นำเสนอเปรียบเทียบการนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

จิกส์ TEC มาใช้ในการระบายความร้อนร่วมกับการใช้ฮีตซิงค์และพัดลมในรูปแบบที่ 1 และในรูปแบบที่ 2 โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกส์มาใช้ฮีตซิงค์และพัดลมเพียงอย่างเดียวในการทดลองใช้หลอดไฟ LED ขนาด 3 W จำนวน 6 หลอด ทดสอบอุณหภูมิแวดล้อมที่ 17 °C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกส์สามารถทำให้อุณหภูมิที่รอยต่อระหว่างหลอด LED กับตัวนำของ TEC มีอุณหภูมิลดลงอยู่ที่ 45 °C และต่อมาในปี ค.ศ. 2015 Jing W. และคณะ [5] ได้นำเสนอการลดความร้อนของหลอด LED ขนาด 3 W สีขาว จำนวน 2 หลอดโดยทำการทดลองใช้การลดอุณหภูมิด้วย TEC ร่วมกับฮีตซิงค์และพัดลมการทดลองที่ 2 ใช้ TEC ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 40x40x12 cm³ และใช้น้ำเย็นเป็นสารนำ ทั้งนี้ในการทดลองจะใช้น้ำเย็นที่มีการควบคุมความเย็นคงที่ตลอดเวลาในการทดลองโดยไม่นำน้ำเย็นวนกลับมาใช้ใหม่ ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่รอยต่อระหว่างหลอด LED และ TEC ร่วมกับ ฮีตซิงค์และพัดลมมีอุณหภูมิอยู่ที่ 85.6 °C และที่รอยต่อระหว่างหลอด LED และ TEC ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำเย็นเป็นสารทำงานอุณหภูมิจะอยู่ที่ 59.5 °C

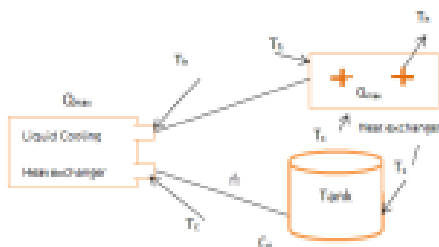
สำหรับบทความนี้ได้นำเสนอระบบระบายความร้อนของหลอด RGB LED ชนิด 3 ท. โดยในหนึ่งหลอดจะมี LED สีแดง เขียว และน้ำเงินสามารถควบคุมความเข้มของแสงแต่ละสีได้เป็นอิสระต่อกัน เป็น RGB LED กำลังงานสูง ขนาด 10 W จำนวน 2 หลอดโดยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกส์ TEC ร่วมกับอุปกรณ์ระบายความร้อนโดยมีน้ำเย็นเป็นสารทำงานแบบวงปิด

2. หลักการและทฤษฎี

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger)แสดงดังต่อไปนี้

$$Q_{max} = \dot{m}C_p\Delta T \tag{1}$$

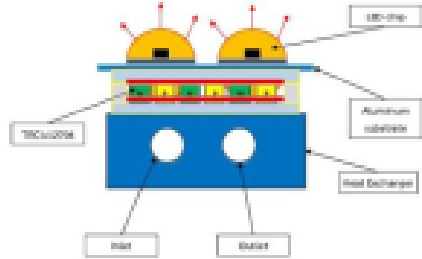
- เมื่อ
- Q_{max} = เป็นปริมาณความร้อนที่ทิ้งออก
- \dot{m} = เป็นมวลของน้ำ
- C_p = เป็นค่าความจุความร้อนของน้ำ
- ΔT = เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำและอากาศ



รูปที่ 1 การหาสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger)

3. หลักการที่นำเสนองาน

ในงานความนี้ได้นำเสนอการลดอุณหภูมิของหลอด LED กำลังงานสูงขนาด 10 w ที่มีหลอด LED สี RGB 3 สี รวมอยู่ในหลอดเดียวกันจำนวน 2 ตัวจะได้กำลังงานรวมของหลอด LED เป็น 20 w โดยใช้อุปกรณ์การลดอุณหภูมิประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมขนาด 45 x 45 x 1 m² และแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อน TEC model TEC1-12706 ที่มีขนาด 40 x 40 x 4 m² ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำเป็นสารทำงานขนาด 40 x 40 x 12 m³ โครงสร้างอุปกรณ์ระบายความร้อนดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2

