

การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น



วิลาวัลย์ ไตรจิตต์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักบริหารและพัฒนานิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การหาสถานะที่เหมาะสมเพื่อถอดแคบหมุดด้วยเครื่องถอดแบบของเหลวแยกชั้น

วิลาวัลย์ ไตรจิตต์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญญาใหญ่)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สืบคำ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

ชื่อเรื่อง	การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น
ชื่อผู้เขียน	นางสาววิลาวัลย์ ไตรจิตต์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญญ์ใหญ่

### บทคัดย่อ

กระบวนการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม เมื่อน้ำมันที่ใช้ทอดได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิที่สูงเป็นเวลานาน ๆ จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ไม่สามารถละลายตัวในน้ำมันได้ แคบหมูจัดว่าเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างมากในท้องถิ่น การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันระหว่างกระบวนการทอดจึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค จากการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น จะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลว 2 ชนิด ของน้ำมันและน้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบการทอดและทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดต้นแบบ โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเครื่องทอดต้นแบบกับกระทะทั่วไปในด้านคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระ และปริมาณสารโพลาร์ เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน ได้แก่ ค่าสี และค่าพลังงานความร้อนของกระบวนการภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิและเวลาในการทอดซ้ำ 210 องศาเซลเซียส และ 40 ครั้ง ตามลำดับ ช่วงท้ายของงานวิจัยได้มีการประเมินต้นทุนในการใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิตแคบหมู ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระ และปริมาณสารโพลาร์ อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด คือ 0.6 mg O<sub>2</sub>/kg, 0.33% และ 11-20% ตามลำดับ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันและสีของแคบหมู มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น และจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นอยู่ที่ 30 ครั้ง นอกจากนั้นเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นยังมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการทอดผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ลดลง 6.534 บาท คิดเป็น 50% ซึ่งน้อยกว่าราคาต้นทุนที่สูญเสียเชื้อเพลิงของกระทะทั่วไป เนื่องจากเครื่องทอดออกแบบให้มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันทำให้สามารถประหยัดปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปจากการทอดผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ากระทะทั่วไป

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ, ของเหลวแยกชั้น, การทอด, น้ำมันทอดซ้ำ, สารโพลาร์



<b>Title</b>	OPTIMIZATION FOR PORK CRACKLING FRIED USING LIQUID SEPARATION LAYER FRYER
<b>Author</b>	Miss Wilawan Trijid
<b>Degree</b>	Master of Engineering in Agricultural Engineering
<b>Advisory Committee Chairperson</b>	Assistant Professor Dr. Numpon Panyoyai

## ABSTRACT

In deep-oil frying process, When the frying oil is continuously heated at high temperatures for a long time, some products cannot be decomposed in the oil. Pork crackling is a very popular local food. The deterioration of oil quality during the frying process is therefore a matter of consideration because it affects the health of consumers. The optimum conditions for frying pork crackling with liquid separator were studied. It uses the principle of heat transfer between two fluids of oil and water. Objectives of this research are to increase the quality of food products in frying form and to test the performance of the prototype fryer. The test results were compared between the prototype fryer and the conventional frying pan in terms of chemical properties such as peroxide analysis values, free fatty acid value and polar content etc. The physical properties of the oil include the color value and the thermal energy of the process under the condition of temperature and re-frying time of 210°C and 40 times, respectively. At the end of this research, the cost of energy consumption and the cost of production of pork crackling were assessed. The results of the study showed that and properties. Peroxide quantity, free fatty acid value and polar substances were in the legal criteria which were 0.6 mg O<sub>2</sub>/kg, 0.33% and 11-20%, respectively. The result tended to increase significantly ( $p \leq 0.05$ ) as the frying time increased. The color of oil and the color of the pork crackling tended to increase as the temperature and frying time increased. And from the analysis of the test results, it was found that the optimum condition for pork crackling with liquid separator was 30 times. In addition, prototype fryer used the fuel consumption for frying 1 kg of product and decreased by 6.534 baht or 50% less than the cost of

wasted fuel of a conventional frying pan. Since the fryer was designed with a device for controlling the temperature of the oil, it can save the amount of fuel lost in frying process better than a conventional frying pan.

Keywords : Efficiency, Layer separation liquid, Frying, Repeated oil frying, Polar compounds



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิตี คำเมืองลือ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อถอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เป็นโครงการที่ผู้วิจัยได้ทุ่มเททั้งร่างกายแรงใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญญ์ใหญ่ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง ประธานกรรมการที่ปรึกษาร่วม เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ศึกษา คั่นคว้า ทำงานวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งเสียสละเวลาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.จิตราพร งามพิระ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับความรู้ และทดสอบทางด้านเคมีอาหารที่เป็นประโยชน์ แก่การทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน และบุคลากรสาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำแนะนำในหลาย ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง ที่ให้การสนับสนุนและความรู้ คำแนะนำในด้านเกี่ยวกับการถอดแคบหมูทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน พร้อมทั้งคำแนะนำ และเป็นกำลังใจจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

วิลาวัลย์ ไตรจิตต์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	6
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร.....	8
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger).....	8
2.2 ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Types of heat exchangers).....	9
2.2.1 แบ่งตามลักษณะการไหลของของไหล.....	9
2.2.2 แบ่งตามลักษณะของรูปร่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	9
2.2.2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Concentric tube or Double pipe).....	9
2.2.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ของไหลมีทิศทางการตั้งฉากกัน (Cross flow).....	10

2.2.2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and tube).....	10
2.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat transfer coefficient).....	13
2.4 หลักการออกแบบทางความร้อน.....	15
2.5 กลไกการถ่ายเทความร้อน.....	17
2.5.1 การนำความร้อน (Heat Conduction).....	18
2.5.2 การพาความร้อน (Heat Convection).....	19
2.6 สมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium).....	21
2.7 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแคบหมูและวิธีการผลิต.....	22
2.8 กระบวนการทอด.....	25
2.9 การทอดแบบน้ำมันท่วม.....	27
2.10 ไขมัน (Lipids).....	27
2.11 กรดไขมัน.....	28
2.12 น้ำมันทอด.....	32
2.12.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil).....	33
2.13 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างทอด.....	37
2.13.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	39
2.13.2 ค่าเพอร์ออกไซด์.....	40
2.13.3 ความหนืด.....	42
2.13.4 สีของน้ำมัน.....	42
2.14 ปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม.....	43
2.14.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction).....	44
2.15 วิธีวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน.....	46
2.15.1 ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value).....	47
2.15.2 ค่าพาราอะนิสิดีน (p - Anisidine value).....	47

2.16 สารประกอบมีขั้ว (Polar compounds).....	49
2.16.1 การทดสอบสารโพลาร์ .....	52
2.17 ต้นทุนและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม .....	54
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	56
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	56
3.2 วิธีการทดลอง .....	57
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลอง.....	59
3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบแคบหมู.....	60
3.5 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย.....	62
3.6 ขั้นตอนการทดสอบแคบหมูด้วยกระทะทั่วไปและเครื่องทดสอบแบบ .....	64
3.7 ศึกษาการกระจายอุณหภูมิของน้ำมัน .....	65
3.8 ศึกษาคุณภาพเบื้องต้นของแคบหมู .....	66
3.8.1 ปริมาณร้อยละของน้ำหนักที่ได้.....	66
3.8.2 การทดสอบหาสารโพลาร์.....	66
3.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน.....	67
3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	67
3.11 การทดสอบหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้.....	67
3.12 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของการผลิต .....	68
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	69
4.1 ประสิทธิภาพในการออกแบบเครื่องทดสอบแบบของเหลวแยกชั้น.....	69
4.2 การกระจายอุณหภูมิในน้ำมัน .....	72
4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี.....	74
4.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน.....	74
4.4.4.1 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมัน.....	74

4.4.4.2	ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระของน้ำมัน ..	76
4.4.4.3	ปริมาณสารโพลาร์ในตัวอย่งน้ำมัน ..	78
4.5	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน ..	81
4.6	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของน้ำภายในเครื่องทอดต้นแบบ ..	82
4.7	การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทอดแคบหมู ..	82
4.8	การหาปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไป ..	83
4.9	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ..	84
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ ..	85
5.1	สรุปผลการวิจัย ..	85
5.2	ข้อเสนอแนะ ..	86
บรรณานุกรม	.....	87
ภาคผนวก	.....	94
ภาคผนวก ก	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหลังทอด ..	95
ภาคผนวก ข	ตารางผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหลังทอด ..	100
ภาคผนวก ค	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ..	111
ภาคผนวก ง	การเผยแพร่ผลงานวิจัย ..	124
ประวัติผู้วิจัย	.....	136

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของแคบหมู.....	2
ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของแคบหมู.....	23
ตารางที่ 3 Fatty acid found in foods.....	29
ตารางที่ 4 (continue).....	30
ตารางที่ 5 Fatty acid composition of some fats and oils <sup>1</sup> .....	31
ตารางที่ 6 Characteristics of palm oil.....	34
ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม.....	36
ตารางที่ 8 สิ่งเจือปนในน้ำมันปาล์มดิบ (CPO).....	37
ตารางที่ 9 Methods to measure oxidation in oils and fat-containing foods.....	47
ตารางที่ 10 Chemical and physical properties of palm olein oil, soybean oil and rice bran oil.....	74
ตารางที่ 11 ค่าสารโพลาร์ที่วัดด้วยชุดทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ พัฒนาโดย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.....	80
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทอด.....	83
ตารางที่ 13 ตารางเปรียบเทียบความคุ้มทุนของเครื่องทอดต้นแบบและกระทะทั่วไป.....	84
ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันของเครื่องทอดต้นแบบ.....	101
ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันของกระทะทั่วไป.....	102
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระในน้ำมันของเครื่องทอดต้นแบบ .....	103
ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ค่าความกรดและกรดไขมันอิสระในน้ำมันของกระทะทั่วไป.....	104
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันหลังทอด.....	105

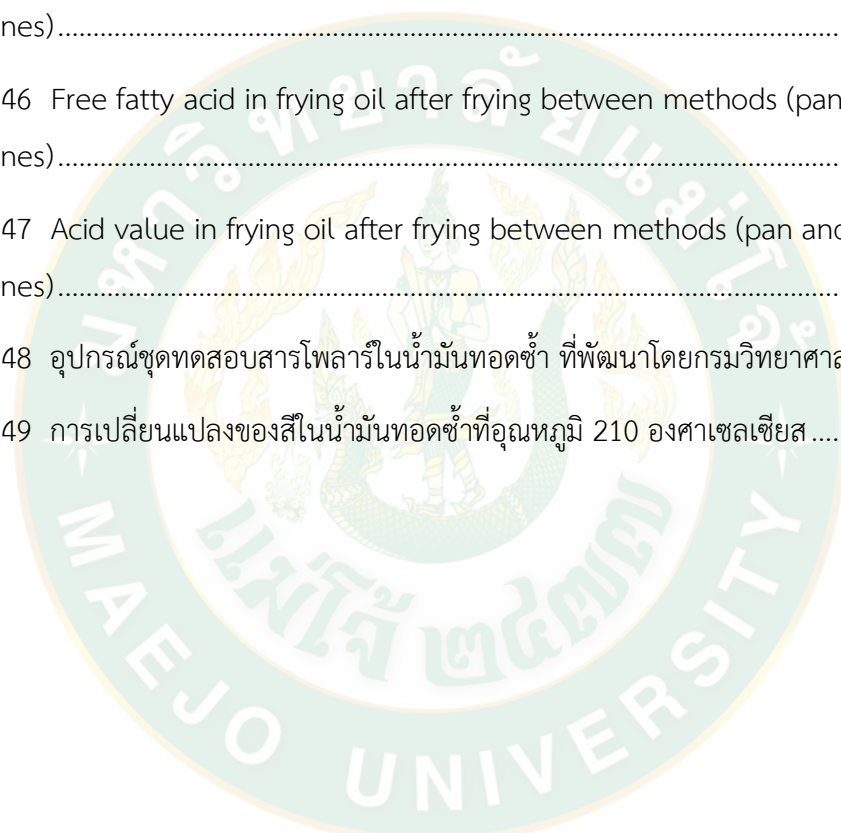
## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	ลักษณะของแคบหมูติดมันและไขมันจากโรงงานแคบหมูนายแม่ จ.ลำปาง.....	2
ภาพที่ 2	ลักษณะการไหลที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double -pipe heat exchanger).....	10
ภาพที่ 3	การไหลที่แตกต่างกันใน cross flow heat exchangers.....	10
ภาพที่ 4	Shell and tube heat exchangers 1 shall pass and 1 tube pass (1-1 exchangers); .....	11
ภาพที่ 5	Multi-pass flow arrangements in shell-and-tube heat exchangers. ....	11
ภาพที่ 6	Thermal resistance network associated with heat transfer in a double-pipe heat exchanger.....	13
ภาพที่ 7	The two heat transfer surface areas associated with a double-pipe heat exchanger (for thin tubes, $D_i \approx D_o$ and thus $A_i \approx A_o$ ). ....	14
ภาพที่ 8	เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น.....	17
ภาพที่ 9	แสดงการถ่ายโอนความร้อนแบบต่าง ๆ.....	18
ภาพที่ 10	แสดงให้เห็นถึงการคำนวณการพาความร้อนที่ปกคลุมบนโลก สีใกล้เคียงกับสีแดงเป็นพื้นที่บริเวณร้อนและสีที่ใกล้เคียงกับสีฟ้าเป็นพื้นที่บริเวณที่เย็น.....	19
ภาพที่ 11	การถ่ายเทความร้อน .....	20
ภาพที่ 12	แคบหมูไขมัน.....	24
ภาพที่ 13	แคบหมูติดมัน.....	24
ภาพที่ 14	ผลปาล์ม.....	35
ภาพที่ 15	แสดงการฟอร์มตัวของไตรกลีเซอไรด์.....	35
ภาพที่ 16	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	36
ภาพที่ 17	ความสัมพันธ์ของปริมาณสารโพลาร์และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำมันทอดกับระยะเวลาที่ใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูง.....	38

ภาพที่ 18	Formation of volatile and nonvolatile decomposition products in frying oil	39
ภาพที่ 19	Hydrolysis reactions in frying oils	44
ภาพที่ 20	Effect of time deep frying on %FFA of olive, corn and soybean oils	45
ภาพที่ 21	Polymerization reactions in frying oils	46
ภาพที่ 22	Effect of deep-frying on PV of olive, corn and soybean oil	48
ภาพที่ 23	Effect of deep-frying on p – AV of olive, corn and soybean oil	48
ภาพที่ 24	การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดอาหารและปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพ ...	52
ภาพที่ 25	แผนผังการทดลองของโครงการวิจัย	58
ภาพที่ 26	เครื่องทอดต้นแบบ 3 มิติ	59
ภาพที่ 27	กระทะทั่วไปและชุดเตาแก๊ส	60
ภาพที่ 28	หนังหมูปรุงรสตากแห้งจากโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง	60
ภาพที่ 29	ชั่งน้ำหนักหนังหมูเพื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ	61
ภาพที่ 30	เตรียมน้ำมันสำหรับการทดสอบตัวอย่างของกระทะทั่วไป	61
ภาพที่ 31	เตรียมน้ำมันสำหรับการทดสอบตัวอย่างของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น	62
ภาพที่ 32	เครื่องชั่งน้ำหนัก Camry ขนาด 2 กิโลกรัม	62
ภาพที่ 33	เครื่องชั่งน้ำหนัก 60 กิโลกรัม	63
ภาพที่ 34	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Mettler Toledo 4 ตำแหน่ง	63
ภาพที่ 35	กระบวนการทอดแคบหมูด้วยกระทะทั่วไป	64
ภาพที่ 36	กระบวนการทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น	64
ภาพที่ 37	ผลิตภัณฑ์แคบหมูที่ได้หลังจากการทดสอบ	65
ภาพที่ 38	เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	65
ภาพที่ 39	แสดงวิธีการอ่านค่าการทดสอบสารโพลารีนในน้ำมันทอดซ้ำ	66
ภาพที่ 40	กระบวนการทอดแคบหมูของเครื่องทอดแบบแยกชั้นของเหลว	70

ภาพที่ 41 โครงสร้างของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น.....	71
ภาพที่ 42 Gas diagram.....	72
ภาพที่ 43 ตำแหน่งวัดการกระจายอุณหภูมิในน้ำมันของกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบ .....	72
ภาพที่ 44 กราฟแสดงผลอุณหภูมิของน้ำมันแต่ละตำแหน่งของกระทะทั่วไปเทียบกับเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น .....	73
ภาพที่ 45 Peroxide value in frying oil after frying between methods (pan and frying machines).....	75
ภาพที่ 46 Free fatty acid in frying oil after frying between methods (pan and frying machines).....	76
ภาพที่ 47 Acid value in frying oil after frying between methods (pan and frying machines).....	77
ภาพที่ 48 อุปกรณ์ชุดทดสอบสารโพลารีนในน้ำมันทอดซ้ำ ที่พัฒนาโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์	79
ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำมันทอดซ้ำที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส .....	81



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเป็นผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนได้รับความนิยมมากขึ้นในสังคมไทย ด้วยเหตุผลวิกฤตทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ส่งผลให้การจ้างงานลดลงเป็นผลให้คนหันมาเสริมสร้างอาชีพหรือธุรกิจใหม่ขึ้นมาเพื่อสร้างฐานะให้มีความมั่นคง กล่าวได้ว่าผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชน คือ พลังทางเศรษฐกิจและมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรของธุรกิจสมัยใหม่ เป็นผู้สร้างสรรค์งานประดิษฐ์คิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เพื่อบุกเบิกตลาดทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงเป็นผู้จุดประกายความเติบโตทางเศรษฐกิจในด้านต่าง ๆ (Hisrich et al., 2010)

อาหารทอดเป็นอาหารที่นิยมรับประทานของผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง เนื่องจากความพึงพอใจในรสชาติ กลิ่นรส ความหอม เนื้อสัมผัสที่มีความกรอบและฉ่ำด้วยน้ำภายในของชิ้นอาหาร (Saguy and Dana, 2003) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวัฒนธรรมการกินซึ่งเป็นเอกลักษณ์แตกต่างไปตามภูมิภาค ซึ่งอาหารพื้นบ้านภาคเหนือที่ทั้งคนไทยและชาวต่างชาติยอมรับและยังสร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดเชียงใหม่ คือ แคบหมู แคบหมูเป็นอาหารที่นิยมบริโภคเป็นอาหารโดยตรงหรือเป็นเครื่องเคียงกับน้ำพริกเมืองเหนือและแกงคั่วต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งแคบหมูมีวัตถุดิบและกระบวนการทำง่าย โดยการนำเอาหนังหมูหั่นเป็นชิ้น และทอดด้วยน้ำมันจนหนังหมูพอง การทำแคบหมูถือได้ว่าเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่งโดยการแปรรูปให้หนังหมูสามารถเก็บไว้ได้นานมากขึ้น นอกจากการแปรรูปอาหารจะช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารแล้วยังมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคอีกหลายประการ ได้แก่ ทำให้มีอาหารบริโภคตลอดทั้งปี มีอาหารหลากหลายชนิด ทำให้ผู้บริโภคมีทางเลือกมากขึ้นและช่วยเพิ่มมูลค่าของอาหารได้อีกทางหนึ่ง (อัจฉรา กุลวงศ์, 2546)

แคบหมูที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมีทั้งชนิดติดมัน และไม่ติดมัน ที่เรียกกันว่า แคบหมูไร้มัน โดยแคบหมูไร้มันทำจากหนังหมูล้วน ๆ เป็นแผ่นส่วนมากนิยมนำมาประกอบอาหาร อาหารประเภทยำต่าง ๆ เช่น ยำแคบหมู เป็นต้น ส่วนแคบหมูติดมัน ลักษณะจะเป็นก้อนกลม ๆ นิยมกินเป็นเครื่องเคียง คุณค่าทางโภชนาการของแคบหมูไร้มัน ดังแสดงในตารางที่ 1 แคบหมูมีคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่ค่อนข้างต่ำ มีโปรตีนสูง ปริมาณโปรตีนในแคบหมูมีมากกว่ามันฝรั่งทอดถึง 5 เท่า ยิ่งไปกว่านั้นคือ 43 เปอร์เซ็นต์ของไขมันในแคบหมู คือ ไขมันไม่อิ่มตัวและกรดโอเลอิกอีก 13 เปอร์เซ็นต์ คือ กรดสเตียริก ซึ่งเป็นไขมันอิ่มตัวที่มีความปลอดภัย (Volek, 2014)



(ก) แคบหมูติดมัน



(ข) แคบหมูไร้มัน

ภาพที่ 1 ลักษณะของแคบหมูติดมันและไร้มันจากโรงงานแคบหมูนายแม่ จ.ลำปาง

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของแคบหมู

คุณค่าทางอาหาร	จำนวนสารอาหารที่ร่างกายได้รับต่อจำนวนที่ รับประทาน 100 กรัม	หน่วย
1. พลังงาน	548	แคลอรี
2. ความชื้น	4.6	กรัม
3. ไขมัน	30	กรัม
4. โปรตีน	62	กรัม
5. แคลเซียม	17	มิลลิกรัม
6. ฟอสฟอรัส	40	มิลลิกรัม
7. ธาตุเหล็ก	2.0	มิลลิกรัม
8. วิตามินบีหนึ่ง	0.29	มิลลิกรัม
9. วิตามินบีสอง	0.05	มิลลิกรัม

ที่มา: (กองวิชาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2521)

การทอดเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยมนิยมมากในการเตรียมอาหารซึ่งเป็นการปรุงอาหารในน้ำมันที่ร้อน การทอดมีผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) การถ่ายเทมวล (Mass transfer) รวมถึงการเกิดอันตรกิริยาที่ซับซ้อนระหว่างอาหารและน้ำมันทอด การทอดมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ได้แก่ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส อายุการเก็บรักษาและคุณค่าทางโภชนาการ (Dunford, 2010; Sanibal and Mancini-Filho, 2004) การทอดอาหารมีทั้งการทอดแบบน้ำมันตั้ง

(Shallow frying) ซึ่งเป็นการทอดโดยใช้น้ำมันน้อย เหมาะสำหรับการทอดในครัวเรือนหรือการทอดอาหารบางชนิดที่ไม่ต้องการความสม่ำเสมอของสีผลิตภัณฑ์ เช่น เนื้อเบอร์เกอร์ โรตีสี เป็นต้น และการทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-fat frying) เป็นการทอดอาหารที่นิยมใช้ในร้านอาหารและอุตสาหกรรม โดยการทอดจะใช้น้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอที่จะท่วมอาหารทั้งชิ้น การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันและการนำความร้อนในชั้นของอาหาร ทำให้อาหารได้รับความร้อนจากน้ำมันในทุก ๆ ด้าน ดังนั้นสีและลักษณะที่ปรากฏของชิ้นอาหารจะมีความสม่ำเสมอ การทอดแบบนี้จึงเหมาะกับการทอดอาหารทุกรูปทรง (สุนิสสา วิชาชูเชิด, 2553) คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอดขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ ซึ่งน้ำมันจะต้องมีคุณภาพที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอดเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้อาหาร และทำให้อาหารสุกแล้งยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะที่ใช้ทอด ช่วยในเรื่องสีและเพิ่มรสชาติให้กับอาหาร ระหว่างการทอดไม่เพียงแต่เกิดการระเหยของน้ำในอาหารแต่ยังทำให้เกิดสารประกอบอื่น ๆ จากอาหารไปยังน้ำมันเมื่อให้ความร้อนสูงจึงทำให้น้ำมันทอดเกิดการเสื่อมสภาพได้ (Mellema, 2003; วณิดา บุรีภักดี, 2556) โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานในน้ำมันทอดที่จะทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และไม่ระเหย โดยที่สารประกอบที่ระเหยได้ส่วนใหญ่จะระเหยไปในบรรยากาศพร้อมไอน้ำและยังคงมีสารประกอบที่ระเหยได้บางส่วนในน้ำมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่อไปหรือถูกดูดซับในอาหารทอด ส่วนสารประกอบที่ไม่ระเหยในน้ำมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำมันและอาหารทอด โดยสารประกอบที่ไม่ระเหยจะมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นรสและคุณภาพ รวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอดระหว่างเก็บรักษา การทอดแบบน้ำมันท่วมจะทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันลดลง ในขณะที่น้ำมันจะมีฟอง สี ความหนืด ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ปริมาณของกรดไขมันอิสระ สารประกอบมีขี้ผึ้งและสารประกอบพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น (Choe and Min, 2007) ดังนั้นการทอดซ้ำสามารถทำให้เกิดส่วนประกอบที่ไม่เพียงแต่มีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารแต่ยังส่งเสริมให้เกิดสารประกอบที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพอาหารและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าการใช้ไขมันทอดซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานย่อมก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น ออกซิเดชัน (Oxidation) โพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) และไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นต้น (Che Man et al., 2003; Gil et al., 2004; Hein et al., 1998; Innawong and Mallikarjunan et al., 2004; Innawong et al., 2004; Jaswir et al., 2000; Moreira et al., 1999; Totté et al., 1996; Tyagi and Vasishtha, 1996) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้ล้วนส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมัน โดยการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดเกิดเนื่องมาจากการสะสมของปริมาณกรดไขมันอิสระ และการเพิ่มขึ้นของสารประกอบที่มีขี้ผึ้ง (Total polar compound) ในน้ำมัน โดยในระหว่างการทอดอาหารน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไล

ซิส ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ (Monoglyceride, Diglyceride) ในขณะเดียวกันน้ำมันก็สามารถออกซิไดส์ต่อได้สารประกอบที่มีขั้วต่าง ๆ เช่น สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) อีพอกไซด์ (Epoxide) แอลดีไฮด์ (Aldehyde) และคีโตน (Ketone) เป็นต้น ดังนั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ทั้งในแง่ของปริมาณกรดไขมันชนิดทราน (Tran fatty acid) อายุการเก็บรักษา คุณค่าทางอาหาร รวมถึงสุขภาพของผู้บริโภคจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันทอดโดยตรง

จากรายงานของนักวิจัยโดยส่วนใหญ่พบว่าปัจจุบันผู้บริโภคชาวไทยประมาณร้อยละ 55 ประสบปัญหาโรคอ้วนในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น และกำลังเผชิญความเสี่ยงจากโรคหัวใจเนื่องจากเส้นเลือดหัวใจตีบตัน มะเร็งในกระเพาะอาหาร รวมไปถึงโรคเบาหวาน ด้วยความสำคัญของอันตรายจากสารประกอบมีขั้วที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอด กระทรวงสาธารณสุขจึงออกมาตรการควบคุมความปลอดภัยจากการนำน้ำมันทอดซ้ำมาใช้ทอดอาหารเพื่อจำหน่าย โดยออกมาเป็นประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 283) พ.ศ. 2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารประกอบมีขั้ว (Total polar materials) ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย ด้วยเห็นว่าน้ำมันที่นำมาทอดอาหารเพื่อจำหน่ายเมื่อมีการใช้ทอดซ้ำ หรือนำไปประกอบอาหารอาจมีสารประกอบมีขั้วในปริมาณสูงและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค จึงมีประกาศกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่ายจะมีสารประกอบมีขั้วได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 ซึ่งผู้ใดฝ่าฝืนจะมีโทษปรับไม่เกินห้าหมื่นบาท

โดย นพ.มงคล ณ สงขลา อธิบดีรัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข กล่าวว่า แต่ละปีคนไทยบริโภคน้ำมันพืชกว่า 800,000 ตัน ส่วนใหญ่นิยมรับประทานอาหารประเภททอด โดยพบว่า มีร้านค้าจำนวนมากที่ใช้ น้ำมันทอดซ้ำเสื่อมสภาพ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เพราะมีสารอันตราย คือ สารโพลาร์ (Polar compounds) เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคความดันโลหิต และสารโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons ; PAHs) เป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งพบได้ทั้งในน้ำมันทอดอาหารที่เสื่อมสภาพ และในไอที่ระเหยขณะทอดอาหาร จึงมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งได้ทั้งผู้ชายและผู้หญิง

จากงานวิจัยที่ศึกษาสามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นในกระบวนการแปรรูป ซึ่งจากเหตุผลและปัญหาดังกล่าววิทยานิพนธ์นี้จึงเห็นความสำคัญและสนใจในการออกแบบเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นมาประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบในการแปรรูปอาหารในรูปแบบการทอดผลิตภัณฑ์แคบหมูเป็นตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดต้นแบบ เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยน้ำมันจะลอยอยู่ด้านบนส่วนน้ำจะอยู่ด้านล่างแยกชั้นกัน โดยการทำงานของเครื่องทอดจะใช้ระบบไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมการจุดติดแก๊สและควบคุมอุณหภูมิ ให้ความร้อนโดยตรงกับน้ำมันที่อุณหภูมิการทอด 210

องศาเซลเซียส ส่วนบริเวณที่เป็นน้ำจะมีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอยู่ด้านล่างและไม่ได้รับความร้อนจากน้ำมันเนื่องจากเป็นของเหลวต่างชนิดกัน ดังนั้นเวลาทอดอาหารเศษอาหารจะตกลงมาอยู่ที่ชั้นน้ำทำให้ไม่เกิดการไหม้ของเศษอาหารในน้ำมัน ทำให้ไม่เกิดกระบวนการออกซิเดชันในเศษอาหารในน้ำมัน ทำให้น้ำมันไม่ดำ ลดการเกิดกลิ่นหืนที่เป็นสาเหตุให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ดีโดยจะสังเกตจากสีของน้ำมัน ซึ่งการทอดด้วยเครื่องต้นแบบอาจจะมีข้อจำกัด ด้านต้นทุนค่าไฟฟ้า ขนาด ฯลฯ จึงต้องมีการออกแบบให้มีความเหมาะสมรองรับการใช้งานให้มีประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงขึ้น การออกแบบนั้นเพื่อสามารถใช้งานได้ติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ ทอดอาหารได้ครั้งละปริมาณมาก ๆ และยังคงรักษาคุณภาพของน้ำมันในถัง สี ปริมาณสารโพลาร์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ และปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ได้ดีกว่าใช้กระทะทั่วไปทอด ส่งผลทำให้น้ำมันที่ใช้ทอดซ้ำได้นานขึ้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องทอดให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการทอด
2. เพื่อศึกษาตัวแปรตามและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการทอด
3. เพื่อศึกษาและประเมินต้นทุน และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การใช้เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการทอด

## 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

การดำเนินการวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาตัวแปรเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นเพื่อทำให้สามารถใช้น้ำมันทอดได้นานขึ้น โดยเริ่มจากการนำหนังหมูมาทำการแปรรูปเป็นแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมในพื้นที่ โดยการวิจัยครั้งนี้คาดว่าประโยชน์ที่จะได้รับ คือ

1. ได้เครื่องทอดต้นแบบที่สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมสำหรับแปรรูปในรูปแบบการทอดผลิตภัณฑ์
2. ได้ข้อมูลเพื่อการออกแบบในการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการทอด

3. ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาองค์ความรู้ที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ได้

#### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากาการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอด ผู้วิจัยต้องการทราบความสามารถของเครื่องทอดที่ทำให้ใช้น้ำมันทอดได้นานขึ้นสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการทอด ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทอดเป็นแคบหมูไร้มันจากโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง โดยเปรียบเทียบค่าตัวแปรระหว่างเครื่องทอดต้นแบบกับกระทะทั่วไป ได้แก่ สี, ปริมาณสารโพลาร์, ปริมาณกรดไขมันอิสระ และปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ ที่อยู่ในน้ำมันทอดซ้ำ และจะควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ อุณหภูมิในการทอด, อัตราส่วน (ผลิตภัณฑ์ต่อน้ำมัน), ชนิดของน้ำมัน (น้ำมันปาล์มโอเลอิน จากเนื้อปาล์มผ่านกรรมวิธี ตราตะกร้าทอง) เป็นต้น

#### 1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. หาปัจจัยและออกแบบการทดลอง
3. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีเพื่อใช้ในการทดลอง
4. ทำการทดลองเพื่อดูผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทอด และปฏิกิริยาหลังทอด
5. วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา
6. สรุปผลและจัดทำรายงาน

#### 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

**เครื่องทอด (Fryer)** หมายถึง เป็นเครื่องจักรอุปกรณ์ในการแปรรูปอาหารที่ใช้เพื่อการทอดอาหาร

**การทอด (Frying)** หมายถึง การทำอาหารให้สุกโดยใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยปกติจะใช้อุณหภูมิในช่วง 170-210 องศาเซลเซียส

**แคบหมู (Pork snack, Pork rind, Pork scratching, Pork crackling)** หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากหนังหมู ตัดเป็นชิ้นตามขนาดที่ต้องการ แล้วนำไปปรุงรสด้วย เกลือ, ซีอิ๊ว, เครื่องปรุงรสอื่น ๆ และทอด ซึ่งผลิตจำหน่ายในพื้นที่ต่าง ๆ มี 3 ชนิด คือ แคบหมูไร้มัน, แคบหมูติด

มัน และแคบหมูมันล้วน ในการศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนแคบหมูไร้มันจากโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง มาเป็นวัตถุดิบในการศึกษา

**น้ำมันทอดซ้ำ (Cooking oil)** หมายถึง น้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารหลายครั้ง เมื่อถูกความร้อนน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี เกิดสารพวก hydroperoxide และ glycol hydroperoxide สลายตัวเป็นสาร aldehyde และ dimer ที่มี functional group hydroxyl, carbonyl epoxide glycol acid สารเคมีที่เกิดขึ้นบางชนิดมีพิษและเป็นอันตรายต่อร่างกาย และอาจเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากสารพิษตกค้างที่ปนเปื้อนมากับอาหาร

**น้ำมันปาล์ม (Palm oil)** หมายถึง น้ำมันที่ได้จากพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6-0.8 ตัน/ไร่/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารและใช้ในการประกอบอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น

**สารโพลาร์ (Polar compounds)** หมายถึง สารประกอบมีขั้วที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดอาหารด้วยน้ำมันทอดซ้ำ โดยทั่วไปน้ำมันทอดอาหารที่ผลิตใหม่มีปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วประมาณร้อยละ 95-99 แต่เมื่อนำไปใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงประมาณ 170-180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาอันยาวนานความชื้นจากอาหารและออกซิเจนจากอากาศ เป็นปัจจัยเร่งการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดอาหาร ทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำมันทอด เกิดเป็นสารโพลาร์ในระหว่างการทอดอาหาร ดังนั้นในหลายกลุ่มประเทศจึงใช้ปริมาณสารโพลาร์เป็นตัวชี้วัดการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน และเป็นที่มาของคำนิยามความหมายของน้ำมันทอดซ้ำที่เสื่อมคุณภาพ ในวิทยานิพนธ์นี้วิเคราะห์หาปริมาณสารโพลาร์โดยนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบสารโพลาร์

**เปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value: PV)** หมายถึง ค่าที่บ่งบอกถึงการเสื่อมของน้ำมันที่เกิดจากปฏิกิริยา lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน

**ค่าความเป็นกรด (Acid Value: AV)** หมายถึง ค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา hydrolysis ทำให้เกิดสารกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ทำให้น้ำมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

**ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA)** หมายถึง การเกิดกรดไขมันอิสระในอาหารเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืช (Vegetable oil) ไขมันและน้ำมันทอดซ้ำ รวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง

**การแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)** หมายถึง การส่งถ่ายความร้อนเกิดขึ้นในวัตถุ แก้ว หรือของไหล ที่เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิจากการสัมผัสซึ่งกันและกันทางวิธีของการส่งถ่ายความร้อน ได้แก่ การนำ, การพา และการแผ่รังสี

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาเรื่องการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นครั้งนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลจากเอกสาร วารสาร ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามรายละเอียดดังนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
4. หลักการออกแบบทางความร้อน
5. กลไกการถ่ายเทความร้อน
6. สมดุลความร้อน
7. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแคบหมูและวิธีการผลิต
8. กระบวนการทอด
9. การทอดแบบน้ำมันท่วม
10. ไชมัน
11. กรดไขมัน
12. น้ำมันทอด
13. การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างทอด
14. ปฏิกริยาเคมีของน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม
15. วิธีวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน
16. สารประกอบมีซั่ว
17. ต้นทุนและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

**เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน** คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนของของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน (นักสิทธิ์ คุวัฒนาชัย, 2536) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่สำคัญมากอย่างหนึ่งเพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่างๆ ทางวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง วิศวกรควรมีความรู้ที่จะคำนวณการออกแบบเครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อนได้ ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน วิศวกรต้องมีความรู้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน การส่งผ่านของความร้อน และความรู้ทางกลศาสตร์ของไหล

ในปัจจุบันกระบวนการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน ส่วนใหญ่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นองค์ประกอบ เช่น อุตสาหกรรมน้ำมัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกใช้สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดิบ สำหรับเปลี่ยนสถานะของไอที่ออกมาจากหอกลั่นให้เป็นของเหลว และสำหรับการลดอุณหภูมิของน้ำมันหรือก๊าซ ในทำนองเดียวกันกับในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่มอุณหภูมิ ลดอุณหภูมิ หรือหมุนเวียนความร้อนจากของไหลกลับมาใช้ใหม่

หน้าที่หลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือ การนำเอาพลังงานความร้อนมาใช้อย่างถูกหลักการ และมีประสิทธิภาพ ดังนั้น วิธีใช้และเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสัมพันธ์กับต้นทุนของกระบวนการ และอาจมีผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์ การเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องทำอย่างระมัดระวัง เงื่อนไขที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมก็คือ ความมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงและราคาถูก

