

การออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอด
แบบต่อเนื่อง

Design of Oil Circulation System for Continuous Frying Machines

นางสาวเกา จันทระภักดิ์
นางสาวภัทรวรินทร์ วรรณานุกูล

ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๕

การออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอด
แบบต่อเนื่อง

Design of Oil Circulation System for Continuous Frying Machines



T129215

นางสาวนภา จันทร์ภัทรานุกูล
นางสาวภัทรชรินทร์ วรรณฉาย

ร/น.
๑๖/๑๖/๖๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 129215
วัน,เดือน,ปี. - 2 S.ค. 2556

12568028
b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

Design of Oil Circulation System for Continuous Frying Machines

Miss Napa Jantarapattaranukul

Miss Pattaracharin Worahan

**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012**

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง

นักศึกษาผู้ทำโครงการ

นางสาวนภา	จันทร์ภทรานุกูล	รหัสนักศึกษา	52010564
นางสาวภัทรชรินทร์	วรหาญ	รหัสนักศึกษา	52010891



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

หัวข้อโครงการ	การออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง			
นักศึกษา	นางสาวนภา	จันทร์ภัทรานุกูล	รหัสนักศึกษา	52010564
	นางสาวภัทรชรินทร์	วรหาญ	รหัสนักศึกษา	52010891
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เกียรติศักดิ์	รุ่นพระแสง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร			
ปีการศึกษา	2555			

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีหน้าที่สร้างกระแสการไหลของน้ำมันทอดเพื่อพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทาง การทอด จากการสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่ากลไกกังหันแบบไหลขวางแกนหมุน (Tangential Flow Turbine) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานได้ จากการศึกษารายละเอียดการคำนวณและออกแบบใบกังหัน สามารถสร้างกังหันต้นแบบซึ่งทำด้วยสแตนเลส ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ความยาว 20 cm ใบพัดมีขนาดส่วนโค้ง 1.63 cmหนา 1 mm ช่องว่างระหว่างใบพัด 1.74 cm และมีจำนวนใบพัดทั้งหมด 18 ใบ โดยมีชุดลูกปืนสแตนเลสเป็นจุดหมุน ปลายเพลลาใช้เฟืองดอกลูกเป็นกลไกส่งกำลัง ซึ่งมีมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 0.25 แรงม้า เป็นต้น ควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ซึ่งพ่วงต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านตัวแปลงสัญญาณ RS 485 ระบบกังหันถูกติดตั้งเข้ากับรางทอดสแตนเลสซึ่งสร้างขึ้นสำหรับการทดลอง มีความยาว 150 cm ความกว้าง 20 cm และความลึก 15 cm สามารถบรรจุน้ำมันได้ 42.2 ลิตร คุ้มครองกันความร้อนชนิดใยหินหนา 2.54 cm ทุกพื้นผิว และมีเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 10 kW เป็นแหล่งความร้อน หลังจากปรับแต่งเครื่องต้นแบบจนสามารถทำงานได้ จึงทำการทดลองการทอดที่ความเร็วรอบของใบพัดค่าต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 180 °C พบว่าใบพัดสามารถทำให้น้ำมันไหลได้ดี โดยสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ 14.8 cm/s ที่ความเร็วรอบ 147.5 rpm จากการทดลองนำผลิตภัณฑ์อาหารมาทอด 6 ชนิด ได้แก่ ปาท่องโก๋ ลูกชิ้นปลา ทอดมันปลากราย เผือก หมูยอ ไส้กรอกเล็ก สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการทอดได้อย่างสมบูรณ์ทุกชนิด

คำสำคัญ : เครื่องทอดต่อเนื่อง การออกแบบใบพัด ใบพัดไหลขวางแกน

Project Title	Design of Oil Circulation System for Continuous Frying Machines		
Student	Miss Napa	Jantarapattaranukul	Student ID 52010564
	Miss Pattaracharin	Worahan	Student ID 52010891
Project Advisor	Dr. Kiattisak	Roonprasang	
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Food Engineering		
Academic Year	2012		

Abstract

This project was the design and prototyping of the oil circulation system for continuous frying machines. The function of this system was to control the velocity of the hot oil stream and fried products along the direction of the frying process. After searching for the working concepts, it found that the tangential flow turbine can be applied to use. From the design formation, 18 pieces of stainless steel turbine blades can be made. Each blade has 1.63 cm of arc, 1 mm of thickness and 20 cm of length. The blades are the component of turbine with a diameter of 10 cm and the radial distance between the blades in the turbine is 1.74 cm. The turbine was installed with stainless steel ball bearing and at the shaft end, the spiral bevel gears set has been mounted and connected to the 0.25 HP, 3-phases AC motor. It was controlled by the inverter which connected to the computer via an RS 485 converter. The frying channel is stainless steel with a length of 150 cm, width of 20 cm and depth of 15 cm. The experiment has a 10 kW electric heater and requires 42.2 liter of oil per batch. All over the surface of frying channel, the 2.54 cm thickness of rock-wool insulation has been installed. The prototype has been tuned and set up for the experiment by varying a speed of the turbine. It found that the turbine can be propelled an oil stream at 180 °C very well. The maximum velocity of oil stream was 14.8 cm/s at turbine speed 147.5 rpm. After the experiment with 6 differences food product, the turbine can be completely controlled the production velocity of all examples.

Keyword: Continuous Frying Machines, Oil Flow, Tangential Flow Turbine

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์จาก ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ให้คำแนะนำ คำปรึกษา เอาใจใส่ เป็นอย่างดี คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณสำหรับท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษาเพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านนำมาประกอบในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร อนุเคราะห์ให้ยืม เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ และแนะนำวิธีการใช้งาน

ขอขอบพระคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ ที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนช่วยเหลือในการสร้างระบบ การไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทดสอบเนื่องในระดับอุตสาหกรรม

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ ที่จัดเตรียมอุปกรณ์การ ทดลองโครงงานและจัดทำหนังสือรับรองในการยื่นอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและนอกสาขาวิชาที่ให้ความสนใจใน การทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบผลิตปาท้องไก่ อัตโนมัติ ซึ่งได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2555

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำทุกท่านผู้ที่มอบชีวิต การศึกษาและอนาคตที่ดีตลอดจนให้คำปรึกษาความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และกำลังใจในการทำ ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้จัดทำโครงงาน

นางสาวนภา จันทภัก์รานุกุล

นางสาวภัทรชรินทร์ วรหาญ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญรูป	X
สารบัญตาราง	XII
รายการสัญลักษณ์	XIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	
2.1 ศึกษาเครื่องทอดโดนัทแบบต่อเนื่องและเครื่องทอดปาฟองโก่แบบต่อเนื่อง	4
2.2 กลไกที่ช่วยในการลำเลียงผลิตภัณฑ์แบบไม่มีอุปกรณ์	5
2.2.1 พัดลมประเภทไหลขวางแกน	5
2.2.2 กังหันประเภทไหลขวางแกน	6
2.3 การออกแบบกังหัน	7
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	
3.1 กระบวนการทอด	8
3.3.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น	8
3.3.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม	9
3.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารทอด	9
3.2 การถ่ายเทความร้อน	9
3.2.1 การถ่ายเทความร้อนแบบโดยการนำ	10
3.2.2 การถ่ายเทความร้อนแบบโดยการพา	11
3.3 การไหลของของเหลวในร่องของเหลวเปิด	11
3.3.1 ร่องของเหลวเปิดตามธรรมชาติ	11
3.3.2 ร่องของเหลวเปิดที่สร้างขึ้น	12
3.3.3 ประเภทของการไหลในร่องของเหลวเปิด	12

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.3.1 การแบ่งตามชนิดของการไหล	12
3.3.3.2 การแบ่งตามสภาวะการไหล	14
3.4 มอเตอร์	15
3.4.1 มอเตอร์กระแสตรง	16
3.4.2 มอเตอร์กระแสสลับ	16
3.4.3 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า	18
3.4.4 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์	18
3.4.5 การคำนวณหาอัตราทดความเร็วรอบ	18
3.5 เพลา	19
3.5.1 เพลาส่งกำลัง	19
3.5.2 เพลารองรับภาระ	19
3.5.3 การออกแบบเพลา	20
3.6 เฟืองลดความเร็ว	22
3.6.1 เฟืองตรง	22
3.6.2 เฟืองเฉียง	23
3.6.3 เฟืองก้างปลา	24
3.6.4 เฟืองสะพาน	24
3.6.5 เฟืองวงแหวน	25
3.6.6 เฟืองดอกจอก	25
3.6.7 เฟืองเกลียวสกรู	27
3.6.8 เฟืองหนอน	28
3.7 ฉนวนกันความร้อน	29
3.7.1 การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน	29
3.7.2 ชนิดของฉนวนกันความร้อน	29
3.7.3 ประโยชน์จากการติดตั้งฉนวนกันความร้อน	30
3.8 ชุดทำความร้อน	30
3.8.1 การคำนวณหาพลังงานของฮีตเตอร์	32
3.9 เหล็กกล้าไร้สนิม	33
3.9.1 ประเภทของสแตนเลส	33
3.10 พัดลม	34
3.10.1 พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง	34
3.10.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน	35
3.11 ตลับลูกปืน	36
3.11.1 แบร์ริงกาบ	36
3.11.2 แบร์ริงลูกปืน	36

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.12 อินเวอร์เตอร์	37
3.12.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์	37
3.12.2 ลักษณะเด่นของอินเวอร์เตอร์	37
3.12.3 มอเตอร์	38
3.12.4 พิจารณาการเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์กับมอเตอร์	38
3.12.5 หลักการควบคุมมอเตอร์	38
บทที่ 4 การคำนวณและออกแบบ	
4.1 การออกแบบรางทอดของเครื่องทอดต่อเนื่อง	40
4.2 การคำนวณหาขนาดของใบพัด	41
4.3 การคำนวณหากำลังของชุดทำความร้อน	45
4.3.1 ช่วงการอุ่นน้ำมันให้ร้อน	45
4.3.2 ช่วงของกระบวนการทอดผลิตภัณฑ์	46
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ	
5.1 การทดสอบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่องต้นแบบ	48
5.1.1 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น	48
5.1.2 การทดสอบปรับความเร็วในการไหลโดยใช้น้ำมัน	49
5.1.3 ทดสอบหาค่าความเร็วรอบของใบพัดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	50
5.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	50
5.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทอดต่อเนื่อง	50
5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของใบพัด	51
5.2.3 ทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วของน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	53
บทที่ 6 สรุปผลการออกแบบและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิจัย	55
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	57

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่องทอดปาท้องไก่ต้นแบบเมธินีและคณะ (2554)	2
รูปที่ 2.1 พัฒลมประเภทไหลขวางแกน	5
รูปที่ 2.2 แสดงการพัฒนาการไหลภายในของพัฒลมประเภทไหลขวางแกน	5
รูปที่ 2.3 กังหันประเภทไหลขวางแกน	6
รูปที่ 3.1 การถ่ายเทมวลและความร้อน	9
รูปที่ 3.2 การนำความร้อนผ่านผนังราบที่มีค่าการนำความร้อน k คงที่	10
รูปที่ 3.3 ร่องของเหลวเปิดตามธรรมชาติ	12
รูปที่ 3.4 ร่องของเหลวเปิดที่สร้างขึ้น	12
รูปที่ 3.5 การไหลคงที่ในร่องของเหลวเปิด	13
รูปที่ 3.6 การไหลไม่คงที่ในร่องของเหลวเปิด	13
รูปที่ 3.7 การไหลแบบสม่ำเสมอ	13
รูปที่ 3.8 การไหลแบบเปลี่ยนแปลง	14
รูปที่ 3.9 เพลาส่งกำลัง และส่วนประกอบอื่น ๆ	19
รูปที่ 3.10 เพลารองรับภาระ	20
รูปที่ 3.11 เฟืองตรง	23
รูปที่ 3.12 เฟืองเฉียง	23
รูปที่ 3.13 เฟืองก้างปลา	24
รูปที่ 3.14 เฟืองสะพาน	24
รูปที่ 3.15 เฟืองวงแหวน	25
รูปที่ 3.16 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง	26
รูปที่ 3.17 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง	26
รูปที่ 3.18 เฟืองไฮโปอยด์ในเพลาท้ายรถยนต์	27
รูปที่ 3.19 ความแตกต่างระหว่างเฟืองดอกจอกชนิดต่าง ๆ กับเฟืองไฮโปอยด์	27
รูปที่ 3.20 เฟืองดอกจอกแบบสมมาตร	27
รูปที่ 3.21 เฟืองเกลียวสกรู	28
รูปที่ 3.22 เฟืองหนอน	28
รูปที่ 3.23 แสดงอีทเตอร์ชนิดต่างๆ	32
รูปที่ 3.24 แสดงอีทเตอร์ชนิดต่างๆ	32
รูปที่ 3.25 พัฒลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง	35
รูปที่ 3.26 พัฒลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน	36
รูปที่ 3.27 แบริงต่าง ๆ	37
รูปที่ 4.1 ขนาดรางทอดของเครื่องทอดต่อเนื่อง	41
รูปที่ 4.2 รูปแบบองค์ประกอบของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบใบพัด	44
รูปที่ 4.3 รูปสามมิติของใบพัดหลังจากการออกแบบ	45

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง	47
รูปที่ 5.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	48
รูปที่ 5.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	49
รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการไหลของน้ำมัน	49
รูปที่ 5.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	50
รูปที่ 5.5 ใบพัดติดตั้งกลับด้าน	50
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์กับความเร็วของกระแส	51
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ของความเร็วของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	52
รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่วัดอุณหภูมิกับอุณหภูมิทั้งด้านบนและล่าง	52
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัดอุณหภูมิกับอุณหภูมิน้ำมันด้านบนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	52
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์	53
รูปที่ 5.11 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการทอด	53
รูปที่ 5.12 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการทอด	54
รูปที่ 5.13 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการทอด	54

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบมอเตอร์กระแสตรง และกระแสสลับ	17
ตารางที่ 3.2 ขนาดเพลามาตรฐานนานาชาติ ISO/R 775-1969	21
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตัวประกอบความล้า	22