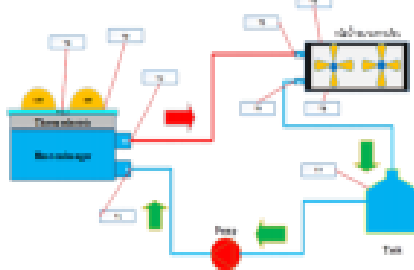


รูปที่ 2 โครงสร้างตัวระบายความร้อน LED กำลังงานสูง

ในการทดลองได้ดำเนินการทดลองด้วยการทดสอบอัตราการไหลของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ 1L/min. และ 2L/min. อัตราการไหลของน้ำปรับด้วยการใช้ (pulse width modulation) หรือ PWM ปรับความเร็วมอเตอร์ของปั๊มน้ำ แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำงานที่แหล่งจ่ายไฟ 12 V และหม้อน้ำระบายความร้อน ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนของน้ำที่รับที่จากวัสดุที่เป็นอลูมิเนียมมีขนาด 257(L) x 120(W) x 30(H) m² น้ำหนัก 717 กรัม มีจำนวนครีบ 17-20 ครีบ และมีที่ผสมขนาด 105(D) x 105(W) m² จำนวน 2 ตัวทำ

หน้าที่ระบายความร้อนของตู้สภาพแวดล้อมและพัดลมใช้แรงดันไฟฟ้า 12V และใช้เป็นน้ำ DC ขนาด 12V เพื่อหมุนเวียนน้ำไปใช้ในการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดอยู่กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกส์ TEC และระบบนี้ยังมีถังเก็บน้ำเย็น ขนาด 5 ลิตร ที่จับด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อที่จะรักษาอุณหภูมิของน้ำเย็นให้คงที่ สำหรับโครงสร้างระบบระบายความร้อนแบบวงปิดแสดงรูปที่ 4

3.1. การวัดอุณหภูมิแสดงได้ดังตารางที่ 1 และตำแหน่งเครื่องวัดแสดงดังรูปที่ 3 ทำการทดสอบ ณ ที่อุณหภูมิห้อง 25°C ทั้งนี้การตรวจวัดอุณหภูมิของระบบทั้งหมดใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ผ่านไมโครตรวจวัดอุณหภูมิ MAX-6675 ยกเว้นอุณหภูมิที่น้ำในถังใช้เทอร์โม DS-18B20



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของระบบระบายความร้อนแบบวงปิด

ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิแต่ละจุดในระบบระบายความร้อน

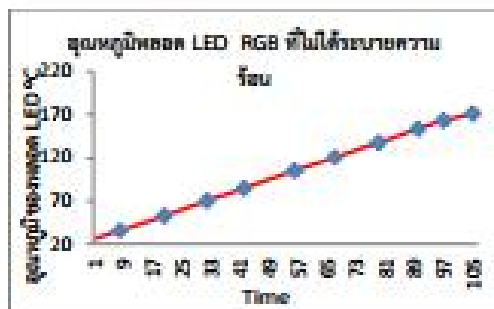
จุดที่	ตำแหน่งที่ตรวจวัด
T1	อุณหภูมิน้ำเข้าที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
T2	อุณหภูมิน้ำออกที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
T3	อุณหภูมิน้ำเข้าที่หม้อน้ำระบายความร้อน
T4	อุณหภูมิน้ำออกที่หม้อน้ำระบายความร้อน
T5	อุณหภูมิอากาศออกที่หม้อน้ำระบายความร้อน
T6	อุณหภูมิอากาศเข้าที่หม้อน้ำระบายความร้อน
T7	อุณหภูมิที่ใบพัด
T8	อุณหภูมิที่หลอด RGB LED
T9	อุณหภูมิที่ RGB LED