## 2.2 ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Types of heat exchangers)

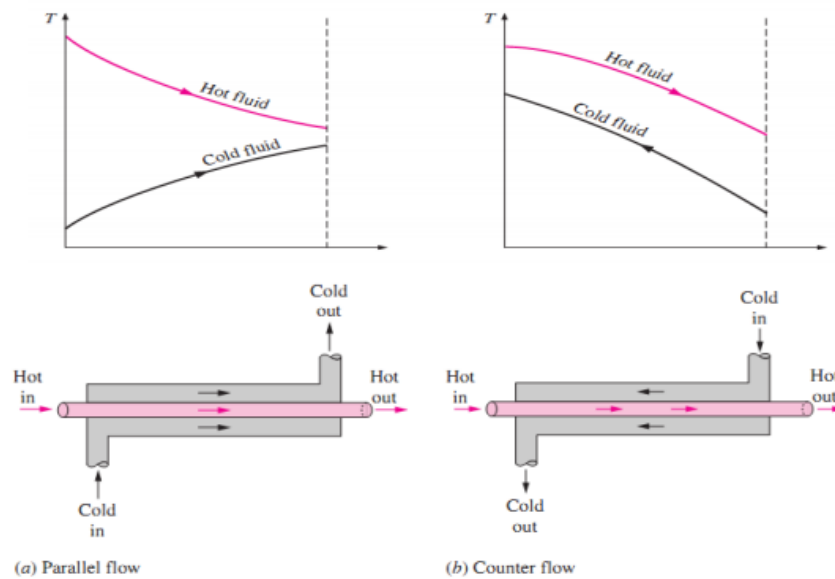
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบ การจำแนกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอาจทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก

### 2.2.1 แบ่งตามลักษณะการไหลของของไหล สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

- การไหลแบบทางเดียวกัน (Parallel flow)
- การไหลสวนทางกัน (Counter flow)
- การไหลตั้งฉากกัน (Cross flow)

2.2.2 แบ่งตามลักษณะของรูปร่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถแบ่งได้ 3 ประเภทหลัก ๆ ดังนี้

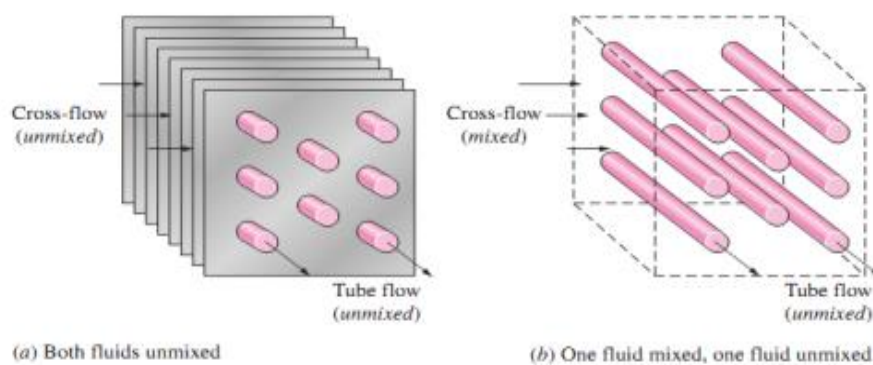
2.2.2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Concentric tube or Double pipe) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้อาจอยู่ในลักษณะที่ท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกันดังภาพที่ 2 ส่วนการไหลของของไหลอาจไหลสวนทางกัน เรียกว่า counter flow หรือไหลขนานกัน เรียกว่า parallel flow



ภาพที่ 2 ลักษณะการไหลที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double-pipe heat exchanger)

### 2.2.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ของไหลมีทิศทางการตั้งฉากกัน (Cross flow)

ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ของไหลจะไหลในทิศทางการตั้งฉากกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 การสร้างนี้อาจให้อยู่ในลักษณะของไหลเดี่ยวเดียว (Single pass) หรือ ไหลสองเที่ยว (Double pass) หรือมากกว่าก็ได้

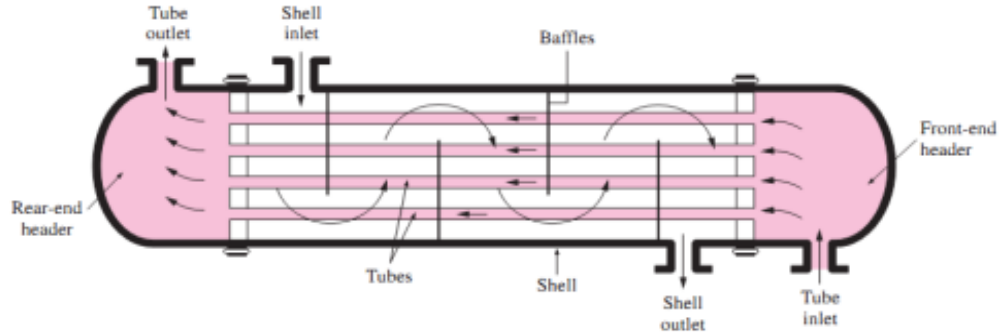


ภาพที่ 3 การไหลที่แตกต่างกันใน cross flow heat exchangers

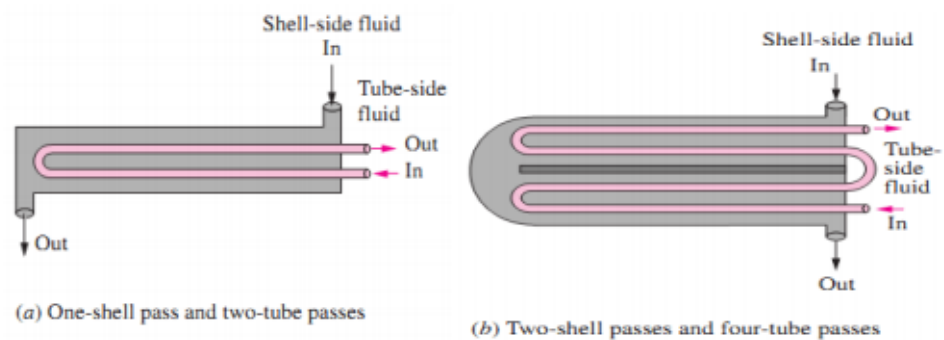
### 2.2.2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and tube)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ของไหลชนิดหนึ่งจะอยู่ในเชลล์ และอีกชนิดหนึ่งจะอยู่ในท่อ

สำหรับการไหลนั้นจะอยู่ในลักษณะไหลสวนทางกัน หรือไหลขนานกันก็ได้ นอกจากนี้้อาจออกแบบให้ของไหลมีทิศทางการตั้งฉากกับต่อกันก็ได้



ภาพที่ 4 Shell and tube heat exchangers 1 shell pass and 1 tube pass (1-1 exchangers);



ภาพที่ 5 Multi-pass flow arrangements in shell-and-tube heat exchangers.

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ แบ่งตามสภาวะของของไหลที่ใช้ และแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้คือ

#### การแบ่งตามสภาวะของไหลที่ใช้

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด เช่น น้ำมันกันทอกลั่นและน้ำมันดิบที่ป้อนเข้าทอกลั่น เป็นต้น

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด โดยของเหลวชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนสภาวะเป็นก๊าซหรือระเหยเป็นไอในระหว่างแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องต้มซ้ำ (Re-boiler) ของทอกลั่นน้ำมัน ซึ่งใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงเป็นแหล่งความร้อน

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ไม่เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ก๊าซทิ้งเป็นแหล่งความร้อน
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยชนิดหนึ่งจะมีการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องกระจายความร้อน (Radiator) สำหรับทำความอบอุ่นในห้อง โดยทำอากาศให้อุ่นด้วยไอน้ำ
4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยชนิดหนึ่งเป็นก๊าซและอีกชนิดหนึ่งเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อน ที่ใช้ก๊าซทิ้งจากหม้อไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน
5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ เช่น หม้อไอน้ำแบบท่อซึ่งระเหยน้ำให้เป็นไอน้ำด้วยก๊าซสันดาป และเครื่องควบแน่น ซึ่งควบแน่นไอให้เป็นของเหลวด้วยน้ำระบายความร้อน

#### การแบ่งประเภทตามจุดประสงค์การใช้งาน

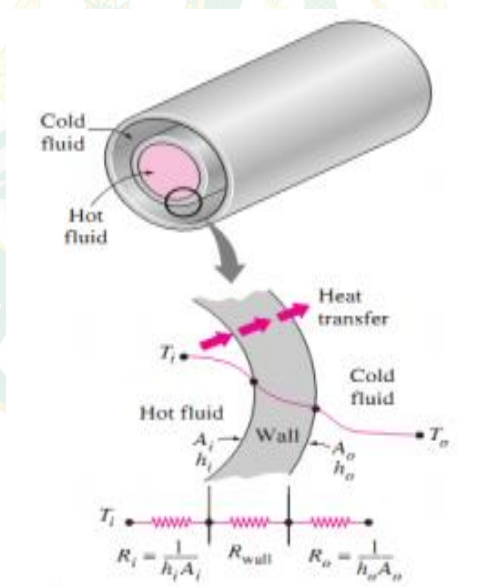
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งตามประเภทจุดประสงค์การใช้งานหรือลักษณะการใช้งานนั้น ได้แก่

1. เครื่องระเหย (Evaporator) หรือหม้อเคี่ยว (Concentrator) การใช้งานคือการระเหยของเหลวให้เป็นไอเพื่อใช้ไอที่เกิดขึ้นให้เป็นประโยชน์ หรือเพื่อให้ได้ของเหลวที่เข้มข้นขึ้น
2. เครื่องอุ่น หรือเครื่องทำให้ร้อนล่วงหน้า (Preheater) จุดประสงค์ก็เพื่อทำให้ของไหลร้อนล่วงหน้า ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกระบวนการ โดยทั่วไปมักจะเรียงชื่อตามตำแหน่งข้างหน้าของการใช้งานหรือตามประเภทของของไหลที่ถูกอุ่นให้ร้อน เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Boiler feed water preheater) เป็นต้น
3. เครื่องทำให้ร้อน (Heater) จุดประสงค์ก็เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น
4. เครื่องทำให้ร้อนยิ่งยวด (Superheat-heater) เครื่องนี้จะทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้กับของไหลที่ถูกทำให้ร้อนมาแล้ว เพื่อที่จะทำให้อยู่ในสภาพร้อนยิ่งยวด
5. เครื่องต้มซ้ำ (Re-boiler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ให้ความร้อนให้กับของเหลวเพื่อที่จะระเหยให้เป็นไ้อีกครั้ง
6. เครื่องควบแน่น (Condenser) จุดประสงค์ที่สำคัญก็เพื่อควบไอให้กลายเป็นของเหลว เช่น เครื่องควบแน่นไอน้ำ
7. เครื่องควบแน่นหมด (Total condenser) เครื่องนี้เป็นเครื่องควบแน่นชนิดหนึ่ง ที่ใช้กับหอกลั่นได้รับการออกแบบให้สามารถควบแน่นไอที่ออกจากยอดหอกลั่นได้ทั้งหมด

8. เครื่องควบแน่นบางส่วน (Partial condenser) เครื่องควบแน่นประเภทผลิตขึ้นใช้กับหอกลั่น มีจุดประสงค์เพื่อควบแน่นบางส่วนให้กลายเป็นของเหลว
9. เครื่องระบายความร้อน (Cooler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับของไหลเพื่อลดอุณหภูมิของของไหล
10. เครื่องทำให้เย็นจัด (Chiller) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของไหลให้ต่ำลงมาก โดยใช้สารทำความเย็น (Refrigerant) เช่น ฟรียอน แอมโมเนีย เป็นต้น

### 2.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat transfer coefficient)

เรื่องที่สำคัญเป็นอันดับแรกในการวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับเซลล์ในเชิงความร้อนก็คือ การหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างของไหลสองชนิด นั้นได้นิยามความหมายของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างของไหลที่มีอุณหภูมิเป็น  $T_h$  กับของไหลเย็นที่มีอุณหภูมิเป็น  $T_c$  ที่กันโดยผนังทึบด้วยสมการ (1)



ภาพที่ 6 Thermal resistance network associated with heat transfer in a double-pipe heat exchanger.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA\Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T \quad (1)$$

$$R = R_{\text{total}} = R_i + R_{\text{wall}} + R_o \quad (2)$$

เมื่อ  $U$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat transfer coefficient,  $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

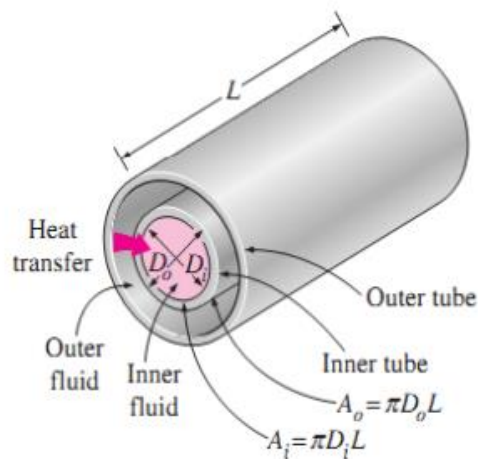
กำจัด  $\Delta T$  ออกไป สมการ (1) ก็จะลดรูปลงดังสมการ (2)

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{\text{wall}} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (3)$$

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (4)$$

$$A_s = A_{\text{total}} = A_{\text{fin}} + A_{\text{unfinned}} \quad (5)$$

$$A_s = A_{\text{unfinned}} + \eta_{\text{fin}} A_{\text{fin}} \quad (6)$$



ภาพที่ 7 The two heat transfer surface areas associated with a double-pipe heat exchanger (for thin tubes,  $D_i \approx D_o$  and thus  $A_i \approx A_o$ ).

สำหรับในกรณีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ประกอบด้วยท่อสองขนาดซ้อนร่วมแกนเดียวกันนั้น (Double-pipe) ดังภาพที่ 7 มี  $A_i = \pi D_i L$  และ  $A_o = \pi D_o L$  ดังนั้นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวท่อกรณีนี้จะมีค่าเป็น

$$R_{\text{wall}} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} \quad (7)$$

เมื่อ  $k$  = thermal conductivity

$L$  = length of the tube

จะได้ผลรวมของความต้านทานความร้อน (Total thermal resistance)

$$R = R_{\text{total}} = R_i + R_{\text{wall}} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (8)$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA\Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T \quad (9)$$

เมื่อ  $U$  คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat transfer coefficient,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) กำหนด  $\Delta T$  ออกไป สมการ (9) ก็จะลดรูปลงดังสมการ (10)

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{\text{wall}} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (10)$$

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (11)$$

$$A_s = A_{\text{total}} = A_{\text{fin}} + A_{\text{unfinned}} \quad (12)$$

$$A_s = A_{\text{unfinned}} + \eta_{\text{fin}} A_{\text{fin}} \quad (13)$$

ที่มา : (บทที่ 7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน)

## 2.4 หลักการออกแบบทางความร้อน (สุรศักดิ์ คชนเร็ว, 2557)

การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอาจจะแบ่งภารกิจออกเป็นสองส่วนที่มีความสัมพันธ์กันได้แก่

1. การออกแบบทางความร้อน
2. การออกแบบทางกล

การออกแบบทางความร้อนจะเกี่ยวข้องกับสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้หลักประกันว่า อุปกรณ์ที่ออกมามีพื้นผิวเพียงพอสำหรับการทำหน้าที่ทางความร้อน งานในส่วนนี้รวมไปถึงการประเมินการเสื่อมถอยของสมรรถนะซึ่งมีแนวโน้มจะเกิดขึ้นในขณะใช้งาน อันเป็นผลจากการเกาะสะสมของคราบสกปรกพื้นผิวถ่ายเทความร้อน ผู้ทำหน้าที่ออกแบบทางความร้อนจะต้องพิจารณาถึงเทคนิค หรือวิธีการในการลดทอนผลกระทบจากการเกิดคราบสกปรกหรือเฟอลิง (Fouling) ด้วย

ผลกระทบในแง่ของการไหลก็นับว่ามีความสำคัญเช่นกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่เคลื่อนที่ที่จะต้องเกี่ยวข้องกับความเร็วของของไหลเสมอ อันเป็นผลเนื่องจากความหนืดของของไหล ผลของความหนืดดังกล่าวนี้จะปรากฏออกมาในภาพของการสูญเสียความดันจากทางเข้าถึงทางออก เพื่อที่จะเอาชนะจากความดันตกจากการสูญเสียความดัน ของไหลจะต้องถูกปั๊มหรืออัด ซึ่งจะต้องใช้กำลังทางกลในการขับเคลื่อน ซึ่งอาจจะได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า, เครื่องยนต์ หรือจากแหล่งอื่น สำหรับแก๊สและไอซึ่งเป็นของไหลที่อัดได้นั้น ค่าใช้จ่ายในการปั๊มหรืออัดเพื่อขับเคลื่อนของไหลในบางกรณีอาจจะสูงกว่ามูลค่าของการถ่ายเทความร้อนเอง ดังนั้นในการออกแบบทางความร้อนจึงครอบคลุมไปถึงการจัดภาพทรง และภาพแบบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดทอนการสูญเสียความดันให้เหลือน้อยที่สุดสำหรับภาระทางความร้อนที่ต้องการ

การออกแบบทางความร้อนจะต้องมุ่งมั่นให้บรรลุภารกิจทางความร้อนภายใต้ข้อจำกัดทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งได้แก่ ราคาของอุปกรณ์ การขนส่ง การติดตั้ง การบำรุงรักษาและการเปลี่ยน นอกจากนี้จะต้องมีการชั่งน้ำหนักระหว่างการลดค่าลงทุนเริ่มต้น แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงภายใต้สภาวะที่พลังงานมีราคาสูงขึ้น เพื่อใช้ในการปั๊มและพัดลมเป็นต้น ผู้ออกแบบจะต้องตระหนักถึงการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แนวโน้มการเกิดการกัดกร่อนของวัสดุและของไหลต่าง ๆ ความเป็นไปได้ของการเกิดโพสิเมอร์ของสารออร์แกนิกบนพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงเกินไป การตกตะกอนของเกลือน้ำกร่อย และการเกาะสะสมของสารแขวนลอยในบริเวณที่มีความเร็วต่ำกรณีของไหลที่มีสิ่งแขวนลอย หรือของไหลที่มีสิ่งปนเปื้อนปนเปื้อนสูงมาก

นอกจากนี้การออกแบบทางความร้อนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย สาธารณชนเริ่มมีความห่วงใยต่อความร้อนปล่อยทิ้งจากโรงงานมากขึ้น จากการศึกษาปัญหาและข้อมูลต่าง ๆ และการสำรวจทั่วไป กระทบทอที่ใช้งานตามทั่วไป ในกระบวนการแปรรูปในรูปแบบการทอด คุณภาพของน้ำมันมีการเสื่อมสภาพไว มีการตกตะกอนหลังการทอด ทำให้สีของน้ำมันมีความเข้มจนกลายเป็นสีดำ จึงทำให้อาหารที่นำไปทอดเปลี่ยนสีไปเป็นสีดำด้วยเช่นกัน ทำให้การทอดโดยใช้กระทะทั่วไปมีประสิทธิภาพที่ต่ำ ดังนั้นจึงมีการศึกษาและออกแบบเครื่องทอด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น สามารถออกแบบโดยใช้หลักการออกแบบทางด้านวิศวกรรม และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของ

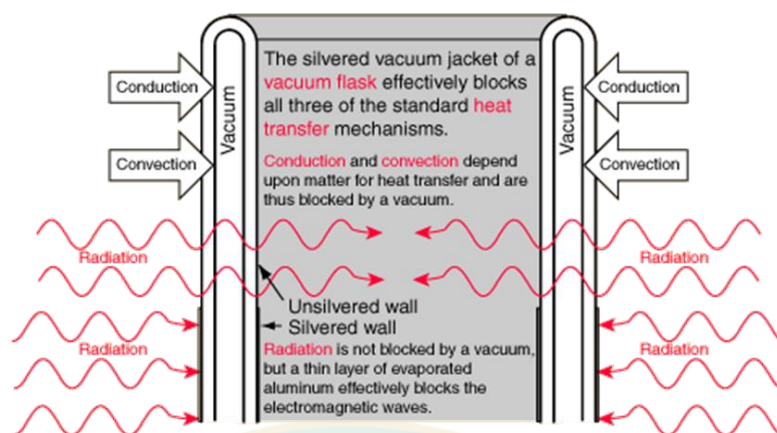
เครื่องทอดและกระบวนการทอดได้ดียิ่งขึ้น เหมาะสมกับการทำงาน คุ่มค่าต่อการนำไปใช้เป็นเครื่องมือประกอบอาชีพได้เป็นอย่างดี จึงถือได้ว่ามีประโยชน์ต่อผู้ประกอบการเป็นอย่างมาก ดังแสดงภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น

## 2.5 กลไกการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) มีความสำคัญกับงานทางวิศวกรรมอย่างมาก ที่ลักษณะงานต้องเกี่ยวข้องกับระบบหรือชิ้นส่วนที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงต้องมีการออกแบบเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในระบบได้อย่างเหมาะสม เช่น การออกแบบ Heat sink เพื่อถ่ายเทความร้อนบนชิ้นส่วนหรือวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ การถ่ายเทความร้อนจากเครื่องยนต์โดยอาศัยหม้อน้ำรถยนต์ซึ่งมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนหรือไอน้ำที่เรียกว่าหม้อไอน้ำ การออกแบบหลังคาตัวอาคารและการเลือกใช้วัสดุที่ช่วยป้องกันความร้อน เป็นต้น การถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ไม่ว่าจะเป็น การใช้ความร้อนในการหุงต้มอาหาร กระบวนการแปรรูปที่เกี่ยวข้องกับความร้อนและความเย็นในโรงงานแปรรูปอาหาร เช่น กระบวนการแช่เย็น การแช่เย็น การฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนการอบแห้ง และการระเหย เป็นต้น กระบวนการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวกลางให้ความร้อน หรือความเย็นการถ่ายโอนความร้อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งมีค่าแตกต่างกันโดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่มีอุณหภูมิสูงไปที่มีที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ ในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลางการถ่ายโอนความร้อน (รศ. มนตรี พิรุณเกษร, 2539) พลังงานความร้อนสามารถถ่ายเทจากสสารหนึ่งไปยังสสารหนึ่ง โดยมีสื่อตัวกลางหรือไม่มีก็ได้ เราแบ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้



ภาพที่ 9 แสดงการถ่ายโอนความร้อนแบบต่าง ๆ

ที่มา: (<https://sites.google.com/site/worapon563/home/kar-thay-xon-khwam-rxn-heat-transfer>)

### 2.5.1 การนำความร้อน (Heat Conduction)

คือการถ่ายเทความร้อนโดยที่ตัวกลางไม่เคลื่อนที่ เช่น ความร้อนจากกาแฟในถ้วยไหลผ่านช้อนโลหะทำมือที่จับที่ด้ามช้อนรู้สึกร้อน เป็นต้น การนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์ระดับอนุภาคของสสาร เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสั่นและส่งต่อพลังงาน การนำความร้อนจึงเกิดขึ้นได้ในสสารทุกสถานะทั้งของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ความสามารถในการนำความร้อนของสสารแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายความสามารถดังกล่าวเรียกว่า ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity:  $k$ ) วัสดุที่มีค่า  $k$  สูงจะนำความร้อนได้ดี เช่น เหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม จึงนิยมนำเอามาใช้ทำภาชนะหุงต้ม หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ส่วนวัสดุที่มีค่า  $k$  ต่ำจะนำความร้อนได้น้อย เช่น โยเกิร์ต ยิปซัม จึงนิยมนำมาใช้ทำฉนวนกันความร้อน เป็นต้น พื้นฐานการนำความร้อนอธิบายได้ด้วย กฎการนำความร้อนของฟูริเยร์ (Fourier law of heat conduction) คือ “อัตราการถ่ายนำความร้อนแปรผันตรงกับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิและพื้นที่”

$$q = -kA_c \frac{dT}{dx} \quad (14)$$

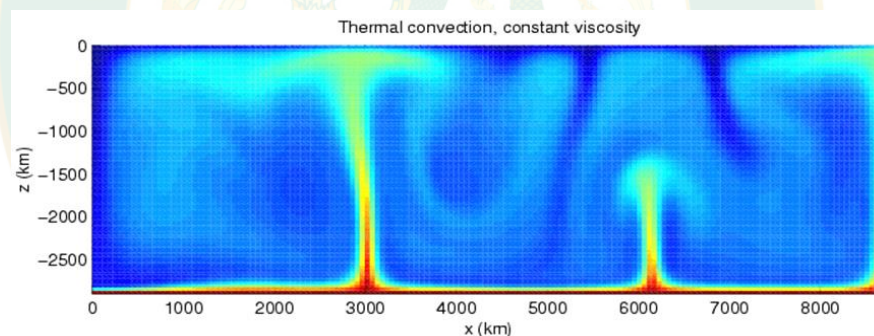
ดังนั้น หากต้องการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำให้ได้มาก ทำได้โดยเลือกวัสดุตัวกลางที่มีค่าสภาพการนำความร้อนสูง ๆ หรือเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสของการนำความร้อนให้มากขึ้น

## 2.5.2 การพาความร้อน (Heat Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยที่ตัวกลางเคลื่อนที่หรือไหลไปด้วย การพาความร้อนจึงเกิดขึ้นเฉพาะกับของเหลวหรือก๊าซเท่านั้น ความสามารถในการพาความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient:  $h$ ) ค่าอุณหภูมิแวดล้อม และขนาดพื้นที่ผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อน โดยทั่วไปค่า  $h$  ขึ้นอยู่กับหลายพารามิเตอร์ เช่น เร็วและสมบัติของตัวกลาง ซึ่งมักได้จากการทดลองเป็นรายกรณี ค่า  $h$  สูงหมายถึงการพาความร้อนได้ดี ในทางกลับกันค่า  $h$  ต่ำหมายถึงพาความร้อนได้ไม่ดี พื้นฐานของการพาความร้อนอธิบายด้วย Newton's cooling law ดังนี้

$$q = hAs (T - T_{\infty}) \quad (15)$$

ดังนั้น หากต้องการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาให้ได้มาก ทำได้โดยเพิ่มค่า  $h$  เช่นการติดตั้งพัดลมช่วยเป่า หรือเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัตถุที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น



ภาพที่ 10 แสดงให้เห็นถึงการคำนวณการพาความร้อนที่ปกคลุมบนโลก สีใกล้เคียงกับสีแดงเป็นพื้นที่บริเวณร้อนและสีที่ใกล้เคียงกับสีฟ้าเป็นพื้นที่บริเวณที่เย็น

ที่มา: (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2562)

### ประเภทของการพาความร้อน

#### 1) การพาความร้อนแบบธรรมชาติหรือแบบอิสระ (Natural or Free Convection)

การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใด ๆ ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ที่มีอุณหภูมิของของไหล แตกต่างกัน ใน 2 บริเวณ

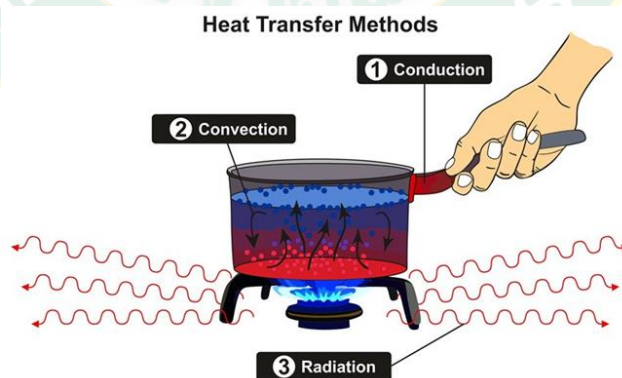
2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบลม เป็นต้น

3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่อาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อน เช่น การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก ฯลฯ โดยทั่วไปวัตถุยิ่งมีอุณหภูมิสูงจะยิ่งแผ่รังสีความร้อนได้มาก หลักการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีอธิบายได้ด้วย Stefan-Boltzmann Law ดังนี้

$$q = \epsilon \sigma A_s T^4 \quad (16)$$

เมื่อ  $\sigma$  เป็นค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ซึ่งเท่ากับ  $5.6703 \times 10^{-8}$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$ ) และ  $\epsilon$  เป็นค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) โดย  $\epsilon=1$  สำหรับวัตถุดำ และ  $\epsilon=0$  สำหรับวัตถุขาว

การแผ่รังสีความร้อนจะมีลักษณะการแผ่ออกไปในทุกทิศทางรอบจุดกำเนิดหรือวัตถุ โดยวัตถุที่มีความร้อนมากกว่าจะแผ่รังสีได้มากกว่า เช่น ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนได้มากกว่าดวงจันทร์ ฯลฯ ส่วนความสามารถในการดูดซับความร้อนก็จะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับลักษณะและสมบัติของวัตถุนั้น ๆ เช่น วัตถุสีเข้ม ดำน ฯลฯ จะสามารถแผ่และดูดซับความร้อนได้ดีกว่าวัตถุที่มีสีอ่อนและมันวาว หรือหากวัตถุสองชิ้นทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน ปริมาณเท่ากัน วัตถุที่มีลักษณะแบนบาง จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้เร็วกว่าวัตถุที่อ้วนหนา



ภาพที่ 11 การถ่ายเทความร้อน

ที่มา: (www.shutterstock.com)

ภาพที่ 11 แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของวัฏจักรการพาความร้อน การแผ่รังสีจากกองไฟทำให้เกิดความร้อนที่ก้นหม้อน้ำด้านนอก โลหะทำให้เกิดการนำความร้อนเข้าสู่ภายในหม้อ ทำให้น้ำที่อยู่เบื้องล่างร้อนและขยายตัว มีความหนาแน่นต่ำจึงลอยขึ้นสู่ข้างบน ส่วนน้ำเย็นความหนาแน่นสูงซึ่งอยู่ด้านบนเคลื่อนตัวลงมาแทนที่ เมื่อน้ำเย็นที่เคลื่อนลงมาได้รับความร้อนเบื้องล่าง ก็จะลอยขึ้นหมุนวนเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป ซึ่งเรียกว่า “เซลล์การพาความร้อน” (Convection cell) เซลล์การพาความร้อนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติได้แก่ การหมุนเวียนของเหล็กไหลในแก่นชั้นนอกของโลก กระบวนการธรณีแปรสัณฐาน สายพานยักษ์ของกระแสน้ำลึกในมหาสมุทร วัฏจักรน้ำบนพื้นผิวโลก กระแสลมและความกดอากาศ กระแสอากาศในเมฆคิวโมโลนิมบัส บรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ของดวงอาทิตย์ แถบเข็มขัดเมฆบนดาวพฤหัสบดี เป็นต้น

**ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity, c)** คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวล 1 หน่วย มี อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยองศา จากนั้นเราสามารถหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุมวล  $m$  ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป  $\Delta T$  หน่วย โดย

$$Q = mc\Delta T \quad (17)$$

โดยที่  $Q$  = ปริมาณความร้อนที่ใช้ มีหน่วยเป็นจูล หรือ แคลอรี  
 $m$  = มวลของวัตถุนั้น มีหน่วยเป็น กิโลกรัมหรือ กรัม  
 $\Delta T$  = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป มีหน่วยเป็น เคลวิน หรือ องศาเซลเซียส ก็ได้

ความจุความร้อนจำเพาะในระบบ S.I. มีหน่วยเป็น J/kg·K และในระบบ c.g.s. มีหน่วยเป็น Cal/g·°C

## 2.6 สมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium)

จากการถ่ายโอนความร้อน วัตถุชิ้นแรกที่มีพลังงานความร้อนมาก จะถ่ายเทพลังงานความร้อนไปยังวัตถุชิ้นที่สองที่มีพลังงานความร้อนน้อยกว่า ทำให้วัตถุชิ้นแรกมีพลังงานความร้อนลดลง และวัตถุอีกชิ้นที่สองมีพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นเท่ากับพลังงานความร้อนที่ลดลงในวัตถุชิ้นแรก และจะหยุดถ่ายโอนเมื่ออุณหภูมิของทั้งสองชิ้นเท่ากัน ซึ่งเป็นสภาพที่เรียกว่า สมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium) โดยจะไม่ขึ้นอยู่กับชนิดหรือขนาดของวัตถุ

การถ่ายโอนพลังงานจะเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงาน ให้แก่สิ่งแวดล้อม และพลังงานที่เพิ่มขึ้นของวัตถุชิ้นที่สอง และพลังงานที่ลดลงของวัตถุชิ้นที่หนึ่ง เท่ากัน ดังสมการที่ 5 จะได้ว่า

$$\text{ความร้อนลด} = \text{ความร้อนเพิ่ม} \quad (18)$$

โดยการคำนวณจะใช้สูตร  $Q = mc\Delta T$  หรือ  $Q = mL$  ในการคำนวณ

## 2.7 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแคบหมูและวิธีการผลิต

แคบหมูเป็นผลิตภัณฑ์พื้นเมืองประจำถิ่นของภาคเหนือ สามารถนำมาเป็นอาหารได้หลายรูปแบบ เช่น บริโภคเป็นอาหารโดยตรง จิ้มน้ำพริกและรับประทานร่วมกับอาหารบางชนิด หรือรับประทานในรูปแบบอาหารขบเคี้ยว เป็นต้น (อิมเอ็บ พันสด, 2549) ในปัจจุบันแคบหมูได้รับความนิยมเป็นที่ชื่นชอบในการบริโภค เนื่องจากการที่นักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติได้แวะเวียนมาเที่ยวและมีโอกาสรับประทาน

**แคบหมู** คือ การนำเอาหนังหมูอาจมีไขมันติดมากหรือน้อยตามชนิดของแคบหมูที่จะผลิตมาผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ มีการปรุงรสด้วย เกลือ ซีอิ๊ว และผงชูรส เป็นต้น จากนั้นนำไปผ่านการทอดจนแคบหมูมีลักษณะพอง กรอบ สีน้ำตาลอ่อนหรือสีน้ำตาลเข้ม มีรสชาติเค็มเล็กน้อย การทำแคบหมูนอกจากเป็นวิธีการแปรรูปหนังหมูให้เป็นอาหารที่เก็บไว้ได้นานขึ้นแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของหนังหมูให้มีราคาสูงขึ้น และสร้างรายได้ให้กับชุมชนและท้องถิ่น ซึ่งจากข้อมูลสถิติการนำเข้าหนังหมูแช่แข็ง ปี 2550 มีการนำเข้าหนังหมูแช่แข็งรวมทั้งหมด 10,860,998 กิโลกรัม เป็นมูลค่า 644,975,181 บาท ซึ่งประเทศที่มีการส่งออกมายังประเทศไทย ได้แก่ เยอรมัน เบลเยียม อิตาลี และเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น (ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์, 2551) แม้วัตถุดิบหลักของการผลิตแคบหมู คือ หนังหมู แต่ในแคบหมูยังมีคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ที่ร่างกายจะได้รับเมื่อรับประทานมีทั้งโปรตีน ไขมัน พลังงาน วิตามิน และแร่ธาตุหลายชนิด ดังตารางที่ 2

## ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของแคบหมู

สารอาหาร	ปริมาณสารอาหารที่ร่างกายได้รับต่อ	
	ปริมาณอาหารที่รับประทาน 100 กรัม	
	แคบหมูติดมัน	แคบหมูไร้มัน
1. ความชื้น	1.8 กรัม	2.9 กรัม
2. พลังงาน	626 กรัม	515 กรัม
3. โปรตีน	49 กรัม	56 กรัม
4. ไขมัน	48 กรัม	27 กรัม
5. คาร์โบไฮเดรต	-	11.5 กรัม
6. แคลเซียม	29 มิลลิกรัม	27 มิลลิกรัม
7. ฟอสฟอรัส	69 มิลลิกรัม	55 มิลลิกรัม
8. ธาตุเหล็ก	2.1 มิลลิกรัม	3.4 มิลลิกรัม
9. วิตามิน เอ	8 RE	-
10. วิตามิน อี	0.42 มิลลิกรัม	0.17 มิลลิกรัม
11. วิตามินบี หนึ่ง	0.08 มิลลิกรัม	0.02 มิลลิกรัม
12. วิตามินบี สอง	0.16 มิลลิกรัม	0.1 มิลลิกรัม
13. วิตามินบี สาม	2 มิลลิกรัม	2.4 มิลลิกรัม

ที่มา: (กองโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2551)

แคบหมูที่ทำจากหนังหมูแบ่งออกได้หลายลักษณะตามข้อมูล ดังนี้ (วัชระ ทองงอก และคณะ, 2548)

1) แคบหมูไร้มันทำจากหนังหมูล้วนเป็นแผ่นขนาด 2x4 นิ้ว ส่วนมากนิยมนำมาประกอบอาหาร เช่น ทำกระเพาะปลา อาหารประเภทยำต่าง ๆ เช่น ยำแคบหมู หรือยำใหญ่ ฯลฯ ในปัจจุบันผู้ผลิตมีการพัฒนารสชาติและปรับขนาดให้เล็กลงให้นำรับประทานมากขึ้น ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แคบหมูไร่มัน

2) แคบหมูติดมันเล็กน้อย ขนาด 1-2 นิ้ว x 3-4 นิ้ว ลักษณะเป็นรูปโค้งเข้าหากันเกือบกลม นิยมรับประทานเป็นเครื่องเคียง ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แคบหมูติดมัน

3) แคบหมูติดมันและมีเนื้อปน ส่วนมากนิยมทำเป็นแผ่นใหญ่ ขนาด 7x10 นิ้ว ทำจากหนังหมูด้านข้างซีโครง ผลิตมากในจังหวัดตาก น่าน และแพร่ โดยเฉพาะในอำเภอลอง จังหวัดแพร่ แคบหมูชนิดนี้เก็บไว้ได้ไม่นาน

ลักษณะแคบหมูที่ดีตามข้อเสนอแนะของ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ลักษณะทั่วไปของแคบหมูมีขนาดขึ้น และการพองตัวสม่ำเสมอ อาจแตกหักได้เล็กน้อย ไม่มีขนหมูติดอยู่ สีของแคบหมูต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีรอยไหม้ ต้องมีกลิ่นและรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ หรือกลิ่นหืน เป็นต้น ลักษณะเนื้อสัมผัสต้องกรอบไม่เหนียว และไม่แข็งกระด้างต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่ง