รายการสัญลักษณ์

Q	ปริมาณความร้อน	N_b	ค่าความปลอดภัยซึ่งควรมีค่าระหว่าง 7 ถึง 15
m	มวล	n_1	ความเร็วคงที่ของล้อย้ายพานขับ
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะ	n_2	ความเร็วคงที่ของล้อย้ายพานตาม
ΔT	อุณหภูมิที่แตกต่าง	P	กำลังของมอเตอร์
A	พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน	T	โมเมนต์บิดที่กระทำกับเพลลา
q_k	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการนำความร้อน	U	พลังงานความเครียด
x	ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน	v	ความเร็วขอบของเฟืองโซ่
K	ค่าการนำความร้อนของผนัง	W_p	กำลังงานมอเตอร์
L	ความหนาของผนัง	T_p	ความเค้นเฉือนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้
T_1	อุณหภูมิทางด้านซ้าย	y	ความลึก
T_2	อุณหภูมิทางด้านขวา	V	ความเร็ว
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	Q	อัตราการไหล
C_t	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด	V	ความหนืด
C_m	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด		
d	ขนาดของเพลลา		
d_1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับ		
d_2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อตาม		
F_b	แรงแตกหักน้อยที่สุดของโซ่		
F_c	แรงหนีศูนย์กลางในแนวรัศมี		
F_t	แรงในแนวเส้นสัมผัส		
M	โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับเพลลา		
N	ความเร็วรอบของมอเตอร์		
n	ความเร็วขอบของเฟืองโซ่		
n_a	ความเร็วรอบเฟืองโซ่ขับ		
n_b	ความเร็วรอบเฟืองโซ่ตาม		

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

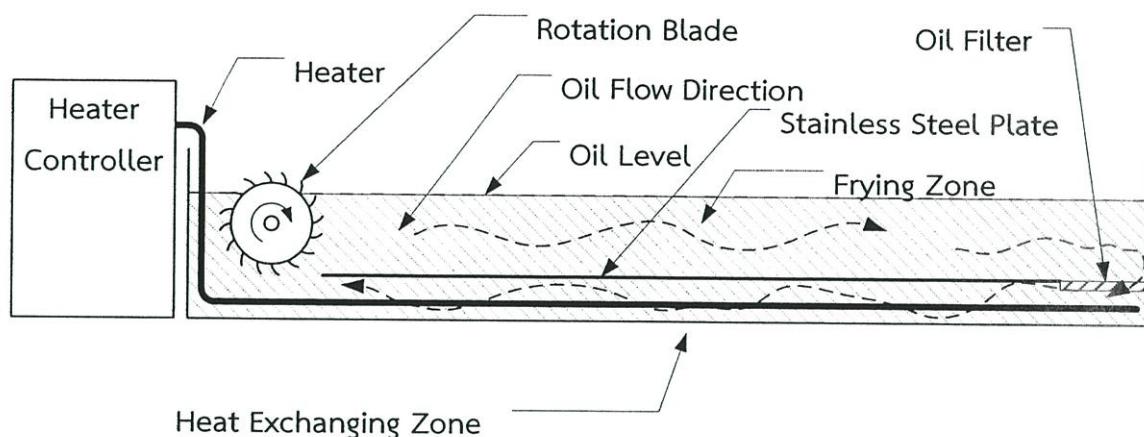
อาหารทอดเป็นอาหารว่างหรืออาหารหลักที่คนไทยนิยมรับประทาน ซึ่งอาหารทอดนิยมทำการค้าเป็นจำนวนมาก เพราะมีต้นทุนต่ำและได้กำไรสูง ในปัจจุบันร้านอาหารทอดส่วนใหญ่ยังคงใช้แรงงานคนในการผลิต ทำให้ในระหว่างกระบวนการผลิตมีการสัมผัสกับอาหารโดยตรง ทำให้อาหารทอดที่ผลิตอาจมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนอันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากมือของผู้ผลิต ซึ่งความสะอาดของผลิตภัณฑ์ถือเป็นปัจจัยหลักในการเลือกซื้อของผู้บริโภค ดังนั้นกระบวนการผลิตควรมีคุณภาพเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดถูกหลักอนามัยมีความสะอาด รวดเร็ว ความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัยในกระบวนการผลิต และต้องการลดแรงงานคนอีกทั้งต้องการกำลังการผลิตที่สูงขึ้นจึงมีแนวคิดในการผลิตเครื่องทอดแบบต่อเนื่องขึ้นมาทดแทนแรงงานคนเพื่อลดปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น

จากการศึกษารูปแบบและทดสอบลักษณะการทำงานของเครื่องทอดปาห้องโก่แบบต่อเนื่องต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบโดยนักศึกษาศาขาควิศวกรรมอาหาร เมธินีและคณะ (2554) ดังแสดงรูปที่ 1.1 ผลที่ได้จากการทดสอบคือ เครื่องทอดปาห้องโก่แบบต่อเนื่องสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์สุกได้ แต่ยังมีจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอดคือ ลักษณะการไหลเวียนของน้ำมันไม่คงที่เนื่องมาจากการหมุนของใบพัดไม่สามารถทำให้ปาห้องโก่เคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอ เมื่อทำการเพิ่มความเร็วยังรอบให้แกใบพัดยังทำให้น้ำมันกระเด็นออกนอกราง ทำให้สูญเสียปริมาณความร้อน ปริมาณน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอด และเกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาวิธีปรับปรุงแก้ไขระบบการไหลเวียนของน้ำมันในเครื่องทอดปาห้องโก่แบบต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักรที่ผลิตปาห้องโก่ โดยการุณย์ และคณะ (2541) ได้สร้างเครื่องทอดปาห้องโก่ ซึ่งออกแบบโดยอาศัยหลักการเครื่องทอดโดนัท มีขั้นตอนการทำงานคือ นำแป้งที่ทำมาสำเร็จรูปแล้วมานวดด้วยมือจนแป้งเข้ากันได้ดี จึงนำแป้งบรรจุลงในถังอัดเมื่อเครื่องทำงานแป้งจะถูกอัดผ่านตัวตัดและถูกตัดลงสู่กระทะ ในกระทะประกอบด้วยก้นซึ่งทำหน้าที่ให้เกิดการไหลของน้ำมัน เมื่อแป้งลงสู่กระทะจะลอยตัวบนน้ำมันโดยมีชุดพลิกกลับด้าน และชุดตัดผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะที่เตรียมไว้

ระบบการทอดแบบต่อเนื่องพบว่ามีงานวิจัยและโรงงานอุตสาหกรรมการทอดจำนวนมากที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทอดต่อเนื่องในส่วนต่าง ๆ พบว่าการลำเลียงผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการทอดส่วนมากใช้ระบบสายพานสแตนเลสเป็นอุปกรณ์ลำเลียง มีเพียงเครื่องทอดโดนัทแบบต่อเนื่องของบริษัท Inkomercsk รหัสเครื่อง PRF-11/900 เท่านั้นที่ใช้วิธีลำเลียงแบบก้น ซึ่งข้อดีของระบบก้นคือสามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามทิศทางการทอดโดยไม่มีอะไรสัมผัส และขัดขวางการขยายตัวของชั้นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่น โดนัท ปาห้องโก่ เต้าหู้ทอด เป็นต้น ข้อดีอีกประการของระบบไหลเวียนน้ำมันแบบใช้ก้นคือ ไม่มี

ระบบสายพานลำเลียง ซึ่งนอกจากมีชุดสายพานแล้วยังมีอุปกรณ์ประกอบมากมายภายในรางทอดทำให้ยากต่อการทำความสะอาด นอกจากนี้การบังคับการไหลของน้ำมันทอดสามารถกำหนดความเร็วและรูปแบบการไหลผ่านชุดทำความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น



รูป 1.1 เครื่องทอดปาต่องโก๋ต้นแบบ (เมธินีและคณะ, 2554)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบระบบการไหลเวียนของน้ำมันในเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง
2. เพื่อศึกษาและทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบพัด ความเร็วของน้ำมัน และอุณหภูมิของน้ำมัน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. กังหันที่ออกแบบควบคุมการทำงานด้วยชุดมอเตอร์
2. กังหันที่ออกแบบใช้สำหรับพาผลิตภัณฑ์ไปโดยไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนที่
3. กังหันที่ออกแบบสามารถทำงานได้กับของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลวได้
4. อุปกรณ์ที่ใช้ต้องทำความสะอาดได้และถูกสุขลักษณะ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบการไหลเวียนของน้ำมันที่สามารถพาผลิตภัณฑ์อาหารเคลื่อนที่ไปตามรางทอดได้ตามเวลาที่กำหนด
2. ระบบการพาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์หรือกลไกช่วยในการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการทอด เช่น สายพาน หรือตะแกรงเลื่อน เป็นต้น ทำให้เครื่องจักรมีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน และสามารถทำความสะอาดได้ง่าย

3. การที่น้ำมันเคลื่อนที่ด้วยการบังคับจากใบพัดหมุนไปตลอดแนวของขดลวดร้อน (Heater) ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าสูงขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง ซึ่งใช้สำหรับพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปโดยไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนที่ จึงได้มีการศึกษาอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบการไหลวนของน้ำมัน ซึ่งพบว่ากลไกของใบพัดประเภทไหลขวางแกนมีความเหมาะสม โดยมี 2 ประเภท คือพัดลมประเภทไหลขวางแกน และกังหันประเภทไหลขวางแกน สำหรับแต่ละประเภทมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงได้ศึกษางานวิจัยเพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาเลือกประเภทและกระแสการไหลของใบพัดแต่ละชนิด จากนั้นศึกษาการออกแบบขนาดของใบพัด เพื่อให้ใบพัดที่ออกแบบสามารถทำงานตามความต้องการได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอด

2.1 ศึกษาเครื่องทอดโดนัทแบบต่อเนื่องและเครื่องทอดปาห้องโก๋แบบต่อเนื่อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักรที่ผลิตปาห้องโก๋ โดยการุณย์ และคณะ, (2541) ได้สร้างเครื่องทอดปาห้องโก๋ ซึ่งออกแบบโดยอาศัยหลักการเครื่องทอดโดนัท มีขั้นตอนการทำงานคือ นำแป้งสำเร็จรูปมาวัดด้วยมือจนเข้ากันได้ดี จึงนำบรรจุลงในถังอัดเมื่อเครื่องทำงานแป้งจะถูกอัดผ่านตัวตัดและถูกตัดลงสู่กระทะ ซึ่งในกระทะประกอบด้วยกังหันทำหน้าที่ให้เกิดกระแสการไหลของน้ำมัน เมื่อแป้งลงสู่กระทะจะลอยตัวบนน้ำมันโดยมีชุดพลิกกลับด้าน และชุดตักผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะที่เตรียมไว้

เครื่องทอดโดนัทแบบต่อเนื่องของบริษัท Inkomercsk รหัสเครื่อง PRF-11/900 ที่ใช้วิธีลำเลียงแบบกังหัน โดยมีหลักการทำงานคือ แป้งโดนัทที่ผ่านการผสมแล้วถูกบรรจุลงในถังบรรจุ ซึ่งตัวถังถูกเชื่อมติดอยู่กับกระทะโดยมีระดับสูงกว่ากระทะ และมีตัวกดแป้ง เพื่อนำแป้งลงในกระทะ ซึ่งมีน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนอยู่แล้วภายในกระทะทอดแบ่งเป็น 2 ชั้น ซึ่งทำให้น้ำมันที่อยู่ในกระทะมีการไหลวนแยกเป็น 2 ชั้นภายในด้านล่างของถัง น้ำมันถูกทำให้ร้อนโดยชุดทำความร้อนสามารถปรับอุณหภูมิได้โดนัทที่ถูกป้อนออกมาจะลอยไปตามแรงกังหันที่หมุน และหยุดตรงบริเวณตัวพลิกที่หนึ่ง เมื่อถึงเวลาที่กำหนดประมาณ 30 s ตัวพลิกจึงยกโดนัทให้พลิกกลับด้านไปอีกด้านหนึ่ง จากนั้นโดนัทลอยไปตัวพลิกที่สองเมื่อถึงเวลาที่ตัวพลิกตัวที่หนึ่งยก ตัวพลิกที่สองก็ยกด้วยทำให้โดนัทถูกพลิกออกจากกระทะโดยอัตโนมัติ ซึ่งข้อดีของระบบกังหัน คือสามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามทิศทางการทอดโดยไม่มีอะไรสัมผัสและขัดขวางการขยายตัวของชั้นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่น โดนัท ปาห้องโก๋ เต้าหู้ทอด เป็นต้น ข้อดีอีกประการของระบบไหลเวียนน้ำมันแบบใช้กังหัน คือไม่มีระบบสายพานลำเลียง ซึ่งนอกจากมีชุดสายพานแล้วยังมีอุปกรณ์ประกอบมากมายภายในรางทอดทำให้ยากต่อการทำความสะอาด นอกจากนี้การบังคับการไหลของน้ำมันทอดสามารถกำหนดความเร็วและรูปแบบการไหลผ่านชุดทำความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเมธินี และคณะ (2554) ได้นำระบบกังหันซึ่งใช้กังหันตามรูปแบบของบริษัท Inkomercsk มาทดสอบการใช้งาน พบว่าสามารถควบคุมการไหลของน้ำมันและการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ได้ แต่อัตราการไหลกลับของน้ำมันผ่านชุดทำความ

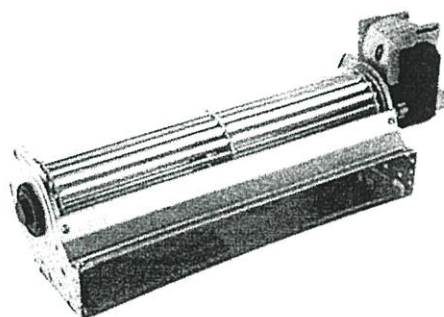
ร้อนมีปริมาณน้อย และเมื่อเพิ่มความเร็วใบกังหันสูงขึ้นทำให้น้ำมันแตกกระจายจึงเป็นข้อจำกัดของกังหันชนิดนี้