รูปที่ 4 โครสสร้างระบบระบายความร้อนแบบวนปิด

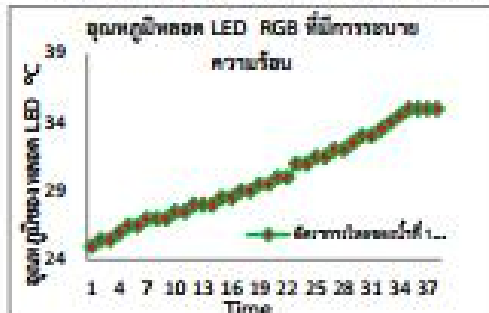
4. ผลการทดลอง

ส่วนแรกเป็นการตรวจวัดอุณหภูมิของหลอด RGB LED กำลังงานสูงโดยไม่มีการระบายความร้อนให้กับหลอด RGB LED แสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การฟอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีที่ไม่มีตัวระบายความร้อน

จากการทำการทดลอง รูปที่ 5 พบว่าหลอด RGB LED ขนาด 10 W จำนวน 2 หลอด จะให้ฟอุณหภูมิสูงสุด 170 °C เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 170 °C หลอด RGB LED ก็จะเสียหาย ดังนั้นทำการฟอุณหภูมิของหลอด RGB LED กำลังงานสูงโดย การปรับอัตราการไหลของน้ำไว้ที่ 1 L/min. ในการระบาย ความร้อนให้กับหลอด RGB LED แสดงได้ดังรูปที่ 6



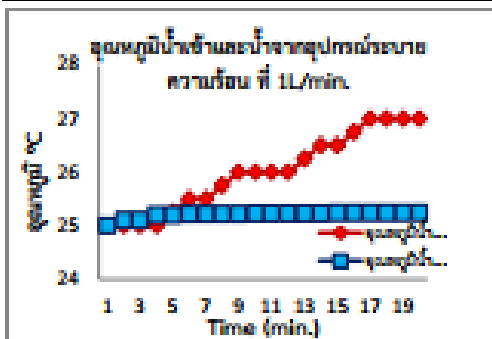
รูปที่ 6 การฟอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีที่มีทำการทดสอบ อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min.

จากการทำการทดลองรูปที่ 6 พบว่าหลอด RGB LED ขนาด 20 W จะมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 35 °C ดังนั้นการ ตรวจวัดอุณหภูมิของหลอด RGB LED กำลังงานสูงโดยไม่มี อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 2 L/min. ในการระบายความร้อน ให้กับหลอด RGB LED แสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การฟอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีที่มีอัตราการไหลของ น้ำอยู่ที่ 2 L/min.

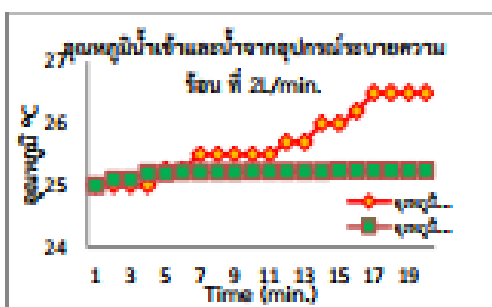
จากการทำการทดลองรูปที่ 7 พบว่าหลอด RGB LED ขนาด 20 W จะให้ฟอุณหภูมิอยู่ที่ 30 °C และค่าอุณหภูมิ น้ำที่เข้า และน้ำออกของอุปกรณ์และกั้นความร้อนและฟมีอัตราการระบาย ความร้อนโดยการปรับอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 1 L/min. แสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกทำการวัดอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 1 L/min.

จากการทำการทดสอบรูปที่ 8 จะพบว่าอุณหภูมิของน้ำเข้าอยู่ที่ 25.24 °C และอุณหภูมิน้ำออกสูงสุดและคงที่อยู่ที่ 27 °C จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนส่งออกไป ที่อุณหภูมิน้ำออกสูงสุด 27 °C และอุณหภูมิน้ำเข้า 25.24 °C ได้เท่ากับ 122.85 W และค่าปริมาณความร้อนที่หม้อน้ำระบายความร้อนส่งออกไปโดยอุณหภูมิอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านครีบน้ำร้อนน้ำเท่ากับ 25 °C จะได้เท่ากับ 125.35 W

สำหรับอัตราการไหลของน้ำที่ 2 L/min. อุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและหม้อน้ำแสดงดังที่รูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกที่อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 2 L/min.