ปฏิภูลจากสัตว์ เป็นต้น ห้ามใช้วัตถุกันเสีย และสีทุกชนิด หากมีการใช้วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสให้ใช้ได้ ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด โดยกำหนดให้ใช้วัตถุกันเหินชนิดบิวทิลไฮดรอกซีอะนิโซล (Butylated hydroxyanisole, BHA) และ บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene, BHT) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันต้องไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความชื้นของแคะหมูต้องไม่เกินร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก จุลินทรีย์ที่พบ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน  $1 \times 10^4$  โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

วิธีการผลิตแคะหมูเริ่มจากการเลือกวัตถุดิบหลักเพื่อให้ได้แคะหมูที่มีคุณภาพ สิ่งสำคัญประการแรก คือ การเลือกหนังหมูที่เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น การผลิตแคะหมูไร้มันจะใช้หนังส่วนลำตัว ส่วนการผลิตแคะหมูติดมันจะใช้หนังส่วนสะโพก นำหนังหมูที่เลือกไว้มาทำความสะอาดโดยการใช้ใบมีดโกนขูดสิ่งสกปรกที่ติดมากับหนังหมูออกให้หมดแล้วจึงล้างน้ำสะอาดนำมาผสมเครื่องปรุงรส ประกอบด้วย เกลือ ผงชูรส ซีอิ้วขาว และเครื่องปรุงรสอื่น ๆ ตามตำรับเฉพาะของผู้ผลิตแต่ละราย เช่น ผงชูรส ซอสพริก ซีอิ้วดำ ซอสปรุงรสหรือพริกไทย เป็นต้น นำไปตากแดด 5-8 ชั่วโมง ผู้ผลิตบางรายใช้การอบแทนการตากแดดเพื่อลดเวลาในการผลิต จากนั้นนำมาหั่นตามขนาดที่ต้องการ นำไปต้มในน้ำมันจนหนังหมูสุกและลอยตัวขึ้นจึงนำไปทอดด้วยน้ำมันอีกครั้ง โดยใส่หนังหมูต้มลงไปทอดในน้ำมันที่ร้อนจัด หนังหมูจะขยายตัวและได้รับความร้อนจากน้ำมันโดยทั่วกัน ในการผลิตแคะหมูไร้มันและแคะหมูติดมันมีขั้นตอนการผลิตที่คล้ายกันแตกต่างกันเพียงสูตรการผลิตของผู้ผลิตแต่ละรายเท่านั้น

## 2.8 กระบวนการทอด

**การทอด** หมายถึง การนำชิ้นอาหารใส่ลงในน้ำมันขณะร้อน ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักในอาหารระเหยกลายเป็นไอน้ำ ผิวนอกของอาหารจะแห้ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายการอบหรือการย่าง การระเหยของน้ำจะค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าไปด้านในของชิ้นอาหารทำให้ผิวนอกมีลักษณะเป็นเปลือกแห้งหุ้มชิ้นอาหารไว้ ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนเท่ากับน้ำมัน และอุณหภูมิภายในชิ้นอาหารก็เพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส วัตถุประสงค์หลักของการทอดคือ เพื่อเปลี่ยนคุณภาพการบริโภคของอาหาร วัตถุประสงค์รองคือ การถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์และลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ผิวอาหาร หรือลดอุณหภูมิของอาหาร (วิไล รังสาทอง, 2547)

การทอดเป็นวิธีการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง โดยอาศัยน้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังอาหาร เมื่ออาหารที่ต้องการทอดสัมผัสกับน้ำมันที่ร้อนอุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนบริเวณผิวของอาหาร และ

น้ำมันจะเคลื่อนที่เข้าไปแทนที่น้ำหรือไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกมา ส่งผลให้อาหารที่ผ่านการทอดมีความชื้นลดลงและมีการดูดกลืนน้ำมัน ผลของการให้ความร้อนแก่น้ำมันทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน (Jack, 2000) จากปฏิกิริยาดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพด้านสี ความหนืด และความคงตัวของน้ำมัน รวมทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอดอีกด้วย องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันขณะทอด เนื่องจากในน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกัน จะส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันแตกต่างกันด้วยการเลือกใช้น้ำมันสำหรับการทอดจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรพิจารณา โดยคำนึงถึงความคงตัวของน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันขณะทอด และได้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่มีคุณภาพ ดังนั้นน้ำมันที่นำมาใช้ในกระบวนการทอดควรมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวปริมาณสูง เพราะกรดไขมันชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดี (เนื่อทอง วานานวัธ, 2546)

วิธีการทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญซึ่งจำแนกโดยการถ่ายโอนความร้อนได้เป็น 2 วิธี คือ

**1) การทอดแบบน้ำมันตื้น (Shallow frying)** เป็นการทอดที่ใช้ปริมาณน้ำมันน้อย หรือเพียงใช้น้ำมันเคลือบบนผิวกระทะป้องกันไม่ให้อาหารติดกระทะเท่านั้น วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไช้ เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

**2) การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-fat frying)** เป็นการทอดอาหารในน้ำมันปริมาณมาก โดยอาหารที่ทอดจะจมลงไปอยู่ในน้ำมัน การทอดวิธีนี้เหมาะกับอาหารทุกรูปทรง อาหารที่ได้จากการทอดแบบน้ำมันท่วมนี้มีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากวิธีการทอดแบบแรก คือ มีลักษณะกรอบ พู มีสี กลิ่นและรสชาติเฉพาะตัวที่เกิดจากน้ำมันที่ใช้ในการทอด ทำให้อาหารนำรับประทานมากขึ้น อย่างไรก็ตามหลังจากการทอดแล้วผลิตภัณฑ์มักจะดูดซับน้ำมัน เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารระหว่างน้ำมันกับชิ้นอาหารในขณะทอด โดยเมื่ออุณหภูมิของชิ้นอาหารสูงขึ้นในขณะทอด ความชื้นที่มีอยู่ในชิ้นอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากชิ้นอาหารในรูปแบบของไอน้ำทำให้เกิดช่องว่างในอาหาร น้ำมันที่อยู่รอบชิ้นอาหารจะแทรกซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างทำให้เกิดการสะสมภายในอาหารทอด (Bouchon, 2009) หากร่างกายได้รับไขมันเข้าไปในปริมาณมากจนเกินความต้องการไขมันจะสะสมภายในหลอดเลือดมากกว่าปกติ และอาจส่งผลต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันเส้นเลือดมากกว่าปกติ และอาจส่งผลต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันเส้นเลือดและหัวใจในอนาคตได้

## 2.9 การทอดแบบน้ำมันท่วม

**การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-fat frying)** เป็นวิธีพื้นฐานของการเตรียมอาหารทำให้เกิดคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ต้องการ ได้แก่ ด้านกลิ่นรส สีน้ำตาลทองและลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบของอาหารทอด (Warner, 1998) โดย Mellema (2003) ได้อธิบายถึงกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมว่าเมื่อใส่อาหารในน้ำมันที่ร้อน อุณหภูมิที่ผิวของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำที่ผิวของอาหารเริ่มเดือดโดยทันที น้ำมันบริเวณรอบ ๆ ผิวอาหารจะลดอุณหภูมิลง โดยใช้ความเร็วพอ ๆ กันกับการพาความร้อน เมื่อเริ่มเดือดการพาความร้อนจะเพิ่มขึ้นมาก โดยเกิดการระเหยของไอน้ำออกจากอาหาร จึงทำให้ผิวอาหารแห้งและทำให้อาหารทอดเกิดการหดตัว เกิดรูพรุนและทำให้เกิดความหยابที่อาหาร โดยเฉพาะการระเหยอย่างรุนแรงสามารถทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่และอุณหภูมิที่ผิวอาหารเพิ่มได้ถึงจุดเดือดของน้ำ (100°C) ระหว่างการทอดไม่เพียงแต่จะเกิดการระเหยของไอน้ำแต่ยังเกิดสารประกอบอื่น ๆ จากอาหารไปยังน้ำมันและเมื่อให้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะทำให้ไขมันทอดเกิดการเสื่อมคุณภาพได้

**2.9.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอดอาหาร** (Blumenthal, 1991; Singh and MERMELSTEIN, 1995) กระบวนการทอดอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารในลักษณะต่าง ๆ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ดังนี้

- 1) ช่วงแรกของการให้ความร้อน (Initial heating) เป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิบริเวณผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ
- 2) ช่วงการเดือดของน้ำที่บริเวณผิวอาหาร (Surface boiling) น้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าเริ่มแห้งกลายเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ
- 3) ช่วงอัตราการระเหยลดลง (Falling rate) เป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชิ้นอาหาร และอัตราการระเหยน้ำเริ่มช้าลงอาหารเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ อาทิ เกิดเจลาตินไนซ์ของแป้ง
- 4) จุดยุติการเกิดฟอง (Bubble end-point) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานานน้ำจะระเหยได้ช้าทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

## 2.10 ไขมัน (Lipids)

ไขมันโดยทั่วไปแล้วจะไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว (Apolars) ได้แก่ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ และชนิดที่มีขั้วเล็กน้อย

(Slightly polar) ได้แก่ แอลกอฮอล์ อะซิโตน ไขมันให้พลังงานมากกว่าโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตถึง 2 เท่า คือให้พลังงานประมาณ 9 แคลอรีต่อกรัมในส่วนประกอบของอาหาร ไขมันที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานของร่างกายนั้นจะเก็บสะสมไว้ในรูปเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) รวมอยู่กับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์ ด้วยเหตุนี้จึงพบไขมันได้ในเซลล์ทุกชนิด ทั้งในพืชและสัตว์ (Fuller, 1978; Nawar, 1996)

น้ำมันและไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีความแตกต่างของจุดหลอมเหลวโดยธรรมชาติ โดยน้ำมันจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วนมากแล้วน้ำมันจะมาจากพืชและสัตว์ ส่วนไขมันจะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิปกติและพบในเนื้อเยื่อของสัตว์ คุณลักษณะด้านกายภาพของไขมันและน้ำมันนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าไขมันจะประกอบไปด้วยกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) ในขณะที่น้ำมันซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนมาก และจะมีกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ มักจะเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

ไขมันที่อยู่ในอาหารที่บริโภคจะอยู่ในรูปแบบของไขมันที่มองเห็นได้ด้วยตาสามารถแยกออกมาจากพืชและสัตว์ได้ ได้แก่ เนย น้ำมันหมูและเนยขาว หรือจากส่วนประกอบของอาหาร เช่น นม ชีสและเนื้อสัตว์ เป็นต้น แหล่งใหญ่ของน้ำมันพืชที่มาจากเมล็ด ได้แก่ ถั่วเหลือง ฝ้าย และถั่วลิสง เป็นต้น จากผล ได้แก่ ปาล์ม มะพร้าวและมะกอก เป็นต้น

ไขมันในอาหารยังมีความสำคัญในด้านโภชนาการ ไขมันประกอบไปด้วยแคลอรีสารอาหารพลังงานและกรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกาย ไขมันยังมีหน้าที่ช่วยละลายวิตามินบางชนิด ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความน่ารับประทานให้กับอาหาร

## 2.11 กรดไขมัน

**กรดไขมัน (Fatty acid)** เป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (Straight chain aliphatic monocarboxylic acid) ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในไขมัน น้ำมันและฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายจะมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติล (Acetyl group) ซึ่งมีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอมมาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น ทำให้มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมดเรียกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 พันธะหรือมากกว่าเรียกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) กรดไขมันที่พบในอาหารจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4-26 อะตอมกรดไขมันที่พบมากใน

ร่างกายที่จำนวนคาร์บอน 16-20 อะตอม (Dugan, 1976) ชนิดของกรดไขมันที่พบในอาหารและพบอยู่ในน้ำมันและไขมันบางชนิดดังแสดงใน ตารางที่ 3 4 และ ตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 Fatty acid found in foods

No. Carbon Atoms	Systematic Name	Common Name	Melting Point (°C)	Common Sources
Saturated Fatty Acids				
2	Ethanoic	Acetic	16.7	Vinegar
4	Butanoic	Butyric	-5.3	Milk fats
6	Hexanoic	Caproic	-3.2	Milk fats
8	Octanoic	Caprylic	16.5	Milk fats and palm seed oil
10	Decanoic	Capric	31.6	Sheep and goat's milk
12	Dodecanoic	Lauric	44.8	Coconut oil
14	Tetradecanoic	Myristic <sup>1</sup>	54.4	Palm and coconut oil
16	Hexadecanoic	Palmitic <sup>1</sup>	62.9	Animal fats
18	Octadecanoic	Stearic <sup>1</sup>	70.1	Animal fats
20	Eicosanoic	Arachidic	76.1	Some animal fats
22	Docosanoic	Behenic	80.0	Seed oils
24	Tetracosanoic	Lignoceric	84.2	Minor amounts in some seed oils
26	Hexacosanoic	Cerotic	87.8	Plant waxes
28	Octacosanoic	Montanic	90.9	Beeswax
30	triacontanoic	Melissic	93.6	Beeswax

หมายเหตุ

<sup>1</sup> Major components of fats and oils in food products.

ตารางที่ 4 (continue)

No. Carbon Atoms	Systematic Name	Common Name	Melting Point (°C)	Common Sources
Monoenoic Fatty Acids				
16	9-Hexadecenoic	Palmitoleic	-0.5 to 0.5	Many fats and marine oils
18	6-Octadecenoic	Petroselinic	30 to 33	Parsley seed oil
18	9-Octadecenoic	Oleic <sup>1</sup>	16.3	Almost all oils and fats
22	13-Docosenoic	Erucic	33.5	Rapeseed oil
Polyenoic Fatty Acids				
18	9,12-Octadecatrienoic	Linoleic <sup>1</sup>	-5	Many vegetable oils
18	9,12,15-Octadecatrienoic	Linolenic <sup>1</sup>	-11	Linseed oil
20	5,8,11,14-Eicosatetraenoic	Arachidonic	-49.5	Animal fats

หมายเหตุ

<sup>1</sup> Major components of fats and oils in food products.

ตารางที่ 5 Fatty acid composition of some fats and oils<sup>1</sup>

Source	Fatty Acids (%)						
	12 : 0	14 : 0	16 : 0	18 : 0	18 : 1	18 : 2	Other
Soybean oil		0.1	10.5	3.2	22.3	54.5	9.4 <sup>2</sup>
Cottonseed oil		1.0	25.0	2.8	17.1	52.7	1.4
Corn oil			11.5	2.2	26.6	58.7	1.0
Peanut oil			11.0	2.3	51.0	30.9	4.8
Safflower oil		0.1	6.7	2.7	12.9	77.5	0.1
Safflower oil (high oleic)			5.4	1.7	80.7	12.2	
Safflower oil <sup>3</sup>			7.0	3.3	14.3	75.4	
Olive oil			6.9	2.3	84.4	4.6	1.8
Rapeseed oil		0.1	4.0	1.3	17.4	12.7	64.5 <sup>4</sup>
Coconut oil		16.6	8.0	3.8	5.0	2.5	15.9
Palm kernel oil	48.2	18.4	8.7	1.9	14.6	1.2	4.3
Palm oil	50.9	1.2	46.8	3.8	37.6	10.	0.5
Lard	0.1	1.0	27.0	14.0	43.0	10.0	5.0
Tallow		3.0	30.0	19.0	44.0		4.0

หมายเหตุ <sup>1</sup> Composition in somewhat variable. These are average values.

<sup>2</sup> Soybean oil contains approximately 8% linolenic (18 : 3) acid.

<sup>3</sup> Grown in colder climates. In the southern United States, sunflower oil may contain more than 50% oleic acid and as little as 35% linoleic acid.

<sup>4</sup> Ordinary rapeseed oil contains 45-46% erucic (22 : 1) acid. Other varieties now in production have higher oleic acid contents and little or no erucic acid.

### 2.11.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n}O_2$  เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวและไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด ได้แก่ กรดแอสติก (acetic acid, คาร์บอน 2 อะตอม) และกรดบิวทีริก (Butyric acid, คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำและระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6-10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปไม่ละลายน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไป จะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

### 2.11.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่งเป็นพันธะคู่ ทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีก แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตามจำนวนพันธะคู่ ดังนี้

**2.11.2.1 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 พันธะ (monounsaturated acid)** มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-1}COOH$  ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid,  $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$ ) กรดปาล์มิโตเลอิก (palmitoleic acid,  $CH_3-(CH_2)_5-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$ ) กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันทั่วไป

**2.11.2.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลมากกว่า 1 พันธะ (polyunsaturated acid)** กรดไขมันกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 อัน

## 2.12 น้ำมันทอด

น้ำมันทอดเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร นอกจากจะทำให้อาหารสุกแล้วยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะที่ใช้ทอดและช่วยในเรื่องสีและเพิ่มรสชาติให้กับอาหารอีกด้วย การเลือกน้ำมันที่จะใช้ทอดมักจะพิจารณาจากการยอมรับในผลิตภัณฑ์อาหารที่ทอดจากผู้บริโภค (Balavi Natural Health Center, 2005) แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันทอดที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ (Orthoefor and List, 2007) ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในอาหาร

- มีอายุการใช้งานในการทอดได้นานเสื่อมสลายช้า
- เมื่อใช้ในการทอดต้องให้ลักษณะสีน้ำตาลทองแก่อาหารทอด และไม่ทำให้เกิดการเยิ้มมันบริเวณผิวหน้าของชิ้นอาหาร

- ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่ดี แน่น กรอบ
- ทนต่อการเกิดการหืน
- ไม่ก่อให้เกิดคราบเหนียวที่จะเกาะตัวบริเวณผิวเครื่องทอด
- คงคุณภาพความเป็นน้ำมันทอดได้นาน

น้ำมันที่ผลิตทั่วโลกส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันคาโนลา น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันมะกอก น้ำมันรำข้าว เป็นต้น การเลือกใช้น้ำมันในการทอดนั้นจะเป็นไปตามความนิยมของผู้บริโภคที่แตกต่างกัน

จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้น้ำมันทอดของร้านไก่ทอดตามแฟรนไชส์และบริเวณชุมชนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าชนิดของน้ำมันที่ร้านส่วนใหญ่นิยมใช้ได้แก่ น้ำมันปาล์มและน้ำมันชนิดอื่น ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าวและน้ำมันหมู (เบ็ญจรัก วายุกาพ et al., 2551)

### 2.12.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil)

อาหารทอดคือส่วนประกอบสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารใหญ่ ทั้งความนิยม ความสะดวก ความสามารถในการเข้าถึงคนทุกเพศ ทุกวัย และหากพูดถึงน้ำมันพืชชนิดที่นิยมที่สุดในการทอดก็คือ “น้ำมันปาล์ม” นั่นเอง หลายคนอาจสงสัยว่าเพราะอะไรน้ำมันชนิดนี้ถึงมักถูกใช้เป็นตัวเลือกหลักเสมอ น้ำมันปาล์มสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงกว่าน้ำมันอื่น ๆ ได้มาก เพราะเป็นน้ำมันที่มีจุดเกิดควันสูงและมีความเสถียร ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเมื่อถูกความร้อน กล่าวคือยิ่งอุณหภูมิในกระทะสูงขึ้นไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในน้ำมันยังมีความเสถียรมากขึ้น อีกทั้งยังมีรสชาติที่เป็นกลางไม่ทำให้อาหารที่นำมาทอดมีรสเพี้ยนออกไป น้ำมันปาล์มจัดว่าเป็นน้ำมันทอดที่ดีที่สุด โดยได้รับการยอมรับจาก Jacques Langlet เชฟชาวฝรั่งเศสชื่อดังมาแล้ว มีการกล่าวถึงการทำอาหารฝรั่งเศสชั้นสูง ซึ่งในเมนูทั่วไปพวกเขามักจะเลือกใช้น้ำมันมะกอก แต่หากเป็นเมนูทอดก็มักจะเลือกใช้น้ำมันปาล์มเสมอ ซึ่งการเลือกใช้น้ำมันที่แตกต่างกันไป สะท้อนให้เห็นความสำคัญของความรู้ที่คนทำอาหารควรมีว่าน้ำมันชนิดไหนเหมาะสมกับวัตถุดิบประเภทใดบ้าง

เนื่องจากการทอดนั้น คือการประกอบอาหารโดยใช้อุณหภูมิสูงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 350-375°F (176-190°C) เมื่ออาหารถูกแช่ในน้ำมันที่อุณหภูมินี้ ผิวของอาหารจะสุกและกรอบทันที กลายเป็น "ฉนวนกัน" ที่ทำให้น้ำมันที่เหลือไม่สามารถแทรกซึมได้อีก จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมของทอดความร้อนสูงมักไม่อมน้ำมัน และน้ำมันที่จะทนความร้อนสูงได้ก็ต้องมีจุดเกิดควันสูง นั่นก็คือ “น้ำมันปาล์ม” นั่นเอง

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ Palmae และ วงศ์ย่อย Cocoinae เป็นหนึ่งในแหล่งผลิตน้ำมันบริโภคที่มีความสำคัญ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเมืองร้อนเติบโตในแถบทวีปแอฟริกา เอเชีย อเมริกากลางและอเมริกาใต้ น้ำมันที่ได้จากผลปาล์มมี 2 ชนิด คือ

น้ำมันจากเปลือก (Mesocarp) และจากเมล็ดใน (Kernel) ของผลปาล์ม โดยปริมาณที่ได้จากเปลือก และจากเมล็ดปาล์มคิดเป็น 20% และ 4% ตามลำดับของน้ำหนักหลาย โดยน้ำมันปาล์มนั้นจัดได้ว่าเป็นน้ำมันที่ใช้บริโภคมากที่สุดชนิดหนึ่งในโลก ส่วนมากน้ำมันปาล์มจะใช้ในอุตสาหกรรมการทำเนยขาว มاکารินและน้ำมันทอด ในส่วนที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์อาหารจะใช้ในอุตสาหกรรมสบู่และเทียน เป็นต้น (Salunkhe, 1992)

น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้องจะมีลักษณะแยกเป็นสองส่วนคือน้ำมันส่วนใสหรือโอเลอิน (Olein) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 65-70% และน้ำมันส่วนขุ่นหรือสเตียรีน (Stearin) ซึ่งมีประมาณ 30-35% น้ำมันปาล์มที่ใช้ปรุงอาหารจะผ่านกระบวนการแยกส่วนเอาน้ำมันส่วนใสมาใช้บริโภค น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ดีสำหรับการทอดแบบน้ำมันท่วม เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูง (50%) กรดไขมันชนิดอิ่มตัวในน้ำมันปาล์มส่วนมากคือกรดปาล์มติก (88%) มีแอนติออกซิแดนท์ตามธรรมชาติและมีปริมาณวิตามินอีสูง (โทโคฟีรอลและโทโคทรินอล) อีกทั้งให้กลิ่นรสที่ดี (Mackay, 2000) สมบัติมาตรฐานของน้ำมันปาล์มตาม มอก.288 (2535) ดังแสดงใน ตารางที่ 6

กพ

**ตารางที่ 6** Characteristics of palm oil

Characteristic	Content
Specific gravity (40/25)	0.900-0.907
Iodine value (Wijs)	45-60
Saponification value	190-209
Unsaponifiable matter (%)	15-20
Refractive index (40)	1.45-1.46

ที่มา : (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 5197, 2562)

น้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบเหมือนไขและน้ำมันตามธรรมชาติโดยทั่วไป นั่นคือมีส่วนประกอบหลักเป็นไตรกลีเซอโรล ได และโมนอกลิเซอโรล กรดไขมันอิสระ ความชื้น ผุ่นผง และส่วนประกอบรองลงมากันเป็นพวกอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พวกน้ำมันองหลักที่ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดสaponification (Jit Kang Lim, 2011)

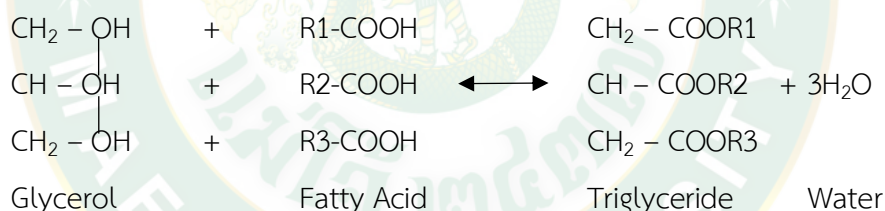


ภาพที่ 14 ผลปาล์ม

ที่มา: Available from online

### ส่วนประกอบของน้ำมันปาล์ม

1) ไตรกลีเซอไรด์ มีส่วนประกอบทางเคมีคือ 1 โมเลกุลของกลีเซอรอลสร้างพันธะกับ 3 โมเลกุลของกรดไขมัน



ภาพที่ 15 แสดงการฟอร์มตัวของไตรกลีเซอไรด์

กรดไขมันสามารถมีชนิดเดียวกันหรือแตกต่างกันได้ คุณสมบัติของกลีเซอไรด์ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของกรดไขมันที่ประกอบกันจนฟอร์มตัวเป็นกลีเซอไรด์

กรดไขมันโดยส่วนตัวของมันเองมีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากความยาวของสายโซ่และระดับความอิ่มตัว กรดไขมันสายสั้นจะมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าและมีความสามารถละลายน้ำได้มากกว่า ในขณะที่กรดไขมันสายยาวจะมีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้น จุดหลอมเหลวจะขึ้นอยู่กับระดับความไม่อิ่มตัว กรดที่ไม่อิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรดที่อิ่ม เมื่อมีความยาวของสายโซ่ใกล้เคียงกัน

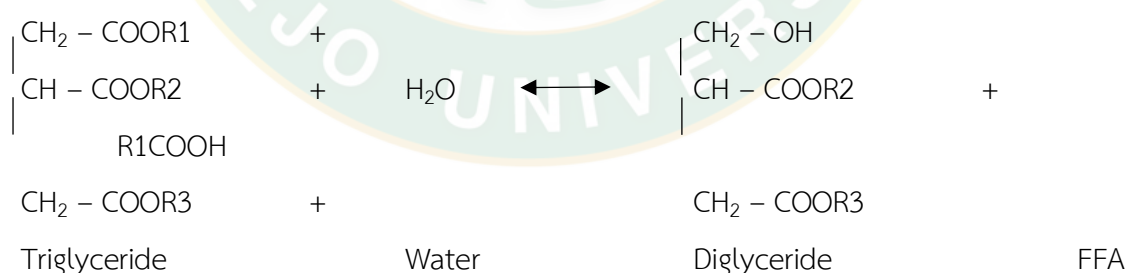
กรดไขมันหลัก ๆ ที่มีมากในน้ำมันปาล์มคือ C16:0 (อิ่มตัว) กรดปาล์มมิติก และ C18:1 (ไม่อิ่มตัว) กรดโอเลอิก กรดไขมันโดยทั่วไปที่ประกอบในน้ำมันปาล์ม แสดงดังตารางที่ 7

**ตารางที่ 7** ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม

กรดไขมัน	ปริมาณ (%)
Palmitic C16:0	44%
Stearic C18:0	4.5%
Oleic C18:1	39.2%
Linoleic C18:2	10.1%
Myrctic C14:0	1.1
Lauric C12:0	0.2%
Others	0.9%

2) โมโน และไดกลีเซอไรต์ และกรดไขมันอิสระ เมื่อมีความร้อนและน้ำเกิดขึ้น ไตรกลีเซอไรต์จะแตกออกโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส เพื่อฟอร์มตัวเป็นกรดไขมันอิสระ ดังนั้นอัตราการเกิด โมโน และไดกลีเซอไรต์ และกรดไขมันอิสระ จะมีผลอย่างมากต่อการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์ม

กระบวนการไฮโดรไลซิสแสดงดังภาพที่ 16 :



**ภาพที่ 16** ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส

โมโน และไดกลีเซอไรต์ มีปริมาณประมาณ 3 ถึง 6% โดยน้ำหนักของกลีเซอไรต์ในน้ำมัน น้ำมันที่ดีจะมีปริมาณของโมโนและไดกลีเซอไรต์ที่ต่ำกว่า ซึ่งพูดได้ว่ามีความสำคัญมากที่สุด

กระบวนการแยกส่วน (Fractionation process) เนื่องจากมันมีพฤติกรรมที่ทำให้เกิดอิมัลชันยับยั้งการฟอร์มตัวของผลึก และทำการกรองได้ยาก

3) **ความชื้นและฝุ่น** สิ่งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการบด (Milling practice) การบดที่ดีจะช่วยลดความชื้นและฝุ่นในน้ำมันปาล์ม แต่โดยทั่วไปนั้นจะมีช่วงอยู่ใน 0.25%

4) **สิ่งเจือปนรอง** สิ่งเจือปนนี้ถูกจัดแบ่งเป็นอีกหมวดหมู่หนึ่ง เนื่องจากสิ่งเจือปนเหล่านี้เป็นไฮตามธรรมชาติ แต่ไม่ใช่ไขมันจริง อ้างอิงจากไม่สามารถสaponนิไฟเคชั่นได้ ซึ่งประกอบไปด้วย Caroteneoids, Tocopherols, Sterols, Polar Lipids และสิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนซึ่งประกอบอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) ดังแสดงในตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** สิ่งเจือปนในน้ำมันปาล์มดิบ (CPO)

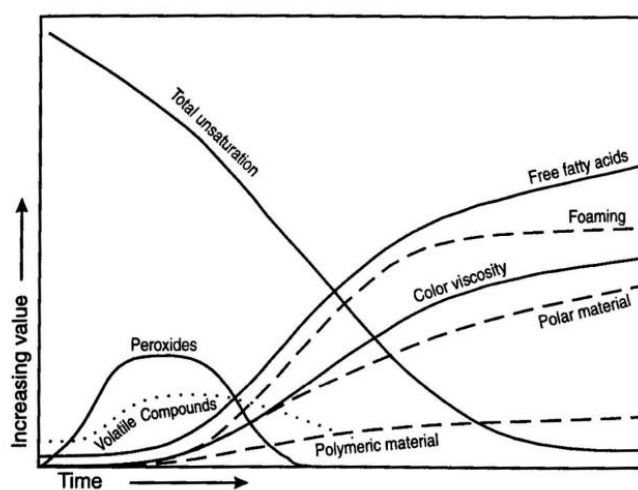
Substances	Content
กรดไขมันอิสระ, FFA	3 – 5%
ยางเหนียว (Phospholipids, Phosphatides)	300 ppm
ฝุ่นต่าง ๆ	0.01%
เปลือกปาล์ม	Trace
ความชื้น และสิ่งเจือปนต่าง ๆ	0.15%
โลหะที่อยู่ในสิ่งมีชีวิต	0.50%
ผลิตภัณฑ์ที่เกิดออกซิเดชัน	Trace
คาร์โรทีนอยด์ทั้งหมด	500 – 1000 mg/kg

### 2.13 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างทอด

การทอดแบบน้ำมันท่วมก่อให้เกิดสารประกอบที่มีผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและไม่ยอมรับ โดยการทอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอล สีและลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอด รวมถึงคุณภาพด้านโภชนาการของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีในน้ำมันนั้นเกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนและการทอด โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือน้ำมันมีความหนืด สี ฟองเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีน้ำมันจะมีกรดไขมันอิสระ สารกษประกอบคาร์บอนิลและผลิตภัณฑ์ที่น้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มขึ้น อีกทั้งลดความไม่อิ่มตัวของไขมัน คุณภาพของกลีเซอรอลและระดับโภชนาการ (กรดไขมันที่จำเป็น) ลงด้วย โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ออกซิเดชันและพอลิเมอไรเซชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมี

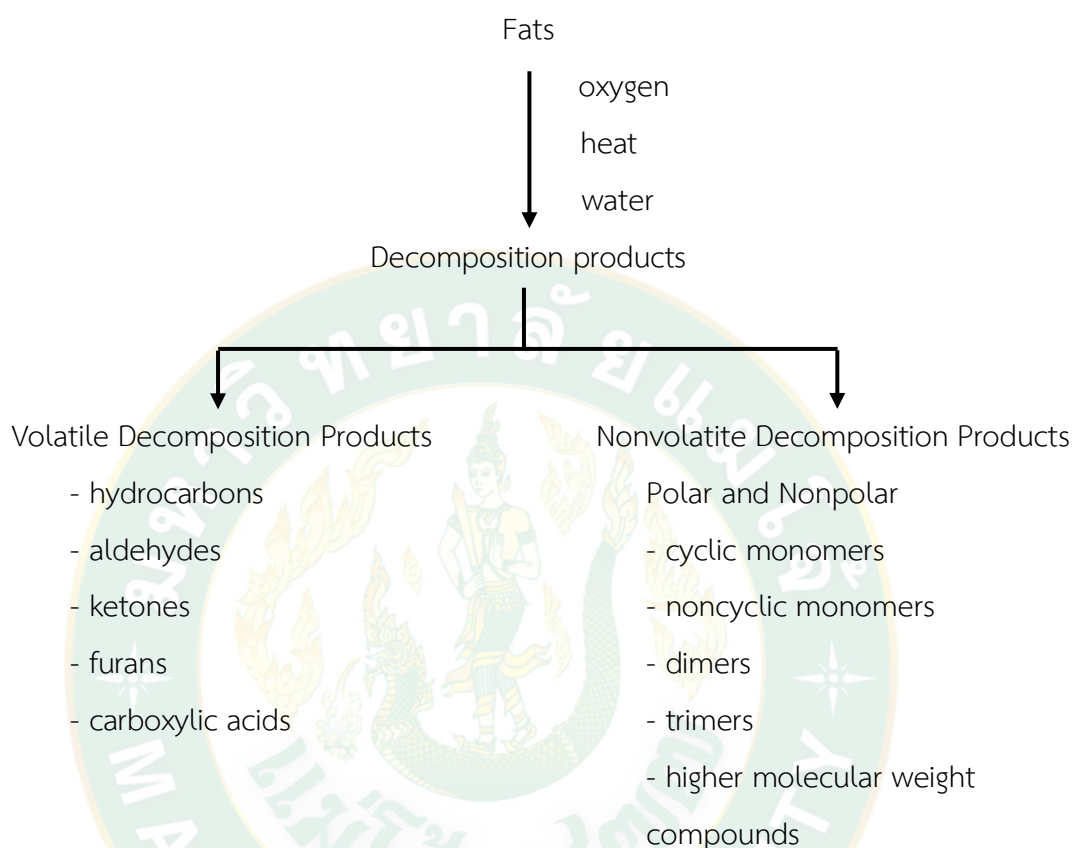
พื้นฐานในน้ำมันทอดจะทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ โดยที่สารประกอบที่ระเหยได้ส่วนใหญ่จะระเหยไปในบรรยากาศพร้อมไอน้ำและยังคงมีสารประกอบที่ระเหยได้บางส่วนในน้ำมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่อไปหรือดูดซับในอาหารทอด ส่วนสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ในน้ำมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำมันและอาหารทอด โดยที่สารประกอบที่ระเหยไม่ได้จะมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นรสและคุณภาพ รวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอดระหว่างการเก็บรักษา การทอดแบบน้ำมันท่วมมีผลลดกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันและเพิ่มฟอง สี ความหนืด ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ปริมาณของกรดไขมันอิสระ สารมีขี้และสารประกอบพอลิเมอร์ดังแสดงใน ภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของปริมาณสารโพลาร์และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำมันทอดกับระยะเวลาที่ใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูง

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงน้ำมันทอด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (Volatile decomposition products) สามารถระเหยออกจากน้ำมันที่ใช้ทอดได้ สารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญเนื่องจากขณะทอดอาหารผู้ประกอบการจะหายใจเอาสารเหล่านี้เข้าสู่ร่างกาย ส่วนที่เหลือในน้ำมันจะปนอยู่ในอาหารที่บริโภคซึ่งมีอิทธิพลต่อสุขภาพของมนุษย์และสารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย (Nonvolatile decomposition products) สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอดและจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้ น้ำมันทอดอาหาร อีกทั้งอาหารจะดูดซับสารเหล่านี้ไว้ ถ้าใช้น้ำมันทอดหลาย ๆ ครั้งจะทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสะสมอยู่ในน้ำและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป คือ ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ ค่าคาร์บอนิล ปริมาณไฮดร

อกซิล และค่าสaponification เพิ่มขึ้นปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง (White, 1991) การเกิดสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้และไม่ระเหยในน้ำมันทอดดังแสดงใน ภาพที่ 18



ภาพที่ 18 Formation of volatile and nonvolatile decomposition products in frying oil

ที่มา: (White, 1991)

การพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำมันเมื่อผ่านกระบวนการทอด สามารถพิจารณาได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมัน ดังนี้

### 2.13.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบอีกชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในน้ำมัน โดยอาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูปหรือระหว่างการเก็บรักษา ในกระบวนการทอดปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยเมื่อมีการทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อน น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารในรูปของไอน้ำทำปฏิกิริยากับพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมัน ได้เป็นกรดไขมันอิสระ โม

โนกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ จะแสดงถึงการแตกตัวของกรดไขมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน โดยน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง จะแตกตัวได้ดี จึงเกิดเป็นกรดไขมันอิสระได้มากหลังเสร็จกระบวนการทอด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ.2543), 2543) กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่ากรดไขมันอิสระได้ไม่เกิน 0.6 เปอร์เซ็นต์ ผลของกระบวนการทอดต่อการเกิดกรดไขมันอิสระ มีดังงานวิจัยต่อไปนี้

(Goburdhun et al., 2000) ได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยมันฝรั่งแผ่นน้ำมันถั่วเหลือง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มเคอร์เนล (17.27 เปอร์เซ็นต์ของปาล์มเคอร์เนล) และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารแอนติออกซิแดนท์ โดยทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาทีต่อครั้ง และให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยไม่มีการทอด 15 แล้วนำไปทอดครั้งต่อไป รวมทอดทั้งสิ้น 16 ครั้ง เป็นเวลาทั้งหมด 337 นาที พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันและสารแอนติออกซิแดนท์ มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด โดยเมื่อพิจารณากรดไขมันอิสระ พบว่าหลังการทอดน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไปมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มเคอร์เนล และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารแอนติออกซิแดนท์ ดังนั้นการผสมน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันปาล์มเคอร์เนล เพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน ให้มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง จะช่วยให้ น้ำมันถั่วเหลืองมีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดีขึ้น นอกจากนี้การเติมสารแอนติออกซิแดนท์มีผลช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน ส่งผลให้น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนได้เช่นกัน