2.2 กลไกที่ช่วยในการลำเลียงผลิตภัณฑ์แบบไม่มีอุปกรณ์

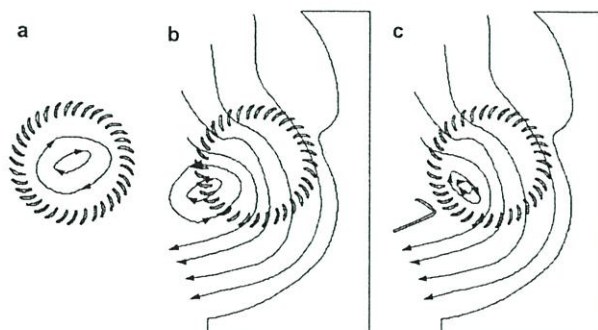
ศึกษาอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการพาสติภัณฑ์ในระบบไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง เพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้กับระบบแต่เนื่องจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทอดแบบต่อเนื่องส่วนใหญ่เป็นการใช้ระบบสายพานลำเลียงสำหรับการนำผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการทอด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาเทคโนโลยีอื่น ๆ และนำมาประยุกต์ใช้กับงานทอดอาหาร ซึ่งพบเทคโนโลยีที่น่าสนใจที่มีความเป็นไปได้สำหรับนำมาใช้กับระบบไหลวนน้ำมัน คือกังหันและพัดลมประเภทไหลขวางแกน (Tangential or Cross Flow) จากการศึกษาพบว่า พัดลมและกังหันประเภทไหลขวางแกนมีหน้าที่และการทำงานที่แตกต่างกันดังนี้

2.2.1 พัดลมประเภทไหลขวางแกน (Tangential Flow Fan)

พัดลมประเภทไหลขวางแกนใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าต่อตรงเข้าแกนใบพัด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 งานวิจัยส่วนมากได้ทำการพัฒนาและออกแบบเพื่อใช้พัดลมประเภทนี้ให้มีรูปแบบการไหลที่ดีขึ้น เช่น งานวิจัยของ Lazzaretto et al., (2003) และ Tanaka and Murta, (1995) ซึ่งพัฒนาลักษณะการไหลภายในของพัดลมแบบไหลขวางโดยแสดงดังรูปที่ 2.2



รูป 2.1 พัดลมประเภทไหลขวางแกน (Mekonnen et al., 2010)

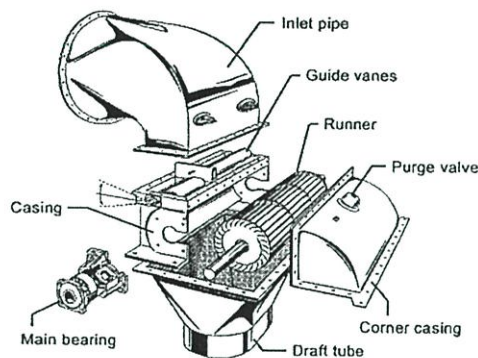


รูป 2.2 แสดงการพัฒนาการไหลภายในของพัดลมประเภทไหลขวางแกน (Mekonnen et al., 2010)

ผลที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพัดลมประเภทไหลขวางแกน คือมีลักษณะการทำงานที่ตรงความต้องการกับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง โดยที่กระแสการไหลของลมที่ถูกควบคุมโดยใบพัดชนิดนี้มีลักษณะที่ดีเหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการทอด แต่เนื่องจากพัดลมประเภทไหลขวางแกนเป็นอุปกรณ์ที่ส่วนใหญ่ใช้กับอากาศและยังไม่พบว่ามีการนำพัดลมประเภทนี้มาประยุกต์ใช้กับของเหลว โดยเฉพาะนำมาใช้กับกระบวนการทอดต่อเนื่องโดยที่น้ำมันมีอุณหภูมิสูง

2.2.2 กังหันประเภทไหลขวางแกน (Cross Flow Turbine)

กังหันประเภทไหลขวางแกนใช้กับของเหลว ซึ่งพบว่ามี การวิจัยและสร้างกังหันน้ำแบบไหลขวางเพื่อใช้งานจริง หรือเรียกว่า Ossberger Turbine แต่เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์พบว่ากังหันชนิดนี้ใช้เป็นต้นกำเนิดกำลังจากพลังงานศักย์ของน้ำที่มีความเร็วต่ำ ซึ่งหลักการทำงานคือ นำกังหันไปวางขวางทางไหลของกระแส น้ำทำให้กังหันเกิดการหมุน และได้งานไปยังแกนเพลลา แล้วนำกำลังที่ได้ไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กังหันประเภทไหลขวางแกน (Cross Flow Turbine, 2012 09 15)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของกลไกที่ใช้ในการบังคับการไหล สามารถรวบรวมข้อมูลการออกแบบ และลักษณะการประยุกต์ใช้งานได้จาก Canadian (2004) ซึ่งเป็นแหล่งรวบรวมเทคโนโลยีที่ใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการไหลของของไหลชนิดต่าง ๆ เมื่อพิจารณาพัดลมแบบไหลขวางแกนจากงานวิจัยของ Gabi and Klemm (2004); Gebrehiwot et al. (2007); Gebrehiwot et al. (2010); Lazzaretto et al. (2003) และ Shih et al. (2004) พบว่ามีลักษณะการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง แต่โดยส่วนใหญ่พัดลมแบบไหลขวางแกนใช้กับของไหลที่เป็นก๊าซ และศึกษาหลักการทำงานของกังหันแบบไหลขวางแกน ซึ่งมีหลักการทำงานโดยนำกังหันวางขวางกระแสการไหลของน้ำเพื่อให้ได้กำลังงาน และกังหันประเภทไหลขวางแกนเหมาะสำหรับของไหลประเภทของเหลว จึงได้ทำการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่นำมาใช้สำหรับระบบการไหลวนของน้ำมันในเครื่องทอดต่อเนื่อง

จากข้างต้นเห็นได้ว่าหลักการทำงานของกังหันและพัดลมประเภทไหลขวางแกน ไม่มีอุปกรณ์ใดที่มีลักษณะการทำงานที่ตรงกับความต้องการของเครื่องทอดต่อเนื่องทุกประการ คือมีการให้พลังงานไฟฟ้าให้แก่ใบพัดเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำมัน จึงได้นำหลักการทำงานของสองอุปกรณ์มาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการทำงานของเครื่องทอดแบบต่อเนื่องโดยมีการออกแบบใบพัดโดยใช้หลักการออกแบบกังหันประเภทไหลขวางแกน และมีการให้พลังงานไฟฟ้าแก่พัดลมเช่นเดียวกับพัดลมประเภทไหลขวางแกนเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกลใช้ใน

การหมุนใบพัดทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมัน และพัดลมประเภทไหลขวางแกนมีกระแสการไหลที่ตรงกับความต้องการของระบบการไหลวนของน้ำมัน

2.3 การออกแบบกังหัน

การออกแบบกังหัน เพื่อให้ได้ใบพัดที่มีความเหมาะสมกับการไหลกลับของไหลที่มีสถานะของเหลว โดยใบของกังหันมีรูปแบบการออกแบบที่ชัดเจนจากงานวิจัยของ Chattopadhyay (2010) โดยมีการคำนวณหาค่าที่ใช้ในการออกแบบรูปร่างและลักษณะของใบพัดดังนี้ รอบของมอเตอร์ ช่องว่างระหว่างใบ ความหนาของใบพัด รัศมีความกว้างของขอบใบพัด รัศมีภายในของใบพัด รัศมีภายนอกของใบพัด และความโค้งของใบพัด แต่เมื่อพิจารณาถึงเทคโนโลยีนี้กลับเป็นการใช้งานที่ตรงกันข้ามกับความต้องการของงานวิจัยนี้คือ กังหันสามารถหมุนได้เมื่อมีกระแสไหลผ่านและให้งานออกมาทางแกนเพลลา แต่กังหันไหลขวางแกนเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย คือมีการออกแบบใบพัดที่สามารถใช้กับของเหลวได้

2.4 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

เนื่อทอง และคณะ (2547) ทำการทดลองทอดปลาทองโก๋ ใช้น้ำมันปาล์มปริมาณ 4500 ml เปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องทอดกับกระทะเหล็กปากกว้าง 32 นิ้ว โดยทอดที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 160 °C 170 °C 180 °C และ 190 °C พบว่าการทอดที่ 170 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มีการแนะนำใช้เวลา 4 นาที ด้วยเครื่องทอด ถ้าใช้กระทะปากกว้างใช้เวลา 3.5 min และหากใช้เวลา 2.5 min ตามที่ได้สอบถามจากผู้ประกอบการ ต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 190 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่แนะนำสำหรับการทอด พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ทอดนานขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ ความหนืดมีค่ามากขึ้น และค่าสีของน้ำมันที่ใช้ในการทอดปลาทองโก๋เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อทอดไป 36 hr

วิจิตร (2537) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทอดสุญญากาศขนาดเล็กชนิด batch-type vacuum fryer และศึกษาทดลองเครื่องทอดสุญญากาศกับตัวอย่างอาหาร คือ ฟักทองสไลด์หนา 1 mm เพื่อทดสอบปัจจัยหลักที่สำคัญ 3 ประการ ที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ คือ ความดันที่ใช้ทอด อุณหภูมิน้ำมันขณะทอด และเวลาที่ใช้ทอด พบว่าผลกระทบต่อค่าเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ คือ อุณหภูมิของน้ำมัน และเมื่อทอดที่ความดันต่ำช่วยให้ผลิตภัณฑ์สุกเร็วขึ้นกว่าการทอดที่ความดันปกติ

Yildizetal (2006) ศึกษาการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบพาความร้อนของแป้งมันฝรั่ง ศึกษาประสิทธิภาพความร้อนและการถ่ายโอนมวลทำให้ทราบว่า การทอดของชิ้นมันฝรั่ง 8.5-708.5 mm ในน้ำมันดอกทานตะวันที่อุณหภูมิกับเวลาจากการทดลองการถ่ายโอนมวลลดลงอุณหภูมิ น้ำมันเพิ่มขึ้นมีผลกับประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น

สิ่งที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้นำแนวคิดการออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง โดยใช้หลักการของกังหันแบบไหลขวางแกนในการออกแบบและนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบการไหลวนของน้ำมัน เพื่อสามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางในเวลาที่กำหนดได้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการ

การรวบรวมทฤษฎีพื้นฐานทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง เพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการทำงานโดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้างรูปแบบกลไกการทำงานและวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุตลอดจนศึกษาเกี่ยวกับส่วนประกอบของเครื่องจักร ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการทอด การถ่ายเทความร้อน ลักษณะการไหล มอเตอร์กระแสสลับเฟลาเฟือง อินเวอร์เตอร์ เหล็กกล้าไร้สนิม ฉนวนกันความร้อน ชุดทำความร้อนประเภทของใบพัดและตลับลูกปืนซึ่งรายละเอียดแต่ละส่วนประกอบดังต่อไปนี้

3.1 กระบวนการทอด (Frying)

การทอดคือการทำอาหารให้สุกโดยใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิทอดอยู่ระหว่าง 170 - 210 °C โดยการทอดเป็นการนำชิ้นอาหารใส่ลงในน้ำมันขณะร้อน ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักในอาหารระเหยกลายเป็นไอน้ำ ผิวนอกของอาหารจะแห้งและมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับน้ำมัน เกิดจากอัตราการถ่ายเทความร้อนถูกควบคุมโดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอุณหภูมิของอาหารการทอดเป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อถนอมอาหาร ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยทำให้ปริมาณน้ำภายในอาหารลดน้อยลง และทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ลดค่าเอนไซม์ที่ผิวอาหารตลอดชิ้น ถ้าเป็นการทอดอาหารชิ้นบางๆ ความชื้นอาหารหลังการทอดเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์ อาหารที่มีความชื้นอยู่ภายใน เช่น โดนัท ขนมปังทอดการเก็บรักษาจะสั้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำมันระหว่างการเก็บรักษา

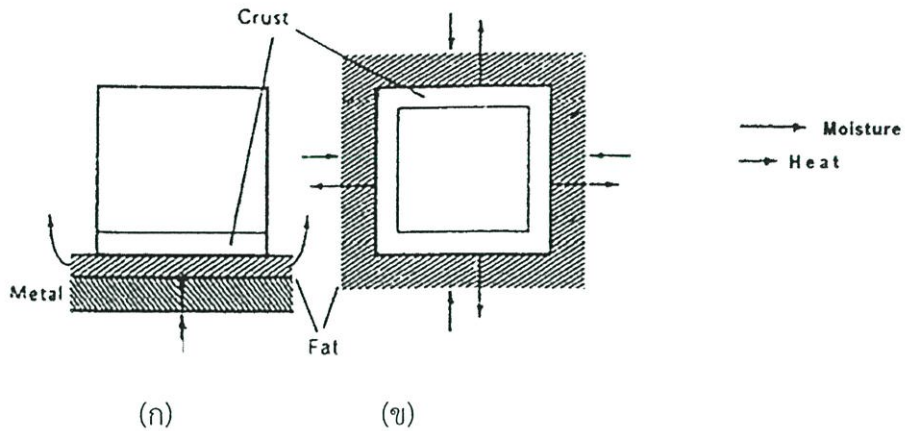
กระบวนการทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมีอยู่ 2 วิธี ซึ่งสามารถจำแนกโดยวิธีการถ่ายโอนความร้อน ได้แก่ วิธีการทอดแบบน้ำตื้น และวิธีการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่องใช้วิธีการทอดแบบท่วม

3.1.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น (Shallow Frying)

การทอดน้ำมันแบบตื้นเป็นการทอดชิ้นอาหารในกระทะที่มีน้ำมันปริมาณเล็กน้อยโดยมีระดับในกระทะประมาณ 1 นิ้ว วิธีการทอดนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีพื้นผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไช้เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่าง ๆ ความร้อนจากผิวของกระทะร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันไปยังอาหารดังรูปที่ 3.1ก) ความหนาของชั้นน้ำมันไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้น้ำมันยังฟองของไอน้ำเกิดขึ้นขณะทอดด้วย ซึ่งจะดันผิวของชิ้นอาหารให้ลอยขึ้นเหนือผิวของกระทะที่ร้อน ทำให้อุณหภูมิขณะทอดผันแปรได้ ชิ้นอาหารที่ทอดจะเกิดสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ แต่กรรมวิธีการทอดนี้ทำให้เกิดสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่ผิวหน้าอาหารที่สูง

3.1.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep Frying)