จากการทำการทดสอบรูปที่ 9 จะพบว่าอุณหภูมิของน้ำเข้าอยู่ที่ 25.24 °C และน้ำออกสูงสุดคงที่อยู่ที่ 26.5 °C โดยคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ส่งออกไปของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและหม้อน้ำระบายความร้อนได้เท่ากับ 178.85 W และ 180 W ตามลำดับ

จากการทดสอบจะพบว่าอัตราการไหลของน้ำ 2 L/min. สามารถระบายความร้อนของหลอด RGB LED ขนาด 20 W ได้ดีกว่าอัตราการไหลของน้ำขนาด 1 L/min. ทั้งนี้อุณหภูมิที่หลอดของ RGB LED มีค่าเท่ากับ 30 °C

5. สรุปผลการทดลอง

ระบบระบายความร้อน LED RGB กำลังงานสูงจำนวนสองหลอดมีค่ากำลังงานของหลอดรวมเท่ากับ 20 วัตต์ เมื่อใช้ระบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำเป็นสารทำงานแบบวนปิด จะมีค่าอุณหภูมิที่หลอดของหลอด RGB LED กำลังงานสูงคงที่เท่ากับ 30 °C เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 2 L/min. และอุณหภูมิน้ำเข้าน้ำออกมีอุณหภูมิอยู่ที่ 25.24 °C และ 26.5 °C ตามลำดับ ค่าผลต่างของค่าความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอัตราการไหล 2 L/min. และ 1 L/min. มีค่าเท่ากับ 53.5 W (178.85 W - 125.35 W = 53.5 W) และพบว่าอัตราการไหลของน้ำที่ 2 L/min. สามารถระบายความร้อนให้กับหลอด RGB LED กำลังงานสูง ขนาด 20 W ได้ดีกว่า 1 L/min.

๕. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนในโครงการการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนในกรอบต้นแบบศึกษาศึกษาวิจัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จิตเวชอนุคุณ มา ณ ที่นี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] C.-K. L. Jen-Hau Cheng, "Cooling Performance of Silicon-Based Thermoelectric Device on High Power LED," *International Conference on Thermoelectrics*, 2005.
 [2] H. Q. C. W. Z. X. Daliang Zhong, "Thermal Performance of Heatsink and Thermoelectric Cooler Packaging Designs in LED," *In International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, 2010.
 [3] S. W. a. Zhirong Lin a, "Heat transfer characteristics and LED heat sink application of aluminum plate," *Contents lists available of ScienceDirect*, pp. 2221-2229, 5 March 2011.


- [4] B. M. R. W. L. H. Junhui Li, "Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal," *ScienceDirect*, p. 2210-2215, 13 May 2011.
- [5] X.-J. Z. Jing Wang, "Experimental study on the thermal management of high-power LED," *ScienceDirect*, p. 532-540, 17 May 2015.

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มท.พระนคร ครั้งที่ 3

The 3rd RMUTP Conference on Engineering and Technology

“การพัฒนางานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม
ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ในยุคอุตสาหกรรม 4.0”