(Tan and Man, 1999) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยนำน้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันถั่วเหลืองมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยไม่มีการทอดอาหาร สุ่มตัวอย่างน้ำมันเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีทุก 2 ชั่วโมง พบว่าหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง น้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขี้ และค่าเพอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้นเทียบกับก่อนการทอด

### 2.13.2 ค่าเพอร์ออกไซด์

ค่าเพอร์ออกไซด์เป็นการวัดปริมาณเพอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ร้อนตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของการออกซิเดชันในขั้น Primary oxidation โดยสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่คงตัว เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานานจะกลายเป็น Secondary oxidation products ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน กรด ไฮโดรคาร์บอน โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ เป็นต้น การวัดค่าเพอร์ออกไซด์จึงเป็นการพิจารณาถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ

น้ำมันที่เกิดขึ้นในช่วงแรกก่อนที่สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะกลายเป็นผลิตภัณฑ์อื่น การออกซิเดชันของน้ำมันจะเกิดขึ้นตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน ดังนั้นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เพอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังได้กล่าวแล้วว่าค่าเพอร์ออกไซด์เป็นการวัดปริมาณสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการออกซิเดชัน ได้สารที่ไม่คงตัวซึ่งอาจสลายตัวได้ในภายหลัง ดังนั้นในการประเมินคุณภาพของน้ำมันทอด ควรใช้ค่าอื่น ๆ ในการร่วมพิจารณาด้วย ได้แก่ ค่าสารประกอบบีฮักซ์ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าความหนืด และค่าสี ซึ่งตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ. 2543) กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่าเพอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meqv.O<sub>2</sub>/kg งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ในกระบวนการทอด มีดังต่อไปนี้

(Che Man et al., 2003) ได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันปาล์มโอเลอินในกระบวนการทอดกล้วยแผ่นแบบน้ำมันท่วม โดยทอดกล้วยแผ่นในน้ำมันปาล์มโอเลอิน 4 ชนิด คือ ชนิดที่หนึ่ง น้ำมันปาล์มโอเลอินทั่วไป (Control) ชนิดที่สอง น้ำมันปาล์มโอเลอินที่เติม  $\alpha$  - tocopherol และ oleoresin rosemary ในอัตราส่วน 0.1:0.5 กรัมต่อกิโลกรัม โดยทอดที่อุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีต่อครั้ง และให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยไม่มีการทอด 17 นาที แล้วนำไปทอดครั้งต่อไปรวมทอดทั้งสิ้น 6 ครั้งต่อวัน (ทอดทั้งสิ้น 30 ครั้ง เป็นเวลา 5 วัน) เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดเสร็จในแต่ละวันเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมี พบว่าสารแอนติออกซิแดนท์สามารถยับยั้งการออกซิเดชันของน้ำมันได้ โดยพิจารณาค่าเพอร์ออกไซด์ พบว่าการทอดปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในน้ำมันทุกชนิดที่นำมาวิเคราะห์ และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนท์ในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ดีที่สุด ตามลำดับ ได้ดังนี้ oleoresin rosemary >  $\alpha$  - tocopherol กับ > oleoresin rosemary >  $\alpha$  - tocopherol > control

(Naz et al., 2005) ได้ศึกษาผลขององค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันและสภาวะต่าง ๆ ต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด โดยนำน้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะกอก ทดลองด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ คือ สภาวะที่หนึ่ง น้ำมันถูกเก็บในที่มืดออกซิเจน สภาวะที่สอง น้ำมันถูกเก็บในที่มืดออกซิเจนร่วมแสง และสภาวะที่สาม การทอดแบบน้ำมันท่วม นำตัวอย่างน้ำมันที่ทดลองด้วยสภาวะต่างกันวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่าองค์ประกอบกรดไขมันน้ำมันและสภาวะต่าง ๆ มีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยพิจารณาค่าเพอร์ออกไซด์ พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันข้าวโพดและน้ำมันมะกอก นอกจากนี้สภาวะในการทดลองก็มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันเช่นกัน โดยน้ำมันที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมมีปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันที่เก็บไว้ในสภาวะมืดออกซิเจนร่วมแสง และน้ำมันที่เก็บไว้ในที่มืดออกซิเจนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง

โดยมีแสงและออกซิเจนเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ในสภาวะดังกล่าวนี้ น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนต่ำกว่า

### 2.13.3 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติทางกายภาพ ที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำมันซึ่งความหนืดเป็นผลมาจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ที่เกิดจากการ cross-linking ภายในโมเลกุลหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นตรงบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสร้างพันธะระหว่าง carbon-carbon หรือ carbon-oxygen-carbon ภายในโมเลกุลของกรดไขมันหรือระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่มีสายโมเลกุลใหญ่และน้ำหนักโมเลกุลสูงจำพวก cyclic monomers, dimers และ polymers เป็นผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีคล้ำ นอกจากนี้ น้ำมันอาจเกิดฟองเนื่องจากความหนืดที่สูงขึ้น (Bennion, 1995)

(Besbes et al., 2005) ได้ศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันเมล็ดอินทผลัม โดยทดลองใช้น้ำมันเมล็ดอินทผลัม 2 สายพันธุ์จากประเทศตูนิเซีย คือ พันธุ์ Degletnour และ Allig ให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดอินทผลัมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำมันวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่า น้ำมันเมล็ดอินทผลัมทั้ง 2 สายพันธุ์ มีความคงตัวต่อความร้อนแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาค่าความหนืดพบว่าหลังการให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดอินทผลัม Allig มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันเมล็ดอินทผลัมพันธุ์ Deglet nour เพราะน้ำมันเมล็ดอินทผลัมพันธุ์ Allig มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่า ดังนั้นอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงสูง เกิดสารประกอบชนิดใหม่สามารถทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยการสร้างพันธะ carbon-carbon หรือ carbon-oxygen-carbon ภายในโมเลกุลของกรดไขมันหรือระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้น้ำมันชนิดนี้มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันเมล็ดอินทผลัมพันธุ์ Deglet nour

### 2.13.4 สีของน้ำมัน

เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานานจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมัน ซึ่งปฏิกิริยาสำคัญที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะมีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพของน้ำมัน คือ น้ำมันจะมีสีเข้มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rhee et al., 1992) ที่กล่าวว่า เมื่อระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้น สีของน้ำมันที่ใช้ทอด beef nugget จะเข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างการทอด ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลชนิดไม่อิ่มตัวที่ส่งผลให้สีของน้ำมันเข้มขึ้น นอกจากนี้สีของอาหารที่นำมาทอดสามารถละลายในน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นเช่นกัน กล่าวคือ ในกระบวนการทอดสีของผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดจากการให้ความร้อนทำให้น้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนของโปรตีนเกิดสารพอลิเมอร์ซึ่งให้สารสีน้ำตาล คือ melanoidins ปฏิกิริยานี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดมีสี และสามารถละลายในน้ำมันได้ ทำให้

น้ำมันมีสีเข้มขึ้น (BeMiller et al., 1996) งานวิจัยที่กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันในกระบวนการทอด มีดังต่อไปนี้

(Goburdhun et al., 2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยตัวอย่างอาหารที่นำมาทดลอง คือ มันฝรั่งแผ่น และ chicken drumsticks ทอดอาหารอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยมันฝรั่งแผ่นใช้เวลาทอด 7 นาทีต่อครั้ง และ chicken drumsticks ใช้เวลาทอด 15 นาทีต่อครั้ง รวมทอดอาหารแต่ละชนิดจำนวน 15 ครั้ง เวลาทอดทั้งหมด 315 นาที อัตราส่วนของอาหารทอดต่อน้ำมันเป็น 1:6 เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอดทุก 45 นาที เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลือง เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านสีของน้ำมันถั่วเหลืองหลังการทอด พบว่าเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้น น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดมันฝรั่งแผ่น และ chicken drumsticks มีค่าเหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันในกระบวนการทอดเกิดจากหลายปัจจัย คือ

- ก) มีผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน จากปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวขึ้นในน้ำมัน ซึ่งสารดังกล่าวจะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงแสงอินฟราเรด ส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น
- ข) เนื่องจากรงควัตถุในอาหาร เช่น แคโรทีนอยด์ ฯลฯ ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะสามารถละลายได้ในน้ำมัน
- ค) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีของผลิตภัณฑ์อาหารขณะทอด คือ ปฏิกิริยา Maillard ที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ที่เรียกว่า melanoidin ซึ่งสามารถละลายในน้ำมันได้ ง) เมื่อเวลาในการทอดนานขึ้นสารประกอบในน้ำมันที่มีการจับตัวกันในลักษณะ conjugated double bonds สามารถดูดกลืนแสงสีน้ำเงินได้มากขึ้น ทำให้เห็นน้ำมันเป็นสีส้มหรือสีน้ำตาลมากขึ้น และนอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้นอาจเกิดการสะสมของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในน้ำมันจึงส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีเข้มขึ้นด้วย

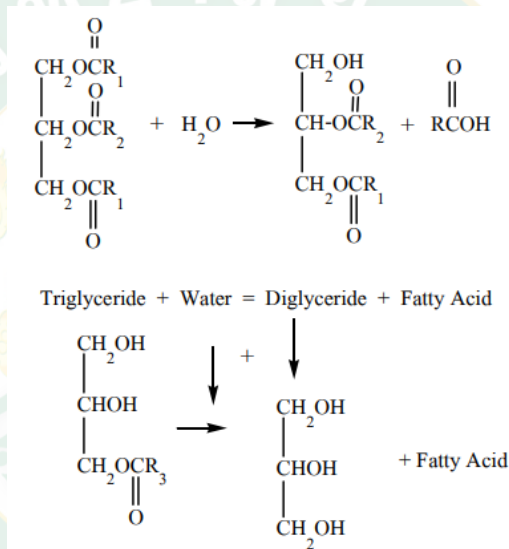
## 2.14 ปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม

ระหว่างการทอดมีหลายปฏิกิริยาที่เป็นสาเหตุทำให้ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนแปลง ออกซิเจนในอากาศ ความชื้นของอาหารและอุณหภูมิที่สูง ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียจาก 3 ปฏิกิริยาหลัก ๆ คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่มีสาเหตุจากน้ำ ปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีสาเหตุมาจากออกซิเจน และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Nawar, 1996) ในช่วงที่ทอดน้ำมันจะสัมผัสอุณหภูมิซึ่งอยู่ในช่วง 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในน้ำมันนำไปสู่การเปลี่ยนแปลง

องค์ประกอบและคุณลักษณะของน้ำมัน ซึ่งปฏิกิริยามีความซับซ้อนอย่างมากและทำให้เกิดการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ที่สลายได้มากมาย (Paul et al., 1997)

### 2.14.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันระหว่างทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นผลกระทบจากความชื้นจากอาหารเมื่อถูกทอดในน้ำมันที่ให้ความร้อน ความชื้นจะทำให้เกิดไอน้ำซึ่งจะระเหยไปกับฟองที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มทอดอาหาร โดยที่น้ำ ไอน้ำและออกซิเจนเป็นตัวตั้งต้นของปฏิกิริยาเคมีในน้ำมันทอดและอาหาร น้ำและไอน้ำจะไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์และท้ายที่สุดจะได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอลดังแสดงใน ภาพที่ 19

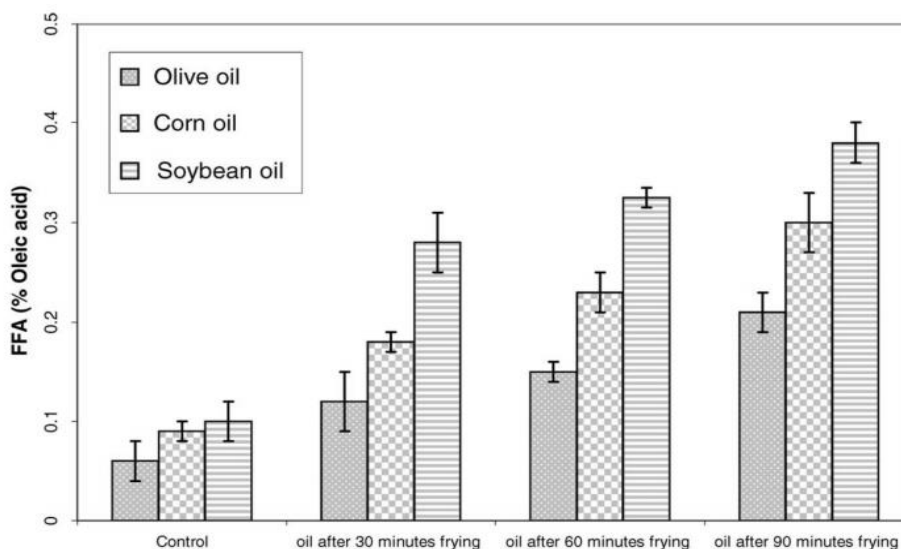


ภาพที่ 19 Hydrolysis reactions in frying oils

ที่มา: (Warner, 1998)

จากงานวิจัยของ (Che Man et al., 2003) รายงานว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่เพิ่มขึ้น เมื่อทอดแผ่นมันฝรั่งที่อุณหภูมิ  $180 \pm 5$  องศาเซลเซียส วันละ 5 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน เนื่องจากน้ำในมันฝรั่งทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมัน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ (Naz et al., 2005) ซึ่งศึกษาการทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ในน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที หลังจากวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นดังแสดงใน ภาพที่ 20 โดยอธิบายว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากน้ำในมันฝรั่งจะไฮโดรไลซ์ไตรกลี

เซอร์ไรต์ เกิดเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์และในที่สุดก็เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ซึ่งกลีเซอรอลสามารถระเหยได้เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 20 Effect of time deep frying on %FFA of olive, corn and soybean oils

ที่มา: (Naz et al., 2005)

#### 2.14.2 ปฏิกริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) (Dana and Saguy, 2001)

ปฏิกริยาออกซิเดชันส่วนใหญ่จะมีผลต่อกลิ่นรส กลิ่น สี และโภชนาการของน้ำมันปฏิกริยานี้สามารถอธิบายได้ด้วย 3 กระบวนการย่อย ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะผลิตสารประกอบที่สลายได้หลากหลายแบ่งเป็นปฏิกริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ ทุติยภูมิและตติยภูมิ

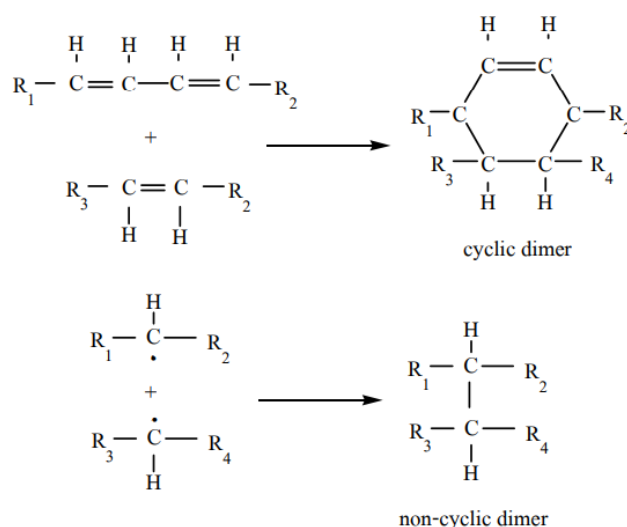
1) ปฏิกริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ (Primary oxidation) เกิดจากการทำปฏิกริยาของออกซิเจนกับน้ำมันที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดพันธะระหว่างไฮโดรเพอร์ออกไซด์กับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงเร่งให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันขั้น

2) ปฏิกริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ (Secondary oxidation) เกิดจากการแตกตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่สลายตัวได้ในขั้นทุติยภูมิ แอลกอฮอล์ คาร์บอนิลและกรด ส่วนแอลดีไฮด์ที่ไม่อิ่มตัวสามารถเกิดออกซิเดชันโดยอัตโนมัติ (Autoxidation) ได้เป็นไดแอลดีไฮด์ เช่น มาโลนไดแอลดีไฮด์ (Malondialdehyde, MDA) เป็นต้น

3) ปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นตติยภูมิ (Tertiary oxidation) เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นตติยภูมิ โดยกระบวนการนี้จะทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มมากขึ้น สีเข้มขึ้นและเกิดชั้นสีน้ำตาลที่ปรากฏบนผิวน้ำมัน

### 2.14.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization reaction)

ในระหว่างทอดจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ เป็นผลทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบน้ำหนักโมเลกุลสูงดังแสดงใน ภาพที่ 21 สารพอลิเมอร์สามารถก่อตัวจากเรดิคัลอิสระ (Free radical) หรือไตรกลีเซอไรด์โดยผ่านปฏิกิริยา Diels-Alder ถ้าเกิดพันธะคาร์บอน-คาร์บอนภายในโมเลกุลเดียวกันจะทำให้เกิดวงแหวน (Cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะระหว่างกรดไขมันต่างโมเลกุลกัน จะทำให้เกิดไดเมอร์ (Dimer) หรืออาจเกิดขึ้นระหว่างกรดไขมันที่อยู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เดียวกันหรือต่างโมเลกุลกันก็ได้ ซึ่งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเมื่อผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้เพิ่มขึ้นในน้ำมันทอดจะทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 21 Polymerization reactions in frying oils

ที่มา: (Warner, 1998)

### 2.15 วิธีวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน

มีหลากหลายวิธีที่ใช้วัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันดังใน ตารางที่ 9 ค่าเปอร์ออกไซด์และคอนจูเกตเตตไดอิน เป็นวิธีที่ใช้วัดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิซึ่งจะใช้อธิบายได้ใน ช่วงแรกของปฏิกิริยา จากนั้นจึงเป็นค่าคาร์บอนิล ค่าพาราอะนิซินิน ค่า TBARS และสารประกอบที่

ระเหยได้และค่าทางประสาทสัมผัส ซึ่งเป็นวิธีวัดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ (Warner and Nelsen, 1996)

**ตารางที่ 9** Methods to measure oxidation in oils and fat-containing foods

Method	Parameter assessed
Sensory	Odors/Flavors
Peroxide value	Peroxides
TBARS	Malonaldehyde + unknown compounds
Carbonyl value	All carbonyl functions
<i>p</i> – Anisidine value	Gamma–and beta–unsaturated carbonyls
Ultraviolet absorption	Conjugated dienes/trienes
Gas chromatography	Volatile compounds

ที่มา: (Warner and Nelsen, 1996)

### 2.15.1 ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

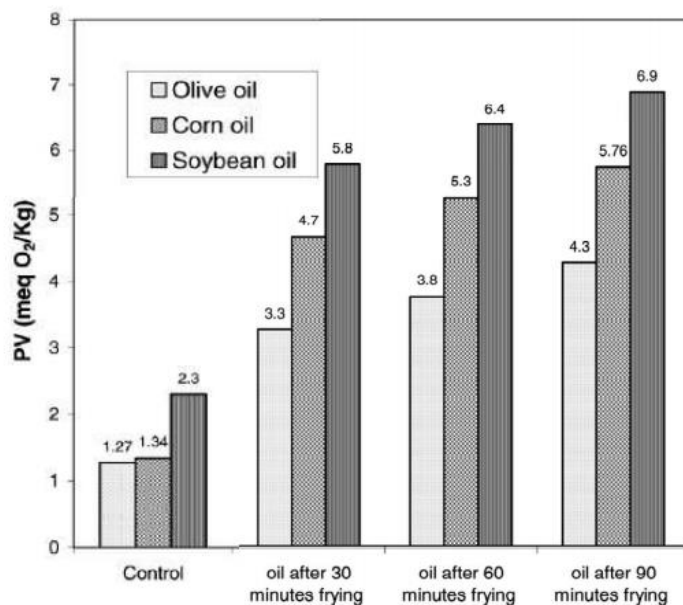
ไฮโดรเพอร์ออกไซด์หรือที่เรียกทั่วไปว่าเพอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์หลักขั้นแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน ซึ่งเกิดมาจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะสะสมไปจนถึงจุดหนึ่งที่มีมากที่สุด จากนั้นจึงสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่น เช่น คาร์บอนิล ฯลฯ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส เช่น การเกิดกลิ่นหืนหรือการเปลี่ยนสีของน้ำมัน ฯลฯ (Warner and Nelsen, 1996)

### 2.15.2 ค่าพาราอะนิลิติน (*p* – Anisidine value)

ค่าพาราอะนิลิตินเป็นค่าที่วัดผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่เป็น conjugated dienals และ 2-alkenals แอลดีไฮด์ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์เป็นผลให้กลิ่นรสในน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไป แอลดีไฮด์บางตัว (2-alkenal และ 2,4-dienals) ทำปฏิกิริยากับพาราอะนิลิตินให้สารที่มีสีเหลืองวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตรและความเหลืองของสารขึ้นอยู่กับปริมาณแอลดีไฮด์

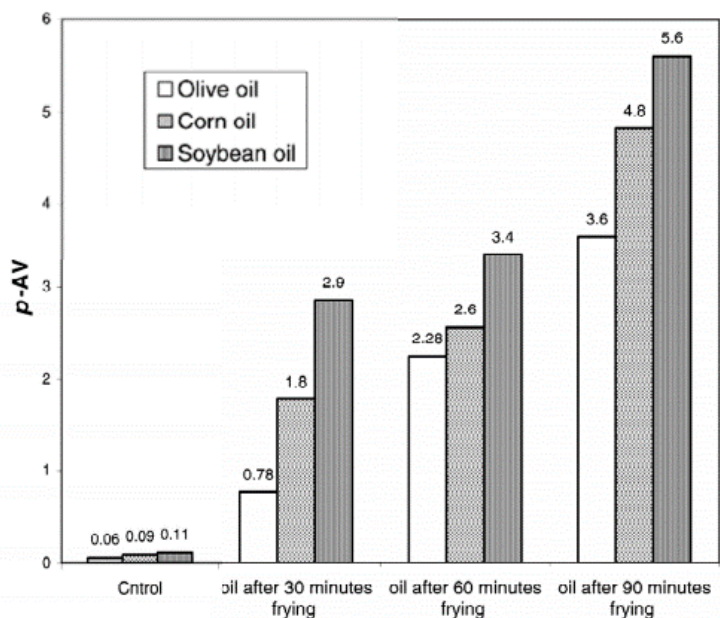
(Naz et al., 2005) ศึกษาการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันบริโภค (น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง) หลังจากทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (PV) และค่าพาราอะนิลิติน (*p* – AV)

พบว่าทั้งสองค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 22-23) เมื่อเปรียบเทียบชนิดน้ำมัน พบว่าค่า PV และ  $p - AV$  เพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันข้าวโพด > น้ำมันมะกอก



ภาพที่ 22 Effect of deep-frying on PV of olive, corn and soybean oil

ที่มา: (Naz et al., 2005)



ภาพที่ 23 Effect of deep-frying on  $p - AV$  of olive, corn and soybean oil

ที่มา: (Naz et al., 2005)

(Jaswir et al., 2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ผ่านการรีไฟน์ (Refined) การฟอกสีให้จางลง (Bleached) และการกำจัดกลิ่น (Deodorize) เมื่อทอดมันฝรั่งชนิดแผ่น โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $180 \pm 5$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที วันละ 10 ครั้ง ติดต่อกัน 5 วัน พบว่าค่าเพอร์ออกไซด์ ค่าพาราอะนิซิดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารพอลิเมอร์และความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นระหว่างที่ทอดตลอด 5 วัน ดังนั้นการใช้น้ำมันทอดซ้ำ ๆ เป็นเวลานานมีผลทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียได้

(Danowska-oziewicz and Karpinska-Tymoszczyk, 2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันเรพซีด (rapeseed oil) น้ำมันถั่วเหลืองและ hardened frying fat เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $180 \pm 2$  องศาเซลเซียส วันละ 2 ชั่วโมง ติดต่อกันเป็นเวลา 6 วัน โดยเติมน้ำมันให้เท่ากับปริมาตรเริ่มต้น เมื่อให้ความร้อนครบทุก ๆ 2 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันเรพซีดซึ่งเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด (90.30% ของกรดไขมันทั้งหมด) ในน้ำมันสามชนิดที่ศึกษา มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันอีก 2 ชนิด และปริมาณคาร์บอนิลพบปริมาณต่ำสุดใน hardened frying fat เนื่องจาก hardened frying fat มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยที่สุดในน้ำมันที่ศึกษา เนื่องจากปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงในน้ำมันสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ดังนั้นสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นเดียวกับอัลดีไฮด์และคีโตน จึงพบปริมาณต่ำในน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อย ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันจึงอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของน้ำมัน

## 2.16 สารประกอบมีขั้ว (Polar compounds)

**สารประกอบมีขั้ว** คือ สารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมัน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด ซึ่งปฏิกิริยาเคมีหลักที่ส่งผลให้เกิดสารประกอบมีขั้ว ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมโรเซชัน จากปฏิกิริยาเหล่านี้ส่งผลให้ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันเปลี่ยนจากสารไม่มีขั้วเป็นสารมีขั้ว หรือ Polar compounds ตัวอย่างสารประกอบมีขั้ว ได้แก่ กรดไขมันอิสระ โมโนเอซิลกลีเซอรอล และไดเอซิลกลีเซอรอล เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบมีขั้วเป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด จึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความคงตัวของน้ำมัน กล่าวคือ หากเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันปริมาณมาก แสดงว่าน้ำมันชนิดนั้นมีความคงตัวต่อการทอดต่ำ เพราะจะเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้ง่ายเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน ส่งผลให้น้ำมันทอดเสื่อมคุณภาพได้เร็วตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 (พ.ศ.2547) ได้กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่าสารประกอบมีขั้วได้ไม่เกิน 25

เปอร์เซ็นต์ หากในน้ำมันมีสารประกอบมีขี้เถ้าเกินที่กำหนด จัดเป็นน้ำมันที่มีอันตรายต่อสุขภาพ เพราะสารประกอบมีขี้เถ้าบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง จากการวิจัยในหนูทดลอง พบว่าสารประกอบมีขี้เถ้าในน้ำมันบางชนิดอาจก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังหรือมะเร็งลำไส้ ซึ่งเป็นอันตรายแก่ผู้บริโภค การเกิดสารประกอบมีขี้เถ้าในน้ำมันมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น กรดไขมันในน้ำมันพืชแต่ละชนิด ฯลฯ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันที่ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่สายโมเลกุล คาร์บอนอะตอมตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับอะตอมอื่น ๆ ได้ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ฯลฯ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด จึงเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่ายกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบมีขี้เถ้าในน้ำมัน คือ อุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอด ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ของน้ำมันเกิดได้เร็วขึ้น ทำให้น้ำมันมีการแตกตัวเกิดเป็นสารประกอบมีขี้เถ้ามากขึ้น งานวิจัยอื่น ๆ ที่กล่าวถึงการเกิดสารประกอบมีขี้เถ้าในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม มีดังนี้

(Warner et al., 1994) ได้ศึกษาผลของชนิดของกรดไขมันที่องค์ประกอบของน้ำมันทอดต่อคุณภาพและความคงตัว โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันคาโนลาทั่วไป และน้ำมันคาโนลาที่ผ่าน mutation breeding เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกัน ทดลองให้ความร้อนแก่น้ำมันคาโนลาชนิดต่าง ๆ วันละ 9 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 วัน เก็บตัวอย่างน้ำมันวิเคราะห์ทุก 3 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันคาโนลาที่ผ่าน mutation breeding ให้มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงถึง 78 เปอร์เซ็นต์ จะมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าน้ำมันคาโนลาทั่วไป โดยมีปริมาณสารประกอบมีขี้เถ้า และสารประกอบที่ระเหยได้ (Volatile compounds) ต่ำสุดทุกช่วงเวลา

(Su and White, 2004) ได้ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองต่อความคงตัวของน้ำมันชนิดนี้ในกระบวนการทอด โดยทอดขนมปัง (ขนาด 2.54x2.54x1.27 เซนติเมตร) ที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ในน้ำมันถั่วเหลือง 4 ชนิด ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกันจากการ mutation breeding คือ น้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิก (โอเลอิก 79 เปอร์เซ็นต์) น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป (โอเลอิก 21.5 เปอร์เซ็นต์) น้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดลิโนเลนิกต่ำ (ลิโนเลนิก 1.4 เปอร์เซ็นต์ และโอเลอิก 25.3 เปอร์เซ็นต์) และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิกสูงกับน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิกสูง (โอเลอิก 79 เปอร์เซ็นต์) มีความคงตัวดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองชนิดอื่น โดยน้ำมันถั่วเหลืองชนิดนี้จะเกิดสารประกอบมีขี้เถ้าในระดับต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลืองชนิดอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดลิโนเลนิกและกรดลิโนเลนิกในปริมาณต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดปฏิกิริยาได้ช้า ส่งผลให้น้ำมันชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนได้ดี

(Warner and Gupta, 2003) ได้ศึกษาคุณภาพและความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลืองที่มีการปรับปรุงสายพันธุ์ให้มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 0.8-2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 ชั่วโมง พบว่าหลังการทอดน้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณกรดลิโนเลนิกในระดับ 0.8-2 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดสารประกอบมีขั้วน้อยกว่าการทอดด้วยน้ำมันเมล็ดฝ้าย เพราะการลดปริมาณกรดลิโนเลนิกจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันถั่วเหลืองดังกล่าวมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดีและส่งผลให้คุณภาพด้านกลิ่นของอาหารดีขึ้นขณะเก็บรักษา

(Sanibal and Mancini-Filho, 2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองหลังกระบวนการทอด โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันถั่วเหลือง 2 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป (มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 4.79 เปอร์เซ็นต์) และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน (มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 0.42 เปอร์เซ็นต์) ทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิ  $180 \pm 5$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาทีต่อครั้ง โดยปริมาณของมันฝรั่งแผ่นที่ใช้ทอดต่อน้ำมัน คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ทอดตัวอย่างวันละ 10 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน รวมเวลาทอดทั้งหมด 50 ชั่วโมง มันฝรั่งแผ่นที่ใช้จำนวน 2310 กรัมต่อชนิดน้ำมัน เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดแต่ละวันเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมี พบว่า หลังทอดน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันจะมีปริมาณสารประกอบมีขั้ว 23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าในน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป ที่มีปริมาณสารประกอบมีขั้วถึง 40.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเป็นปฏิกิริยาที่มีการเติมไฮโดรเจนเพื่อจับกับคาร์บอนตรงพันธะคู่ของกรดไขมัน ทำให้ระดับความไม่อิ่มตัวของน้ำมันลดลง จึงส่งผลให้น้ำมันถั่วเหลืองชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป

(Yaghmur et al., 2001) ได้ศึกษาผลขององค์ประกอบของกรดไขมันต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยทดลองใช้น้ำมัน 3 ชนิด คือ Argem oil (พืชน้ำมันที่พบทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศโมร็อกโก ซึ่งมีปริมาณกรดโอเลอิก 54.4 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลอิก 24.4 เปอร์เซ็นต์) High oleic olive oil (กรดโอเลอิก 78.2 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลอิก 7.9 เปอร์เซ็นต์) และ cottonseed oil (กรดโอเลอิก 19.8 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลอิก 52.0 เปอร์เซ็นต์) โดยให้ความร้อนแก่น้ำมันทั้ง 3 ชนิดนี้ ที่อุณหภูมิ  $180 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการทอดอาหารแต่จะหยดน้ำเปล่าปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทุก 4 ชั่วโมงของการให้ความร้อน จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น  $170 \pm 2$  องศาเซลเซียส ทอดมันฝรั่งแผ่น (หนา 10 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร) จำนวน 4 ชิ้นลงทอดเป็นเวลา 5 วินาทีต่อครั้ง และให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยไม่มีการทอด 5 นาที ทอดมันฝรั่งทั้งหมด 11 ครั้ง เก็บตัวอย่างน้ำมันวิเคราะห์ค่าทางเคมี พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมีผลต่อความคงตัว โดยที่หลังการทอด Argem oil และ High oleic olive oil มีความคงตัวต่อ

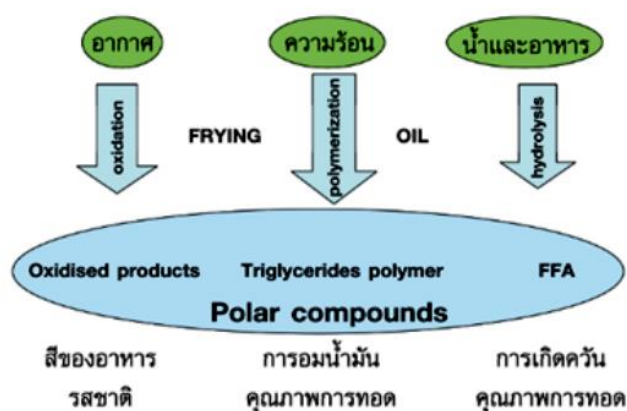
การทอดดีกว่า cottonseed oil โดยมีค่าสารประกอบมีขี้้ว ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความหนืดต่ำกว่า ในทุกช่วงเวลาของการทอด

(Houhoula et al., 2003) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอดต่อการเกิดสารประกอบมีขี้้วในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม อุณหภูมิที่ใช้ทอด คือ 155 165 175 185 และ 195 องศาเซลเซียส โดยทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าในกระบวนการทอดการเกิดสารประกอบมีขี้้วมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอด คือ ปริมาณสารประกอบมีขี้้วเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอดเพิ่มขึ้น

(Razali and Badri, 1995) พบว่ามันฝรั่งจะมีการดูดซับน้ำมันหลังผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมและมีความชื้นลดลง เพราะไอน้ำจะระเหยออกจากอาหารเมื่อได้รับความร้อนและถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของน้ำมัน และพบจะเกิดสารพอลิเมอร์และสารประกอบมีขี้้วในน้ำมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อได้รับความร้อนซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันหลังการทอด

### 2.16.1 การทดสอบสารโพลาร์

สารโพลาร์เป็นสารประกอบมีขี้้วที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดอาหารด้วยน้ำมันทอดซ้ำ โดยทั่วไปน้ำมันทอดอาหารที่ผลิตใหม่มีปริมาณไตรเอซิลกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขี้้วประมาณร้อยละ 95-99 แต่เมื่อนำไปใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงประมาณ 170-180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน ความชื้นจากอาหารและออกซิเจนจากอากาศ เป็นปัจจัยเร่งการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดอาหาร ทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำมันทอด เกิดเป็นสารโพลาร์ในระหว่างการทอดอาหาร ดังนั้นในหลายกลุ่มประเทศจึงใช้ปริมาณสารโพลาร์เป็นตัวชี้วัดการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน และเป็นที่มาของคำนิยามความหมายของน้ำมันทอดซ้ำที่เสื่อมคุณภาพ (ชนิษฐา อินทร์ประสิทธิ์ และ ปัญญยศ มงคลชาติ, 2557)



ภาพที่ 24 การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดอาหารและปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพ

(Firestone, 1996) กล่าวว่าปริมาณสารโพลาร์เป็นตัวชี้วัดที่ดีในการบ่งบอกคุณภาพของไขมันและน้ำมันที่ใช้ โดยจะบ่งบอกถึงปริมาณทั้งหมดของสารประกอบที่ก่อตัวขึ้นใหม่แล้วมีความเข้มข้นมากกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลและเป็นมาตรฐานที่ได้รับการแนะนำ รวมถึงมีข้อบังคับทางกฎหมายถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดที่ใช้สำหรับการบริโภคของมนุษย์

(วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ, 2550) ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีพิษในกระบวนการทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม พบว่า ชนิดของน้ำมันมีผลต่อการเกิดสารประกอบมีพิษอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 มีปริมาณสารประกอบมีพิษต่ำสุด และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความหนืด และค่าสี ต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น

(นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่ และ ปิณฑสุทธิ์ สุวรรเลิศ, 2551) ได้ศึกษาแนวทางในการจัดการใช้น้ำมันทอดอาหารตามโครงการอาหารปลอดภัย เพื่อผู้บริโภคของกลุ่มผู้ผลิตและจำหน่ายอาหารในโรงพยาบาล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยประเมินความเสี่ยงของการใช้น้ำมันทอดซ้ำของกลุ่มผู้ผลิตและจำหน่ายอาหาร และร่วมมือกับผู้ประกอบการร้านอาหารหาแนวทางปฏิบัติในการใช้น้ำมันทอดอาหารให้ปลอดภัยและมีการติดตามประเมินผลจากการปฏิบัติ ผลการศึกษาพบว่า มีร้านอาหารเพียงร้านเดียวที่มีค่าสารโพลาร์เกินมาตรฐาน คือ 25% และภายหลังจากการปฏิบัติตามข้อแนะนำ พบว่า ค่าโพลาร์ของน้ำมันทอดอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 4.30-12.10% ซึ่งมีความปลอดภัยจากการใช้น้ำมันทอดอาหารมากยิ่งขึ้น

(ศิรินภา มณีแดง, 2560) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงของการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหารกับปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ พบว่า ความเสี่ยงของการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหารมากกว่าร้อยละ 80 คือ ภาชนะที่ใช้ทอดอาหารทำจากเหล็ก ใช้ภาชนะทรงปากกว้าง ก้นแคบ และใช้ภาชนะในการทอดอาหารใบเดียว ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$  กับความเสี่ยงของการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหาร คือการกระจายในครอบครัวและพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างความเสี่ยงของการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหารกับปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ คือ ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงมากมีโอกาสตรวจปริมาณสารโพลาร์เกินมาตรฐานมากกว่ากลุ่มที่มีความเสี่ยงน้อย 1.18 เท่า