เป็นการทอดอาหารในน้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอสำหรับการทำให้ท่วมอาหารทั้งชิ้น ซึ่งการถ่ายเทความร้อนวิธีนี้เป็นการพาความร้อนในน้ำมัน และการนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาหาร โดยที่ผิวของอาหารทั้งหมดได้รับความร้อนในใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอดังรูปที่ 3.1ข) การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปร่างแต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนอน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนก่อนเกิดการระเหยจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการปั่นป่วนของไอที่ไหลออกจากอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปทำให้เกิดฟิล์มบาง ๆ ของไอน้ำอยู่บนผิวอาหาร ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนลดลงและน้ำมันที่ใช้ทอดแบบน้ำมันท่วม ควรเป็นน้ำมันที่ทนความร้อนสูง และเสื่อมสลายตัวช้า คือมีจุดเกิดควันต่ำ



รูปที่ 3.1 การถ่ายเทมวลและความร้อน (ก) การทอดแบบน้ำมันตื้น (ข) การทอดแบบน้ำมันท่วม
(นิธิยา และไพโรจน์, 2547)

3.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารทอด

- ชนิดและส่วนประกอบของอาหาร
- ขนาดและรูปร่างของชิ้นอาหาร
- ชนิดและคุณภาพของน้ำมันทอด
- อุณหภูมิของน้ำมันทอด
- ปริมาณน้ำมันที่ใช้ทอด ว่าเป็นประเภท น้ำมันน้อยหรือน้ำมันท่วม
- การจัดการหลังการทอด ได้แก่ สะเด็ดน้ำมันหรือกำจัดน้ำมันส่วนเกินหลังการทอด การทำให้เย็น

3.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนเป็นการถ่ายเทของพลังงาน ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างวัตถุเนื่องจากความแตกต่างของระดับอุณหภูมิ คือเมื่อจุดสองจุดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะมีการถ่ายเทพลังงานจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่เคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลความแตกต่างของอุณหภูมิ คือ ความร้อน กลไกการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ มีด้วยกัน 3 แบบ คือการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

3.2.1 การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางที่บดแสงเมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุก่อนนั้น อัตราการการถ่ายเทความร้อนโดยการนำซึ่งใช้ q_k เป็นสัดส่วนกับ dT/dx ซึ่งเป็นค่าความลาดชันของอุณหภูมิคูณกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่าน ดังสมการ

$$q_k \propto kA \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

เมื่อ q_k = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน

A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน

T = อุณหภูมิ

x = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

หากมีการนำความร้อนในผนังราบให้พิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่ไหลผ่านผนังราบเมื่อผิวมีอุณหภูมิคงที่และมีขนาดสม่ำเสมอทั่วทั้งผิว ดังรูปที่ 3.2 เนื่องจากผิวทั้งสองมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความร้อนไหลจากผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ และถ้าหากการนำความร้อนค่า k ของผนังมีค่าคงที่แล้ว เมื่อแทนค่า k ลงในสมการ 3.2 แล้วทำการอินทิเกรต ก็จะได้อัตราการนำความร้อนเป็น

$$q_k = -\frac{kA}{L}(T_2 - T_1) = \frac{kA}{L}(T_1 - T_2) \quad (3.2)$$

เมื่อ q_k = อัตราการความร้อนที่ไหลผ่านผนัง ; Watt

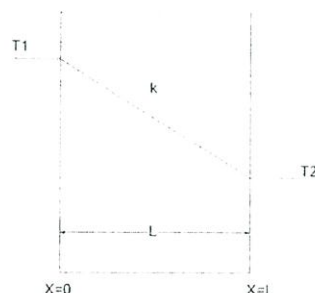
K = ค่าการนำความร้อนของผนัง ; W/m k

A = พื้นที่ของผนังที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน ; m^2

L = ความหนาของผนัง ; m

T_1 = อุณหภูมิทางด้านซ้าย (ที่ $x = 0$) ; K

T_2 = อุณหภูมิทางด้านขวา (ที่ $x = L$) ; K



รูปที่ 3.2 การนำความร้อนผ่านผนังราบที่มีค่าการนำความร้อน k คงที่ (www.mte.kmutt.ac.th)
วันที่สืบค้น 05/02/56)

3.2.2 การถ่ายเทความร้อนแบบโดยการพา (Convection Heat Transfer)

กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของพลังงานจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปด้วย ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของลมที่ผ่านหน้าขดลวดความร้อน ลมดังกล่าวจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้การถ่ายโอนความร้อนแบบพายังมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหารหลายชนิด เช่น การใช้ลมหรือของเหลวเป็นตัวกลางในกระบวนการพาความร้อน โดยสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 แบบดังนี้

ก. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่พร้อมๆกับทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน มักอาศัยอุปกรณ์ช่วย ตัวอย่างเช่น ปัดลม ซึ่งการพาความร้อนแบบบังคับจะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ

ข. การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) กลไกการเกิดการถ่ายโอนความร้อน เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นภายในระบบ ตัวอย่างเช่น การถ่ายโอนความร้อนของอาหารภายในกระป๋องที่ผ่านการทำเย็นหลังจากการฆ่าเชื้อ ภายในกระป๋องมีการเคลื่อนที่ความร้อนเนื่องจากความหนาแน่น การถ่ายโอนในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้า

โดยการถ่ายโอนความร้อนแบบพามีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อนดังสมการที่ 3.3

$$q = hA\Delta T \quad (3.3)$$

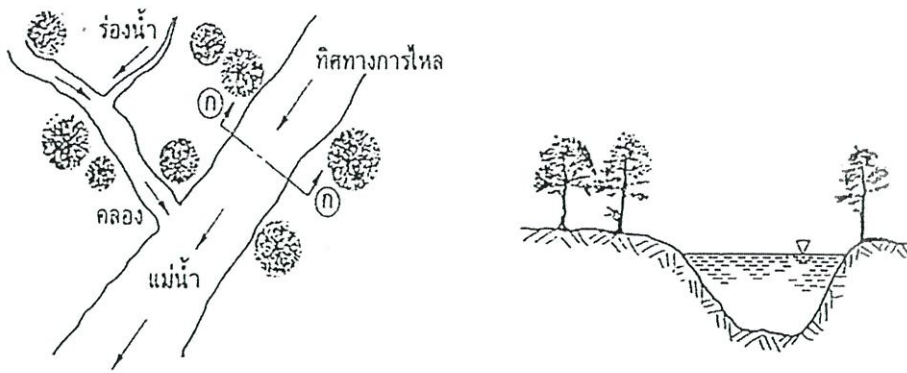
เมื่อ q = ปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนเนื่องจากการพา ; W
 h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ; $W/m^2 K$
 A = พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ; m^2
 ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ ; K

3.3 การไหลของของเหลวในร่องของเหลวเปิด

ร่องการไหลเปิด หมายถึง ร่องของเหลวที่มีพื้นที่หน้าตัดบางส่วนเป็นผิวอิสระที่เปิดสู่ความดันบรรยากาศ สำหรับการไหลในร่องของเหลวเปิดที่มีการไหลที่สม่ำเสมอ นั้น หมายถึงการไหลของลำของเหลวที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดและระดับความลึก คงที่ตลอดความยาวของลำของเหลวที่พิจารณาถึง ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานจลน์ที่ลดน้อยลงเพราะการลดระดับตลอดความยาวของลำของเหลวนั้นจะกระจายหายไปกับความเสียดทานที่ผิวและหายไปกับความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะคือ

3.3.1 ร่องของเหลวเปิดตามธรรมชาติ (Natural Open Channel)

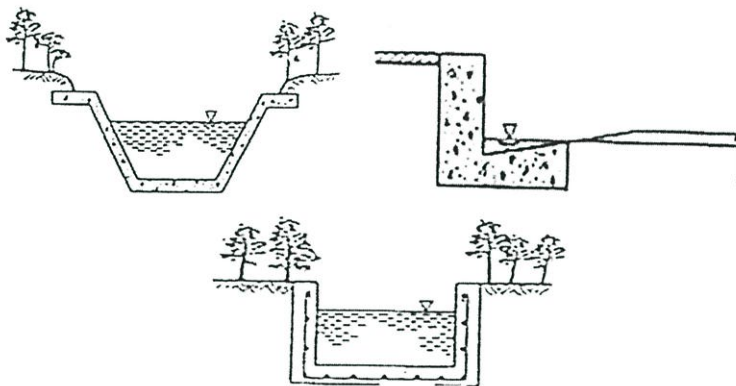
เป็นทางน้ำเปิดที่มีสภาพสลับซับซ้อนเปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่ลักษณะไม่แน่นอนเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเช่นร่องน้ำเล็ก ๆ คลอง และแม่น้ำ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ร่องของเหลวเปิดตามธรรมชาติ (เลิศ, 2554)

3.3.2 ร่องของเหลวเปิดที่สร้างขึ้น (Artificial Channel)

เป็นทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการซึ่งการวางแผนทางการไหลสามารถกำหนดได้จากเส้นระดับชั้นความสูงของพื้นที่โดยอาศัยหลักการของไหลย่อมไหลจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลกเช่นร่องน้ำคลอง แม่น้ำ รางระบายน้ำรางระบายน้ำข้าง และท่อที่มีน้ำไหลไม่เต็ม เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ร่องของเหลวเปิดที่สร้างขึ้น (เลิศ, 2554)

3.3.3 ประเภทของการไหลในร่องของเหลวเปิด

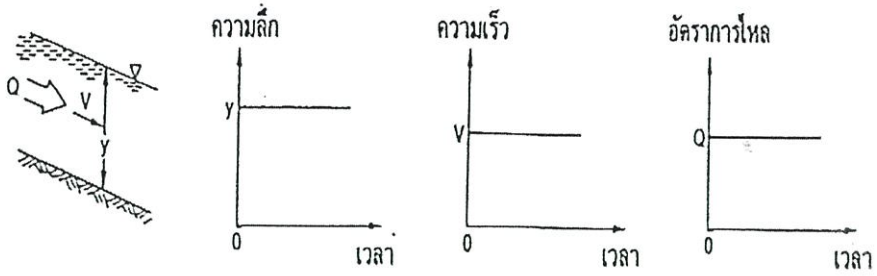
การไหลในร่องของเหลวเปิดแบ่งได้ 2 ประเภท ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.3.1 การแบ่งตามชนิดของการไหล (Type of Flow) มีหลักเกณฑ์ในการแบ่ง 2 ประการ คือ

1. เกณฑ์เกี่ยวกับเวลา (Time Criterion) มี 2 ลักษณะคือ

ก. การไหลคงที่ (Steady Flow) คือการไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังรูปที่ 3.5 กล่าวคือตัวแปรต่าง ๆ ของการไหลเช่นความลึก (y) ความเร็ว (V) และอัตราการไหล (Q) ที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของร่องของเหลวเปิดคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด (dt) หรือ

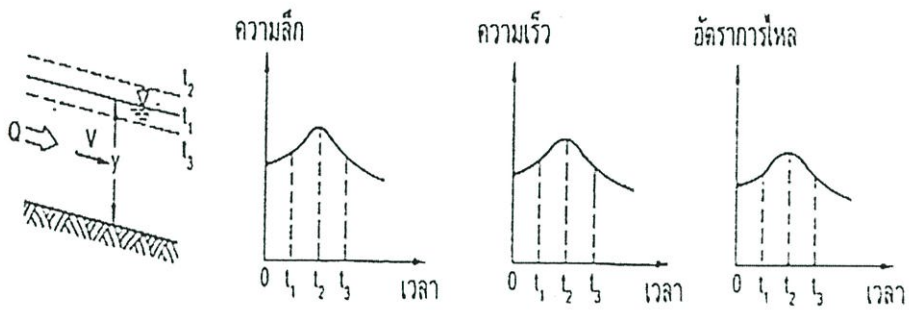
$$\frac{d}{dt}(y, V, Q) = 0 \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.5 การไหลคงที่ในร่องของเหลวเปิด (เลิศ, 2554)

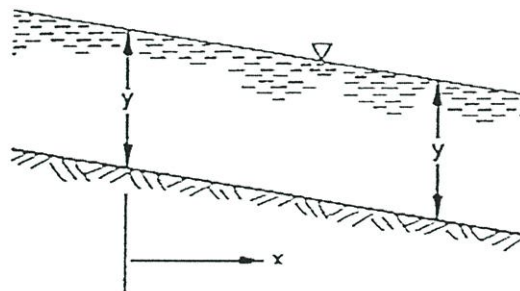
ข. การไหลไม่คงที่ (Unsteady Flow) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังรูปที่ 3.6 กล่าวคือตัวแปรของการไหลเช่นความลึก (y) ความเร็ว (V) และอัตราการไหล (Q) ที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของร่องของเหลวเปิดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาหรือ

$$\frac{d}{dt}(y, V, Q) \neq 0 \tag{3.5}$$



รูปที่ 3.6 การไหลไม่คงที่ในร่องของเหลวเปิด (เลิศ, 2554)

2. เกณฑ์เกี่ยวกับตำแหน่งพื้นที่การไหล (Space Criterion) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ
 ก. การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) คือการไหลที่มีความลึกของของไหล y คงที่ตลอดระยะทาง x ของร่องของเหลวเปิด ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การไหลแบบสม่ำเสมอ (เลิศ, 2554)

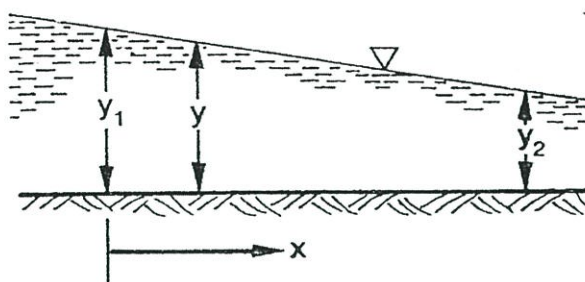
จะเห็นได้ว่าความลึก y ไม่เป็นฟังก์ชันกับระยะทาง x หรือ

$$y \neq f(x) \tag{3.6}$$

นั่นคือ
$$\frac{d}{dt} = 0 \quad (3.7)$$

ลักษณะการไหลแบบสม่ำเสมอมักพบเห็นโดยทั่วไปในร่องของเหลวเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้นในช่วงระยะทางที่ไม่มากนัก

ข. การไหลแบบเปลี่ยนแปลง (Varied Flow) หรือการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (Non Uniform Flow) คือการไหลที่มีความลึกของของไหลเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางของร่องของเหลวเปิด ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การไหลแบบเปลี่ยนแปลง (เลิศ, 2554)