23 มีนาคม 2561
ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
 การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3 <i>Proceedings of the 3rd RMUTP Conference on Engineering and Technology</i> 		
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า		
EE01 (บทความต้นฉบับ)	เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและโปรแกรมแลปวิว <i>พงษ์ศิลป์ แก้วรัตน์โพธิ์ และ ชัชวาลย์ เยาวบุตร</i>	45
EE02 (บทความต้นฉบับ)	พฤติกรรมการณ์เคลื่อนที่ของเซลล์แสงอาทิตย์แรงไดโอดเล็กโพรเพรติกในอุปกรณ์ของไหลจุลภาค <i>นิติพงษ์ ปานกลาง และ บุญชัย เศรษฐอำนาจ</i>	49
EE03 (บทความชมเชย)	การตรวจสอบลำดับเฟสไฟฟ้าด้วยเครื่องซีลำดับเฟสชนิดอยู่กับที่ <i>ภาณุพล นันทารัตน์</i>	53
EE04	การทดสอบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานทดแทนขนาดจิ๋วสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร ข้อมูลแบบไร้สาย <i>สุกัญญา ศิริภัทรวัฒน์, ธงชัย มณีชูภักดิ์, อรรถชัย แสงโย และ บัญญา คงกระพันส์</i>	57
EE05	การควบคุมอุณหภูมิหลอด RGB LED กำลังสูง 80 วัตต์ด้วยเทคนิคเทอร์โมอิเล็กทริกส์ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว <i>ประสิทธิ์ นิลรัตน์, บัญญา คงกระพันส์, ชวโรจน์ ใจสืบ และ ธงชัย มณีชูภักดิ์</i>	61
EE06	การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส <i>สุนทร วิวรรณการ และ พนา สุทธิสาร</i>	65
EE07	ระบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการออกแบบ และการติดตั้งระบบ <i>พสิษฐ์ สุวรรณังการ, ณภัทร วรดิษฐ์, สุพรรณมา คงชื่นสืบ และ สุวัชราภรณ์ มิจิตต์</i>	69
EE08	กลยุทธ์การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นด้วยการจัดการระบบละลายน้ำแข็ง <i>บุญโชค รักไทยเจริญชีพ และ ณภัท บุญเทียรทอง</i>	73
EE09	การสร้างชุดทดสอบความคงทนไดโอดเล็กทรินดต่อไฟฟ้าแรงดันสูงของฉนวนไฟฟ้า <i>ศุภกัญญา เนตรโพธิ์แก้ว, ชนภัท ดิษฐสมาน, จีรวรรณ เกตุหอม และ สุดาพร คุ้มทวีวุฒิ</i>	77
EE10	การป้องกันแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลของระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน : กรณีเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าแบบสก็อต <i>ศวินธ์ สักฉนวนหาชื่นกุล, สาคร วุฒิปัทธพันธ์ และ บุญโชค รักไทยเจริญชีพ</i>	81
สาขาวิศวกรรมโยธา		
CE01 (บทความต้นฉบับ)	ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำไหลลงเขื่อนอุบลรัตน์ <i>สาธิต ภูมิตำ และ เฉลิมชัย พาวรัตน์</i>	85
CE02 (บทความชมเชย)	การศึกษาแนวโน้มปริมาณฝนรายปีด้วยวิธีทางสถิติในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร <i>ศรัณพภก อานะรัตน์, วิมลธนา น. สมพงษ์, วิภาวรัตน์ แก้ววิมลชีพ, ศิวกร ชัดใจ และ ชัยชนะ ประสงค์สืบ</i>	89

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Proceedings of the 1st RMUTP Conference of Engineering and Technology

การควบคุมอุณหภูมิหลอด RGB LED กำลังงานสูง 80 วัตต์ด้วยเทคนิคเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระบบ
ระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว

The Temperature Control of RGB LED High Power 80 watt By Thermoelectric with Liquid Cooling
System Technique

ประสิทธิ์ ใจพิสุทธิ์¹, วิญญู อรรถะพันธ์², วรวิทย์ ไชยวัฒน์³ และ เสณี ภูมิบุษย์⁴

¹วิทยาลัยการช่างเทคนิค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 6 สหวิทยาเขต วิทยาเขตบางพลี จังหวัดสมุทรสาคร อีเมล: prattit.ajar@kmutp.ac.th

²*Email: prattit_ajar@hotmail.com, Tel. 0896774572

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้มีขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิของ LED ที่กำลังงานสูงด้วยเทคนิคเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว โดยทดสอบกับหลอดสีฟ้ากำลังงานสูงขนาด 80 วัตต์ ซึ่งผลกระทบของอุณหภูมิที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการปลูกพืชด้วยหลอด LED จะเพิ่มขึ้น อัตราการให้แสงในระหว่างการปลูกพืชด้วยหลอด LED จะมีการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออุณหภูมิ ในบทความนี้ได้มีการควบคุมอุณหภูมิของหลอด LED ที่กำลังงานสูงให้ไม่เกิน 60 °C โดยการวัดผลที่ผู้วิจัยได้ใช้การทดสอบโดยการจำลองการไหลที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่า 0.1 - 3.0 แอมแปร์ ความจุความร้อนในของเหลวที่ 2 ลิตรต่อเวลาที่อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นในการทดสอบของหลอด LED ที่มีค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวที่ใช้ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 0.5 แอมแปร์ที่ระบบที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงที่สุด LED มีค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 53 °C และได้ค่า Photosynthetically Photon Flux Density หรือค่าความเข้มของแสงที่พืชสามารถใช้ในการขยายพันธุ์ อัตราที่เพิ่มสูงสุดคือค่าความสูง 20 ซม ค่า PPFD อยู่ที่ 170.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และได้ค่าสูงที่สุดที่ระดับความสูง 100 ซม ค่า PPFD อยู่ที่ 6.55 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