(Warner and Gupta, 2003) ได้ศึกษาคุณภาพและความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลืองที่มีการปรับปรุงสายพันธุ์ให้มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 0.8-2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 ชั่วโมง พบว่าหลังการทอดน้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณกรดลิโนเลนิก ในระดับ 0.8-2 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดสารประกอบมีพิษน้อยกว่าการทอดด้วย

น้ำมันเมล็ดฝ้าย เพราะการลดปริมาณกรดลิโนเลนิกจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันถั่วเหลืองดังกล่าวมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดีและส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านกลิ่นของอาหารดีขึ้นขณะเก็บรักษา

ในหลายประเทศได้กำหนดมาตรฐานน้ำมันทอดอาหาร โดยใช้ปริมาณสารโพลาร์เป็นตัวชี้วัดความเสื่อมสภาพของน้ำมันโดยยึดถือเป็นข้อบังคับตามกฎหมาย เช่น ซิสี ฝรั่งเศส อิตาลี สาธารณรัฐเช็ก ฮังการี สเปน ฟินแลนด์ ฯลฯ มีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนักน้ำมัน เฮอร์มัน สวิตเซอร์แลนด์ ออสเตรเลีย มีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 27 ของน้ำหนักน้ำมัน (Firestone, 2004) ส่วนประเทศไทย กำหนดมาตรฐานน้ำมันทอดประกอบอาหารทั้งเพื่อจำหน่ายและบริโภคต้องมีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนักน้ำมัน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 พ.ศ. 2547 (กระทรวงสาธารณสุข, 2547)

## 2.17 ต้นทุนและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตแคหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เพื่อต่อยอดในการแปรรูปเชิงพาณิชย์ ควรจะมีข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งต้นทุนที่พิจารณาในที่นี้จะแบ่งตามความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง ในการแยกประเภทต้นทุนที่แบ่งตามวัตถุประสงค์สามารถแบ่งได้ดังนี้

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) คือต้นทุนที่มีจำนวนเท่ากันตลอดช่วงเวลาของกิจกรรมที่พิจารณา เช่น ค่าเช่าสำนักงาน และค่าเช่าที่ดิน เป็นต้น

ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) คือต้นทุนแปรผันซึ่งจะเปลี่ยนไปตามกำลังการผลิต เช่น ค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

การหาต้นทุนจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของการผลิตแคหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เป็นการนำแนวทางของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) มาประยุกต์ใช้ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกลงทุนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมยังสามารถนำมาวัดผลประกอบการของธุรกิจได้ ซึ่งสอดคล้องกับบุษบา (2555) ได้อธิบายว่าการตัดสินใจเลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งที่ดีที่สุดจากหลาย ๆ ทางเลือกในการลงทุน สำหรับการพัฒนาองค์กรให้ดียิ่งขึ้น หรือสำหรับการปรับเปลี่ยนเครื่องมือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์สำหรับองค์กรใด ๆ ล้วนแล้วแต่มีปัจจัยที่ต้องพิจารณามากมาย ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีทั้งในเชิงปริมาณและในเชิงคุณภาพ หรือทั้งเป็นรูปธรรมและนามธรรม แต่อย่างไรก็ตามองค์กรนั้น ๆ มักจะพิจารณาโดยการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณหรือทางการเงินถึงผลที่จะได้รับกลับมาในรูปของตัวเลขเป็นหลัก ซึ่งก็คือวิธีการทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมนั่นเอง โดยวิธีการทาง

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยในการคิดวิเคราะห์หาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดได้

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) หมายถึง การรวบรวมวิชาความรู้ทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจด้วยหลักการที่มีเหตุผล เพื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกต่าง ๆ ให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ คือการลดต้นทุนและการใช้ทรัพยากรให้ต่ำที่สุด ซึ่งทางเลือกที่มีการใช้ต้นทุนและทรัพยากรที่ต่ำที่สุดจะถือได้ว่าเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ โดยช่วงเวลาในการพิจารณาของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมคือเวลาในอนาคต ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ก็คือการประมาณสิ่งต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยการประมาณนี้จะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ แผนผัง Cash Flow ช่วงเวลาในการเกิดเหตุการณ์ (Time of Occurrence) และอัตราดอกเบี้ย (Interest Rates) เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมยังสามารถนำมาใช้ในการวัดผลลัพธ์ในอดีตได้อีกด้วย โดยข้อมูลที่มีอยู่จะถูกนำมาประเมินว่าผลลัพธ์ที่ปรากฏเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดหรือไม่ เช่น อัตราผลตอบแทนของโครงการนั้น หรือมูลค่าปัจจุบันของโครงการนั้น ๆ เป็นไปตามที่ได้ตั้งเป้าหมายหรือไม่อย่างไร เป็นต้น

### บทที่ 3

#### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

- 3.1.1.1 หนังหมู (แคบหมูชนิดไร้มัน, โรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง, ประเทศไทย)
- 3.1.1.2 น้ำมันปาล์มโอเลอินจากเนื้อปาล์มผ่านกรรมวิธี (ตรา ตะกร้าทอง, ประเทศไทย)

##### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.1.2.1 เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น
- 3.1.2.2 กระทะทอดทั่วไป ขนาด 33 นิ้ว
- 3.1.2.3 อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น ถาดสแตนเลส กะละมังสแตนเลสและพลาสติก ตะแกรง/กระชอนสแตนเลส เป็นต้น
- 3.1.2.4 เครื่องชั่งละเอียดวิเคราะห์ 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น ML-Series)
- 3.1.2.5 เครื่องชั่ง ขนาด 60 กิโลกรัม
- 3.1.2.6 Thermocouple
- 3.1.2.7 Hot plate
- 3.1.2.8 Beaker (ขนาด 100, 250, 600, 1000 ml)
- 3.1.2.9 Erlenmeyer flask (ขนาด 125, 250, 500 ml)
- 3.1.2.10 Pipette (ขนาด 0.1, 1, 2, 5, 10, 25 ml)
- 3.1.2.11 Cylinder (ขนาด 10, 50, 100 ml)
- 3.1.2.12 Volumetric flask (ขนาด 50, 100, 250, 500, 1000 ml)
- 3.1.2.13 กรวยแก้ว
- 3.1.2.14 แท่งแก้วคนสาร
- 3.1.2.15 Burette พร้อม Stand
- 3.1.2.16 Rack, หลอดทดลอง
- 3.1.2.17 หลอดหยด
- 3.1.2.18 ทิชชูและกระดาษซับมัน
- 3.1.2.19 แก๊สหุงต้ม LPG และชุดเตาแก๊ส

### 3.1.2.20 กระดาษฟอยล์ห่ออาหาร

### 3.1.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี

- 3.1.3.1 Ethanol absolute (AR1069-P, RCI-Labscan)
- 3.1.3.2 Sodium hydroxide pellets GR (106498, Merck)
- 3.1.3.3 Sodium thiosulfate 5H<sub>2</sub>O (AR1177-P, RCI-Labscan)
- 3.1.3.4 Potassium iodide (AR1245, RCI-Labscan)
- 3.1.3.5 Chloroform A.R. (AR1027E-G, RCI-Labscan)
- 3.1.3.6 Acetic acid (AR1002-G, RCI-Labscan)
- 3.1.3.7 Starch
- 3.1.3.8 Phenolphthalein
- 3.1.3.9 ชุดทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ ที่พัฒนาโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

## 3.2 วิธีการทดลอง

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น สำหรับการแปรรูปแคบหมูเป็นการนำหนังหมูที่ได้จากทางโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง ที่แปรรูปแคบหมูในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นการดำเนินโครงการวิจัยครั้งนี้ได้นำหนังหมูปรุงรสที่ตากแห้งแล้วมาทำการศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดในการแปรรูปแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแคบหมูและน้ำมันหลังทอด โดยเริ่มจากนำหนังหมูหั่นปรุงรสที่ตากแห้งแล้วซึ่งเพื่อเตรียมใส่ภาชนะสำหรับทดสอบเครื่องทอดต้นแบบ (อัตราส่วน 1 กิโลกรัมต่อน้ำมัน 72 ลิตร) เทียบกับกระทะทั่วไป (อัตราส่วน 0.5 กิโลกรัมต่อน้ำมัน 36 ลิตร) การศึกษาครั้งนี้จะใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินในการทดสอบก่อนนำไปศึกษาขั้นต่อไป โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ศึกษาการกระจายอุณหภูมิของกระบวนการทอดทั้งสองชนิด (กระทะทั่วไป, เครื่องทอดต้นแบบ) และทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดซ้ำ ด้วยการกระทะทั่วไปเทียบกับเครื่องทอดต้นแบบ โดยกำหนดตัวแปรควบคุมด้านอุณหภูมิใช้ในการทอด (210 องศาเซลเซียส), เวลาในการทอดซ้ำ (40 รอบ) และชนิดของน้ำมัน (น้ำมันปาล์มโอเลอิน ตราตะกร้าทอง) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมัน (PV), การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมัน (AV), ปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ (Polar compound) และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำมันหลังทอด ส่วนขั้นตอนที่สามเลือกใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ T-Test และ ANOVA ในการประมวลผลการทดสอบคุณภาพของน้ำมันทั้งสองกระบวนการ (กระทะ

ทั่วไป, เครื่องทอดต้นแบบ) และขั้นตอนสุดท้ายทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิต เพื่อต่อยอดในการแปรรูปเชิงพาณิชย์ โดยมีรายละเอียดแผนผังการทำงาน แสดงดังภาพที่ 25

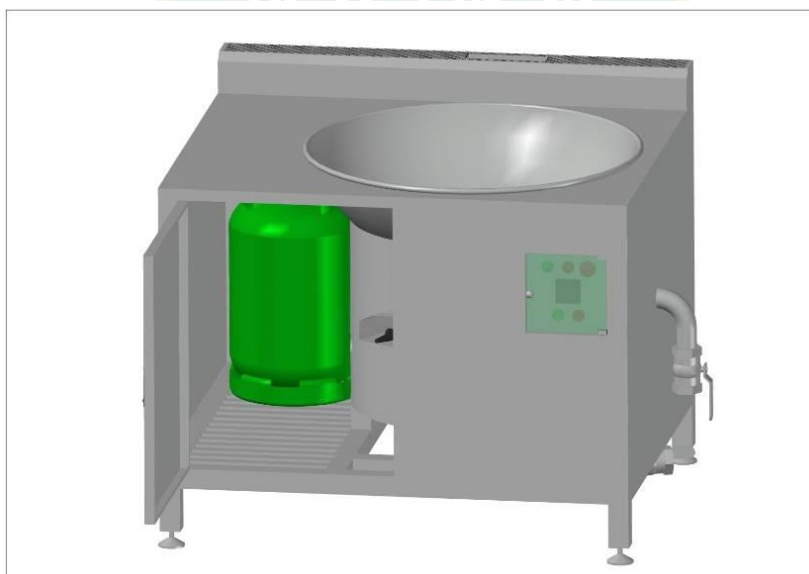


ภาพที่ 25 แผนผังการทดลองของโครงการวิจัย

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดต้นแบบเทียบกับกระทะทั่วไป โดยการเก็บข้อมูลจากผลการทดลองและผลจากการวิเคราะห์ จะถูกบันทึกรวบรวมในตารางเก็บข้อมูล เพื่อทำการวิเคราะห์และแปลผล อุปกรณ์และเครื่องมือที่สำคัญประกอบด้วย

1) **เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น** สำหรับเครื่องทอดต้นแบบจะออกแบบให้ใช้ระบบไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมการทำงานของแก๊สและกระบวนการทอด โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นสแตนเลส ในกระบวนการทอดจะใช้ของเหลว 2 ชนิด คือ น้ำมันและน้ำ หัวเร่งเตาแก๊สจะใช้ KB-5A ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 เครื่องทอดต้นแบบ 3 มิติ

2) **กระทะทั่วไป** สำหรับกระทะทั่วไปจะใช้กระทะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด ใช้ทำงานร่วมกับหัวเร่งเตาแก๊ส KB-5A และชุดเตาแก๊สที่หาซื้อตามท้องตลาดเช่นกัน ดังภาพที่ 27 โดยขั้นตอนการใช้งานก็จะทำการเปิดวาล์วแก๊สเพื่อให้แก๊สไหลผ่านท่อส่งแก๊สไปยังหัวเร่งเตาแก๊ส KB-5A จากนั้นหมุนเปิดและปรับวาล์วเร่งแรงดันตามที่ต้องการแล้วจุดติดแก๊สที่หัวเตาแก๊ส ในขั้นตอนการทดลองเนื่องจากกระทะทั่วไปไม่มีอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิได้ เราจึงใช้เทอร์โมคัปเปิล ดังภาพที่ เป็นเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิของกระทะ



ภาพที่ 27 กระทะทั่วไปและชุดเตาแก๊ส

### 3.4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทอดแคบหมู

3.4.1 ตัวอย่างหนังหมูที่ใช้ในการทดลอง จากโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง เป็นหนังหมูสำเร็จรูปที่ทางโรงงานได้ทำการต้มปรุงรสและตากแห้งเรียบร้อยแล้ว ดังภาพที่ 28 จากนั้นเราจะนำหนังหมูมายังน้ำมันให้ได้อัตราส่วนตามที่ต้องการเพื่อเตรียมสำหรับนำลงไปทอดเพื่อทดสอบในกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบ ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 28 หนังหมูปรุงรสตากแห้งจากโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง



ภาพที่ 29 ชั่งน้ำหนักหนัองหมูเพื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

3.4.2. ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันสำหรับทอดแคบหมู ในการทดลองนี้จะใช้น้ำมันปาล์มโเลอินในการเก็บตัวอย่างน้ำมันเพื่อไปทดสอบ เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีจุดเดือนสูงและเป็นน้ำมันที่เหมาะสมแก่การทอดแบบน้ำมันท่วม จากภาพที่ 30 เป็นการเทน้ำมันลงในกระทะที่ 36 ลิตร และภาพที่ 31 เป็นการเติมน้ำมันลงในเครื่องทอดต้นแบบที่ปริมาณ 72 ลิตร ต่อปริมาณน้ำ 82.50 ลิตร



ภาพที่ 30 เตรียมน้ำมันสำหรับการทดสอบตัวอย่างของกระทะทั่วไป



ภาพที่ 31 เตรียมน้ำมันสำหรับการทดสอบตัวอย่างของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น

### 3.5 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย

ในส่วนของเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนัก มีอยู่ 3 แบบ คือ แบบธรรมดา และแบบละเอียด ซึ่งรายละเอียดข้อมูลของแต่ละเครื่องวัดแสดงดังต่อไปนี้

#### 3.5.1 เครื่องชั่ง ขนาด 2 กิโลกรัม

เครื่องชั่ง Camry ขนาด 2 กิโลกรัม ดังภาพที่ 32 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของหนังหมูที่ 0.5 กิโลกรัมสำหรับทอดในกระทะทั่วไป และชั่งน้ำหนักหนังหมูที่ 1 กิโลกรัมสำหรับเตรียมทอดในเครื่องทอดต้นแบบ



ภาพที่ 32 เครื่องชั่งน้ำหนัก Camry ขนาด 2 กิโลกรัม

### 3.5.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นผลิตภัณฑ์จากประเทศไทยตราตุ๊กตาคู่ สามารถชั่งน้ำหนักสูงสุด 60 กิโลกรัม อ่านค่าละเอียด 200 กรัม จานชั่ง จานแบน ขนาด 34 x 34 เซนติเมตร (ยึดติดกับตัวเครื่อง) มี 2 หน้า ดูได้ หน้า-หลัง แกนรับน้ำหนัก มี 2 แกน หน่วยที่ชั่ง 2 หน่วย คือ กรัม และ กิโลกรัม ดังภาพที่ 33 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักแก๊สก่อนและหลังการทดสอบ



ภาพที่ 33 เครื่องชั่งน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

### 3.5.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่ง Mettler Toledo เครื่องชั่งละเอียดวิเคราะห์ตติยนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น ML-Series เป็นผลิตภัณฑ์จากประเทศสวิตเซอร์แลนด์จอแสดงผลแบบ Brilliant backlit Display สามารถชั่งได้หลายหน่วย เช่น mg, g, ct, oz, dwt, baht, tola ปรับเทียบน้ำหนัก โดยใช้ลูกตุ้มจากภายในเครื่อง (Internal Calibrate) ใช้ไฟฟ้า 220 Volt , 50/60 Hz ดังภาพที่ 34 ใช้สำหรับชั่งสารเคมีเพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างน้ำมันทอดซ้ำในกระบวนการวิเคราะห์ค่า เพอร์ออกไซด์ ค่าความเป็นกรด และกรดไขมันอิสระ



ภาพที่ 34 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล Mettler Toledo 4 ตำแหน่ง

### 3.6 ขั้นตอนการทอดแคบหมูด้วยกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบ

ในขั้นตอนการทอดแคบหมูเราจะทำการทอดที่ละกระบวนการ เมื่อความร้อนของน้ำมันได้ 210 องศาเซลเซียสตามที่กำหนดก็จะนำหนังหมูที่เตรียมไว้ตามหัวข้อ 3.4.1 ใส่ลงในกระทะนั้บ 1-10 หนังหมูจะพองและลอยตัวขึ้นจากน้ำมัน จากนั้นจะใช้กระชอนสแตนเลสกดแคบหมูแล้วตักพลิกคว่ำ แคบหมูไปมาเพื่อให้ผิวสัมผัสของแคบหมูได้โดนความร้อนจากน้ำมันอย่างทั่วถึง ดังภาพที่ 35 ทำแบบนี้เรื่อย ๆ จนกระทั่งสังเกตเห็นว่าผิวของแคบหมูเรียบเนียนและมีสีเหลืองทองตามที่ต้องการถึงจะใช้กระชอนสแตนเลสตักแคบหมูสลัดน้ำมันแล้วทิ้งผึ่งไว้ในถาดสแตนเลสที่เตรียมไว้ ดังภาพที่ 37 ให้หายร้อนจากนั้นทำการแพคใส่ถุงและเก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอด เช่นเดียวกันกับเครื่องทอดต้นแบบในขั้นตอนการทอดแคบหมู ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 35 กระบวนการทอดแคบหมูด้วยกระทะทั่วไป



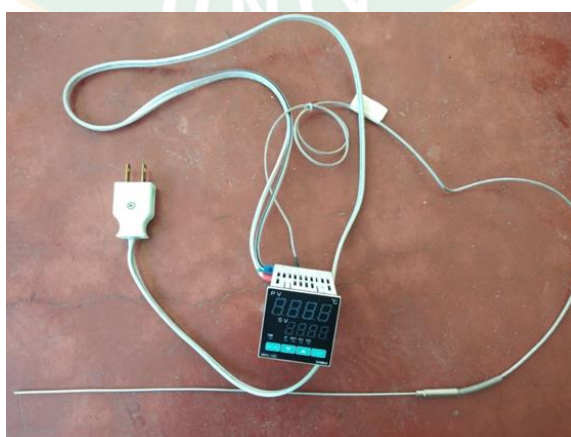
ภาพที่ 36 กระบวนการทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น



ภาพที่ 37 ผลผลิตกัณฑ์แคบหมูที่ได้หลังจากการทดสอบ

### 3.7 ศึกษาการกระจายอุณหภูมิของน้ำมัน

เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นในการทดลองจึงต้องทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทอดกับกระทะทั่วไป เนื่องจากเครื่องทอดมีการออกแบบติดตั้งให้มีระบบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ แต่กระทะทั่วไปไม่สามารถควบคุมได้ จึงใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ดังภาพที่ 38 เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำมันทั้งสองกระบวนการ (กระทะทั่วไป, เครื่องทอด) ทำการวัดทั้งหมด 5 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่วัดจะห่างจากบริเวณผิว น้ำมันในหม้อทอดประมาณ 1 นิ้ว ดังภาพที่ 43 ใช้เวลาในการวัด 2-3 นาทีจนอ่านค่าตัวแปลงเลขของเทอร์โมคัปเปิลได้ ในแต่ละตำแหน่งจะทำการทดสอบตำแหน่งละ 3 ซ้ำ จากนั้นบันทึกผลและวิเคราะห์ผลการทดสอบ



ภาพที่ 38 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

### 3.8 ศึกษาคุณภาพเบื้องต้นของแคบหมู

#### 3.8.1 ปริมาณร้อยละของน้ำหนักรีดที่ได้

นำตัวอย่างแคบหมูที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนัก (ก่อนทอด) และตัวอย่างแคบหมูที่ผ่านการทอดของสองกระบวนการ (กระทว้ไป, เครื่องทอดต้นแบบ) มาชั่งน้ำหนัก (หลังทอด) แล้วคำนวณหาปริมาณร้อยละของน้ำหนักรีดตัวอย่างแคบหมู โดยแทนค่าในสมการที่ 19 ตามวิธีของ (นันทพร อัครนิจ and สุพัฒน์ชลี สิริโชควรกิตต์, 2555)

$$\text{ปริมาณร้อยละของน้ำหนักรีดที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนทอด} - \text{น้ำหนักหลังทอด}}{\text{น้ำหนักก่อนทอด}} \times 100 \quad (19)$$

#### 3.8.2 การทดสอบหาสารโพลาร์

3.8.2.1 เติมน้ำยาทดสอบสารโพลาร์ลงในหลอดทดสอบตัวอย่าง จำนวน 4 หยด

3.8.2.2 นำตัวอย่างน้ำมันทอดซ้ำที่เตรียมไว้เติมลงในหลอดทดสอบที่หยดน้ำยาไว้แล้ว จำนวน 2 หยด

3.8.2.3 กดปิดฝาหลอดทดสอบตัวอย่าง จากนั้นเขย่าหลอดแนวแฉวงเบา ๆ อย่างสม่ำเสมอ 30 วินาที แล้ววิเคราะห์ผลทันที โดยทำการวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของสีตัวอย่างน้ำมันในหลอดทดสอบเทียบกับสีของแผ่นการอ่านผล ดังภาพที่ 39 แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารโพลาร์ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างน้ำมัน



ภาพที่ 39 แสดงวิธีการอ่านค่าการทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ

จากภาพที่ 39 เป็นการแสดงการอ่านค่าการทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ จากภาพจะเป็นว่าวิธีการอ่านเราจะนำตัวอย่างน้ำมันที่ทดสอบมาเทียบสี ถ้าตัวอย่างน้ำมันมีสีชมพูม่วง ■ แสดงว่าปริมาณสารโพลาร์ที่เกิดขึ้นอยู่ที่ 1-10% เป็นปริมาณสารโพลาร์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายและยังสามารถใช้น้ำมันทอดต่อได้ ถ้าตัวอย่างน้ำมันมีสีชมพูแดง ■ แสดงว่าปริมาณสารโพลาร์ที่เกิดขึ้นอยู่ที่ 11-20% เป็นปริมาณสารโพลาร์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายและยังสามารถใช้น้ำมันทอดต่อได้ ถ้าตัวอย่างน้ำมันมีสีชมพู-ชมพูจาง ■ แสดงว่าปริมาณสารโพลาร์ที่เกิดขึ้นอยู่ที่ 21-24% เป็นปริมาณสารโพลาร์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมากนักแต่ก็ไม่แนะนำให้ใช้น้ำมันทอดต่อ และถ้าตัวอย่างน้ำมันมีสีเหลือง ■ แสดงว่าปริมาณสารโพลาร์ที่เกิดขึ้นอยู่ที่ 25% เป็นปริมาณสารโพลาร์ที่เป็นอันตรายต่อร่างกายและเป็นน้ำมันที่เสื่อมสภาพแล้วไม่ควรใช้น้ำมันทอดต่อเด็ดขาด

### 3.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน

นำน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพดังนี้

3.9.1 วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระ ดังแสดงภาคผนวก ก 1 และ ก2

3.9.2 วิเคราะห์ค่าสีโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันตัวอย่างด้วยตาเปล่า ดังแสดงในตารางที่ 19

### 3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในการทดลองข้อ 3.9.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยเพื่อทดสอบสมมติฐานโดยใช้วิธี 2-Sample t-Test ในการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ดังภาคผนวก ค

### 3.11 การทดสอบหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

ในการทดสอบหาค่าปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไปเป็นการวิเคราะห์และประมวลผลหลังการทดสอบทอดผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยพิจารณาจากปริมาณแก๊สก่อนทอดเทียบกับปริมาณแก๊สหลังทอด

ว่ามีความคุ้มค่าต่อปริมาณการสูญเสียเชื้อเพลิงในการใช้งานของกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบหรือไม่ โดยพิจารณาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทำการทดสอบ ซึ่งมีการคำนวณหา ดังนี้

**การคำนวณหาค่าปริมาณการใช้แก๊ส**

$$\text{ปริมาณการใช้แก๊ส} = \frac{VK}{t} \quad (20)$$

โดย ปริมาณการใช้แก๊สสูงสุดมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง

เมื่อ V คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ไปทั้งหมดเป็นลูกบาศก์เมตร

K คือ ความหนาแน่นของแก๊สเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

t คือ เวลาที่ใช้ในการทอดเป็นชั่วโมง

### 3.12 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของการผลิต

โดยนำตัวอย่างน้ำมันทอดซ้ำ จากสถานะที่เหมาะสมในการแปรรูปแคบหมุดด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น มาทำการวิเคราะห์หาต้นทุนการผลิตและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของการผลิต โดยทำการสอบถามเก็บข้อมูลจากทางโรงงานเกี่ยวกับต้นทุนคงที่ของการผลิต อายุการใช้งาน เครื่องจักร มูลค่าซากของต้นทุนการปรับปรุงเครื่องจักร ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ต้นทุนค่าไฟฟ้า ต้นทุนค่าพลังงาน และค่าจ้างแรงงาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาต้นทุนการผลิต

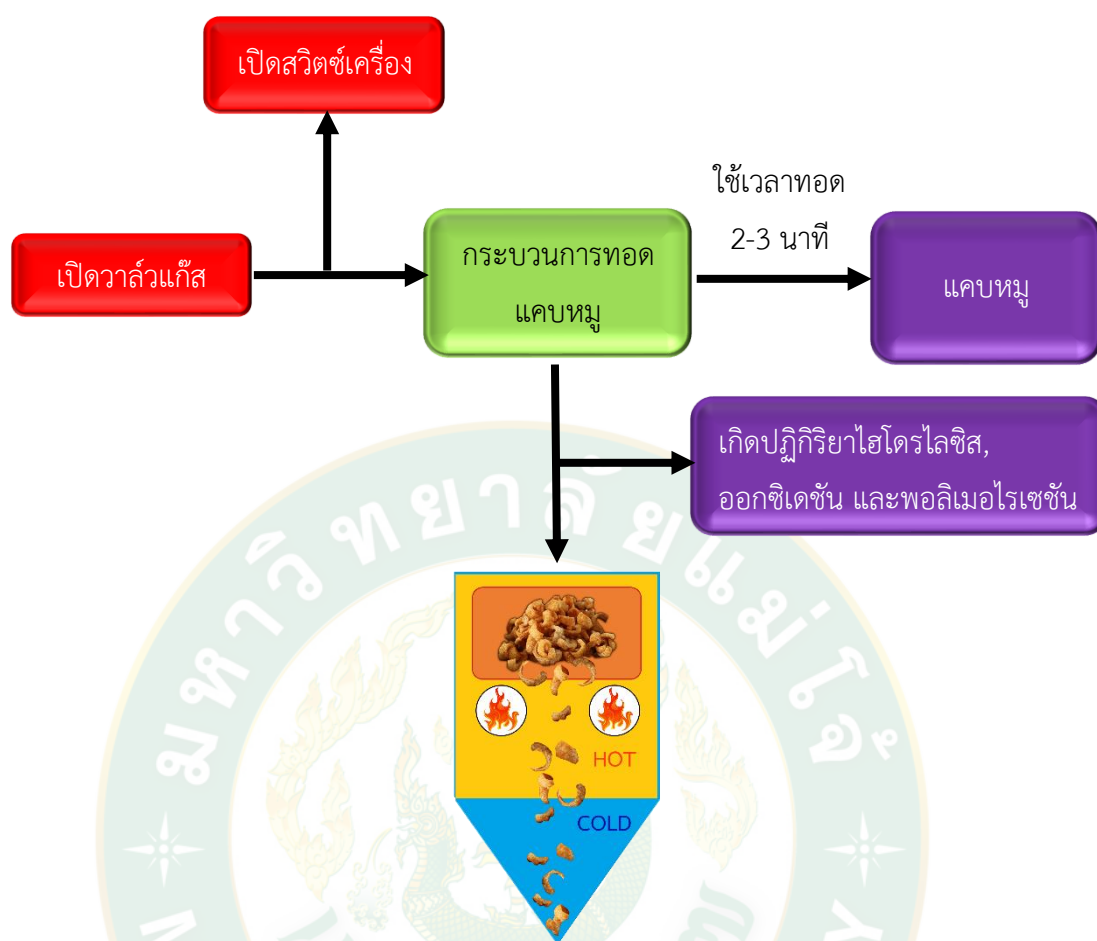
## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาเรื่องการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เป็นการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอด โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นแคบหมูชนิดไรมันจากโรงงานแคบหมูนายแม่ จังหวัดลำปาง ผลการศึกษาครั้งนี้นำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟประกอบคำอธิบายตามลำดับ ดังนี้

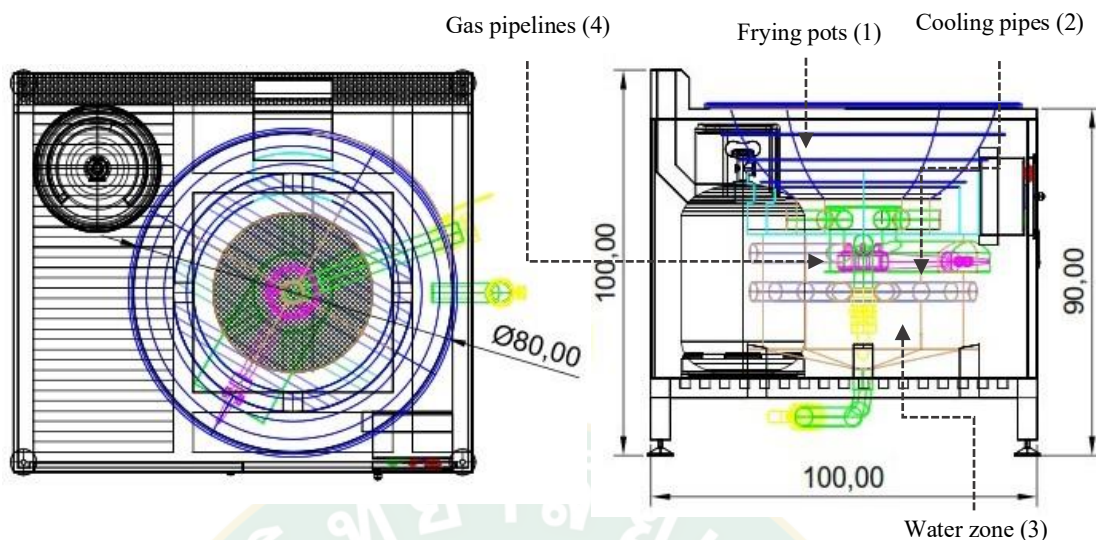
#### 4.1 ประสิทธิภาพในการออกแบบเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดเทียบกับกระทะทั่วไปในอัตราส่วนผลิตภัณฑ์ต่อน้ำมันที่เท่ากัน ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส กระบวนการทำงานของเครื่องทอดเป็นการถ่ายเทความร้อนหรือแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลสองชนิดที่เป็นของไหลร้อนและของไหลเย็นระหว่างน้ำกับน้ำมัน ดังภาพที่ 40 สมรรถนะของเครื่องทอดศึกษาได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิของเครื่องทอดและกระทะ และทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดแคบหมู 40 ครั้ง โดยกำหนดตัวแปรด้านอุณหภูมิที่ใช้ ชนิดของน้ำมัน อัตราส่วน (ผลิตภัณฑ์ : น้ำมัน) ที่มีผลต่อน้ำมันหลังทอด หลังจากนั้นทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันหลังทอดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ และค่าปริมาณสารประกอบมีขี้ว (Total polar materials) ทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันหลังทอด จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและต้นทุนในการผลิตเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทอดและกระทะในการทอดการแปรรูปในเชิงพาณิชย์



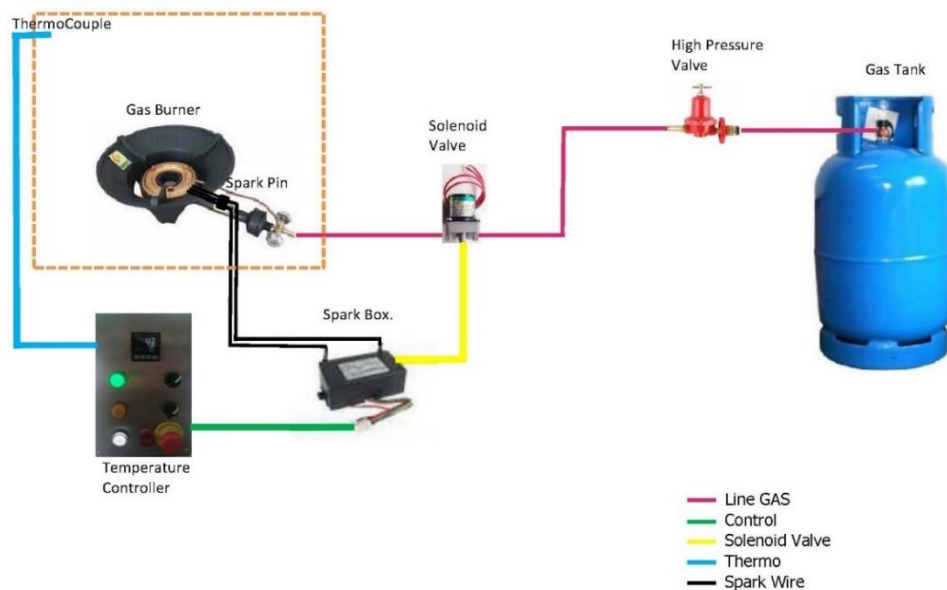
ภาพที่ 40 กระบวนการทอดแคบหมูของเครื่องทอดแบบแยกชั้นของเหลว

เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นจะออกแบบเครื่องให้มีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ โครงสร้างเครื่องทอด ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร การออกแบบขนาดถังที่ใช้ทอดสร้างจากวัสดุสแตนเลส ขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร ความสูง 90 เซนติเมตร และความลึก 50 เซนติเมตร มีท่อส่งแก๊สและท่อสำหรับระบายความร้อนของน้ำมันและน้ำ การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมแก๊สด้วยระบบไฟฟ้าที่สามารถปรับตั้งอุณหภูมิของน้ำมันและรักษาอุณหภูมิในการทอดให้คงที่ได้ ระบบควบคุมการทำงานเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electric controlled system) มีตู้คอนโทรลพร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 โครงสร้างของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น

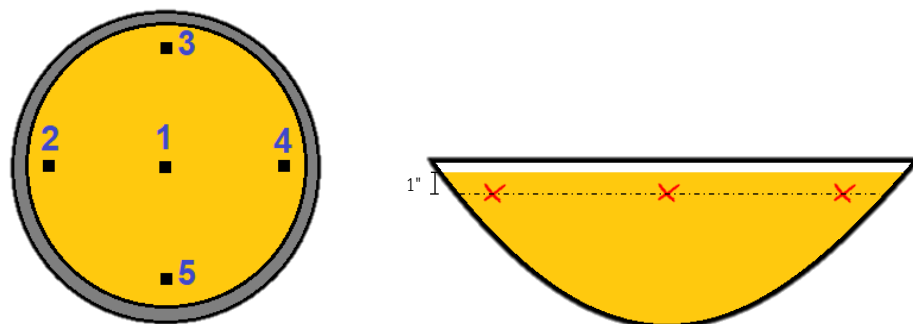
โดยขั้นตอนการใช้งานจะเริ่มต้นจากการเปิดวาล์วแก๊สเพื่อให้แก๊สไหลผ่านท่อส่งแก๊สไปยังหัวเร่งเตาแก๊ส KB-5A ที่ติดตั้งภายในตัวเครื่อง ดังภาพที่ 42 ก่อนจะทำการเปิดสวิตช์เครื่องจะต้องใส่ของเหลวลงในตัวเครื่องก่อนทุกครั้ง งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเพื่อทดสอบการทำงานระหว่างของเหลว 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ น้ำ และน้ำมัน เมื่อใส่ของเหลวทั้งสองชนิดได้ปริมาณที่ต้องการแล้ว ก็ทำการเปิดสวิตช์ที่ตัวเครื่องแก๊สก็จะทำการจุดติดและส่งความร้อนไปที่น้ำมัน ภายในตัวเครื่องได้ออกแบบให้มีท่อสำหรับส่งความร้อนเพื่อเป็นการกระจายความร้อนบริเวณหม้อทอด ทำให้น้ำมันได้รับอุณหภูมิที่สูงอย่างรวดเร็วและถือเป็นการรักษาปริมาณการสูญเสียเชื้อเพลิงออกจากระบบ ในการทดลองนี้ตั้งอุณหภูมิที่ 210 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำมันได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้แล้วเครื่องจะทำการตัดระบบแก๊ส และเมื่ออุณหภูมิน้ำมันลดลง 2-3 องศาเซลเซียส เครื่องจะทำการต่อระบบจุดติดแก๊สอัตโนมัติทันที โดยภายในหม้อทอดได้มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิไว้ 1 ตำแหน่ง