จะเห็นได้ว่าความลึก y เป็นฟังก์ชันกับระยะทาง x หรือ

$$y = f(x) \quad (3.8)$$

นั่นคือ
$$\frac{d}{dt} \neq 0 \quad (3.9)$$

นอกจากนี้ในการไหลแบบเปลี่ยนแปลงยังแบ่งได้อีก 2 ชนิดคือ

1. การไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย (Gradually Varied Flow, GVF) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกตามระยะทางน้อย
2. การไหลแบบเปลี่ยนแปลงเร็ว (Rapidly Varied Flow, RVF) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกตามระยะทางอย่างทันทีทันใดเช่นน้ำกระโดดน้ำตกและบริเวณที่น้ำไหลลอดจากประตูระบายน้ำ เป็นต้น

3.3.3.2 การแบ่งตามสภาวะการไหล จะพิจารณาผลของแรงกระทำที่เกี่ยวข้องกับการไหล 3 ชนิดโดยมีผลของแรงต่าง ๆ ดังนี้

1. ผลของแรงเนื่องจากความหนืด (Viscous Force) เมื่อเปรียบเทียบกับแรงเนื่องจากความเฉื่อยของมวลจะได้เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number) ดังนี้

$$N_r = \frac{VR}{\nu} \quad (3.10)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิด

R คือ รัศมีชลศาสตร์หาได้จากพื้นที่หน้าตัดการไหลหารด้วยเส้นขอบเปียกของร่องของเหลวเปิด

V คือ ความหนืดเปรียบเทียบ

สามารถแบ่งสภาวะการไหลในทางน้ำเปิดได้ 3 ประเภทคือ

ก. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) คือการไหลที่มีการเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบมีแรงกระทำเนื่องจากความหนืดมากโดยมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์น้อยกว่า 500

ข. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) คือการไหลที่มีการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบสายน้ำปั่นป่วนววนไม่แน่นอนมีแรงกระทำเนื่องจากความหนืดน้อยค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มากกว่า 2000

ค. การไหลแบบผสม (Transitional Flow) คือการไหลที่ผสมกันอยู่ระหว่างการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วนโดยมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ในช่วงตั้งแต่ 500 จนถึง 2000

2. ผลของแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Force) เมื่อเปรียบเทียบกับแรงเนื่องจากความเฉื่อยของมวล (Inertia Force) จะได้ค่าฟรูดนัมเบอร์ (Froude Number) คือ

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (3.11)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วของการไหลในร่องของเหลวเปิด

g คือ ความเร่งของโลก

D คือ ความลึกชลศาสตร์หาได้จากพื้นที่หน้าตัดการไหลหารด้วยความกว้างของผิวของของไหลอิสระบนหน้าตัดการไหล

สามารถแบ่งสภาวะการไหลในทางน้ำเปิดได้ 3 ประเภทคือ

การไหลสภาวะวิกฤต (Critical State Flow) คือการไหลที่มีค่าฟรูดนัมเบอร์เท่ากับ 1 ความลึกเท่ากับความลึกวิกฤต และความเร็วเท่ากับความเร็ววิกฤต

ก. การไหลใต้สภาวะวิกฤต (Subcritical State Flow) คือการไหลที่มีการไหลอย่างช้า ๆ ความลึกมากกว่าความลึกวิกฤต และความเร็วน้อยกว่า ความเร็ววิกฤตโดยมีค่าฟรูดนัมเบอร์น้อยกว่า 1

ข. การไหลเหนือสภาวะวิกฤต (Supercritical State Flow) คือการไหลที่มีการไหลเร็ว ความลึกน้อยกว่าความลึกวิกฤต และความเร็วมากกว่าความเร็ววิกฤตโดยมีค่าฟรูดนัมเบอร์มากกว่า 1

3.4 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor) เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังที่นิยมใช้ในโรงงานเพื่อควบคุมเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า โดยประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนเพลลาเป็นส่วนที่เคลื่อนที่เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กที่อยู่กับที่ เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กทำให้ขดลวดหมุนรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดการหมุนกลับทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

เป็นการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งการใช้งานมอเตอร์กระแสตรงพิจารณาจากความเร็วของมอเตอร์กับแรงบิด โดยหลักการทำงานคือเป็นมอเตอร์ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านเข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อทำให้เกิดการดูดและผลักกันของแม่เหล็กถาวรกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดการหมุนขึ้น มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะสามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุดนิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใย โพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ เป็นต้น โดยสามารถแบ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

ก. มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่าซีรียส์ฟิลด์ (Series Field) มีแรงบิดสูงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเช่นเครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร ส่วนไฟฟ้าจักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม เป็นต้น

ข. มอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor) คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กขนานกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์โดยมีความเร็วคงที่แรงบิดเริ่มหมุนต่ำแต่ความเร็วรอบคงที่ เหมาะกับการใช้งานของพัดลม เพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย

ค. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสม (Compound Motor) เป็นมอเตอร์ที่นำคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมและแบบขนานมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีการะแรงจนกระทั่งมีการะแรงเต็มที่

3.4.2 มอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor)

เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้หลักการดูดและผลักกันของแม่เหล็กถาวรกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

ก. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส (AC Single Phase) แบ่งเป็น 5 ประเภทคือ

- สปลิทเฟสมอเตอร์ (Split Phase Motor) นิยมใช้กับตู้เย็น เครื่องซักผ้า
- คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor) นิยมใช้กับปั้มน้ำ เครื่องอัดลม ตู้แช่ตู้เย็น
- รีพัลชันมอเตอร์ (Repulsion Motor) นิยมใช้กับปั้มน้ำคอมเพลสเซอร์ ปั้มน้ำขนาดใหญ่
- ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal Motor) นิยมใช้กับเครื่องบดและผสมอาหาร
- เช็ดเต็ดโพลมอเตอร์ (Shaded Pole Motor) นิยมใช้กับไดร์เป่าผม พัดลมขนาดเล็ก

ข. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส (AC Three Phase Motor) เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากเพราะมีลักษณะโครงสร้างง่ายไม่ซับซ้อน ประสิทธิภาพดีกว่ามอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ดังตารางที่ 3.1 รวมถึงเป็นต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรมใช้ขับเคลื่อนลิฟท์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง เป็นต้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสแบ่งเป็นได้ 2 ประเภทคือ

- แบบสควิเรลเคจโรเตอร์ (Squirrel Cage Motor) มอเตอร์แบบสควิเรลเคจโรเตอร์มีโรเตอร์ที่ให้กำลังแรงม้าต่ำมีข้อดี คือความเร็วรอบการทำงานคงที่ในภาระแรงที่มีขนาดต่างกัน และง่ายต่อการบำรุงรักษาจึงทำมอเตอร์ 3 เฟสแบบสควิเรลเคจโรเตอร์เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย

- แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) หรือมอเตอร์ชนิดขดลวดพันเป็นมอเตอร์ที่สามารถใช้งานได้ 2 แบบคือให้ความเร็วคงที่และสามารถปรับความเร็วได้ซึ่งมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์มีข้อดีคือสามารถควบคุมแรงบิดในขณะเวลาเริ่มต้นการทำงานให้เหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์ขนถ่ายแต่ละแบบได้จึงเป็นที่นิยมในสายพานลำเลียงขนาดใหญ่

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และกระแสสลับ (AC Motor)

มอเตอร์	ข้อดี	ข้อเสีย
กระแสตรง (DC Motor)	<ul style="list-style-type: none"> - การควบคุมแรงบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมาก - มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว - การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง - การปรับปรุงการใช้งานจะซับซ้อนน้อยกว่า - DC motors มี start torques 400% ของพิกัด motor 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องบำรุงรักษาบ่อยๆเนื่องจากมีส่วนสึกหรอของแปรงถ่าน - ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ AC motor ที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน - มีขนาดใหญ่กว่า AC motor ที่ขนาดแรงม้าเท่ากัน - หาแหล่งจ่ายที่เป็นไฟกระแสตรงได้ยาก - ไม่สามารถนำไปใช้ในที่มีสารไวไฟได้
กระแสสลับ (AC Motor)	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาถูกกว่า DC motor ที่ขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน - มีลักษณะโครงสร้างง่ายไม่ซับซ้อน - บำรุงรักษาน้อยครั้งแข็งแรงทนทาน - ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟหรือสารเคมีได้ - มีประสิทธิภาพสูงกว่า DC Motor - ปรับความเร็วให้คงที่ได้ง่ายกว่าเหมาะสมที่จะใช้ในความเร็วที่สูงๆ - หาซื้อได้ง่าย เป็นที่นิยม 	<ul style="list-style-type: none"> - การควบคุมความเร็วรอบทำได้ยากมากต้องใช้อุปกรณ์ทาง Power Electronics มาควบคุมคือ Inverter ซึ่งค่อนข้างมีราคาสูงมาก

ที่มา : www.asiamixgroup.com วันที่สืบค้น 02/02/2556

3.4.3 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

ก. แรงม้าที่ต้องการใช้สามารถดูจากรายละเอียดของมอเตอร์ที่ป้ายบอกคุณสมบัติที่ติดอยู่บนตัวมอเตอร์โดยห้ามเลือกแรงม้าต่ำกว่าที่เครื่องจักรนั้นต้องการควรเลือกให้มีขนาดเกินไว้ในระดับหนึ่งขึ้นอยู่กับแรงต้านสถิต (Static Force) ซึ่งเป็นแรงเฉพาะเครื่องจักรชนิดนั้น ๆ

ข. ความต่างศักย์ไฟฟ้าควรตรวจสอบจุดที่นำมอเตอร์ไปใช้งานว่ามีความต่างไฟฟ้าให้ตรงกับป้ายบอกคุณสมบัติบนตัวมอเตอร์เช่น 380 V 3 เฟส (สามสาย) หรือ 220 V 1 เฟส (สองสาย) และในกรณี 3 เฟส ควรตรวจสอบว่าเป็นชนิดแรงดัน 220/380 V (แรงดันไฟฟ้าต่ำ) หรือ 380/660 V (แรงดันไฟฟ้าสูง)

ค. รอบในการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไปมีค่า 1450 - 1500 rpm ที่ความถี่ 50 Hz สำหรับการใช้งานจำเป็นต้องมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในปรับความถี่ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

3.4.4 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์

สูตรในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์และคำนวณหาแรงบิด (Torque) ที่เกิดจากการทดความเร็วรอบดังแสดงในสมการที่ 3.12 และกำลังของมอเตอร์ ในสมการที่ 3.13

$$\tau = \frac{9.74 \times 10^5 P}{N} \quad (3.12)$$

$$P = \frac{2\pi N \tau}{60}$$

(3.13)

เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

T คือ โมเมนต์บิดที่กระทำกับเพลา มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (N.m)

N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

หมายเหตุ 1 Hp (แรงม้า) = 746 W

3.4.5 การคำนวณหาอัตราทดความเร็วรอบ

อัตราทดความเร็วรอบคือความเร็วที่วัตถุเคลื่อนที่ในเส้นรอบวงรอบจุดศูนย์กลางของวงกลมเป็นการเคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วคงที่เป็นวงกลมเช่นความเร็วรอบของหินเจียรนัยและเฟืองเป็นต้นสมการที่ใช้คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองขับเฟืองตามและความเร็วรอบของล้อสายพานซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราทดได้จากสมการที่ 3.14

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (3.14)$$

เมื่อ n_1 คือ ความเร็วคงที่ของล้อสายพานขับมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

n_2 คือ ความเร็วคงที่ของล้อสายพานตามมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

d_1 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

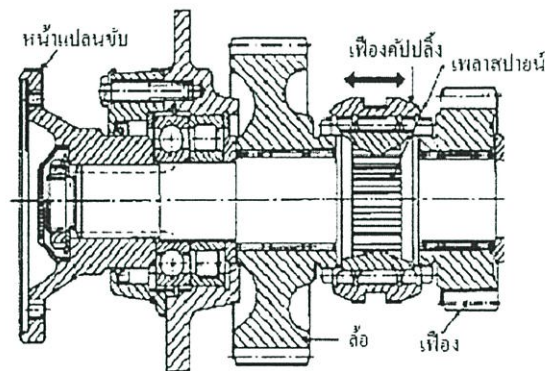
d_2 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อตามมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

3.5 เพลา (Shaft)

เพลา (Shaft) โดยมีลักษณะทั่วไป คือมีหน้าตัดกลมทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรขณะทำงานเพลาอยู่ภายใต้ภาระแรงจากการกระทำชนิดต่าง ๆ เช่นแรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิด สามารถแบ่งเพลาออกได้เป็น 2 ประเภท คือเพลาส่งกำลัง และเพลารองรับภาระ

3.5.1 เพลาส่งกำลัง (Transmission Shafts)

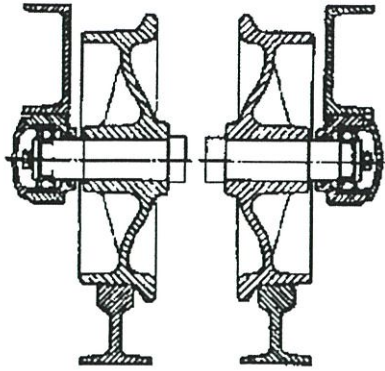
เพลาชนิดนี้รับภาระแรงบิดแรงดัดหรือทั้งการบิดและการดัดผสมกันการถ่ายทอดกำลังผ่านเพลาอาศัยแผ่นประกบต่อเพลา 5 (Coupling) ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของเพลาส่งกำลังและส่วนประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญ การทำงานเริ่มจากการติดหน้าแปลนเข้ากับเครื่องจักรที่ต้องการส่งถ่ายกำลังจากนั้นต่อมอเตอร์ต้นกำลังเข้าที่เพลาสายันแล้วต่อผ่านตัวประกบเพลา (Coupling) ที่อีกด้านต่อกับล้อมู่เลย์เพื่อทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรต่อไป



รูปที่ 3.9 เพลาส่งกำลังและส่วนประกอบอื่น ๆ (www.utc.ac.th วันที่สืบค้น 02/02/2556)

3.5.2 เพลารองรับภาระ (Support Shafts)