คำสำคัญ: LED กำลังงานสูง, เทอร์โมอิเล็กทริก, ระบบระบายความร้อน

Abstract

In this paper, the new technique of high power LED temperature control by using thermo electric combine with closed-loop water cooling system techniques, tested with an 80-watt high power LED. The affect of high temperature are the light intensity and age of

application will be reduced LED's current is created and light spectrum wavelength changed when the temperature is high. This article presents how to control the temperature of high power LED exceed to 60 °C by supplying the current to thermocouples from 0.1-3.0 ampere, the flow rate of the water is fixed at 1 liter per minute to determine the appropriate value to reduce the temperature of the LED found that the thermal dissipation of the thermo electric at 0.5 ampere is optimal and Photosynthetically Photon Flux Density (PPFD) for photosynthetic of the plant, the maximum PPFD at the height of 20 cm is 170.8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and the lowest at 100 cm is 6.55 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

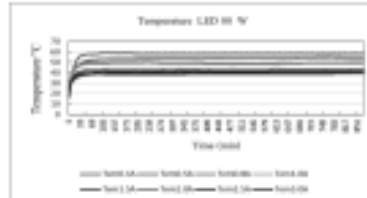
Keywords: high power LED, Thermoelectric, Liquid Cooling System

1. บทนำ

ไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode) หรือแอลอีดี (LEDs) เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่เปล่งแสงที่มีความถี่สูงออกมา ในเชิงคุณภาพของ LED ได้พัฒนาไปให้เหมาะสมกับประสิทธิภาพของหลอดไฟ และใช้กับระบบการเกษตร โดยมีการนำไปใช้กับหลอดไฟในระบบปลูกพืชด้วยหลอด LED ส่วนใหญ่พบว่าเป็นการเกษตรหลอด LED มีเป็นทางการที่ผู้ปลูกจะเพาะปลูกพืชในโรงเรือนซึ่งมีแสงประดิษฐ์ที่ติดตั้งที่หลอดไฟที่ผู้ปลูกใช้เอง เช่น มีความสว่างที่แตกต่าง, สีของแสง และ ความเข้มแสง ที่เหมาะสมต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (photo-synthesis) ของพืช อีกทั้งยังมีหลอดไฟที่ใช้ระบบระบายความร้อนที่ประสิทธิภาพสูง [1] การเพาะปลูกพืชเกษตรหลอดไฟที่ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชที่ช่วยให้ความเข้มแสงและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหลอด LED จะส่งผลต่อระยะเวลาการเติบโตในการสังเคราะห์แสงของพืช เพราะ ว่าหลอด LED กำลังงานสูง

บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้สารเคลือบผิวบนแผง LED แบบกระจายแสงสีที่ 3
Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology



รูปที่ 5 จุดอุณหภูมิของหลอด LED สีขาว 80 โวลต์

จากรูปที่ 5 จะพบว่าอุณหภูมิของ LED ขนาด 80 โวลต์ที่อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 60 °C และมีค่ากระแสไฟฟ้ที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 - 3.0 แอมแปร์โดยที่มีจุดอุณหภูมิอยู่ที่ 53 °C เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ที่ 0.5 แอมแปร์ สำหรับค่ากระแสไฟฟ้ 0.1 แอมแปร์ LED จุดอุณหภูมิอยู่ในช่วงเวลาดำเนิน 62 °C และลดการกระจายแสงที่ลดลงในระหว่าง 1.5s และค่า PPFD ณ ที่ความสูงของหลอด LED ขนาด 80 โวลต์ที่ทำการทดสอบ ที่ความสูง 20 ถึง 100 ซม. กระแสไฟฟ้ที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ พบว่าใช้กระแสไฟฟ้ที่ 2