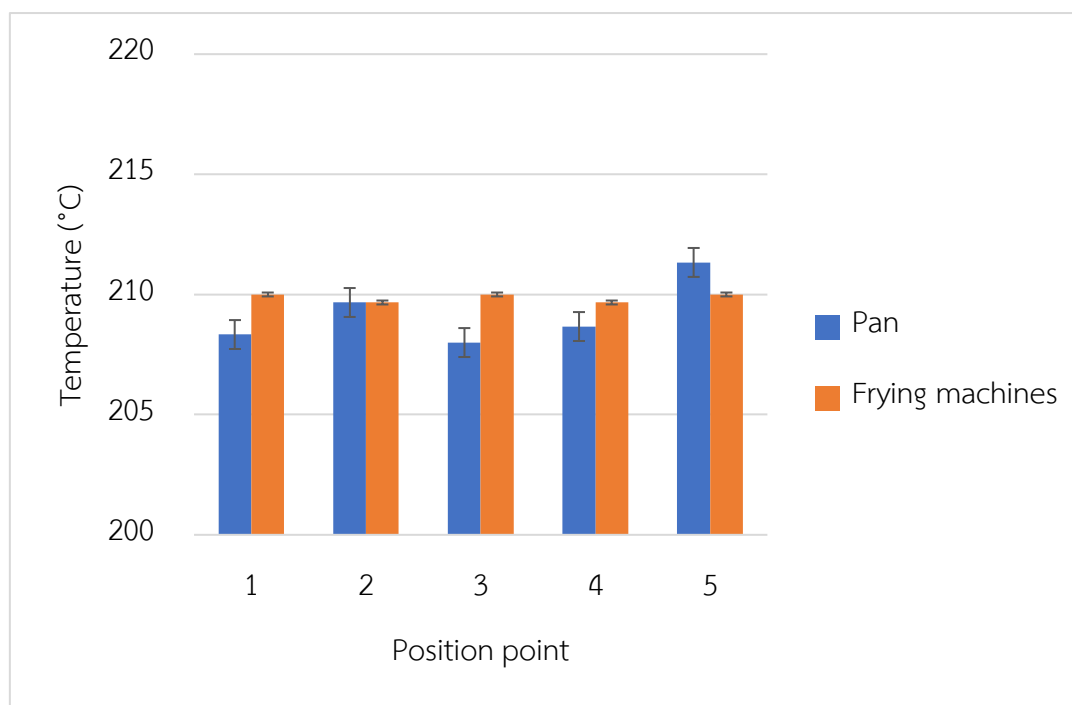
ภาพที่ 42 Gas diagram

#### 4.2 การกระจายอุณหภูมิในน้ำมัน

จากการศึกษาอุณหภูมิของน้ำมันซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมและเป็นปัจจัยหลักของผลการทดสอบทำให้ตระหนักถึงอุณหภูมิที่คงที่ของน้ำมันในขณะทอด เพราะอุณหภูมิที่ใช้ทอดสูงถึง 210 องศาเซลเซียส ทำให้ความน่าจะเป็นที่จะควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันให้คงที่เป็นไปได้ยากจึงต้องมีการทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำมัน เราจะทำการสุ่มวัดอุณหภูมิทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ซ้ำ ดังภาพที่ 43 โดยเราจะใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดเพื่อวิเคราะห์ผลการกระจายของอุณหภูมิในน้ำมัน ดังข้อมูลภาพที่ 44



ภาพที่ 43 ตำแหน่งวัดการกระจายอุณหภูมิในน้ำมันของกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบ



ภาพที่ 44 กราฟแสดงผลอุณหภูมิของน้ำมันแต่ละตำแหน่งของกระทะทั่วไปเทียบกับเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น

จากภาพที่ 44 แสดงผลการกระจายอุณหภูมิในน้ำมันของกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ทำให้เห็นถึงความแตกต่างอุณหภูมิของน้ำมันระหว่างกระทะทั่วไปกับเครื่องทอดต้นแบบ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำมันภายในเครื่องทอดต้นแบบต่ำสุดอยู่ที่ 209 องศาเซลเซียส สูงสุดอยู่ที่ 210 องศาเซลเซียส เฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 209.87 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิน้ำมันภายในกระทะทั่วไปต่ำสุดอยู่ที่ 207 องศาเซลเซียส สูงสุดอยู่ที่ 212 องศาเซลเซียส เฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 209.20 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำมันภายในเครื่องทอดมีการกระจายอุณหภูมิได้คงที่มากกว่ากระทะทั่วไป เนื่องจากเครื่องทอดต้นแบบมีการออกแบบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ โดยเครื่องทอดต้นแบบได้ออกแบบเครื่องให้มีอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิภายในหม้อทอด 1 ตำแหน่ง เมื่อน้ำมันอุณหภูมิถึง 210 องศาเซลเซียส ระบบติดตั้งจะทำการตัดแก๊สทันที และเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันลดลง 2-3 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการจุดติดแก๊สอัตโนมัติทันที เป็นผลทำให้กระทะทั่วไปอัตราการการสูญเสียพลังงานมากกว่าเครื่องทอดต้นแบบ และอาจส่งผลให้คุณภาพของน้ำมันกับผลิตภัณฑ์ลดลงอีกด้วย

#### 4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี

##### 4.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน

จากตารางที่ 10 พบว่ามีค่าเพอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 2.04-2.56 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วง 0.15-0.2 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกรัมไขมันและค่าพาราอะนิลิตินอยู่ในช่วง 0.76-1.14 และยังพบว่าน้ำมันปาล์มมีค่าไอโอดีนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว ซึ่งค่าไอโอดีนเป็นค่าที่บ่งบอกความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ส่วนค่าซาฟอนิฟิเคชันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ 188-198 (Hui, 1996) ค่าสีของน้ำมันปาล์มพบว่ามีค่าสีใกล้เคียงกับน้ำมันรำข้าวในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองมีสีอ่อนกว่า เนื่องจากมีค่าสว่างมากกว่าน้ำมันทั้งสองชนิด

**ตารางที่ 10** Chemical and physical properties of palm olein oil, soybean oil and rice bran oil

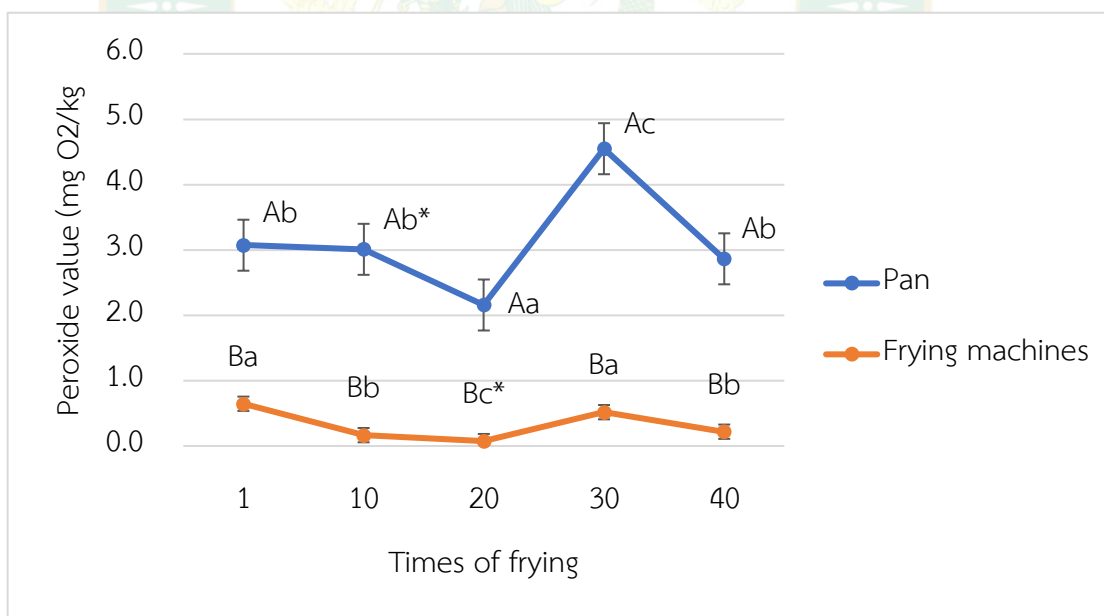
Properties	Palm olein oil*	Soybean oil*	Rice bran oil*
Chemical properties			
Peroxide value (mg O <sub>2</sub> /kg fat)	2.04 ± 0.04	2.30 ± 0.00	2.56 ± 0.00
Free fatty acid (mg KOH/g fat)	0.15 ± 0.00	0.15 ± 0.00	0.20 ± 0.01
<i>p</i> - Anisidine value	0.76 ± 0.00	0.20 ± 0.05	1.14 ± 0.12
Physical properties			
Color CIE L* value	96.7 ± 0.02	101.5 ± 0.04	96.2 ± 0.04
a* value	-7.5 ± 0.01	-3.7 ± 0.02	-6.0 ± 0.01
b* value	47.1 ± 0.01	13.4 ± 0.02	± 0.03

หมายเหตุ \*Mean value ± standard deviation (SD) of triplicate determinations.

##### 4.4.4.1 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมัน

จากการศึกษาผลของระยะเวลาของการทอดต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอดแคหมูที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส พบว่ากระบวนการที่ใช้ในการทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์ (ตารางที่ 14 และ ตารางที่ 15) โดยเครื่องทอดต้นแบบมี

แนวโน้มของค่าเปอร์ออกไซด์น้อยกว่ากระทะทอดทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อทอดเพิ่มขึ้นพบว่าทั้งสองกระบวนการทอด (กระทะทั่วไป, เครื่องทอดต้นแบบ) มีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังภาพที่ 45 จากภาพพบว่าปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหลังทอดมีค่ามากที่สุดที่ 4.5 mg O<sub>2</sub>/kg ที่เวลาทอด 30 ครั้ง คือค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังทอดจากกระทะทั่วไป เมื่อเทียบกับปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหลังทอดของเครื่องทอดต้นแบบมีค่ามากกว่า เนื่องจากในเครื่องทอดต้นแบบที่มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.6 mg O<sub>2</sub>/kg ณ เวลาเดียวกัน และมีแนวโน้มที่ค่าจะคงที่หรือลดลงหากใช้เวลาในการทอดนานกว่าที่ศึกษา ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ตามการอธิบายของ (Shahidi and Wanasundara, 2002) ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ในช่วงที่ทอดนั้นแสดงว่ามีการก่อตัวของสารเปอร์ออกไซด์เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น แต่สารเปอร์ออกไซด์นั้นจะไม่มีวามคงตัวภายใต้สภาวะการทอดแบบน้ำมันท่วม สามารถสลายตัวแล้วก่อตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl compound) และสารประกอบแอลดีไฮด์ (Aldehyde compound) ได้จึงเป็นสาเหตุให้ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลาที่ใช้ทอดนานขึ้นจึงเป็นเหตุให้ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงเช่นเดียวกัน

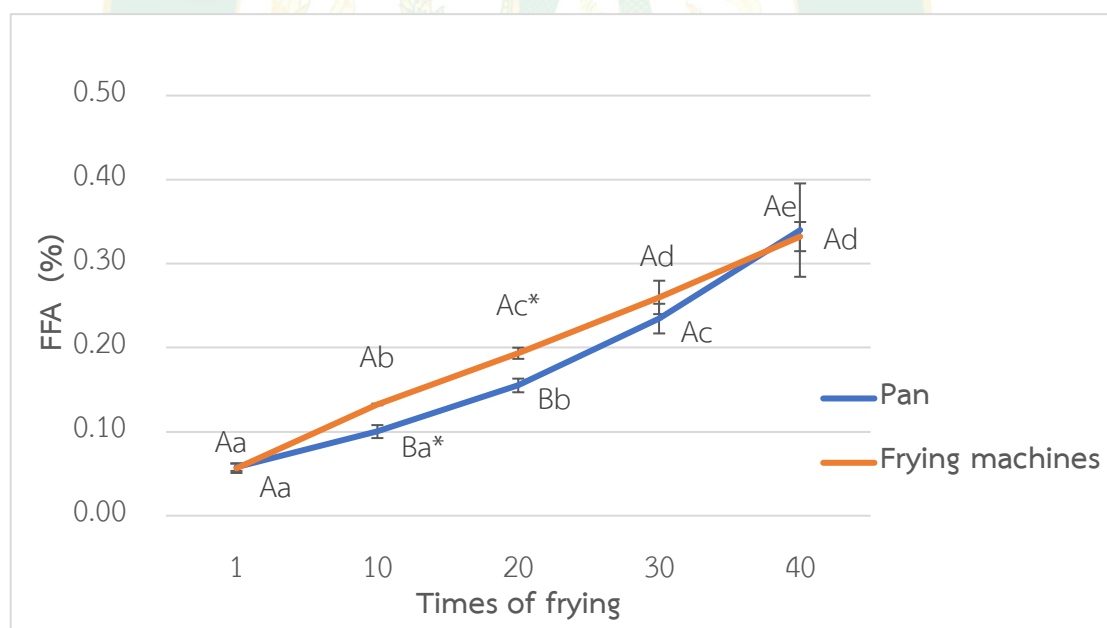


ภาพที่ 45 Peroxide value in frying oil after frying between methods (pan and frying machines)

- หมายเหตุ <sup>A-B</sup> Means in the same times of frying (1, 10, 20, 30 and 40) with different letters are significant differences ( $p \leq 0.05$ ).
- <sup>a-c</sup> Means in the same methods (pan and frying machines) with different letters are significant differences ( $p \leq 0.05$ ).
- \* Optimal conditions for the frying process.

#### 4.4.4.2 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระของน้ำมัน

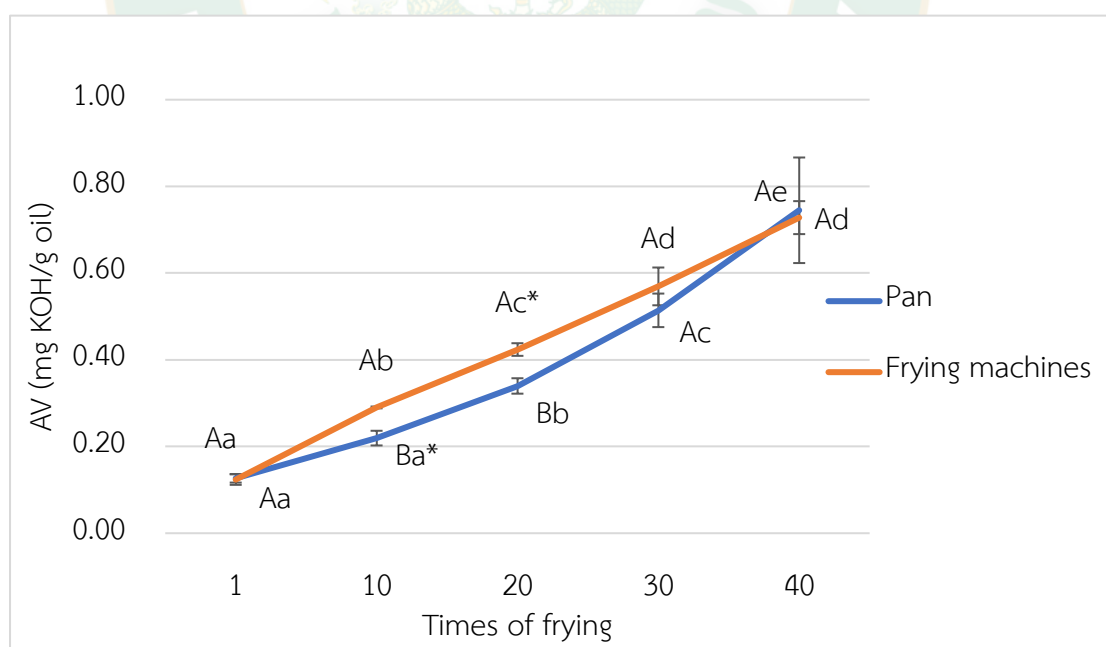
การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ระยะเวลาทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 16 และ ตารางที่ 17) โดยเครื่องทอดต้นแบบมีแนวโน้มค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระของน้ำมันหลังทอดน้อยกว่ากระทะทอดทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อทอดเพิ่มขึ้นพบว่าทั้งสองกระบวนการทอด (กระทะทั่วไป, เครื่องทอดต้นแบบ) ในทุกช่วงเวลาใด ๆ มีปริมาณค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังภาพที่ 46 และภาพที่ 47



ภาพที่ 46 Free fatty acid in frying oil after frying between methods (pan and frying machines)

- หมายเหตุ <sup>A-B</sup> Means in the same times of frying (1, 10, 20, 30 and 40) with different letters are significant differences ( $p \leq 0.05$ ).
- <sup>a-e</sup> Means in the same methods (pan and frying machines) with different letters are significant differences ( $p \leq 0.05$ ).
- \* Optimal conditions for the frying process.

จากภาพที่ 46 จากรูปแบบการคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543) พบว่าปริมาณค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันหลังทอดครั้งที่ 40 จากเครื่องทอดต้นแบบมีค่า 0.33% เมื่อเทียบกับปริมาณค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันหลังทอดของกระทะทั่วไปมีค่า 0.34% ถ้าเปรียบเทียบค่าจากตัวเลขจะพบว่าเครื่องทอดต้นแบบและกระทะทั่วไปปริมาณกรดไขมันอิสระของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกัน จากกราฟจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าปริมาณของกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อทอดเป็นเวลานานขึ้นเรื่อย ๆ ปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันและน้ำมันสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพของน้ำมันจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรเอซิลกลีเซอไรด์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันตรงตำแหน่งพันธะคู่ (Abdulkarim et al., 2007)



ภาพที่ 47 Acid value in frying oil after frying between methods (pan and frying machines)

- หมายเหตุ <sup>A-B</sup> Means in the same times of frying (1, 10, 20, 30 and 40) with different letters are significant differences ( $p \leq 0.05$ ).
- <sup>a-e</sup> Means in the same methods (pan and frying machines) with different letters are significant differences ( $p \leq 0.05$ ).
- \* Optimal conditions for the frying process.

จากภาพที่ 47 จากรูปแบบการคำนวณหาปริมาณค่าความเป็นกรด พบว่าปริมาณค่าความกรดในน้ำมันหลังทอดครั้งที่ 40 จากเครื่องทอดต้นแบบมีค่า 0.73 mg KOH/g oil เมื่อเทียบกับปริมาณค่ากรดในน้ำมันหลังทอดของกระทะทั่วไปมีค่า 0.74 mg KOH/g oil ถ้าเปรียบเทียบค่าจากตัวเลขจะพบว่าเครื่องทอดต้นแบบและกระทะทั่วไปปริมาณกรดไขมันอิสระของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกัน จากกราฟจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าปริมาณของกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อทอดเป็นเวลานานขึ้นเรื่อย ๆ ปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันและน้ำมันสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพของน้ำมันจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรเอซิลกลีเซอไรด์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันตรงตำแหน่งพันธะคู่

#### 4.4.4.3 ปริมาณสารโพลาร์ในตัวอย่งน้ำมัน

สารประกอบมีขั้ว (Polar Compound) เกิดจากไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมันถูกไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ออกซิไดซ์ และโพลิเมอไรซ์ได้สารประกอบมีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไสคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไดเมอร์ และโพลิเมอร์ที่ถูกออกซิไดซ์ เป็นต้น ดังนั้นสารประกอบมีขั้ว (Polar Compound) จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศรวมถึงประเทศไทย ซึ่งกระทรวงสาธารณสุขได้ออกประกาศกำหนดให้น้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่ายมีค่าสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 การวัดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมัน มีวิธีมาตรฐาน คือวิธี Column Chromatography ของ IUPAC ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างมาก มีความยุ่งยากในการเตรียมสารเคมี และมีค่าใช้จ่ายสูง การวิเคราะห์ค่าโพลาร์ด้วยวิธีที่มีความถูกต้องรวดเร็ว และเชื่อถือได้จึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่า ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์สารโพลาร์โดยวิธีมาตรฐาน และวิธีแบบรวดเร็ว พบว่าใช้ชุดทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ ที่พัฒนาโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ดังภาพที่ 48 ให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบวิธีมาตรฐาน ให้ผลถูกต้องร้อยละ 99.2 อ่านผลภายใน 2 นาที ใช้งานง่าย และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า การวัดค่าโพลาร์ในน้ำมันทอดอาหารของการศึกษานี้ได้เลือกใช้ชุดทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ

ที่พัฒนาโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ในการทดสอบ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์เหมาะสม และสามารถสังเกตสภาพของน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน



ภาพที่ 48 อุปกรณ์ชุดทดสอบสารโพลาไรซ์ในน้ำมันทอดซ้ำ ที่พัฒนาโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

จากการเก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดแคบหมูจำนวน 40 ตัวอย่างของกระทะทั่วไป และเครื่องทอดต้นแบบ ซึ่งประเภทของอาหารที่ทอด อุณหภูมิที่ใช้ทอดอาหาร ระยะเวลาในการทอดอาหาร ชนิดของน้ำมัน และปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทอดอาหารเดียวกัน โดยการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหลังทอดมาวัดสารโพลาไรซ์ ดังตารางที่ 11 ทั้งนี้จากรายงานการวิจัยพบว่าสารโพลาไรซ์เป็นสารที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งได้หากบริโภคอาหารประเภททอดที่มีการใช้น้ำมันทอดซ้ำ และใช้ความร้อนสูงในการทอดเป็นประจำ (Hageman et al., 1991)

**ตารางที่ 11** ค่าสารโพลาร์ที่วัดด้วยชุดทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ พัฒนาโดย  
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

ตัวอย่างน้ำมันครั้งที่	ผลการทดสอบสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำที่อุณหภูมิ 210°C	
	กระทะทั่วไป	เครื่องทอดต้นแบบ
0	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %
5	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %
10	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %
15	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %
20	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %
25	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 %
30	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %
35	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %
40	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %	สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 %

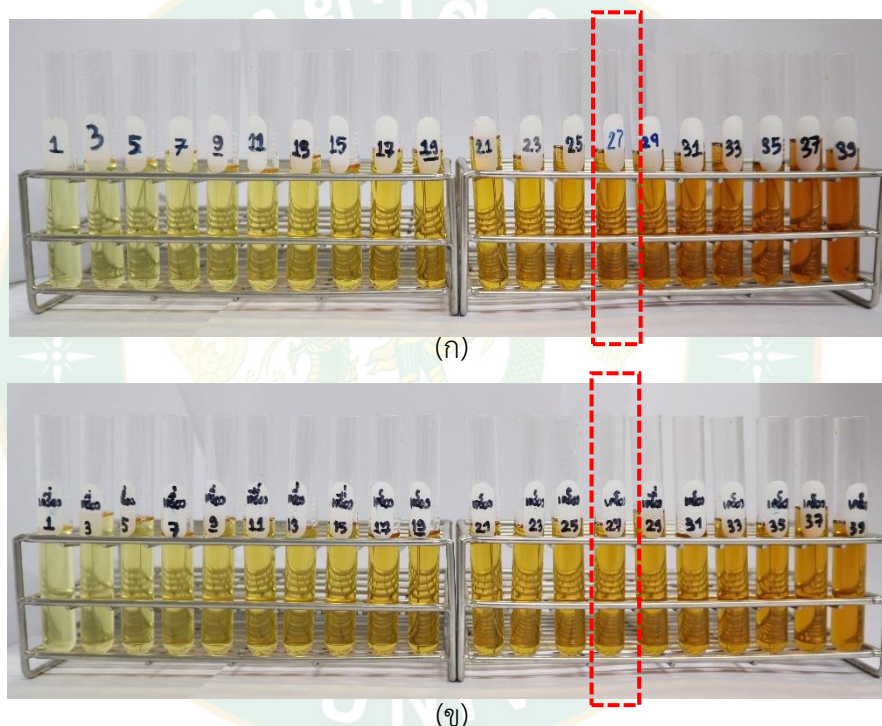
**หมายเหตุ**

- สารโพลาร์อยู่ในช่วง 1-10 % เป็นน้ำมันที่ใช้ได้
- สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 % เป็นน้ำมันที่ยังใช้ได้ ไม่ควรเติมน้ำมันใหม่เพิ่มลงไป
- สารโพลาร์อยู่ในช่วง 21-24 % เป็นน้ำมันที่ยังใช้ได้ ไม่ควรเติมน้ำมันใหม่เพิ่มลงไป
- สารโพลาร์เกิน 25 % เป็นน้ำมันที่เสื่อมสภาพแล้ว ไม่ควรใช้

จากการทดสอบหาปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำเปรียบเทียบระหว่างกระทะทั่วไป และเครื่องต้นแบบดังตารางที่ 11 โดยการสุ่มตัวอย่างในการทดสอบเพื่อให้เห็นถึงความเสี่ยงของการใช้น้ำมันทอดซ้ำ ซึ่งพบว่าในน้ำมันทอดซ้ำของเครื่องทอดต้นแบบรักษาคุณภาพน้ำมันทอดซ้ำจำนวน 40 ครั้งได้ดีกว่าทอดในกระทะทั่วไป สังเกตว่าในกระทะทั่วไปเริ่มเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของการเกิดสารโพลาร์ตั้งแต่ครั้งที่ 20 ค่าสารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 % แต่ยังเป็นน้ำมันที่ยังใช้ได้ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ต่างจากเครื่องทอดต้นแบบที่เริ่มเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของการเกิดสารโพลาร์ครั้งที่ 30 สารโพลาร์อยู่ในช่วง 11-20 % ยังใช้ได้ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายเช่นกัน เครื่องทอดต้นแบบออกแบบให้มีกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันกับน้ำภายในตัวเครื่อง เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้ำจะเป็นตัวดึงสารประกอบที่มีขี้เหมือนกันมาอยู่ด้วยกัน และเมื่อทอดเป็นเวลานานจะเกิดสารโพลาร์จำนวนมาก น้ำจะเป็นตัวพาสารโพลาร์ที่มีขี้เหมือนกันมาอยู่รวมกันจึงช่วยลดสารโพลาร์ที่สะสมในน้ำมันหลังทอดได้ และจะเห็นได้ว่าปริมาณสารโพลาร์ที่สะสมในน้ำมันทอดซ้ำของทั้ง

สองกระบวนการผลจากการทดสอบยังไม่พบสารโพลาร์ที่เกินมาตรฐานการควบคุมความปลอดภัยจากการนำมันทอดซ้ำมาใช้ทอดอาหารเพื่อจำหน่ายหรือบริโภคตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 283) พ.ศ. 2547 สาเหตุยังไม่พบสารโพลาร์ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดชนิดของน้ำมัน (น้ำมันปาล์มโอเลอิน) ในการทดสอบ ชนิดและองค์ประกอบภายในของน้ำมันที่เราเลือกใช้จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ค่าการทดสอบหาค่าสารโพลาร์ให้เห็นผลได้ช้ากว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ เพราะเหตุนี้จึงต้องมีการทดสอบหาค่าอื่น ๆ เพื่อประกอบการศึกษาการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน

#### 4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน



ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำมันทอดซ้ำที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

(ก) การเปลี่ยนแปลงของสีในตัวอย่างน้ำมันทอดซ้ำของกระทะทั่วไป (ข) การเปลี่ยนแปลงของสีในตัวอย่างน้ำมันทอดซ้ำของเครื่องทอดต้นแบบ

การเปลี่ยนแปลงสีในน้ำมันระหว่างการทอดแคบหมูที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ โดยทั้งอุณหภูมิและเวลาทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันหลังทอด พบว่าเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างจะมีค่าลดลง ความเป็นสีแดงและสีเหลืองจะเพิ่มเพิ่มขึ้น (Abdulkarim et al., 2007) ได้กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นในน้ำมัน ส่งผลให้คุณภาพของน้ำมันเสื่อมลง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสะสมของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีผลให้สีของน้ำมันเข้ม

ขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูง (210 องศาเซลเซียส) ร่วมกับการใช้เวลาทอดนาน (40 ครั้ง) มีผลให้คุณภาพน้ำมันลดลง โดยการทดสอบจะทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันที่เก็บจากการทอดในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกับสีที่เปลี่ยนแปลงทางกายภาพเบื้องต้น

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของน้ำมันทอดซ้ำ ดังภาพที่ 49 ใช้วิธีการมองด้วยตาเปล่า โดยนำตัวอย่างน้ำมันหลังทอดแคบหมู 40 ครั้ง ด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ของกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกับสีด้วยการมองและสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันด้วยตาเปล่า สุ่มตัวอย่างน้ำมันที่ 1, 3, 5, 7, 9, ..., 35, 37, 39 เป็นต้น พบว่าการทอดด้วยเครื่องทอดต้นแบบมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสีน้ำมันหลังทอดน้อยกว่าการทอดด้วยกระทะทั่วไปอย่างเห็นได้ชัดจากการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 27 ดังภาพที่ 49(ก) และ 49(ข) การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ระเหยที่สะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอด เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ระเหยนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ก่อตัวในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม ซึ่งสารเหล่านี้เกิดขึ้นมากจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจึงเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสะสมอยู่ในน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น เครื่องทอดต้นแบบออกแบบให้มีกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันกับน้ำภายในตัวเครื่อง เมื่อทอดเป็นเวลานานเกิดเศษอาหารร่วงลงสู่ด้านล่างน้ำจะช่วยไม่ให้เกิดการไหม้ของเศษอาหาร ทำให้น้ำมันไม่ดำ ไร้วุ้น และไม่ต้องคอยกรองเศษอาหาร น้ำจึงเป็นอีกหนึ่งตัวช่วยในการรักษาคุณภาพของน้ำมัน

#### 4.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของน้ำภายในเครื่องทอดต้นแบบ

เนื่องจากเครื่องทอดต้นแบบได้ออกแบบกระบวนการทอดให้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับน้ำมัน หลังจากการทดสอบทอดแคบหมู 40 ครั้ง พบว่าน้ำมีลักษณะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองขุ่น มีเศษแคบหมูที่ตกลงมาสะสมบางส่วน และน้ำมีกลิ่นของการสะสมของเศษอาหาร ลักษณะของคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลทำให้คุณภาพของน้ำมันระหว่างการทอดเปลี่ยนแปลงไปด้วย

#### 4.7 การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทอดแคบหมู

จากภาพที่ 45, 46 และ 47 ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อทดสอบสภาวะที่เหมาะสมโดย วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความ

แตกต่างค่าเฉลี่ยเพื่อทดสอบสมมติฐานโดยใช้วิธี 2-Sample t-Test ในการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์ ดังข้อตารางที่ 15,16 และกรดไขมันอิสระ ดังข้อมูลตารางที่ 17, และ 18 พบว่า ณ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นอยู่ครั้งที่ 30 เนื่องจากเป็นสภาวะที่ปริมาณสารประกอบที่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายอยู่ที่ 0.5167 ต่างจากกระทะทั่วไปอยู่ที่ 4.3000 ของค่าเพอร์ออกไซด์ สอดคล้องกับการทดสอบปริมาณสารโพลารีนในน้ำมัน ดังข้อมูลตารางที่ 11 ที่ปริมาณสารโพลารีนในน้ำมันเริ่มมีการก่อตัวของปริมาณสารโพลารีนในน้ำมันทอดซ้ำ

#### 4.8 การหาปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไป

จากการทดสอบเพื่อศึกษาความคุ้มค่าของปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปจากการทอดแคบหมู 40 ครั้ง เปรียบเทียบระหว่างทอดในกระทะทั่วไปและเครื่องทอดต้นแบบที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส โดยกระทะทั่วไปทอดด้วยมาตราส่วนน้ำมันต่อผลิตภัณฑ์ (20 กิโลกรัม : 36 ลิตร) และเครื่องทอดต้นแบบทอดด้วยมาตราส่วนน้ำมันต่อผลิตภัณฑ์ (40 กิโลกรัม : 72 ลิตร) เวลาที่ใช้ในการทอดประมาณ 2-3 นาทีต่อการทอด 1 ครั้ง ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทอด

No.	ผลการทดสอบทอดแคบหมูทั้งหมด 40 ครั้ง	
	กระทะทั่วไป	เครื่องทอดต้นแบบ
น้ำหนักแก๊สเริ่มต้น	31 กิโลกรัม	51.1 กิโลกรัม
น้ำหนักแก๊สสุดท้าย	20.2 กิโลกรัม	40.3 กิโลกรัม
แก๊สที่ใช้ไป	10.8 กก.แก๊ส	10.8 กก.แก๊ส
น้ำหนักผลิตภัณฑ์	20 กก.ผลิตภัณฑ์	40 กก.ผลิตภัณฑ์
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	0.54 กก.แก๊ส/กก.ผลิตภัณฑ์	0.27 กก.แก๊ส/กก.ผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทอดแบบกระทะทั่วไปเทียบกับเครื่องทอดต้นแบบ ดังตารางที่ 12 ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที ทั้งหมด 40 ครั้ง คำนวณและเปรียบเทียบค่าความคุ้มค่าพบว่าเครื่องทอดต้นแบบเป็นวิธีที่คุ้มค่า ค่าเหมาะสมแก่การลงทุนมากกว่า เพราะเมื่อเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงของเครื่องทอดต้นแบบมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการทอดผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ลดลง 6.534 บาท คิดเป็น 50% ซึ่งน้อยกว่าราคาต้นทุนที่สูญเสียเชื้อเพลิงของ

กระทะทั่วไป เนื่องจากเครื่องทอดออกแบบให้มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิของน้ำมัน ทำให้สามารถประหยัดปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปจากการทอดผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ากระทะทั่วไปที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในน้ำมันได้ และปริมาณเชื้อเพลิงบางส่วนจะระเหยไปกับสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ทอดทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

#### 4.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 13 ตารางเปรียบเทียบความคุ้มค่าของเครื่องทอดต้นแบบและกระทะทั่วไป

No.	ผลการทดสอบทอดแคบหมูทั้งหมด 40 ครั้ง	
	กระทะทั่วไป	เครื่องทอดต้นแบบ
ราคาแก๊ส/กิโลกรัม	24.2 บาท/กกแก๊ส	24.2 บาท/กกแก๊ส
ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้	1.852 กก.ผลิตภัณฑ์/กก.แก๊ส	3.704 กก.ผลิตภัณฑ์/กก.แก๊ส
ราคาปริมาณแก๊สที่ใช้	13.067 บาท/1 กก.ผลิตภัณฑ์	6.533 บาท/1 กก.ผลิตภัณฑ์
ต้นทุนการผลิต (กก.แก๊ส)	261.34 บาท/20 กก.	261.32 บาท/40 กก.