เป็นเพลาชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลขณะใช้งานเพลาชนิดนี้อาจหมุนหรือไม่ก็ได้ สิ่งที่สำคัญ คือเพลาชนิดนี้ไม่ได้ส่งกำลัง แต่ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนอื่นให้หมุนเช่นเพลาลูกกรอกสายพานเพลาลูกล้อสลิงต่าง ๆ ซึ่งเป็นเพลาที่รับภาระน้ำหนักของอุปกรณ์อื่นที่กดทับทำให้สภาพการเสียหายของเพลาเกิดการดัดงอเป็นส่วนใหญ่เช่นเพลาล้อรถไฟ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เพลารองรับภาระ (www.utc.ac.th วันที่สืบค้น 02/02/2556)

นอกจากการแบ่งด้วยลักษณะการรับแรงแล้ว เพลาแบ่งออกเป็น 5 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้าง ได้แก่

ก. เพลาดัน เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้กันทั่วไปมีลักษณะเป็นเพลามีผิวเรียบไม่มีบ่าหรืออาจกลึงมาให้มีบ่าเล็กน้อย เพื่อการประกอบกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้ เช่น เพลาล้อสายพาน เพลาของล้อเฟือง เพลาเฟืองโซ่

ข. เพลากลวง เป็นเพลาที่ออกแบบมาเพื่อต้องการลดน้ำหนัก ซึ่งมีน้ำหนักเบาว่าเพลาดันประมาณ 25% นิยมใช้กับเครื่องกัดเครื่องเจาะ โดยลักษณะของเพลามีผิวเรียบ

ค. เพลาช้อเหวี่ยง เป็นเพลาที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการหมุนแบบเส้นตรง เป็นลักษณะตรงกันข้ามส่วนใหญ่ เพลาช้อเหวี่ยงมักใช้เป็นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์

ง. เพลาสบายน์ เป็นเพลามีร่องคล้ายกับเฟืองอยู่รอบตัวเพลา ความยาวของร่องฟันเฟืองขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้เพลานั้น เพลาชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับเฟืองหัวเครื่องกลึง

จ. เพลารีว เป็นเพลาชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งตัวเพลามีความเร็วตามมาตรฐาน เพื่อใช้ในการจับการยึดเข้าด้วยกันระหว่างเรียวนอกและเรียวใน เช่น เพลาหัวเครื่องกลึงเครื่องกัด และเครื่องเจาะและศูนย์หัว-ท้ายของเครื่องกลึง

3.5.3 การออกแบบเพลา

เพลาคือชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรที่ต้องรองรับภาระต่าง ๆ ได้แก่ แรงกด (Compress Load) แรงดึง (Tension Load) โมเมนต์ดัด (Bending Loads) และโมเมนต์บิด (Torsion Load) ซึ่งภาระแรงเหล่านี้อาจกระทำในรูปแบบอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวหรือกระทำพร้อมกันในขณะเดียวกันโดยการออกแบบเพลามีหลักการดังนี้

ก. ความแข็งแรงต้านการบิดของเพลาที่สามารถรับโมเมนต์บิด (Torsion Load) ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งหมายความว่าในขณะที่ใช้งานมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นต้องมีค่าไม่เกินที่กำหนดไว้ ซึ่งการออกแบบเพลาโดยทั่วไปได้มีการกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับมุมบิดไว้ คือห้ามมีมุมบิดเกิน 1 องศาต่อความยาว 300 mm สำหรับเพลากลมนั้นความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของเพลาซึ่งสามารถคำนวณหาโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลากลมได้จากสมการที่ 3.15

$$T = F \times r \quad (3.15)$$

ข. การออกแบบเพลาสําหรับภาระคงที่ (Static Load) เมื่อเพลายู่ภายใต้ภาระแบบผสม (Combined Load) ส่งผลให้เกิดโมเมนต์ดัด (Bending Loads) และโมเมนต์บิด (Torsion Load) เพื่อให้เพลามีขนาดเป็นมาตรฐานเดียวกันองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลามีขนาดระบุใน ISO/R775-1969 เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้งานได้อย่างสะดวก ดังแสดงในตารางที่ 3.2 อีกทั้งยังเป็นตัวกำหนดขนาดของตลับลูกปืน (แบริ่ง) ที่ใช้รองรับเพลาสอดคล้องซึ่งกันด้วย

ตารางที่ 3.2 ขนาดเพลามาตรฐานนานาชาติ ISO/R 775-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาสอดคล้อง (mm)				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	340
12	50	95	180	360
14	55	100	190	380
18	60	110	200	400
20	65	120	220	420

ที่มา : วิศวกรรมเครื่องกลและช่างยนต์ (2548 : 230)

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเพลาส່วนใหญ่เกิดจากความล้า เพราะขณะทำงานเพลาส่งแรงหมุนตลอดเวลา จึงทำให้เกิดความเค้นขึ้น รวมถึงการเกิดแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งจำเป็นต้องมีความล้ามาเกี่ยวข้องด้วย ค่าตัวประกอบความล้าดังตารางที่ 3.3

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_p} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (3.16)$$

เมื่อ d คือ ขนาดของเพลามีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

τ_p คือ ความเค้นเฉือนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ $\tau_p = 0.225 \sigma_y$ (เพลามีร่องตลับ)

C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

T คือ โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลามีหน่วยเป็นนิวตันมิลลิเมตร (N.mm)

M คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับเพลามีหน่วยเป็นนิวตันมิลลิเมตร (N.mm)

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	Cm	Ct
เพลายูนิ่ง:	1.0	1.0
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5-2.0	1.5-2.0
แรงกระตุก		
เพลามุม:		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

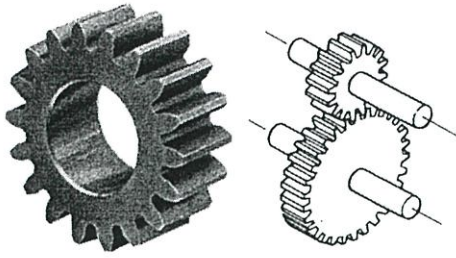
ที่มา : วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และชาญณนังงาน (2548 : 234)

3.6 เฟืองลดความเร็ว (Gear Reducers)

การหมุนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วรอบที่ใช้เคลื่อนย้ายวัตถุที่ต้องการเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดความเร็วมอเตอร์ลงเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยอุปกรณ์ลดความเร็วที่นิยมใช้เป็นชุดเฟืองลดความเร็ว (Gear Reducers) ที่ประกอบเข้าด้วยกันแล้ว โดยมีอัตราลดความเร็วซึ่งที่เลือกใช้ได้ โดยพิจารณาจากแรงบิดในการส่งต่อความเร็วรอบ ประสิทธิภาพสภาวะของเพลาลูกเข้าและเพลาลูกออกต่อการหาประสิทธิภาพของเกียร์ลดความเร็ว สามารถหาได้จากการวัดความเร็วรอบหรือกำลังด้านอินพุต (Input) เทียบกับด้านเอาต์พุต (Output) ภายในเฟืองลดความเร็ว อาศัยหลักการขับของฟันเฟืองขับไปยังฟันเฟืองตามซึ่งแบ่งประเภทของเฟืองได้ดังนี้

3.6.1 เฟืองตรง (Spur Gears)

เป็นเฟืองที่มีลักษณะเฉพาะ คือฟันของเฟืองเรียงตัวเป็นแนวขนานไปกับรูเพลาลูก แสดงในรูปที่ 3.11 โดยเฟืองตรง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเฟืองขนานกับเพลาลูก (Parallel-shaft Gear) เป็นเฟืองที่มีฟันขนานกับแกนหมุนและใช้ในการส่งกำลังการหมุนจากเพลาลูกหนึ่งไปยังอีกเพลาลูกหนึ่ง ซึ่งเป็นเฟืองที่นิยมใช้งานกันทั่วไปเพราะราคาถูกอัตราส่วนมีให้เลือกตั้งแต่แบบขั้นเดียว 1:1 ถึงประมาณ 5:1 มีประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 95% ทอร์กและความเร็วที่ส่งออกที่เพลาลูกมีความแปรปรวนเล็กน้อยอาจมีเสียงดังรบกวนที่เกิดฟันเฟือง มีการสัมผัสกันตลอดเวลาบ้างเล็กน้อย มักใช้สำหรับงานที่ใช้กำลังขนาดเล็ก คือไม่เกิน 0.5 Hp หรือความเร็วที่ต่ำมาก



รูปที่ 3.11 เฟืองตรง (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

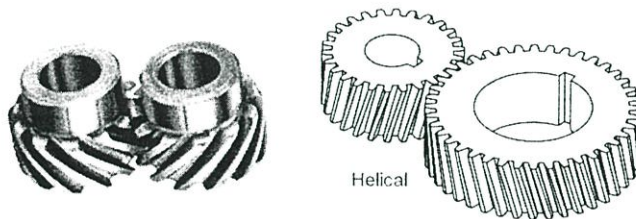
เฟืองตรงเป็นเฟืองที่มีโครงสร้างง่ายและไม่สลับซับซ้อน โดยถ้าเฟืองตรงสองตัวขบกันเราเรียกว่าเฟืองพีเนียน (Pinion Gears) โดยทั่วไปแล้วเฟืองตรงที่ใช้ส่งกำลังแต่ละคู่หนึ่งจะมีขนาดของฟันเฟืองหรือโมดูล (Module, m) เท่า ๆ กัน หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่เท่ากันแต่การได้เปรียบเชิงกลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากจำนวนฟันที่ต่างกัน (อัตราทด, Ratio) ของเฟืองแต่ละตัว เฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component)

ก. ลักษณะเฉพาะของเฟืองตรง

- มีความง่ายในการผลิตเนื่องจากรูปแบบของฟันเฟืองไม่สลับซับซ้อน ทำให้ราคาต่ำกว่าเฟืองชนิดอื่น
- ไม่มีแรงรูด (Trust) ที่เกิดขึ้นในแนวแกนในขณะที่ทำงาน
- มีความง่ายในการผลิตให้มีคุณภาพสูง
- เนื่องจากเป็นเฟืองแบบธรรมดาจึงหาซื้อได้ง่าย

3.6.2 เฟืองเฉียง (Helical Gears)

เป็นเฟืองที่มีลักษณะทั่วไปเหมือนเฟืองตรง แต่ลักษณะที่แตกต่างจากเฟืองตรงอยู่ที่แนวของฟันเฟืองที่ไม่ขนานกันกับเพลลา โดยทำมุมเฉียงไปเป็นมุมที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางขวาในมุมที่เท่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการในการใช้งานและการออกแบบของผู้ผลิต สำหรับการทำงานมีให้เลือกตั้งแต่อัตราแบบขั้นเดียว 1:1 ถึงประมาณ 6:1 มีประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 95% เียบกว่าเฟืองตรง สามารถส่งแรงบิดได้มากกว่ากว่าเฟืองตรงที่ขนาดเท่ากัน ใช้ได้ดีสำหรับทุกระดับความเร็วและกำลัง



รูปที่ 3.12 เฟืองเฉียงและรายละเอียดของฟันเฟือง (www.thailandindustry.com

วันที่สืบค้น 03/02/2556)

ก. ลักษณะเฉพาะของเฟืองเฉียง

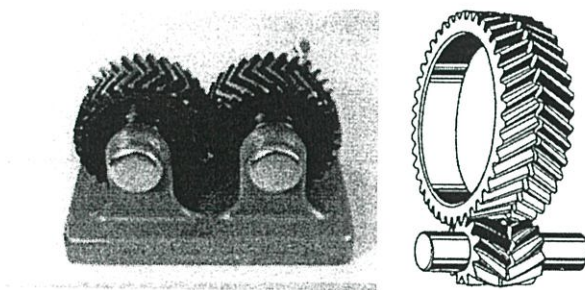
- เมื่อเปรียบเทียบการรับภาระ (Load) สำหรับเฟืองขนาดเดียวกัน เฟืองเฉียง (Helical Gear) สามารถรับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง (Spur Gear) เนื่องจากการที่ฟันเฟืองมีลักษณะเอียงจึงทำให้ความยาวของฟันเฟืองยาวกว่าและพื้นที่หน้าสัมผัสของฟันมีมากกว่าเฟืองตรง

- เสียงในการทำงานของเฟืองเฉียงเรียกว่าเฟืองตรง เนื่องจากการขบกันของเฟืองกระทำอย่างนี้มนวลกว่า เนื่องจากมุมที่เฉียงของฟันเฟืองทำให้เกิดการเหลื่อม (Overlap) กันของฟันเฟืองขณะหมุน
- เกิดแรงรูน (Trust) ตามแนวแกนมากกว่าในขณะที่หมุน เนื่องจากการเอียงของฟันเฟืองที่มาก ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานของแบริ่งลดต่ำลง

3.6.3 เฟืองก้างปลา (Herringbone Gears or Double Helical Gears)

เพื่อลดแรงรูนด้านข้างในการทำงานของเฟืองเฉียง จึงได้ถูกพัฒนาารูปแบบจากเฟืองเฉียงมาเป็นเฟืองก้างปลา ซึ่งมีลักษณะของฟันเฟืองที่เฉียงเข้าหากันในมุมที่เท่ากัน ทำให้แรงลัพท์ของแรงรูน (Trust) เท่ากับศูนย์

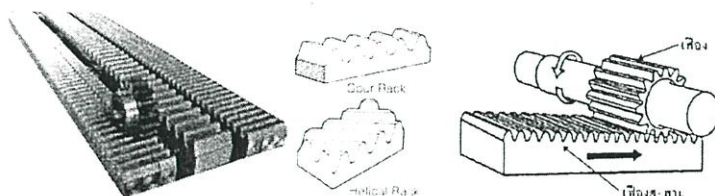
จากลักษณะของเฟืองก้างปลา ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จะเห็นว่ามิลักษณะเหมือนกับการเอาเฟืองเฉียงมาประกบกันในลักษณะสมมาตร ทำให้เฟืองก้างปลาสามารถรักษาข้อดีของเฟืองเฉียงไว้ได้คือเสียงที่เงียบขณะทำงานรับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง ในขณะเดียวกันแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในการทำงานน้อยเมื่อเทียบกับเฟืองตรง แต่ลดข้อเสียของเฟืองเฉียงคือแรงรูน จากลักษณะของเฟืองก้างปลาที่มุมเอียงของเฟืองเอียงเข้าหากันในลักษณะที่องศาเท่ากันทำให้ไม่มีผลลัพท์ของแรงรูน



รูปที่ 3.13 เฟืองก้างปลา (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

3.6.4 เฟืองสะพาน (Rack Gears)