แอมแปร์ที่ 2 ลดการกระจายแสงที่ลดลงในระหว่าง 1.5s และค่า PPFD ณ ที่ความสูงของหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์

ความสูง (cm)	ความเข้มแสง (Lux)	ค่า PPFD หน่วย $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			
		PPFD-R	PPFD-G	PPFD-B	PPFD
20	3663	86.98	35.54	48.27	170.79
30	3079	74.91	30.26	41.18	146.35
40	2660	65.91	26.66	35.34	128.92
50	2304	58.47	23.62	31.85	113.94
60	1914	51.45	20.62	28.83	100.90
70	1588	44.83	18.17	24.66	87.66
80	1326	38.61	15.76	21.40	75.77
90	1105	32.79	13.82	18.97	65.58
100	923	28.36	12.23	16.61	57.20

หมายเหตุ: PPFD คือ ปริมาณของโฟตอนของแสงที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์
 PPFD คือ ปริมาณของโฟตอนของแสงที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์
 PPFD คือ ปริมาณของโฟตอนของแสงที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์

จากตารางที่ 2 จะพบว่าค่า PPFD เป็นค่าที่ระบุถึงปริมาณของแสงที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ โดยที่มีจุดอุณหภูมิอยู่ที่ 53 °C เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ที่ 0.5 แอมแปร์ สำหรับค่ากระแสไฟฟ้ 0.1 แอมแปร์ LED จุดอุณหภูมิอยู่ในช่วงเวลาดำเนิน 62 °C และลดการกระจายแสงที่ลดลงในระหว่าง 1.5s และค่า PPFD ณ ที่ความสูงของหลอด LED ขนาด 80 โวลต์ที่ทำการทดสอบ ที่ความสูง 20 ถึง 100 ซม. กระแสไฟฟ้ที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ พบว่าใช้กระแสไฟฟ้ที่ 2

แอมแปร์ที่ 2 ลดการกระจายแสงที่ลดลงในระหว่าง 1.5s และค่า PPFD ณ ที่ความสูงของหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์

23 มีนาคม 2561 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

แสงของ LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ ซึ่งค่าไฟ LED 80 โวลต์สามารถใช้งานได้ในระยะเวลาที่ไม่ต่ำกว่า 100 ชั่วโมง การทดสอบของ LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 - 3.0 แอมแปร์ โดยที่มีจุดอุณหภูมิอยู่ที่ 53 °C เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ที่ 0.5 แอมแปร์ สำหรับค่ากระแสไฟฟ้ 0.1 แอมแปร์ LED จุดอุณหภูมิอยู่ในช่วงเวลาดำเนิน 62 °C และลดการกระจายแสงที่ลดลงในระหว่าง 1.5s และค่า PPFD ณ ที่ความสูงของหลอด LED ขนาด 80 โวลต์ที่ทำการทดสอบ ที่ความสูง 20 ถึง 100 ซม. กระแสไฟฟ้ที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ พบว่าใช้กระแสไฟฟ้ที่ 2

5. สรุป

จากการทดสอบระบบการเคลือบผิวของ LED ขนาด 80 โวลต์ที่ใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ โดยที่มีจุดอุณหภูมิอยู่ที่ 53 °C เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ที่ 0.5 แอมแปร์ สำหรับค่ากระแสไฟฟ้ 0.1 แอมแปร์ LED จุดอุณหภูมิอยู่ในช่วงเวลาดำเนิน 62 °C และลดการกระจายแสงที่ลดลงในระหว่าง 1.5s และค่า PPFD ณ ที่ความสูงของหลอด LED ขนาด 80 โวลต์ที่ทำการทดสอบ ที่ความสูง 20 ถึง 100 ซม. กระแสไฟฟ้ที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ พบว่าใช้กระแสไฟฟ้ที่ 2

4. ทิศทางการพัฒนา

จะดูวิจัยได้มีจุดมุ่งหมายในโครงการเพื่อลดต้นทุนการผลิตของหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ โดยที่มีจุดอุณหภูมิอยู่ที่ 53 °C เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ที่ 0.5 แอมแปร์ สำหรับค่ากระแสไฟฟ้ 0.1 แอมแปร์ LED จุดอุณหภูมิอยู่ในช่วงเวลาดำเนิน 62 °C และลดการกระจายแสงที่ลดลงในระหว่าง 1.5s และค่า PPFD ณ ที่ความสูงของหลอด LED ขนาด 80 โวลต์ที่ทำการทดสอบ ที่ความสูง 20 ถึง 100 ซม. กระแสไฟฟ้ที่เข้าใช้กับหลอด LED มีลักษณะที่คงที่ 0.5 แอมแปร์ พบว่าใช้กระแสไฟฟ้ที่ 2