จากเดิมโรงงานแคบหมูนายแม่ จ.ลำปาง ผลิตและจำหน่ายแคบหมูด้วยกระทะทั่วไป 100 กิโลกรัมต่อวัน มีต้นทุนในการผลิตอยู่ที่ 1,306.7 บาทต่อวัน ถ้าทางโรงงานใช้เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นในการผลิตและจำหน่ายแคบหมู ต้นทุนจะลดเหลือ 653.3 บาทต่อวัน เนื่องจากเครื่องทอดต้นแบบมีต้นทุนในการผลิตอยู่ที่ 100,000 บาท ภายใน 1 เดือน ทางโรงงานแคบหมูนายแม่จะมีต้นทุนในการผลิต  $(22 \times 653.4) = 14,374.8$  บาท/เดือน ดังนั้น ภายในเวลา  $6.9566 \approx 7$  เดือน ทางโรงงานแคบหมูนายแม่จะคืนทุน ดังข้อมูลตารางที่ 13

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส จำนวน 40 ครั้ง ซึ่งได้ดำเนินการศึกษา ดังนี้

1. การทอดแคบหมูผ่านกระบวนการทอดด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น สามารถเพิ่มคุณภาพของแคบหมู และน้ำมันทั้งคุณสมบัติทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพ
2. เงื่อนไขอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ 210°C เครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นสามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่มากกว่ากระทะทั่วไป พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำมันทอดซ้ำ
3. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีในน้ำมันของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน ทำให้มีความคงทนในขณะให้ความร้อนสูงและขณะทอดแคบหมูได้ดี ทำให้ระยะเวลาในการเกิดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำไม่มาก จากการทอดทั้งหมด 40 ครั้งจากการใช้ชุดทดสอบสารโพลาร์จึงไม่พบปริมาณสารโพลาร์ที่เกินกำหนดมาตรฐานน้ำมันทอดประกอบอาหารทั้งเพื่อจำหน่ายและบริโภคต้องมีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนักน้ำมัน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 พ.ศ. 2547 และยังมีปริมาณน้อยกว่ากระทะทั่วไป สำหรับปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นมีปริมาณ 0.2 mg O<sub>2</sub>/kg ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่ากระทะทั่วไปและตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543) กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meqv.O<sub>2</sub>/kg ปริมาณกรดไขมันอิสระ ของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นมีปริมาณ 0.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่ากระทะทั่วไปและตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543) กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่ากรดไขมันอิสระได้ไม่เกิน 0.6 เปอร์เซ็นต์
4. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพในน้ำมันเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น พบว่าการทอดด้วยเครื่องทอดต้นแบบมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสีน้ำมันหลังทอดน้อยกว่าการทอดด้วยกระทะทั่วไปอย่างเห็นได้ชัดจากการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 27 ดังภาพที่ 49(ก) และ 49(ข) เนื่องจากเครื่องทอดต้นแบบออกแบบให้มีกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันกับ

น้ำภายในตัวเครื่อง เมื่อทอดเป็นเวลานานเกิดเศษอาหารร่วงลงสู่ด้านล่างน้ำจะช่วยไม่ให้เกิดการไหม้ของเศษอาหาร ทำให้น้ำมันไม่ดำ ไร้ควัน และไม่ต้องคอยกรองเศษอาหาร น้ำจึงเป็นอีกหนึ่งตัวช่วยในการรักษาคุณภาพของน้ำมัน

5. พบว่าครั้งที่ 30 ถือว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น

6. ต้นทุนทางการผลิตแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นเป็นวิธีที่คุ้มทุน คุ้มค่าเหมาะแก่การลงทุนมากกว่า เพราะเมื่อเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงของเครื่องทอดต้นแบบมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการทอดผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ลดลง 6.534 บาท คิดเป็น 50% ซึ่งน้อยกว่าราคาต้นทุนที่สูญเสียเชื้อเพลิงของกระทะทั่วไป

7. วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สามารถคืนทุน 100,000 บาทจากการทอดแคบหมู 100 กิโลกรัมต่อวัน ภายในระยะเวลา 7 เดือน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

หากมีการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นต่อไป ควรมีการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาในตัวอย่างอาหารทอดประเภทอื่น ๆ เช่น ไก่ ปาท่องโก๋ ลูกชิ้น กลัวย เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้รับการบริโภคไม่น้อยไปกว่าแคบหมู

2. ศึกษาการควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานให้มากขึ้น

3. ในการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของน้ำมันควรมีความแม่นยำ เนื่องจากองค์ประกอบภายในน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

4. ควรมีการศึกษาทางกายภาพของคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาใช้เพิ่มเติม เช่น รสชาติ ความกรอบ รุพรุน เป็นต้น

## บรรณานุกรม

### Primary Sources

- กระทรวงสาธารณสุข. 2547. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย ฉบับที่ 283. **กระทรวงสาธารณสุข. ฉบับที่ 283** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://law.longdo.com/law/686/sub45919> (8 สิงหาคม 2562).
- กองโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2551. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**, [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://nutrition.anamai.moph.go.th/FoodTable/Html/frame.html> (1 ธันวาคม 2562).
- กองวิชาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2521. **คุณค่าทางโภชนาการ**.  
ชนิษฐา อินทร์ประสิทธิ์ และปัญญยศ มงคลชาติ. 2557. **การบริโภคอาหารทอดที่ใช้ไขมันทอดซ้ำ**. สำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- นักสิทธิ์ คุ้มณาชัย. 2536. การถ่ายเทความร้อน. **สำนักพิมพ์ฟิลิกส์เซ็นเตอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. ISBN 974-570-7070-4. 399.
- นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่ และปิ่นธสุทธิ์ สุวรรณเลิศ. 2551. แนวทางการจัดการใช้น้ำมันทอดอาหารตามโครงการอาหารปลอดภัยเพื่อผู้บริโภคของกลุ่มผู้ผลิตและจำหน่ายอาหารในโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. 10(1), 11-21.
- นันทพร อัครนิจ และสุพัฒน์ชลิ สิริโชควรกิตดี. 2555. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกะเพราทอดสุญญากาศ. **รายงานฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา**, 85.
- นิตยา รัตนพานนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- เนื่อทอง วนานุวัธ. 2546. **น้ำมัน ไขมันและผลิตภัณฑ์**. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บทที่ 7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.completesengineering.com/style/article\\_heat%20exchanger1.pdf](http://www.completesengineering.com/style/article_heat%20exchanger1.pdf) (18 ตุลาคม 2563).
- เบ็ญจรัก วายุภาพ, วราพร ลักษณะล้ำย, ชลธิชา เอี่ยมชื่น, ศศิวิมล สุจจริต และวรวรัตน์ ใจเจริญธรรมกุล. 2551. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอดซ้ำสำหรับ

- ผลิตภัณฑ์อาหารทอดประเภทต่างๆ. 38, 65-73.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543). 2543. **สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. กระทรวงสาธารณสุข: กรุงเทพมหานคร.**
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 5197. 2562. **กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธีสำหรับบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 288-2561.**
- รศ. มนตรี พิรุณเกษตร. 2539. เเทอร์โม-ความร้อนประยุกต์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/> (26 กุมภาพันธ์ 2563).
- วนิดา บุรีภักดี. 2556. **การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาหาร.**
- วัชรระ ทองงอก, ชีวันันท์ อมรศรีสัจจะ, ดารารัตน์ ปัญกันต์ และธงชัย เชื้อใจ. 2548. **ชุดคู่มือสื่อก่อตั้งธุรกิจ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2562. การถ่ายเทความร้อน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99#cite\\_ref-3](https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99#cite_ref-3) (16 กุมภาพันธ์ 2563).
- วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ. 2550. **ผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขี้ระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
- วีไล รังสาดทอง. 2547. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น.**
- ศิริณา มณีแดง. 2560. **การจัดการน้ำมันทอดซ้ำของผู้จำหน่ายอาหารทอดในพื้นที่เทศบาลตำบลวังไผ่อำเภอเมืองจังหวัดชุมพร. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม.**
- ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. 2551. **สถิตินำเข้า-ส่งออก สินค้าปศุสัตว์ปี 2550. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.dld.go.th/ict/yearly/yearly50/imex50.html> (27 พฤษภาคม 2562).**
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแคบหมู มผช. 101/2546. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.**
- สุนิสา วิชาชูเชิด. 2553. **ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่. วิทยาศาสตร์**

- มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร.
- สุรศักดิ์ คะเนเรียว. 2557. การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและน้ำมันผสมสารแขวนลอยในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขด. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.
- อัจฉรา กุลวงศ์. 2546. การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในแคบหมูที่จำหน่ายในตลาดเมืองเชียงใหม่. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://library.cmu.ac.th/digital\\_collection/etheses/](http://library.cmu.ac.th/digital_collection/etheses/) (11 มีนาคม 2563).
- อิมเอิบ พันสดี. 2549. บทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.nsruc.ac.th/e-learning/meattech/lesson/less\\_2.html](http://www.nsruc.ac.th/e-learning/meattech/lesson/less_2.html) (21 พฤศจิกายน 2562).

### Secondary Sources

- Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S. & Ghazali, H. M. 2007. Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils. **Food chemistry**, 105(4), 1382-1389.
- Balavi Natural Health Center. 2005. Dangers from Cooking Oil Reuse. (Publication. Available [http://www.balavi.com/eng/content\\_article/a000030.html](http://www.balavi.com/eng/content_article/a000030.html)
- BeMiller, J. N., Whistler, R. L. & Carbohydrates, F. O. 1996. Food Chemistry. Edited by Owen R. Fennema. 3th ed. New York: Marcel Dekker, 158-221.
- Bennion, M. 1995. Introductory foods. **New Jersey: Prentice-Hall**, 399-401
- Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Lognay, G., Drira, N.-E. & Attia, H. 2005. Heating effects on some quality characteristics of date seed oil. **Food chemistry**, 91(3), 469-476.
- Blumenthal, M. M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. **Food technology (Chicago)**, 45(2), 68-71.
- Bouchon, P. 2009. Understanding oil absorption during deep-fat frying. **Advances in food and nutrition research**, 57(209-234).
- Che Man, Y. B., Ammawath, W., Rahman, R. A. & Yusof, S. 2003. Quality characteristics of refined, bleached and deodorized palm olein and banana chips after deep-fat frying. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 83(5), 395-401.
- Choe, E. & Min, D. B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. **Journal of food**

- science**, 72(5), R77-R86.
- Dana, D. & Saguy, I. S. 2001. Frying of nutritious foods: obstacles and feasibility. **Food Science and Technology Research**, 7(4), 265-279.
- Danowska-oziewicz, M. & Karpinska-Tymoszczyk, M. 2005. Quality changes in selected frying fats during heating in a model system. **Journal of Food Lipids**, 12(2), 159-168.
- Dugan, L. 1976. Lipids. In "Principles of Food Science". **Food Chemistry" Fennema, OR (ed.) Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.**
- Dunford, N. 2010. Deep-fat frying basics for food services.
- Firestone, D. 1996. **Deep Frying (Perkins, EG & Erickson, MD, ed.):** AOCS Press, Champaign, IL.
- Firestone, D. 2004. Regulatory requirements for the frying industry. **Frying technology and practices. AOCS, Champaign**, 5(18), 200-216.
- Fuller, G. 1978. Fatty acids. (Publication. **Encyclopedia of Food Science**
- Gil, B., Cho, Y. J. & Yoon, S. H. 2004. Rapid determination of polar compounds in frying fats and oils using image analysis. **LWT-Food Science and Technology**, 37(6), 657-661.
- Goburdhun, D., Seebun, P. & Ruggoo, A. 2000. Effect of deep-fat frying of potato chips and chicken on the quality of soybean oil. **Journal of Consumer Studies & Home Economics**, 24(4), 223-233.
- Hageman, G., Verhagen, H., Schutte, B. & Kleinjans, J. 1991. Biological effects of short-term feeding to rats of repeatedly used deep-frying fats in relation to fat mutagen content. **Food and chemical toxicology**, 29(10), 689-698.
- Hein, M., Henning, H. & Isengard, H.-D. 1998. Determination of total polar parts with new methods for the quality survey of frying fats and oils. **Talanta**, 47(2), 447-454.
- Hisrich, R., Peters, P. & Shepherd, D. 2010. **Entrepreneurship. 6th Edt. Tata New Delhi: McGraw Hill.**
- Houhoula, D. P., Oreopoulou, V. & Tzia, C. 2003. The effect of process time and temperature on the accumulation of polar compounds in cottonseed oil during deep-fat frying. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 83(4), 314-

319.

<https://sites.google.com/site/worapon563/home/kar-thay-xon-khwam-rxn-heat-transfer>.

[Online]. (18 May 2020)

Hui, Y. H. 1996. Edible oil and fat products: Oils and oil seeds. **Bailey's industrial oil and fat products**.

Innawong, B., Mallikarjunan, P., Irudayaraj, J. & Marcy, J. E. 2004. The determination of frying oil quality using Fourier transform infrared attenuated total reflectance.

**LWT-Food Science and Technology**, 37(1), 23-28.

Innawong, B., Mallikarjunan, P. & Marcy, J. E. 2004. The determination of frying oil quality using a chemosensory system. **LWT-Food Science and Technology**,

37(1), 35-41.

Jack, G. T. 2000. International symposium on deep fat frying [Online]. Available

<http://www.intersciencewiley.com/abstract> (10 May 2020).

Jaswir, I., Man, Y. B. C. & Kitts, D. D. 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. **Food research international**, 33(6), 501-508.

Jit Kang Lim. 2011. Palm oil. [Online]. Available

<http://www.andrew.cmu.edu/user/jitkangl/Palm%20Oil/Refinery%20of%20Palm%20Oil.htm> (27 March 2020).

Mackay, S. 2000. Techniques and Types of Fat Used in Deep-Fat Frying: A policy statement and background paper. **The Heart Foundation of New Zealand**.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods.

**Trends in food science & technology**, 14(9), 364-373.

Moreira, R., Castell-Perez, M. & Barrufet, M. 1999. **Deep-fat Frying: fundamentals and applications**. Maryland: Aspen Publishers, Inc.

Nawar, W. W. 1996. **Lipids: In Food Chemistry**. Fennema, O: Dekker, New York.

Naz, S., Siddiqi, R., Sheikh, H. & Sayeed, S. A. 2005. Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. **Food Research**

**International**, 38(2), 127-134.

Orthofer, F. T. & List, G. R. 2007. Initial quality of frying oil. In **Deep Frying** (pp. 33-48): Elsevier.

- Paul, S., Mittal, G. S. & Chinnan, M. S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. **Critical reviews in food science and nutrition**, 37(7), 635-662.
- Razali, I. & Badri, M. 1995. **Oil absorption, polymer and polar compounds formation during deep-fat frying of french fries in vegetable oils.**
- Rhee, K. S., Housson, S. E. & Ziprin, Y. A. 1992. Enhancement of frying oil stability by a natural antioxidative ingredient in the coating system of fried meat nuggets. **Journal of food science**, 57(3), 789-791.
- Saguy, I. S. & Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. **Journal of food engineering**, 56(2-3), 143-152.
- Salunkhe, D. K. 1992. **dkk, "World Oilseeds, Chemistry, Technology and Utilization"**: Published by Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sanibal, E. A. A. & Mancini-Filho, J. 2004. Frying oil and fat quality measured by chemical, physical, and test kit analyses. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 81(9), 847-852.
- Shahidi, F. & Wanasundara, U. N. 2002. Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils. **Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology**, 17(387-403).
- Singh, R. P. & MERMELSTEIN, N. H. 1995. Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying: Engineering aspects of deep-fat frying of foods. **Food technology (Chicago)**, 49(4), 134-137.
- Su, C. & White, P. 2004. Frying stability of high-oleate and regular soybean oil blends. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 81(8), 783-788.
- Tan, C. P. & Man, Y. B. C. 1999. Differential scanning calorimetric analysis for monitoring the oxidation of heated oils. **Food Chemistry**, 67(2), 177-184.
- Totté, A., Diaz, A., Marouzé, C. & Raoult-Wack, A.-L. 1996. Deep-Fat Frying of Plantain (*Musa paradisiaca*L.). II: Experimental Study of Solid/Liquid Phase Contacting Systems. **LWT-Food Science and Technology**, 29(7), 599-605.
- Tyagi, V. & Vasishtha, A. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. **Journal of the American oil chemists' society**, 73(4), 499-506.

- Volek, J. 2014. Junk Food That's Good For You. [Online]. Available <http://www.menshealth.com/nutrition/junk-food-thats-good-you> (15 March 2020).
- Warner, K. 1998. Chemistry of frying fats. **FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER**, 167-180.
- Warner, K. & Gupta, M. 2003. Frying quality and stability of low-and ultra-low-linolenic acid soybean oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 80(3), 275-280.
- Warner, K. & Nelsen, T. 1996. AOCS collaborative study on sensory and volatile compound analyses of vegetable oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 73(2), 157-166.
- Warner, K., Orr, P., Parrott, L. & Glynn, M. 1994. Effects of frying oil composition on potato chip stability. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 71(10), 1117-1121.
- White, P. J. 1991. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. **Food technology (Chicago)**, 45(2), 75-80.
- [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com). [Online]. (11 March 2020).
- Yagmur, A., Aserin, A., Mizrahi, Y., Nerd, A. & Garti, N. 2001. Evaluation of argan oil for deep-fat frying. **LWT-Food Science and Technology**, 34(3), 124-130.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหลังทอด

## ก1. การวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (IUPAC, 1979)

### อุปกรณ์

1. Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. Burette พร้อม Stand
3. Pipette
4. Beaker
5. Hot plate

### สารเคมี

1. สารละลายผสม Acetic acid กับ Chloroform อัตราส่วน 3 : 2
2. สารละลายอิ่มตัว Potassium iodide (KI)  
ละลาย Potassium iodide ปริมาณมากเกินไปในน้ำต้มใหม่ เก็บในที่มืดและทดสอบก่อนใช้ โดยนำสารละลายอิ่มตัว Potassium iodide 2.5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายผสม Acetic acid กับ Chloroform อัตราส่วน 3 : 2 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร หยดน้ำแบ่งลงไป 0.5 มิลลิลิตร ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินให้ทิ้งไปและเตรียมใหม่
3. สารละลาย Sodium thiosulfate ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) เข้มข้น 0.01 นอร์มัล  
การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล โดยชั่ง Sodium thiosulfate  $\approx 2.48185$  ชั่งน้ำหนักให้ได้ใกล้เคียงที่สุด เติมน้ำกลั่นปริมาตร 60 มิลลิลิตรละลายในน้ำเดือดเบา ๆ นาน 5 นาที ด้วยเครื่อง Hot plate แล้วถ่ายลงในขวดสีชาขณะร้อน เก็บสารละลายในที่มืดและเย็น (ไม่เทสารที่ใช้แล้วกลับลงในขวดเก็บ)
4. น้ำแป้ง (Soluble starch) เข้มข้น 1%

### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้ประมาณ  $10 \pm 5$  กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมหุ่น้ำทำละลาย 30 มิลลิลิตร (หุ่น้ำทำละลายได้จากการผสม Glacial acetic acid กับ Chloroform ในอัตราส่วน 3:2) ผสมโดยการแกว่งไปทางเดียวกัน
3. เติมสารละลายอิ่มตัว Potassium iodide ประมาณ 2.5 มิลลิลิตร เขย่านาน 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร และเติมน้ำแป้ง 1% ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

5. ไตเตรตกับสารละลายใน Erlenmeyer flask อย่างช้า ๆ ด้วยสารละลาย Sodium thiosulfate  $5\text{H}_2\text{O}$  เข้มข้น 0.01 นอร์มัล และระหว่างไตเตรดเขย่าแรง ๆ จนน้ำตาลอมเหลืองหายไป แล้วบันทึกผล

6. ทำซ้ำและทำ blank (ตัวทำละลาย 30 มิลลิลิตร + KI ที่อิ่มตัว + น้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร) ด้วย

#### คำนวณค่า Peroxide value จากสูตร

$$PV = \frac{(A-B) \times N \times 1000}{W}$$

กำหนดให้ A = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลาย Sodium thiosulfate ที่ใช้ในการไตเตรดกับน้ำมันตัวอย่าง

B = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลาย Sodium thiosulfate ที่ใช้ในการไตเตรดกับ blank

N = ความเข้มข้นของ Sodium thiosulfate (Normality)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## ก2. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value) และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) (IUPAC, 1979)

### อุปกรณ์

1. Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. Cylinder ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. Burette พร้อม Stand
4. Beaker

### สารเคมี

1. Ethanol 95%
2. สารละลาย Sodium hydroxide เข้มข้น 0.1 หรือ 0.05 หรือ 0.01 นอร์มอล
3. Phenolphthalein 1%

### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้ประมาณ  $10 \pm 5$  กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลาย Ethanol 95% ที่เป็นกลาง ปริมาตร 75 มิลลิลิตร เติมลงในตัวอย่าง
3. เติมสารละลาย Phenolphthalein 1% จำนวน 3-5 หยด ผสมโดยการแกว่งไปทางเดียวกัน
4. ไตเตรตด้วยสารละลาย Sodium hydroxide เข้มข้น 0.05 นอร์มอล จนกระทั่งได้สีชมพู ซึ่งอยู่ได้ 15 วินาที (เขย่าขณะทำการไตเตรตตลอดเวลา ถ้าใช้มากกว่า 10 มิลลิลิตร ต้องทำการทดลองใหม่ โดยใช้น้ำมันให้น้อยลง) ทำซ้ำ 2 ครั้ง
5. ทำซ้ำและทำ blank (Ethanol 75 มิลลิลิตร + Phenolphthalein + Sodium hydroxide) ด้วย

### คำนวณค่า Acid value จากสูตร

$$\text{Acid value} = \frac{V \times 5.61}{W}$$

กำหนดให้  $V$  = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐาน Sodium hydroxide 0.05 นอร์มัลที่ใช้

$W$  = น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้

ถ้าต้องการคำนวณค่า Free fatty acid ให้อยู่ในรูป Oleic acid, Palmitic และ Lauric acid ดังสูตร

เปอร์เซ็นต์ Free fatty acid (FFA) as oleic acid (มักใช้กับน้ำมันทั่วไป)

$$= \frac{\text{NaOH (ml)} \times \text{NaOH (N)} \times 28.2}{W(\text{g})} \%$$

เปอร์เซ็นต์ free fatty acid (FFA) as palmitic acid (มักใช้กับน้ำมันปาล์ม)

$$= \frac{\text{NaOH (ml)} \times \text{NaOH (N)} \times 25.6}{W(\text{g})} \%$$

เปอร์เซ็นต์ free fatty acid (FFA) as lauric acid (มักใช้กับน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม)

$$= \frac{\text{NaOH (ml)} \times \text{NaOH (N)} \times 20}{W(\text{g})} \%$$



ภาคผนวก ข

ตารางผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหลังทอด

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันของเครื่องทอดต้นแบบ

Sample	Weight oil (g)	Vol Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ml)	Blank	Net Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ml)	Conc. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (N)	Factor	PV	Aver PV	SD	%CV
Oil 1 A	10.131	0.9	0.23	0.67	0.01	1000	0.66	0.65	0.06	9.40
Oil 1 B	12.376	1.1	0.23	0.87	0.01	1000	0.70			
Oil 1 C	14.930	1.1	0.23	0.87	0.01	1000	0.58			
Oil 10 A*	13.729	1.7	0.40	1.30	0.01	1000		0.17		
Oil 10 B	12.042	0.6	0.40	0.20	0.01	1000	0.17			
Oil 10 C*	10.939	0.4	0.40	0.00	0.01	1000				
Oil 20 A	9.563	0.4	0.40	0.05	0.01	1000	0.05	0.07	0.03	42.50
Oil 20 B*	10.262	0.4	0.40	0.05	0.01	1000				
Oil 20 C	15.431	0.5	0.40	0.15	0.01	1000	0.10			
Oil 30 A	11.737	1.0	0.40	0.60	0.01	1000	0.51	0.52	0.02	3.47
Oil 30 B	11.913	1.0	0.40	0.60	0.01	1000	0.50			
Oil 30 C	11.156	1.0	0.40	0.60	0.01	1000	0.54			
Oil 40 A	15.114	0.5	0.20	0.30	0.01	1000	0.20	0.22	0.03	12.91
Oil 40 B	12.586	0.5	0.20	0.30	0.01	1000	0.24			
Oil 40 C*	12.492	0.4	0.20	0.20	0.01	1000				

หมายเหตุ \*ค่า error จากการคำนวณที่ไม่น่าผลไปคำนวณในทางสถิติ

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันของกระทะทั่วไป

Sample	Weight oil (g)	Vol Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ml)	Blank	Net Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ml)	Conc. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (N)	Factor	PV	Aver PV	SD	%CV
Oil 1 A	9.7870	0.9	0.23	0.67	0.01	1000	0.66	0.65	0.06	9.40
Oil 1 B	12.443	3.6	0	3.6	0.01	1000	2.89			
Oil 1 C	9.5080	3	0	3	0.01	1000	3.16			
Oil 10 A	9.1560	2.8	0	2.8	0.01	1000	3.06	3.01	0.07	2.38
Oil 10 B	14.690	4.3	0	4.3	0.01	1000	2.93			
Oil 10 C	9.5320	2.9	0	2.9	0.01	1000	3.04			
Oil 20 A	10.097	2.2	0	2.2	0.01	1000	2.18	2.16	0.14	6.58
Oil 20 B	11.466	2.3	0	2.3	0.01	1000	2.01			
Oil 20 C	10.493	2.4	0	2.4	0.01	1000	2.29			
Oil 30 A	11.024	5.3	0	5.3	0.01	1000	4.81	4.55	0.37	8.06
Oil 30 B	10.258	4.4	0	4.4	0.01	1000	4.29			
Oil 30 C	12.384	4.7	0	4.7	0.01	1000	3.80			
Oil 40 A	10.362	2.7	0	2.7	0.01	1000	2.61	2.86	0.37	12.76
Oil 40 B	9.2880	2.9	0	2.9	0.01	1000	3.12			
Oil 40 C	13.129	5.2	0	5.2	0.01	1000	3.96			

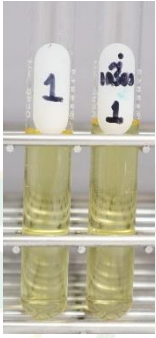
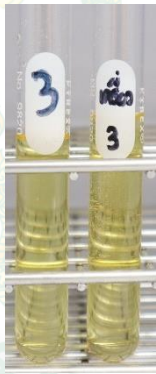
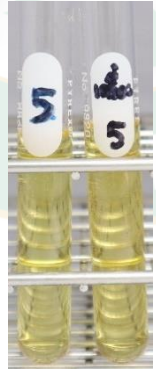
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและกรดไขมันอิสระในน้ำมันของเครื่องทอดต้นแบบ


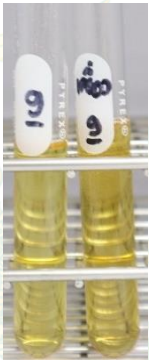
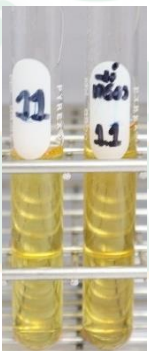
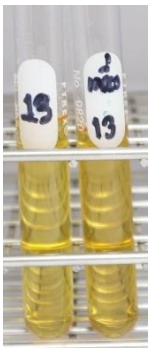
Sample	Weight oil (g)	Vol		Net		Conc.	Calculation %FFA				Calculation AV						
		NaOH (ml)	Blank	NaOH (ml)	NaOH (N)		Factor	%FFA	Aver %FFA	SD	%CV	Factor	mg KOH	Aver	SD	% CV	
Oil 1 A	12.2296	0.9	0.3	0.6	0.05	0.05	25.6	0.06	0.06	0.06	0.01	9.80	56.1	0.14	0.12	0.01	9.80
Oil 1 B	14.4996	0.9	0.3	0.6	0.05	0.05	25.6	0.05	0.05				56.1	0.12			
Oil 1 C	14.3572	0.9	0.3	0.6	0.05	0.05	25.6	0.05	0.05				56.1	0.12			
Oil 10 A	13.6016	1.7	0.3	1.4	0.05	0.05	25.6	0.13	0.13	0.13	0.00	0.72	56.1	0.29	0.29	0.00	0.72
Oil 10 B	12.4660	1.6	0.3	1.3	0.05	0.05	25.6	0.13	0.13				56.1	0.29			
Oil 10 C	11.6415	1.5	0.3	1.2	0.05	0.05	25.6	0.13	0.13				56.1	0.29			
Oil 20 A	10.9398	1.95	0.3	1.65	0.05	0.05	25.6	0.19	0.19	0.19	0.01	3.44	56.1	0.42	0.42	0.01	3.44
Oil 20 B	10.2336	1.9	0.3	1.6	0.05	0.05	25.6	0.20	0.20				56.1	0.44			
Oil 20 C	10.2768	1.8	0.3	1.5	0.05	0.05	25.6	0.19	0.19				56.1	0.41			
Oil 30 A	9.2907	2.35	0.3	2.05	0.05	0.05	25.6	0.28	0.28	0.26	0.02	7.65	56.1	0.62	0.57	0.04	7.65
Oil 30 B	12.0055	2.6	0.3	2.3	0.05	0.05	25.6	0.25	0.25				56.1	0.54			
Oil 30 C	10.1707	2.3	0.3	2	0.05	0.05	25.6	0.25	0.25				56.1	0.55			
Oil 40 A	13.6113	3.65	0.3	3.35	0.05	0.05	25.6	0.32	0.32	0.33	0.02	5.22	56.1	0.69	0.73	0.04	5.22
Oil 40 B	11.5748	3.3	0.3	3	0.05	0.05	25.6	0.33	0.33				56.1	0.73			
Oil 40 C	10.9799	3.3	0.3	3	0.05	0.05	25.6	0.35	0.35				56.1	0.77			

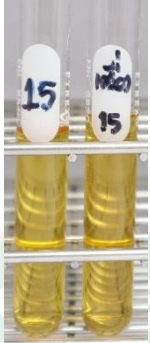


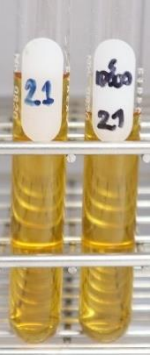
ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ค่าความกรดและการไตเซมอินทรีย์ในน้ำมันของกระทะทั่วไป

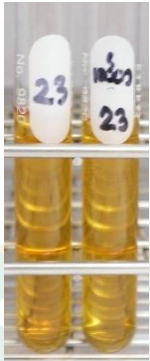



Sample	Weight oil (g)	Vol		Net		Conc. NaOH (N)	Calculation %FFA			Calculation AV					
		NaOH (ml)	Blank	NaOH (ml)	NaOH		Factor %FFA	Aver %FFA	SD	%CV	Factor	mg KOH	Aver	SD	% CV
Oil 1 A	9.0567	0.8	0.4	0.4	0.05	25.6	0.06	0.06	0.00	7.82	56.1	0.12	0.13	0.01	7.82
Oil 1 B	12.221	1	0.4	0.6	0.05	25.6	0.06	0.06			56.1	0.14			
Oil 1 C	11.8356	0.9	0.4	0.5	0.05	25.6	0.05	0.05			56.1	0.12			
Oil 10 A	14.7558	1.6	0.4	1.2	0.05	25.6	0.10	0.10	0.01	7.71	56.1	0.23	0.22	0.02	7.71
Oil 10 B	11.2278	1.2	0.4	0.8	0.05	25.6	0.09	0.09			56.1	0.20			
Oil 10 C	14.6288	1.6	0.4	1.2	0.05	25.6	0.10	0.10			56.1	0.23			
Oil 20 A	12.5325	2	0.4	1.6	0.05	25.6	0.16	0.16	0.01	5.23	56.1	0.36	0.34	0.02	5.23
Oil 20 B	13.0405	1.9	0.4	1.5	0.05	25.6	0.15	0.15			56.1	0.32			
Oil 20 C	9.9516	1.6	0.4	1.2	0.05	25.6	0.15	0.15			56.1	0.34			
Oil 30 A	12.5743	2.6	0.4	2.2	0.05	25.6	0.22	0.22	0.02	7.52	56.1	0.49	0.51	0.04	7.52
Oil 30 B	10.5433	2.5	0.4	2.1	0.05	25.6	0.25	0.25			56.1	0.56			
Oil 30 C	10.8172	2.3	0.4	1.9	0.05	25.6	0.22	0.22			56.1	0.49			
Oil 40 A	11.4121	4	0.4	3.6	0.05	25.6	0.40	0.40	0.06	16.35	56.1	0.88	0.74	0.12	16.35
Oil 40 B	11.8504	3.3	0.4	2.9	0.05	25.6	0.31	0.31			56.1	0.69			
Oil 40 C	12.2623	3.3	0.4	2.9	0.05	25.6	0.30	0.30			56.1	0.66			

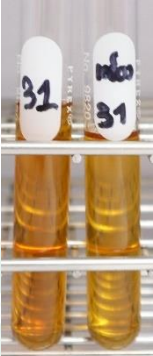


ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันหลังทอด

ทอดครั้งที่	ตัวอย่างน้ำมันหลังทอดของเครื่องทอดแบบของเหลว แยกชั้น เทียบกับกระทะทั่วไป	หมายเหตุ
1		
3		
5		

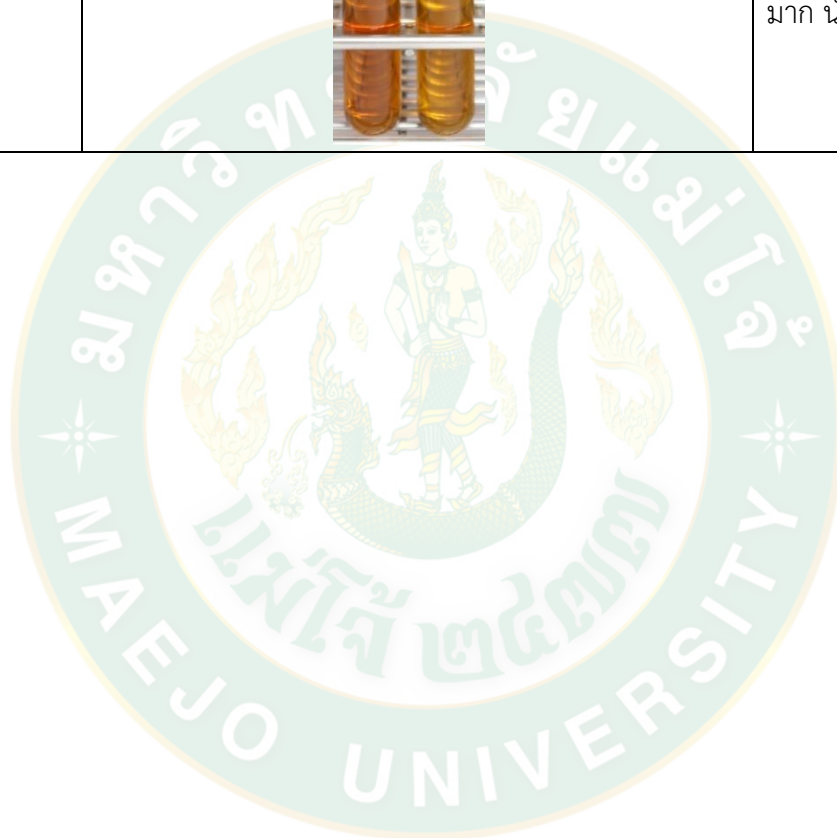
ทอดครั้งที่	ตัวอย่างน้ำมันหลังทอดของเครื่องทอดแบบของเหลว แยกชั้น เทียบกับกระทะทั่วไป	หมายเหตุ
7		น้ำมันของทั้งสอง กระบวนการเริ่มมีการ เปลี่ยนสีจากเดิม
9		
11		
13		

ทอดครั้งที่	ตัวอย่างน้ำมันหลังทอดของเครื่องทอดแบบของเหลว แยกชั้น เทียบกับกระทะทั่วไป	หมายเหตุ
15		
17		
19		<p>น้ำมันในกระทะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเข้มมากขึ้น, น้ำมันของเครื่องทอดเริ่มมีสีเข้มจากเดิม</p>
21		<p>น้ำมันในกระทะนอกจากจะมีสีเข้มมากขึ้นยังสังเกตว่ามีตะกอนดำปะปนอยู่</p>

ทอดครั้งที่	ตัวอย่างน้ำมันหลังทอดของเครื่องทอดแบบของเหลว แยกชั้น เทียบกับกระทะทั่วไป	หมายเหตุ
23		น้ำมันในกระทะเริ่มมี กลิ่น
25		น้ำมันในกระทะมีสี คล้ำขึ้นและมีเศษ ตะกอนที่เกิดจากการ ไหม้ปะปนอยู่มาก
27		
29		น้ำมันในกระทะมีสี คล้ำ เกิดฟองอากาศ บริเวณผิวน้ำมัน

ทอดครั้งที่	ตัวอย่างน้ำมันหลังทอดของเครื่องทอดแบบของเหลว แยกชั้น เทียบกับกระทะทั่วไป	หมายเหตุ
31		
33		
35		
37		น้ำมันในกระทะเริ่มมี ความหนืด มีกลิ่นมาก ขึ้น

ทอดครั้งที่	ตัวอย่างน้ำมันหลังทอดของเครื่องทอดแบบของเหลว แยกชั้น เทียบกับกระทะทั่วไป	หมายเหตุ
39		น้ำมันในกระทะเริ่มมี ตะกอนดำปะปนอยู่ มาก น้ำมัน





ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

T-Test

Time = 1.00

**Group Statistics<sup>a</sup>**

	Method	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AV	old	3	.0567	.00577	.00333
	new	3	.0533	.00577	.00333
PV	old	3	3.0733	.15885	.09171
	new	3	.6467	.06110	.03528

a. Time = 1.00

**Independent Samples Test<sup>a</sup>**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AV	Equal variances assumed	.000	1.000	.707	4	.519	.00333	.00471	-.00975	.01642
	Equal variances not assumed			.707	4.000	.519	.00333	.00471	-.00975	.01642
PV	Equal variances assumed	5.046	.088	24.696	4	.000	2.42667	.09826	2.15385	2.69949
	Equal variances not assumed			24.696	2.579	.000	2.42667	.09826	2.08300	2.77033

a. Time = 1.00

Time = 10.00

**Group Statistics<sup>a</sup>**

	Method	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AV	old	3	.0967	.00577	.00333
	new	3	.1300	.00000	.00000
PV	old	3	3.0100	.07000	.04041
	new	1	.1700	.	.

a. Time = 10.00

**Independent Samples Test<sup>a</sup>**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AV	Equal variances assumed	16.000	.016	-10.000	4	.001	-.03333	.00333	-.04259	-.02408
	Equal variances not assumed			-10.000	2.000	.010	-.03333	.00333	-.04768	-.01899
PV	Equal variances assumed			35.136	2	.001	2.84000	.08083	2.49222	3.18778
	Equal variances not assumed						2.84000			

a. Time = 10.00

Time = 20.00

**Group Statistics<sup>a</sup>**

	Method	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AV	old	3	.1533	.00577	.00333
	new	3	.1933	.00577	.00333
PV	old	3	2.1600	.14107	.08145
	new	2	.0750	.03536	.02500

a. Time = 20.00

**Independent Samples Test<sup>a</sup>**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower		Upper
AV	Equal variances assumed	.000	1.000	-8.485	4	.001	-.04000	.00471	-.05309	-.02691
	Equal variances not assumed			-8.485	4.000	.001	-.04000	.00471	-.05309	-.02691
PV	Equal variances assumed	2.066	.246	19.525	3	.000	2.08500	.10678	1.74517	2.42483
	Equal variances not assumed			24.473	2.353	.001	2.08500	.08520	1.76639	2.40361

a. Time = 20.00

Time = 30.00

**Group Statistics<sup>a</sup>**

	Method	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AV	old	3	.2300	.01732	.01000
	new	3	.2600	.01732	.01000
PV	old	3	4.3000	.50507	.29160
	new	3	.5167	.02082	.01202

a. Time = 30.00

**Independent Samples Test<sup>a</sup>**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower		Upper
AV	Equal variances assumed	.000	1.000	-2.121	4	.101	-.03000	.01414	-.06926	.00926
	Equal variances not assumed			-2.121	4.000	.101	-.03000	.01414	-.06926	.00926
PV	Equal variances assumed	3.862	.121	12.963	4	.000	3.78333	.29185	2.97302	4.59365
	Equal variances not assumed			12.963	2.007	.006	3.78333	.29185	2.53166	5.03501

a. Time = 30.00

Time = 40.00

### Group Statistics<sup>a</sup>

	Method	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AV	old	3	.3367	.05508	.03180
	new	3	.3333	.01528	.00882
PV	old	3	3.2300	.68169	.39357
	new	2	.2200	.02828	.02000

a. Time = 40.00

### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AV	Equal variances assumed	7.127	.056	.101	4	.924	.00333	.03300	-.08828	.09495
	Equal variances not assumed			.101	2.306	.928	.00333	.03300	-.12204	.12871
PV	Equal variances assumed	3.582	.155	5.921	3	.010	3.01000	.50832	1.39230	4.62770
	Equal variances not assumed			7.638	2.010	.016	3.01000	.39408	1.32272	4.69728

a. Time = 40.00

ONEWAY

AV PV BY Time

/STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY

/MISSING ANALYSIS

/POSTHOC = DUNCAN C ALPHA(.05).

Oneway

### Warnings

Post hoc tests are not performed for PV in split file Method = new because at least one group has fewer than two cases.