มีลักษณะรูปร่างยาวเป็นเส้นตรงเหมือนสะพาน ฟันเฟืองทำมุมกับลำตัว 90 องศาโดยประมาณ และต้องใช้คู่กับเฟืองตรงในหนึ่งชุดของเฟืองสะพานนั้นประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นเฟือง (Gear) ตัวขับซึ่งส่วนมากแล้วเป็นเฟืองตรง (Spur Gear) แต่ในบางอุปกรณ์อาจเป็นเฟืองเฉียง และส่วนที่เป็นเฟืองสะพาน (Rack) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งยาวตรงและมีฟันเฟืองอยู่ด้านบนขบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟือง (Gear) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยหน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา



รูปที่ 3.14 เฟืองสะพาน (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

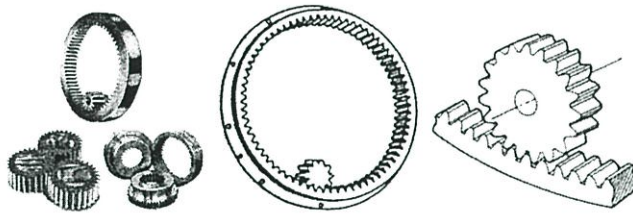
ก. การใช้งานเฟืองสะพาน

- การส่งถ่ายกำลังในเครื่องจักรกล
- ใช้กับเครื่องพิมพ์หรือเครื่อง Plot ขนาดใหญ่
- หุ่นยนต์ (Robot)
- การส่งถ่ายกำลังในระบบบังคับเลี้ยวของรถยนต์ (Steering)

3.6.5 เฟืองวงแหวน (Internal Gear, Ring Gear)

เฟืองวงแหวนเป็นเฟืองตรงอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองอยู่ด้านในของวงกลมต้องใช้คู่กับเฟืองขนาดเล็กกว่าที่ขบอยู่ด้านในดังรูปที่ 3.15 เฟืองวงแหวนใช้งานโดยที่ให้เฟืองขับและเฟืองตามทำงานหรือหมุนในทิศทางเดียวกัน

สำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้ โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) โดยหากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดจะมาก และถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดจะน้อย โดยปกติเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear) ที่อยู่ด้านในทำหน้าที่เป็นตัวขับ



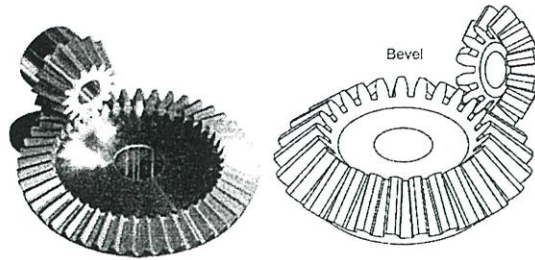
รูปที่ 3.15 เฟืองวงแหวน (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

3.6.6 เฟืองดอกจอก (Bevel Gear)

เฟืองดอกจอกมีรูปร่างคล้ายกับกรวยมีทั้งแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear) และแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear) ลักษณะทั่วไปของเฟืองดอกจอกเป็นเฟืองสองตัวที่ขบกันในลักษณะแนวเพลลาของเพลลาทั้งคู่ตั้งฉากหรือตัดกัน (Intersect) ส่วนมากแล้วเพลลาของเฟืองทั้งคู่ตั้งฉากกันเป็นมุม 90 องศา ดังรูปที่ 3.16

ก. เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear)

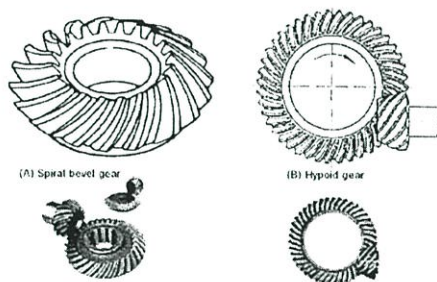
มีลักษณะของฟันเฟืองที่เป็นเฟืองตรง โดยที่แนวของฟันเฟืองเป็นแนวเดียวกับยอดของเฟือง โดยที่แนวของฟันเฟืองจะเป็นมุมตัดกับแนวแกนเพลลา คุณสมบัติเฉพาะของเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง คือง่ายต่อการผลิตจึงทำให้มีราคาถูกกว่าสามารถทำอัตราทดสูงสุดได้ถึง 1:5 ส่วนใหญ่ใช้กับส่วนประกอบของเครื่องจักร และเฟืองท้ายของรถยนต์โดยทำหน้าที่เป็นเฟืองบายศรี (Differential Gear) ป้องกันการสับัดของล้อทั้งสองข้างขณะเลี้ยว



รูปที่ 3.16 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

ข. เฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear)

ฟันของเฟืองดอกจอกแบบเฉียงมีลักษณะเป็นแนวโค้งออกไปรอบ ๆ รัศมีของเฟือง ต่างจากแบบฟันตรงที่ฟันของแบบนี้ยื่นออกมาตรง ๆ ตามแนวรัศมีของเฟือง และแนวด้านบนของฟันจะลาดลงในลักษณะโค้งจากด้านในออกไปสู่ด้านนอกขอบฟัน ดังแสดงในรูปที่ 3.17 การที่เฟืองมีลักษณะโค้งทำให้มีพื้นที่สัมผัสหรือพื้นที่รับแรงมากกว่าแบบเฟืองตรง ทำให้มีความทนทานมากกว่าและเสียงในขณะการทำงานน้อยกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียงคุณสมบัติเฉพาะในการใช้งานเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง คือ สามารถออกแบบให้อัตราทด (Ratio) มากกว่า โดยมีความแข็งแรงทนทานมากกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรงเหมาะสำหรับใช้กับอัตราทดของเฟืองที่สูง มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังที่ดีกว่าในขณะการทำงานเรียกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง มีความยากในการออกแบบและสร้างมากกว่า จึงทำให้มีราคาแพงกว่า การใช้งานเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียงพบมากในยานพาหนะทั้งบกและน้ำ เช่น ในอุปกรณ์และชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะในระบบส่งกำลังและขับเคลื่อน ในรถแทรกเตอร์ ในระบบเฟืองส่งกำลังของเรือ

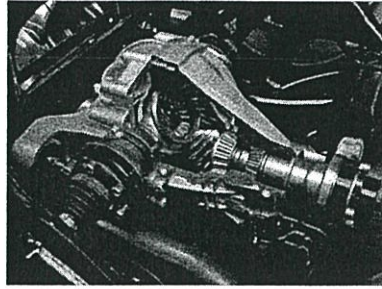


รูปที่ 3.17 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง และเฟืองไฮโปอยด์ (www.thailandindustry.com

วันที่สืบค้น 03/02/2556)

ค. เฟืองไฮโปอยด์ (Hypoid Gears)

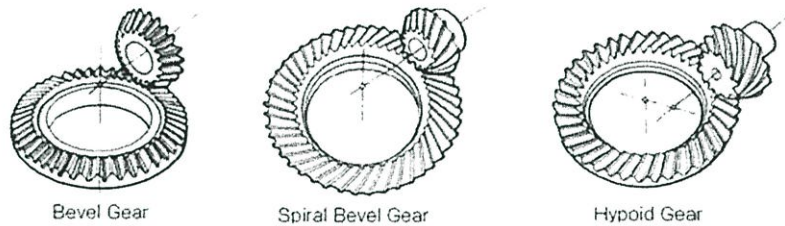
เป็นเฟืองที่จัดอยู่ในประเภทเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง แต่จะต่างกันตรงที่แกนเพลลาของเฟืองไฮโปอยด์นั้นระนาบแกนของเพลลาของเฟืองขับและเพลลาของเฟืองตามไม่ตัดกันลักษณะรูปทรงของเฟืองไฮโปอยด์มีลักษณะการหมุนเป็นไฮเปอร์บอลิกและที่ผิวของเฟืองไฮโปอยด์มีลักษณะเป็นผิวไฮเปอร์บอลิก ในขณะที่ผิวของเฟืองดอกจอกแบบเฉียงจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยธรรมดา (Normally Conical) ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เฟืองไฮปอยดในเพลาท้ายรถยนต์ (www.thailandindustry.com

วันที่สืบค้น 03/02/2556)

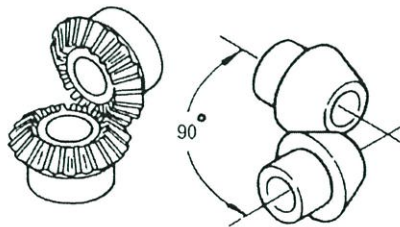
ในการส่งถ่ายกำลังระหว่างฟันเฟืองของเฟืองไฮปอยดนั้น การถ่ายถอดกำลังจากเฟืองขับไปสู่เฟืองตามจะเป็นไปในลักษณะการลื่นไถล (Sliding) อยู่กึ่งกลางระหว่างเฟืองตรง (Straight Gear) และเฟืองตัวหนอน (Worm Gear) ดังนั้นจึงต้องการสารหล่อลื่นที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการหล่อลื่นสูงสุด ซึ่งโดยปกติแล้วต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องมีความหนืดกว่าเฟืองดอกจอกสำหรับเฟืองที่มีขนาดเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ความแตกต่างระหว่างเฟืองดอกจอกชนิดต่าง ๆ กับเฟืองไฮปอยด (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

ง. เฟืองดอกจอกแบบสมมาตร (Miter Gear)

เป็นเฟืองดอกจอกแบบพิเศษแบบหนึ่ง โดยเป็นเฟืองที่มีอัตราทด (Ratio) 1:1 หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าเฟืองเปลี่ยนทิศทาง โดยเพลาชองเฟืองขับและเฟืองตามทำมุมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 3.20

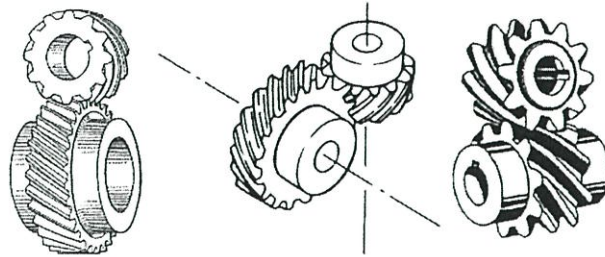


รูปที่ 3.20 เฟืองดอกจอกแบบสมมาตร (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

3.6.7 เฟืองเกลียวสกรู (Screw Gears or Spiral Gears)

มีลักษณะเป็นเฟืองเฉียงหรือเฟืองเกลียวใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาทีทำมุมกัน 90 องศา มีลักษณะดังแสดงรูปที่ 3.21 การใช้งานเฟืองชนิดนี้ส่วนมากใช้ในการเปลี่ยนทิศทางในการส่งกำลังของเพลลา โดยลักษณะเฉพาะของเฟืองเกลียวสกรู คือใช้กับชุดเฟืองที่มีการทดรอบมากและมีจำนวนเฟืองมากหลายอันการสึกหรอเกิดขึ้นค่อนข้างมาก เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ส่งกำลังของเฟืองมีลักษณะในการลื่นไถล (Sliding Contact) ระหว่างผิวของฟันเฟืองคู่ที่ใช้ส่งกำลังไม่เหมาะกับการใช้

งานที่ระบบส่งกำลังที่มีกำลังมาก ๆ การใช้งานเฟืองเกลียวสกรุนิยมใช้กับงาน ในระบบเฟืองส่งกำลังของรถยนต์ (Driving Gear For Automobile) และในเครื่องจักรตรงจุดที่ต้องการเปลี่ยนมุมในการส่งกำลัง

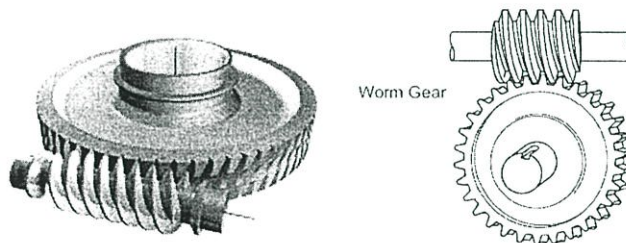


รูปที่ 3.21 เฟืองเกลียวสกรู (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

3.6.8 เฟืองหนอน (Worm Gears)

เป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) ซึ่งมีลักษณะของเกลียววางอยู่บนก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) เหมือนของสกรูและเฟือง (Worm Wheel) มีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้าย ๆ กับเฟืองเฉียง (Helical Gear) แต่แตกต่างกันที่สันฟันเฟืองมีลักษณะว่าเพื่อให้รับกับความโค้งของเกลียวตัวหนอนได้ดังรูปที่ 3.22 มีอัตราทดให้เลือกหลายขนาดจนถึงประมาณ 70:1 สามารถส่งกำลังได้ราบเรียบเสียงไม่ดังซึ่งประสิทธิภาพการทำงานขึ้นอยู่กับอัตราทดและการหล่อลื่น

แนวเพลาชับ (Worm Shaft) และเพลาล้อม (Worm Wheel Shaft) ของเฟืองตัวหนอนทำมุมกันที่ 90 องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนเงียบและมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปยังเฟืองตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการเลื่อนไถล (Sliding)



รูปที่ 3.22 เฟืองหนอน (www.thailandindustry.com วันที่สืบค้น 03/02/2556)

อัตราทดของเฟืองตัวหนอนสามารถทำได้มาก เนื่องจากลักษณะเฉพาะทางรูปแบบของเฟือง โดยอัตราทดสามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) ถึงศูนย์กลางของเฟือง (Worm Wheel) หรือเรียกว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (Center Distance) โดยถ้า Center Distance ยิ่งมากแสดงว่าอัตราทดของเฟืองยิ่งมาก ซึ่งในบางชุดเฟืองอาจทดมากกว่า 1 ชุด ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองตัวหนอนนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวฟันเฟืองมากกว่าเฟืองแบบเฟืองตรงหรือแบบเฟืองเฉียง

3.7 ฉนวนกันความร้อน

วัตถุหรือวัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย โดยปกติแล้วความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำเสมอ การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุใด ๆ หรือการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) โดยมีลักษณะการถ่ายเทความร้อนนั้นมี 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยอาจเกิดขึ้นจากวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลาย ๆ วิธีพร้อมกัน