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- [1] นพพร วัฒนศิริ, วัฒนศิริ ภูมิ, "ใช้โพลีเอทิลีนไกลคอลเคลือบผิวของ LED" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2558.
- [2] สุทธิยา เหมอินทร์, นพพร วัฒนศิริ, "การเคลือบผิวของหลอด LED ด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอล" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2558.
- [3] นพพร วัฒนศิริ, "การเคลือบผิวของหลอด LED ด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอล" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2558.
- [4] Daibang Zhang, Daibang Wang, Zhenyu Sun, "Thermal Performance of Hybrid and Thermoelectric Cooler Packaging Design in LEDs" ใน 13th International Conference on Electronic Packaging Technology of High Density Packaging, 2008.
- [5] สุทธิยา เหมอินทร์, นพพร วัฒนศิริ, "การเคลือบผิวของหลอด LED ด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอล" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2558.

อักษรย่อ และสัญลักษณ์

ในโครงร่างวิทยานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาสมรรถนะระบบระบายความร้อนของหลอดแอลอีดี กำลังงานสูงด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบวงปิดนี้ได้มีอักษรย่อ และสัญลักษณ์ต่างๆ ที่กล่าวไปเป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นความสะดวก และง่ายแก่การทำความเข้าใจ จึงมีการรวบรวมอักษรย่อ และสัญลักษณ์ต่างๆ มาไว้เพื่อชี้แจงให้ทราบถึงความหมาย และหน่วย ดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
d	ความหนาของวัสดุ	m
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	$W/m^2 \cdot K$
I	กระแสไฟฟ้า	A
I_t	รังสีอาทิตย์	W/m^2
K	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	WK^{-1}
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	$W/m \cdot K$
L	ความยาวของวัตถุ	m
P	กำลังไฟฟ้า	W
P_H	พลังงานความร้อนที่ระบายได้ใน 1 sec	W
Q_c	การทำความเย็นที่ด้านเย็น	W
\dot{Q}	อัตราการความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	W
\dot{q}	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
R	ความต้านทานความร้อน	K/W
T	อุณหภูมิ	K, $^{\circ}C$
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า	V

อักษรกรีก	ความหมาย	
η	ประสิทธิภาพ	%
α	ค่าการดูดกลืนแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	
α_{sb}	สัมประสิทธิ์ของซีเบก	V/K
β	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ	
τ	ค่าการส่องผ่านแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	
Π	สัมประสิทธิ์เพลเทียร์	V
λ_p	การนำความร้อนของตัวนำ a และ b แบบแขน	W/cm \cdot K
ϵ	การแผ่รังสีความร้อน	
σ	Stefan-Boltzmann constant มีค่าคงที่ 5.67×10^{-8}	W/m 2 \cdot K 4

ตัวห้อย	ความหมาย
ab	ความร้อนที่โลหะสามารถพาได้
C	อุณหภูมิที่เย็นกว่าของของไหล
Cool	ด้านความเย็น
H	อุณหภูมิที่ร้อนกว่าของของไหล
Hot	ด้านความร้อน
I	กระแสลัดวงจร
k	การนำความร้อน
V	การพาความร้อน
m	ค่าสูงสุด
mpv	พื้นที่รับแสงของแผงเซลล์อาทิตย์
oc	แรงดันวงจรเปิด
R	แผ่รังสีจากวัตถุดำ
STC	มาตรฐานการทดสอบที่ค่ารังสีอาทิตย์
sc	กระแสลัดวงจร
TE	แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

บรรณานุกรม



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ประดิษฐ์ นิลรัตน์
เกิดเมื่อ	29 สิงหาคม พ.ศ. 2535
ประวัติการศึกษา	พศ.2558 จบปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา วิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ E-mail: pradit_ninrat@hotmail.com Tel: 080774572