Method = old

**Descriptives<sup>a</sup>**

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
AV	1.00	3	.0567	.00577	.00333	.0423	.0710	.05	.06
	10.00	3	.0967	.00577	.00333	.0823	.1110	.09	.10
	20.00	3	.1533	.00577	.00333	.1390	.1677	.15	.16
	30.00	3	.2300	.01732	.01000	.1870	.2730	.22	.25
	40.00	3	.3367	.05508	.03180	.1999	.4735	.30	.40
	Total	15	.1747	.10562	.02727	.1162	.2332	.05	.40
PV	1.00	3	3.0733	.15885	.09171	2.6787	3.4679	2.89	3.17
	10.00	3	3.0100	.07000	.04041	2.8361	3.1839	2.93	3.06
	20.00	3	2.1600	.14107	.08145	1.8096	2.5104	2.01	2.29
	30.00	3	4.3000	.50507	.29160	3.0453	5.5547	3.80	4.81
	40.00	3	3.2300	.68169	.39357	1.5366	4.9234	2.61	3.96
	Total	15	3.1547	.78115	.20169	2.7221	3.5873	2.01	4.81

a. Method = old

**Test of Homogeneity of Variances<sup>a</sup>**

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
AV	9.945	4	10	.002
PV	2.580	4	10	.102

a. Method = old

**ANOVA<sup>a</sup>**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AV	Between Groups	.149	4	.037	54.359	.000
	Within Groups	.007	10	.001		
	Total	.156	14			
PV	Between Groups	7.003	4	1.751	11.371	.001
	Within Groups	1.540	10	.154		
	Total	8.543	14			

a. Method = old

## Post Hoc Tests

Multiple Comparisons<sup>a</sup>

Dependent Variable		(I) Time	(J) Time	Mean Difference (I-J)	Std. Error	95% Confidence Interval			
						Lower Bound	Upper Bound		
AV	Dunnett C	1.00	10.00	-.04000*	.00471	-.0763	-.0037		
			20.00	-.09667*	.00471	-.1329	-.0604		
			30.00	-.17333*	.01054	-.2544	-.0922		
			40.00	-.28000*	.03197	-.5260	-.0340		
		10.00	1.00	.04000*	.00471	.0037	.0763		
			20.00	-.05667*	.00471	-.0929	-.0204		
			30.00	-.13333*	.01054	-.2144	-.0522		
			40.00	-.24000	.03197	-.4860	.0060		
		20.00	1.00	.09667*	.00471	.0604	.1329		
			10.00	.05667*	.00471	.0204	.0929		
			30.00	-.07667	.01054	-.1578	.0044		
			40.00	-.18333	.03197	-.4293	.0627		
		30.00	1.00	.17333*	.01054	.0922	.2544		
			10.00	.13333*	.01054	.0522	.2144		
			20.00	.07667	.01054	-.0044	.1578		
			40.00	-.10667	.03333	-.3631	.1498		
		40.00	1.00	.28000*	.03197	.0340	.5260		
			10.00	.24000	.03197	-.0060	.4860		
			20.00	.18333	.03197	-.0627	.4293		
			30.00	.10667	.03333	-.1498	.3631		
		PV	Dunnett C	1.00	10.00	.06333	.10022	-.7078	.8345
					20.00	.91333	.12266	-.0304	1.8571
					30.00	-1.22667	.30569	-3.5787	1.1253
					40.00	-.15667	.40412	-3.2660	2.9527
				10.00	1.00	-.06333	.10022	-.8345	.7078
					20.00	.85000*	.09092	.1504	1.5496
					30.00	-1.29000	.29439	-3.5551	.9751
					40.00	-.22000	.39564	-3.2641	2.8241
20.00	1.00			-.91333	.12266	-1.8571	.0304		
	10.00			-.85000*	.09092	-1.5496	-.1504		
	30.00			-2.14000	.30277	-4.4695	.1895		
	40.00			-1.07000	.40191	-4.1624	2.0224		
30.00	1.00			1.22667	.30569	-1.1253	3.5787		
	10.00			1.29000	.29439	-.9751	3.5551		
	20.00			2.14000	.30277	-.1895	4.4695		
	40.00			1.07000	.48983	-2.6988	4.8388		
40.00	1.00			.15667	.40412	-2.9527	3.2660		
	10.00			.22000	.39564	-2.8241	3.2641		
	20.00			1.07000	.40191	-2.0224	4.1624		
	30.00			-1.07000	.48983	-4.8388	2.6988		

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Method = old

## Homogeneous Subsets

AV<sup>b</sup>

Time	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
Duncan <sup>a</sup> 1.00	3	.0567			
10.00	3	.0967			
20.00	3		.1533		
30.00	3			.2300	
40.00	3				.3367
Sig.		.091	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Method = old

PV<sup>b</sup>

Time	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
Duncan <sup>a</sup> 20.00	3	2.1600		
10.00	3		3.0100	
1.00	3		3.0733	
40.00	3		3.2300	
30.00	3			4.3000
Sig.		1.000	.527	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Method = old

Method = new

Descriptives<sup>a</sup>

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
AV 1.00	3	.0533	.00577	.00333	.0390	.0677	.05	.06
10.00	3	.1300	.00000	.00000	.1300	.1300	.13	.13
20.00	3	.1933	.00577	.00333	.1790	.2077	.19	.20
30.00	3	.2600	.01732	.01000	.2170	.3030	.25	.28
40.00	3	.3333	.01528	.00882	.2954	.3713	.32	.35
Total	15	.1940	.10147	.02620	.1378	.2502	.05	.35
PV 1.00	3	.6467	.06110	.03528	.4949	.7984	.58	.70
10.00	1	.1700	.	.	.	.	.17	.17
20.00	2	.0750	.03536	.02500	-.2427	.3927	.05	.10
30.00	3	.5167	.02082	.01202	.4650	.5684	.50	.54
40.00	2	.2200	.02828	.02000	-.0341	.4741	.20	.24
Total	11	.3864	.23678	.07139	.2273	.5454	.05	.70

a. Method = new

### Test of Homogeneity of Variances<sup>b</sup>

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
AV	5.000	4	10	.018
PV	1.679 <sup>a</sup>	3	6	.269

a. Groups with only one case are ignored in computing the test of homogeneity of variance for PV.

b. Method = new

### ANOVA<sup>a</sup>

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AV	Between Groups	.143	4	.036	297.833	.000
	Within Groups	.001	10	.000		
	Total	.144	14			
PV	Between Groups	.550	4	.138	79.493	.000
	Within Groups	.010	6	.002		
	Total	.561	10			

a. Method = new

### Post Hoc Tests

#### Multiple Comparisons<sup>a</sup>

Dependent Variable		(I) Time	(J) Time	Mean Difference (I-J)	Std. Error	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
AV	Dunnett C	1.00	10.00	-.07667*	.00333	-.1023	-.0510
			20.00	-.14000*	.00471	-.1763	-.1037
			30.00	-.20667*	.01054	-.2878	-.1256
			40.00	-.28000*	.00943	-.3525	-.2075
		10.00	1.00	.07667*	.00333	.0510	.1023
			20.00	-.06333*	.00333	-.0890	-.0377
			30.00	-.13000*	.01000	-.2069	-.0531
			40.00	-.20333*	.00882	-.2712	-.1355
		20.00	1.00	.14000*	.00471	.1037	.1763
			10.00	.06333*	.00333	.0377	.0890
			30.00	-.06667	.01054	-.1478	.0144
			40.00	-.14000*	.00943	-.2125	-.0675
		30.00	1.00	.20667*	.01054	.1256	.2878
			10.00	.13000*	.01000	.0531	.2069
			20.00	.06667	.01054	-.0144	.1478
			40.00	-.07333	.01333	-.1759	.0293
		40.00	1.00	.28000*	.00943	.2075	.3525
			10.00	.20333*	.00882	.1355	.2712
			20.00	.14000*	.00943	.0675	.2125
			30.00	.07333	.01333	-.0293	.1759

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Method = new

Homogeneous Subsets

AV<sup>b</sup>

	Time	N	Subset for alpha = .05				
			1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup>	1.00	3	.0533				
	10.00	3		.1300			
	20.00	3			.1933		
	30.00	3				.2600	
	40.00	3					.3333
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Method = new

Oneway

Warnings

Post hoc tests are not performed for PV in split file Method = new because at least one group has fewer than two cases.

Method = old

Descriptives<sup>a</sup>

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
AV	m1t1	3	.0567	.00577	.00333	.0423	.0710	.05	.06
	m1t10	3	.0967	.00577	.00333	.0823	.1110	.09	.10
	3.00	3	.1533	.00577	.00333	.1390	.1677	.15	.16
	4.00	3	.2300	.01732	.01000	.1870	.2730	.22	.25
	5.00	3	.3367	.05508	.03180	.1999	.4735	.30	.40
	Total	15	.1747	.10562	.02727	.1162	.2332	.05	.40
PV	m1t1	3	3.0733	.15885	.09171	2.6787	3.4679	2.89	3.17
	m1t10	3	3.0100	.07000	.04041	2.8361	3.1839	2.93	3.06
	3.00	3	2.1600	.14107	.08145	1.8096	2.5104	2.01	2.29
	4.00	3	4.3000	.50507	.29160	3.0453	5.5547	3.80	4.81
	5.00	3	3.2300	.68169	.39357	1.5366	4.9234	2.61	3.96
	Total	15	3.1547	.78115	.20169	2.7221	3.5873	2.01	4.81

a. Method = old

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
AV	9.945	4	10	.002
PV	2.580	4	10	.102

a. Method = old

ANOVA<sup>a</sup>

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AV	Between Groups	.149	4	.037	54.359	.000
	Within Groups	.007	10	.001		
	Total	.156	14			
PV	Between Groups	7.003	4	1.751	11.371	.001
	Within Groups	1.540	10	.154		
	Total	8.543	14			

a. Method = old

## Post Hoc Tests

Multiple Comparisons<sup>a</sup>

Dependent Variable		(I) sample	(J) sample	Mean Difference (I-J)	Std. Error	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
AV	Dunnnett C	m1t1	m1t10	-.04000*	.00471	-.0763	-.0037
			3.00	-.09667*	.00471	-.1329	-.0604
			4.00	-.17333*	.01054	-.2544	-.0922
			5.00	-.28000*	.03197	-.5260	-.0340
		m1t10	m1t1	.04000*	.00471	.0037	.0763
			3.00	-.05667*	.00471	-.0929	-.0204
			4.00	-.13333*	.01054	-.2144	-.0522
			5.00	-.24000	.03197	-.4860	.0060
		3.00	m1t1	.09667*	.00471	.0604	.1329
			m1t10	.05667*	.00471	.0204	.0929
			4.00	-.07667	.01054	-.1578	.0044
			5.00	-.18333	.03197	-.4293	.0627
		4.00	m1t1	.17333*	.01054	.0922	.2544
			m1t10	.13333*	.01054	.0522	.2144
			3.00	.07667	.01054	-.0044	.1578
			5.00	-.10667	.03333	-.3631	.1498
		5.00	m1t1	.28000*	.03197	.0340	.5260
			m1t10	.24000	.03197	-.0060	.4860
			3.00	.18333	.03197	-.0627	.4293
			4.00	.10667	.03333	-.1498	.3631
PV	Dunnnett C	m1t1	m1t10	.06333	.10022	-.7078	.8345
			3.00	.91333	.12266	-.0304	1.8571
			4.00	-1.22667	.30569	-3.5787	1.1253
			5.00	-.15667	.40412	-3.2660	2.9527
		m1t10	m1t1	-.06333	.10022	-.8345	.7078
			3.00	.85000*	.09092	.1504	1.5496
			4.00	-1.29000	.29439	-3.5551	.9751
			5.00	-.22000	.39564	-3.2641	2.8241
		3.00	m1t1	-.91333	.12266	-1.8571	.0304
			m1t10	-.85000*	.09092	-1.5496	-.1504
			4.00	-2.14000	.30277	-4.4695	.1895
			5.00	-1.07000	.40191	-4.1624	2.0224
		4.00	m1t1	1.22667	.30569	-1.1253	3.5787
			m1t10	1.29000	.29439	-.9751	3.5551
			3.00	2.14000	.30277	-.1895	4.4695
			5.00	1.07000	.48983	-2.6988	4.8388
		5.00	m1t1	.15667	.40412	-2.9527	3.2660
			m1t10	.22000	.39564	-2.8241	3.2641
			3.00	1.07000	.40191	-2.0224	4.1624
			4.00	-1.07000	.48983	-4.8388	2.6988

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Method = old

## Homogeneous Subsets

AV<sup>b</sup>

sample	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
Duncan <sup>a</sup> m1t1	3	.0567			
m1t10	3	.0967			
3.00	3		.1533		
4.00	3			.2300	
5.00	3				.3367
Sig.		.091	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Method = old

PV<sup>b</sup>

sample	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
Duncan <sup>a</sup> 3.00	3	2.1600		
m1t10	3		3.0100	
m1t1	3		3.0733	
5.00	3		3.2300	
4.00	3			4.3000
Sig.		1.000	.527	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Method = old

Method = new

Descriptives<sup>a</sup>

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
AV	6.00	3	.0533	.00577	.00333	.0390	.0677	.05	.06
	7.00	3	.1300	.00000	.00000	.1300	.1300	.13	.13
	8.00	3	.1933	.00577	.00333	.1790	.2077	.19	.20
	9.00	3	.2600	.01732	.01000	.2170	.3030	.25	.28
	10.00	3	.3333	.01528	.00882	.2954	.3713	.32	.35
Total	15	1.940	.10147	.02620		.1378	.2502	.05	.35
PV	6.00	3	.6467	.06110	.03528	.4949	.7984	.58	.70
	7.00	1	.1700	.	.	.	.	.17	.17
	8.00	2	.0750	.03536	.02500	-.2427	.3927	.05	.10
	9.00	3	.5167	.02082	.01202	.4650	.5684	.50	.54
	10.00	2	.2200	.02828	.02000	-.0341	.4741	.20	.24
Total	11	.3864	.23678	.07139		.2273	.5454	.05	.70

a. Method = new

### Test of Homogeneity of Variances<sup>b</sup>

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
AV	5.000	4	10	.018
PV	1.679 <sup>a</sup>	3	6	.269

a. Groups with only one case are ignored in computing the test of homogeneity of variance for PV.

b. Method = new

### ANOVA<sup>a</sup>

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AV	Between Groups	.143	4	.036	297.833	.000
	Within Groups	.001	10	.000		
	Total	.144	14			
PV	Between Groups	.550	4	.138	79.493	.000
	Within Groups	.010	6	.002		
	Total	.561	10			

a. Method = new

### Post Hoc Tests

#### Multiple Comparisons<sup>a</sup>

Dependent Variable		(I) sample	(J) sample	Mean Difference (I-J)	Std. Error	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
AV	Dunnett C	6.00	7.00	-.07667*	.00333	-.1023	-.0510
			8.00	-.14000*	.00471	-.1763	-.1037
			9.00	-.20667*	.01054	-.2878	-.1256
			10.00	-.28000*	.00943	-.3525	-.2075
		7.00	6.00	.07667*	.00333	.0510	.1023
			8.00	-.06333*	.00333	-.0890	-.0377
			9.00	-.13000*	.01000	-.2069	-.0531
			10.00	-.20333*	.00882	-.2712	-.1355
		8.00	6.00	.14000*	.00471	.1037	.1763
			7.00	.06333*	.00333	.0377	.0890
			9.00	-.06667	.01054	-.1478	.0144
			10.00	-.14000*	.00943	-.2125	-.0675
		9.00	6.00	.20667*	.01054	.1256	.2878
			7.00	.13000*	.01000	.0531	.2069
			8.00	.06667	.01054	-.0144	.1478
			10.00	-.07333	.01333	-.1759	.0293
10.00	6.00	.28000*	.00943	.2075	.3525		
	7.00	.20333*	.00882	.1355	.2712		
	8.00	.14000*	.00943	.0675	.2125		
	9.00	.07333	.01333	-.0293	.1759		

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Method = new

## Homogeneous Subsets

AV<sup>b</sup>

sample	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
Duncan <sup>a</sup> 6.00	3	.0533				
7.00	3		.1300			
8.00	3			.1933		
9.00	3				.2600	
10.00	3					.3333
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
- b. Method = new





ภาคผนวก ง  
การเผยแพร่ผลงานวิจัย



**TSAE**  
2020

## การประชุมวิชาการ

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 13 และระดับชาติ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2563

The 13<sup>th</sup> TSAE International Conference &  
The 21<sup>st</sup> TSAE National Conference

“DRIVING SUSTAINABLE INNOVATION  
TO BUILD BCG ECONOMY”

**July 30-31, 2020**

Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

Organized by School of Agricultural Engineering,  
Institute of Engineering,  
Suranaree University of Technology (SUT) &  
Thai Society Agricultural Engineering (TSAE)

## International Presentation (July 31, 2020)

Oral Presentation Session 3: Postharvest and Food Engineering (group 1)		
Zoom room 3	ID: 719 687 7797	
Chair	Assoc. Prof. Dr. Ronnarit Ritron Kasetsart University	
Co-chair	Asst. Prof. Dr. Tiraporn Junyusen Suranaree University of Technology	
Time	ID	Titles
09.00 - 09.15	22	The overall precision test for near infrared scanning and reference method for the determination of soluble solids content and pH of mango for processing factory
		Nphatsanan Saksangjum, Panmanas Sirisomboon
09.15 - 09.30	25	Comparison of ultrasound assisted extraction and enzyme assisted extraction of betacyanin from red dragon fruit peel
		Man Phan Van, Duy Tran Duc, Hai Tran Chi
09.30 - 09.45	32	Design and performance testing of liquid separation fryer
		Wiwawan Trijd, Tipapon Khamdaeng, Thanasit Wongsinimnuay, Numpon Panyoyai
09.45 - 10.00	34	Overall precision test of near infrared spectroscopy on mango fruits (Mongfiewo - Indico CV - Nam Doc Mai Si Thong) by on-line and off-line systems
		Wachiraya Lekhawattana, Panmanas Sirisomboon
10.00 - 10.15	38	Drying kinetics of passion fruit peel for tea products
		Chatsuda Sittipa, Siva Acharyaviriyaa, Aree Acharyaviriyaa, James C. Moran
10.15 - 10.30	57	Parboiled germinated rice production using a new method
		Thatchapol Chungcharoen, Porpit Onboon, Sansanee Sansiribhan
10.30 - 10.45	65	Evaluation of subsurface irrigation on microorganism contamination of romaine lettuce
		Rocio G. Reyes Esteves, Charles P. Gerba, Donald C. Slack
10.45 - 11.00	69	Physical properties of waxy rice starch gel with Chew-Kuk ( <i>Gnapholium polycoulon</i> )
		Jittimon Wongsa, Sawarit Aichayawanich

## Design and performance testing of liquid separation fryer

Wilawan Trijid<sup>1</sup>, Tipapon Khamdaeng<sup>1</sup>, Thanasit Wongsiriamnuay<sup>1</sup>, and Numpon Panyoyai<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Maejo University, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Agricultural Engineering Program, 63 Chiangmai-Phrao Road, Nonghan, Sansai, Chiangmai, 50290, Thailand.

**Abstract.** This study presents a liquid separation fryer using the principle of heat transfer between different liquids, oil, and water, to be used as a hot and cold fluid in the frying process, respectively. It causes small pieces of food to fall into the water zone, causing no burns, which causes the fried oil not to be black and smokeless while cooking. This study was comparing the efficiency of the frying results between the liquid separation fryer with the conventional frying pans at the same process is 180°C of oil temperature, use the polar test set to measure the quality of the oil. The results found that the number of frying process in liquid separation fryer has 27 times more than regarding the amount of an extreme in used by conventional frying pans. From the prototype experiment, the fuel frying rate was reduced by 16.79%, causing the production cost to decrease by 20.6%. The production volume was more than 20.1% than the conventional pan; because of this, the liquid separation fryer has a temperature-controlled to save the amount of gas used.

### 1 Introduction

Food is an essential factor in living, and getting good food affects the health of people. Data from the Ministry of Public Health in 2009 found that Thai people with high blood pressure have 981.48 people per hundred thousand people. In which high blood pressure is associated with circulatory system diseases such as heart disease, coronary artery disease, and brain veins. Are all caused by the nature of life in which food is one of the most important causes, especially cancer. The food that is popular among consumers for a wide range of satisfaction in flavor, smell, fragrance, and the texture is crispy and juicy with the water inside of the food pieces [1]. The fact that the use of oil in the food of entrepreneurs at all levels is the oil that has been fried food in the form of repeatedly cooking, which will change or add new oil to maintain food features only. It has a simple observation principle, such as oil that is used for frying food, has black, black smoke, viscous, fouling, and foaming. These characteristics are the basis for an oil change. The frying means cooking food by using vegetable oil or animal fat as a medium for heat exchange. Food processing by using heat is a prevalent method, which is one of the ways of food preservation, with the primary purpose of inhibiting

\* Corresponding author: [n.panyoyai@gmail.com](mailto:n.panyoyai@gmail.com)

food spoilage and inhibiting the activity of the enzymes present in food, including parasites and various insects [2]. Frying means putting food pieces in the oil while warm. The temperature surface of the food will rapidly rise. It was causing the water that is the main ingredient in the diet, to evaporate. The outer food skin will become dry. The characteristics similar to baking or grilling, evaporation of water will gradually be moving into the inside of the food piece, resulting in a dry skin covering the food. The primary purpose of frying is to change the quality of food consumption. The secondary objective is to preserve food, destroying microorganisms, enzymes, and reducing water activity on the surface of the food or throughout the diet [3]. The most quality of the final product of food is much dependent on the main processes are a combination of simultaneous cooking and drying processes [4]. The deep-frying process is the primary method for food preparation and is commonly preferred by the fast-food industry [5,6]. The process is described as more complicated because of the physical and chemical property of frying oils were changed during heating at 150-190°C [7]. These changes occur similarity of the autoxidation, thermoxidation, pyrolysis [8-11], and polymerization reactions, and a wide range of undesired degradation compounds have been detected in frying oils [12-14]. From the study conducted in general market surveys, most of the original oil is used for cooking more than once, resulting in deterioration of the oil that may cause the number of polar compounds to exceed 25 percent of the weight. Frying causes the color of the oil to become more intense and makes the food that was fried has a distinct color change. It can be seen that frying using a conventional pan makes the oil performance deteriorate. There fore when there is a process of duplication, the technology for the exchange of incomplete heat between different types of liquids was applied to the liquid separation fryer. The objective of this study makes the frying machine more efficient and with the cost that is suitable for fried food processing. It is, therefore, intend to test the performance of liquid separation fryer.

## 2 Materials and methods

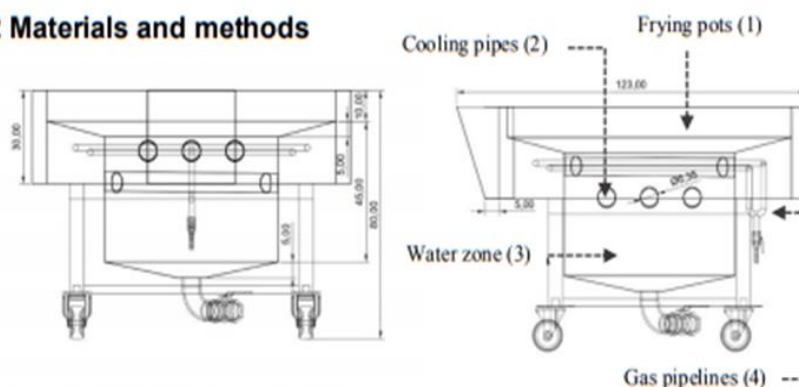


Fig. 1. Structure of liquid separation fryer.

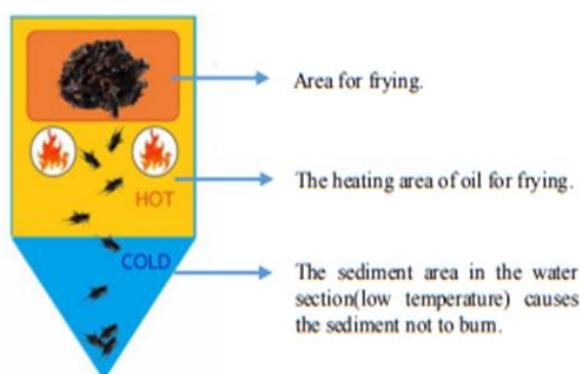
### 2.1 Materials and chemicals used for testing

This section considers the materials and methods utilized in the execution of the study. The liquid separation fryer consist of the size of the tank used for frying is made of stainless steel that is 100x80x50 cm. (Figure 1). The gas pipelines (4) built around the container tank of oil upper water zone (3). The control unit used to control the gas system with an electric system that can set the temperature and maintain a constant value. The oil zone or frying pots (1) was contain frying oil that can measure polar values by using the chemical of polar test kit in frying oil to see oil deterioration after the frying process. Chemicals used to test the reaction

with charged compounds in the frying oil sample; it gives a light pink to dark pink color when the number of polar material is not more than 25% and without pink color when the number of polar material is greater than 25%.

## 2.2 Method

Liquid separation fryer consisting of structural design in the base part, frying pots (1), gas pipelines (4), cooling pipes (2), electrical systems for control temperature, and the point of sticking gas, as shown in Figure 1. The part of the pot will work together between water and oil. The oil will float on the top of frying pots, and the water will be at the bottom of the water zone with the installation of a gas point system that heats at 180°C. In the frying pots when the process of incomplete heat exchange of different types of liquids occurs, so the water temperature is around 30–40°C. For this reason, some food waste or sediment will be pulled down to the bottom of the water zone, causing no burning of food waste; it makes the oil smokeless and reduces polar formation. The advantage is that it can fry food at a long time, constant temperature of frying oil, slow black frying oil, and fuel economy, as shown in Figure 2.



**Fig. 2.** The separate frying system

The prepared be fried with a liquid separation fryer by control temperature at 180°C (which is the suitable temperature for frying the product) using a Palm oil of 70 L per 82.50 L of water. This study focuses on the influence of incomplete heat exchange processes of different types of fluids, the number of polar compounds in the frying oil, waste fuel to test the effectiveness of liquid separation fryer. The phenomenal heat exchange occurs when entering the frying process. The moisture in the product will be replaced by oil and evaporated. Then the moisture floating in the air, mixed with oil, then falling into the water, as well as food waste or sediment, causing no burning of food, oil is not black, smokeless, and does not require a filter. When frying food for a long time, there will be a large number of polar compounds. The water is a polar bear with the same polarity, thus helping to reduce polar compounds because the frying machine is equipped with a gas control device with an electric system that can be adjusted to a constant temperature and helps reduce fuel consumption. From initial testing factors, performance indicators are the number of polar compounds in the frying oil. By using a test kit by adding polar drops to the sample test tube of four drops, then add two drops of oil sample to the sample test tube and close the test tube tightly and shake for 30 s and immediately translate the results. The amount of fuel lost is

determined by the amount of gas before frying, compared with the amount of gas after frying, whether it is worth the use of fuel or not, considering the amount of fuel used for testing.

Analysis to determine %Product Yield [15]

$$\%Product\ Yield = \frac{Output}{Input} \times 100 \quad (1)$$

### 3 Results and discussion

#### 3.1 Polar test results in frying oil

The polar content testing in experiments by liquid separation fryer with conventional frying pans will consume 70 L of oil per 3 kg of product. It is using oil samples after the frying process at 5, 10, 15, 20, and 25 times to test for polar content by a polar test kit. From the experiment study, it can be seen that there is a change in color in the oil of the test kit, as shown in Table 1.

**Table 1.** The polar test of frying oil.

Example no.	Polar test results in oil	
	Pan	Prototype frying machine
5	Polar compounds in the range of 1-10%	Polar compounds in the range of 1-10%
10	Polar compounds in the range of 11-20%	Polar compounds in the range of 1-10%
15	Polar compounds in the range of 21-24%	Polar compounds in the range of 1-10%
20	Polar compounds in the range of 21-24%	Polar compounds in the range of 11-20%
25	Polar substances exceeding 25%	Polar compounds in the range of 21-24%
27	-	Polar substances exceeding 25%

**Note**

- Polarity 1-10% is available.
- Polarity 11-20% the oil is still available, should not add new oil.
- Polarity 21-24% is still oil that should not be added.
- Polar compounds over 25% are the oil that has deteriorated and should not be used.

From the test of polar compounds in the oil, repeated frying, compare the conventional pan with a liquid separation fryer. It was found that the liquid separation fryer can maintain the quality of fried oil repeatedly than the conventional pan. Due to the amount of polar substance in the oil of the conventional pan exceed 25% of polar compounds in the frying oil, repeat 25 times, and there was a change in color. At the same time, the liquid separation fryer has not changed the oil in the polar test set. The frying oil of the prototype fryer can still be used until the polar content exceeds 25% at 27 times. The frying machine has designed a system of separating the two liquid layers in the frying process.

The development of this research was used water as an aid of oil polar compounds value to be used for a more extended period. The water was used to separate the residue particles in the oil and also helps to prevent black oil from burning of food particles. The originality knowledge of this research was the developed deep-frying process. The designed system of separating two liquid layers could maintain the quality of the palm oil and can be used for a more extended period and is not harmful to consumers such as cancer.

### 3.2 Determining the content of cost-effectiveness

From experimental, it can be shown the resulting study of general frying system and the prototype. By the calculation and the comparison found that the user of the prototype fryer is a better way because the amount of fuel used for frying 1 kg of cricket is reduced to 16.8% compared to the general frying system. Since the prototype frying machine has a temperature controller, it saves the amount of gas used. As for regular pans, there is no temperature controller, causing the temperature of the oil in the container to be uncontrollable, and some gas evaporates with the environment while frying, causing waste of energy, as shown in Table 2.

**Table 2.** The comparison of cost-effectiveness from gas loss.

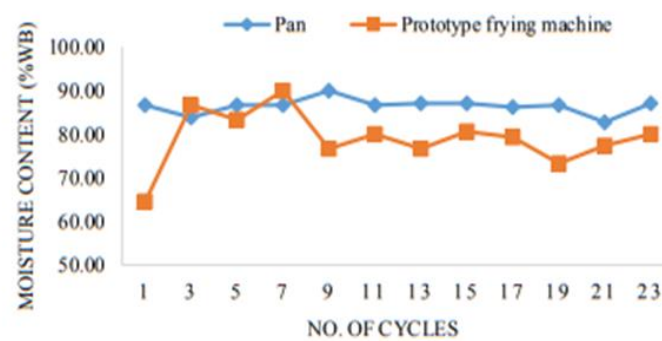
	<b>Pan</b>	<b>Prototype frying machine</b>
<b>Fuel consumption</b>	0.347 kg <sub>gas</sub> / kg <sub>product</sub>	0.288 kg <sub>gas</sub> / kg <sub>product</sub>
<b>The yield of products</b>	2.88 kg <sub>product</sub> /kg <sub>gas</sub>	3.46 kg <sub>product</sub> / kg <sub>gas</sub>
<b>Cost price</b>	8.40 baht /kg <sub>product</sub>	6.99 baht / kg <sub>product</sub>

Moisture or mass transfer during frying can be explained by using the product quantity analysis theory, the time required for frying is about 5 min per 1 round of frying. The test values are shown in Table 3. From Figure 3, it was found that the moisture content in cricket from liquid separation fryer is less than that. Due to the moisture in the cricket, when evaporated will reduce below the frying machine, which is cold water, causing the moisture to come out and not be able to combine with the meat of the cricket again. It results in lower moisture content in the product than a general frying pan.

From the development of this frying device, it was found that fuel consumption and cost price decrease while the yield of products increases. There are three originalities. First is the measure and control oil temperature, second is directly heat supply to bottom layer oil with self circulating from convection heat transfer, and last is using waste heat from the exhaust gas to heat upper layer oil.

**Table 3.** Analysis of moisture content of cricket.

No. of cycles	Pan			Prototype frying machine		
	Weight before baking (kg)	Weight after baking (kg)	Moisture content (%wt)	Weight before baking (kg)	Weight after baking (kg)	Moisture content (%wt)
1	0.30	0.26	86.67	3.1	2.0	64.52
2	0.30	0.27	90.00	3.0	2.8	93.33
3	0.31	0.26	83.87	3.0	2.6	86.67
4	0.29	0.24	82.75	2.9	2.4	82.76
5	0.30	0.26	86.67	3.0	2.5	83.33
6	0.30	0.27	90.00	3.1	2.4	77.42
7	0.30	0.26	86.67	3.0	2.7	90.00
8	0.29	0.25	86.21	3.0	2.5	83.33
9	0.30	0.27	90.00	3.0	2.3	76.67
10	0.28	0.24	85.71	3.0	2.6	86.67
11	0.30	0.26	86.67	3.0	2.4	80.00
12	0.29	0.25	86.21	3.0	2.5	83.33
13	0.31	0.27	87.10	3.0	2.3	76.67
14	0.30	0.26	86.67	3.0	2.4	80.00
15	0.31	0.27	87.10	3.1	2.5	80.64
16	0.30	0.26	86.67	3.0	2.4	80.00
17	0.29	0.25	86.21	2.9	2.3	79.31
18	0.31	0.28	90.32	3.0	2.4	80.00
19	0.30	0.26	86.67	3.0	2.2	73.33
20	0.30	0.26	86.67	3.0	2.5	83.33
21	0.29	0.24	82.76	3.1	2.4	77.42
22	0.29	0.23	79.31	2.9	2.2	75.86
23	0.31	0.27	87.10	3.0	2.4	80.00
24	0.30	0.25	83.33	3.1	2.2	70.97

**Fig. 3.** Comparison of product moisture content between frying pans and frying machines.

## 4 Conclusions

The evaluation of the separation layer efficiency of the separation layer fryer liquid that designed the gas control system with an electric system that can adjust the temperature and maintain the temperature of the frying constant at a temperature of 180°C: Separate liquids, using the amount of gas fuel for frying food, decreased by 16.8%

The cost of manufacturing liquid separation fryers decreased by 20.6%

The amount of cricket obtained from liquid separation fryer was more than 20.1%

The product moisture content from the liquid separation fryer reduces more than the conventional pan. Crickets are crispy, not oil-based because it has less moisture accumulation than frying with a general pan. Prolonging the shelf life.

This research was supported by the Faculty of Engineering and Agro-Industry Maejo University and Innovation and Technology Assistance Program: projects that support technology development in the Thai industry, The National Science and Technology Development Agency.

## References

1. I. S. Saguy, D. Dana, *Journal of Food Engineering*, **56**, 143-152, (2003)
2. W. Sriviriyapab, Revolutionary repeated frying oil by the test kit to consumer safety vendors can help, **131**, 130-139, (2008)
3. W. Rangsothong, *Food processing technology*, **401**, 500, (2003)
4. Nwadinobi. CP, Edeh. JC, Mejeh. KI, *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, Vol. **23** (7) 1279-1285 July, (2019)
5. B. Matthäus, *European Journal of Lipid Science and Technology*, **108**(3), 200–211, (2006)
6. T. Pe' rez-Palacios, C. Petisca, S. Casal, I. M. Ferreira, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **65**(2), 212–218, (2014)
7. Fatma Nur Arslan, Ayça Nesibe Şapçı, Fatma Duru & Huseyin Kara, *International Journal of Food Properties*, **20**(3), 704-717, (2017)
8. T. Wongsiriamnuay, N. Panyoyai, S. Tantikul, *Agric. Sci. J*, **43**(3), 179-182, (2012)
9. M. A. Mohamed, A. M. Hashim, O. S. Abu-Elyazeed, H. A. Elsayied, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, **5**, 2971-2976, (2017)
10. N. Panyoyai, L. Petchaihan, T. Wongsiriamnuay, B. Hiransatitporn and T. Khamdaeng Mahasarakham *International Journal of Engineering Technology*, **5**, 59-64, (2019)
11. L. Petchaihan, N. Panyoyai, T. Khamdaeng and T. Wongsiriamnuay, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, **463**, (2020)
12. C. Gertz, *European Journal of Lipid Science and Technology*, **106**(11), 736–745, (2004)
13. V. R. Medeiros, F. Mestdagh, B. De Meulenaer, *Food Chemistry*, **133**, 1138–1154, (2012)
14. A. Melo, O. Viegas, C. Petisca, O. Pinho, I. O. Ferreira, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **56**, 10625–10632, (2008)
15. N. Pongthep, Faculty of Business Administration Major in Business Engineering Management, Copyright from Rajamangala University of Technology Thanyaburi. L. T. De Luca, *Propulsion physics*, (2014)



**TSAE 2020 Best Presentation Award**  
**July 30-31, 2020**  
**Suranaree University of Technology, Thailand**

**1. International Oral Presentation**

**Topic: Power and Machinery, Agricultural Systems**

ID	Title and Author
8	Development of a seedling tray seeder for lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> L.) production
	Coleman Tiw-an, Romeo Gavino, Helen Gavino, Jeffrey Lavarias

**Topic: Energy and Environment**

ID	Title and Author
27	Development of a biomass energy dryer assisted with solar energy for farmers in off-grid communities
	Wannarat Chuatrakool, Siva Achariyaviriya, Aree Achariyaviriya, James C. Moran

**Topic: Postharvest and Food Engineering (Session 1)**

ID	Title and Author
32	Design and performance testing of liquid separation fryer
	Wilawan Trijid, Tipapon Khamdaeng, Thanasit Wongsiriamnuay, Numpon Panyoyai



## The 13<sup>th</sup> TSAE International Conference

Certificate of Best Presentation Award

**Wilawan Trijid**

**Maejo University, Thailand**

has been recognized for the outstanding oral presentation entitled

**Design and performance testing of liquid separation fryer**

July 30-31, 2020 at Suranaree University of Technology, Thailand

Mrs. Dares Kittiyopas  
President of Thai Society of Agricultural Engineering

Associate Professor Dr. Weerapong Pairsuwan  
Rector of Suranaree University of Technology

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาววิลาวัลย์ ไตรจิตต์
เกิดเมื่อ	26 กรกฎาคม 2533
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ มัธยมศึกษา โรงเรียนผดุงนารี จังหวัดมหาสารคาม (สายวิทย์-คณิต) ประถมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอนุบาลจังหวัดมหาสารคาม ประถมศึกษาตอนต้น โรงเรียนโพนทองวิทยาคม จังหวัดร้อยเอ็ด อนุบาลศึกษา โรงเรียนอนุบาลไบบุญ จังหวัดลำพูน
ประวัติการทำงาน	-