3.7.1 การเลือกใช้ฉนวนมีหลักควรพิจารณาดังนี้

- ก. ช่วงอุณหภูมิใช้งาน ที่ฉนวนใช้ได้โดยไม่เสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
- ข. ค่าการนำความร้อน ค่าที่ต่ำกว่าจะลดการสูญเสียพลังงานได้ดีกว่า
- ค. กำลังการอัดบีบ ควรเลือกฉนวนที่ไม่เสียรูปทรงมาก โดยเปรียบเทียบกับปริมาณการเสียรูปทรงของฉนวนต่าง ๆ ที่ค่าเดียวกันว่ารับ กำลังการอัดบีบได้เท่าไร
- ง. ความทนทานต่อการติดไฟ
- จ. โครงสร้างเซลล์ ซึ่งจะเป็นสิ่งกำหนดว่าฉนวนจะดูดซับความชื้นยากง่ายเพียงไร
- ฉ. รูปแบบของฉนวนความหนาและรูปทรงของฉนวนจะเป็นตัวกำหนดได้ว่า ฉนวนนั้นมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานหรือไม่แล้วทำให้เป็นเส้นใยด้วยวิธี บลาสต์ (Blast Method) วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Method) วิธีร็อด (Rod Method) หรือวิธีพอด (Pot Method) วิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีรวมกัน โดยใช้สารยึด (Binding Agent) ช่วยยึดเส้นใยแก้วให้เกาะเป็นแผ่น (Glass wool Board) ม้วน ท่อ (Glass Wool Pipe) หรือรูปแบบอื่น ๆ โดยมีวัสดุที่เหมาะสมปิดทับผิวหน้าด้วยหรือไม่ก็ได้

3.7.2 ชนิดของฉนวนกันความร้อน

- ก. วัสดุฉนวนอลูมิเนียมฟอยล์ มีความมันวาวของผิวแผ่นฟอยล์ มีสมบัติในการสะท้อนความร้อน ข้อดีคือทนความชื้น ไม่ติดไฟและไม่ลามไฟ ไม่ฉีกขาดง่าย
- ข. วัสดุฉนวนแบบโฟม เช่น โพลียูรีเทนโฟม โฟมพอลิเอทิลีน มีข้อดีคือ สามารถคงสภาพเพิ่มได้แม้โดนน้ำหรือความชื้น ทนทานต่อกรดและด่าง
- ค. ฉนวนชนิดโฟมฉีด (โพลียูรีเทน) ทนความร้อนสูงสุดได้ 100 °C ซึ่งเป็นของเหลวบรรจุถัง ในต่างประเทศใช้ฉีดเข้าระหว่างฝาผนังบ้านที่ก่ออิฐ 2 ชั้น มักพบฉนวนชนิดโฟมฉีดในเครื่องใช้ภายในบ้านคือ ใช้ฉีดเข้าไปโดยรอบผนังตู้เย็น หรือกระติกน้ำแข็ง
- ง. ฉนวนโฟมแผ่น (โพลีสไตรีน) ทนอุณหภูมิได้ 85 °C หรือที่เห็นกันทั่วไปเป็นแผ่นสีขาว น้ำหนักเบา แม้ว่าฉนวนชนิดโฟมแผ่นทนความร้อนได้ดีกว่าฉนวนใยแก้ว แต่ไม่เหมาะนำมาใช้เป็นฉนวนภายในบ้านอยู่อาศัย เพราะเป็นฉนวนที่ เสื่อมสภาพได้ง่าย ติดไฟได้ง่าย และหากติดไฟจะเกิดก๊าซพิษมีการนำฉนวนชนิดโฟมแผ่นไปใช้บุผนังตู้แช่สแตนด์เลส ซึ่งเป็นการใช้ที่ไม่เหมาะสมเพราะโฟมแผ่นจะเสื่อมสภาพการเป็นฉนวนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการดูดซึมของน้ำที่กลั่นตัวจากไอน้ำในอากาศรอบผนังตู้แช่
- จ. วัสดุฉนวนใยแก้วหรือ ไมโครไฟเบอร์ มีโพรงอากาศเล็ก ๆ จำนวนมากแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยแก้ว ทำหน้าที่เก็บกักความร้อนไว้ และลดการส่งถ่ายความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

นอกจากนี้ไฟรงอากาศเล็ก ๆ เหล่านี้สามารถลดทอนพลังงานเสียงที่ผ่านเข้ามาให้เหลือพลังงานสะท้อนออกไปน้อยลง วัสดุฉนวนใยแก้วจัดเป็น ฉนวนกันความร้อนและดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพ มีความอ่อนตัว และคืนตัวดี สามารถทนไฟได้ประมาณ 300 °C ปัจจุบันยังพิสูจน์ไม่ได้ว่า ใยแก้วเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือไม่ จึงนิยมใช้กันอยู่ทั่วไป

ฉ. วัสดุฉนวนใยหินจัดเป็นเส้นใยจากธรรมชาติที่ไม่มีสารประกอบของ แอสเบสตอส (Asbestos) จึงปลอดภัยต่อสุขภาพ สมบัติในการกันความร้อน และดูดซับเสียง เทียบเท่ากับฉนวนใยแก้ว แต่สามารถทนไฟได้ดีกว่า ทั้งวัสดุฉนวนชนิดใยแก้ว และใยหิน มีข้อด้อยคือไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น

3.7.3 ประโยชน์จากการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

สามารถลดความร้อนหรือลดอุณหภูมิภายในได้มากกว่า 90% จากการพ่นฉนวนกันความร้อน โพลียูรีเทนโฟมหรือฉนวนป้องกันความร้อนควบคุมการถ่ายเทความร้อน โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องค่ากระแสไฟฟ้าลงได้อย่างมากต่อปี ถ้ามีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนหรือฉนวนป้องกันร้อนคุ้มค่าต่อการลงทุนในระยะยาว เมื่อติดตั้งพ่นฉนวนกันความร้อนโพลียูรีเทนโฟมหรือฉนวนป้องกันความร้อน

3.8 ชุดทำความร้อน (Heater)

ชุดทำความร้อนหรือฮีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูงลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้น ลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์ ต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง สำหรับลวดฮีตเตอร์ เป็นลวด Kanthal (นิกเกิล : โครเมียม/80 : 20) จากประเทศสวีเดน ส่วนประกอบอื่น ๆ ในการผลิตฮีตเตอร์มีฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO_2) มีค่าความนำทางไฟฟ้าต่ำ แต่นำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดตัวนำฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญ คือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาด เนื่องจากจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น วิธีการแก้ไข คือการนำฮีตเตอร์ (Heater) ไปอบในเตาอบเพื่อไล่ความชื้น Insulation Tester เป็นเครื่องทดสอบความเป็นฉนวนของฮีตเตอร์ เพื่อให้แน่ใจว่าในการใช้งานจริงไม่มีกระแสรั่วจากลวดฮีตเตอร์สู่ผิวโลหะซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ได้มาตรฐานของ TIC ได้กำหนดการทดสอบแรงดันที่ 1,500 V กระแสสลับและค่าความเป็นฉนวนต้องมากกว่า 500 MW ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

ก. ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็กและโลหะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ High Density และ Low Density ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่องานขึ้นรูปพลาสติก ลักษณะการใช้งาน คือใส่ไว้ในช่องบนวัตถุความร้อนจะส่งผ่านจากฮีตเตอร์ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน เช่น ให้ความร้อนแม่พิมพ์ของเครื่องบรรจุหีบห่อ

ข. ฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater) และฮีตเตอร์ท่อกลม (Tubular Heater) โครงสร้างของ Tubular Heater คือมีขดลวดความร้อนบรรจุอยู่ในท่อโลหะช่องว่างระหว่างขดลวดความร้อนและท่อโลหะ จะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานวัสดุที่ใช้ทำ ฮีตเตอร์ท่อกลมมีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้ทองแดงใช้กับน้ำสะอาดสแตนเลส

304 ใช้กับอากาศที่มีการหมุนเวียน เตาอบ น้ำ น้ำมัน ของเหลวหรือในอุตสาหกรรมอาหารที่มี pH 5-9 สแตนเลส 316 ใช้กับอากาศที่มีการหมุนเวียนกรด สารละลาย สารเคมีหรือของเหลวที่มีลักษณะกัดกร่อนอินโคลอย 800 ใช้กับอากาศที่ไม่มีการหมุนเวียน เช่น ในเตาอบ น้ำ น้ำมันและของเหลวทั่วไป ซึ่งฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater) ทำจากฮีตเตอร์ท่อกลมที่ตัดเป็นรูปต่าง ๆ และเพิ่มแผ่นครีบบ้วนติดกับฮีตเตอร์อย่างต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ส่วนของแผ่นครีบที่เพิ่มขึ้นทำให้ถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้นส่วนฮีตเตอร์ท่อกลมที่ใช้ให้ความร้อนโดยตรงโดยไม่ติดครีบ

ค. ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater) หรือบางทีเรียกว่าฮีตเตอร์ต้มน้ำใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิดสามารถทำความร้อนตั้งแต่ 1000 ถึง 4000 W ใช้สำหรับต้มน้ำ – ต้มน้ำมัน งานผสมสารทำจาก Tubular Heater ที่ตัดเป็นรูปตัวยูและเชื่อมติดกับเกลียวซึ่งมีขนาดเกลียวตั้งแต่ 1" 1 ¼" 1 ½" 2" และ 2 ½" ขนาดเกลียวขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นของฮีตเตอร์ ซึ่งมีตั้งแต่ 1U 2U 3U และ 6U ตามความเหมาะสมของกำลังวัตต์และความยาวของตัวฮีตเตอร์ ฮีตเตอร์แบบจุ่มเหมาะสำหรับใช้กับของเหลว เช่น ต้มน้ำหรืออุ่นน้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวตัวเมียติดกับถังแล้วใส่ฮีตเตอร์แบบเกลียวเข้าไปโดยฮีตเตอร์ขนานกับพื้นถัง ควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีตเตอร์โผล่พ้นของเหลว เนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกินไปทำให้อายุการใช้งานสั้น และเพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วถึงควรติดตั้งใบพัดกวนของเหลว

ง. ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater) ออกแบบสำหรับท่อหรือถังรูปทรงกระบอกฉนวนของฮีตเตอร์ทำจากแผ่น Mica และลวดฮีตเตอร์เป็นแบบแบน (Ribbon Wire Heating Element) จึงทำให้ฮีตเตอร์ชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กขนาด 25 mm หรืออาจมีขนาดใหญ่ถึง 600 mm ส่วนความกว้างอยู่ระหว่าง 20 – 300 mm ตัวถังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กหรือสแตนเลสเหมาะสำหรับให้ความร้อนกับเครื่องฉีดพลาสติก มีอีกชื่อหนึ่งว่าฮีตเตอร์กระบอก

จ. ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater) ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรง โครงสร้างเป็นแบบเดียวกับฮีตเตอร์รัดท่อ แต่รูปทรงจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมาะสำหรับให้ความร้อนกับแม่พิมพ์

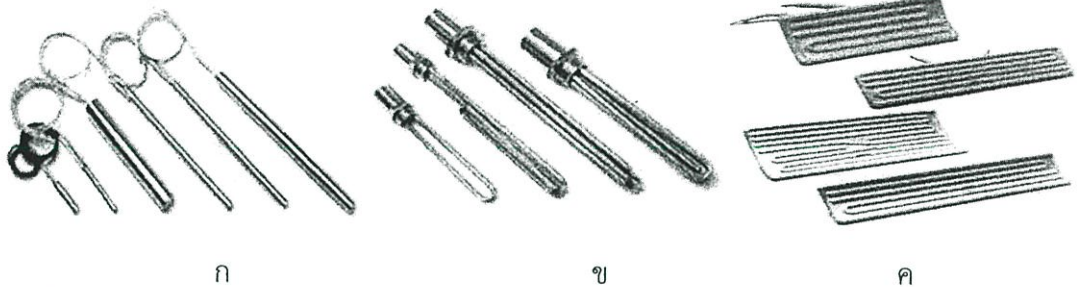
ฉ. ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัตถุมันวาวมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับแสงอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ ใช้ติดตั้งในเตาอบ หรือ เหนือคอนเวเยอร์ ลักษณะการทำงานเป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อในจึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1-10 เท่า (การให้ความร้อนแบบการพาและการนำความร้อนจะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิวแล้วค่อย ๆ ซึมเข้าไปเนื้อในจึงใช้เวลามาก) มีขนาดเล็กกว่าฮีตเตอร์แบบทั่ว ๆ ไปทำให้ประหยัดเนื้อที่การติดตั้งและการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงง่ายมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูงไฟไม่รั่วและให้รังสีช่วง 3 – 10 μm ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดีใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง

ช. ฮีตเตอร์เส้น (Cable Heater) ฮีตเตอร์เส้นแบบ Self-Regulating ทำงานโดยการปรับกำลัง output เหมาะสม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลัง output จะลดลงฮีตเตอร์เส้นแบบนี้จะไม่สามารถทำให้เกิดความร้อนสูงได้ด้วย เหตุนี้จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้งานเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นน้ำแข็งในสภาวะ

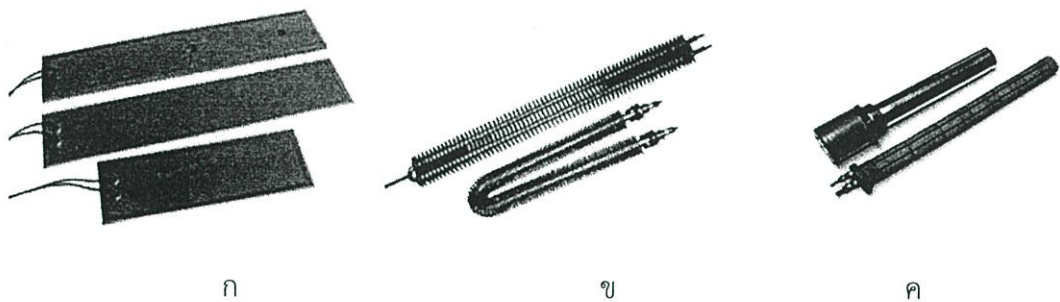
ที่อุณหภูมิต่ำหรือนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมทำความเย็นด้วยโครงสร้างของ Self-Regulating จึงสามารถใช้กับท่อและข้อต่อพลาสติกหรือ PVC ต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย

ข. ฮีตเตอร์ท่อกลม (Tubular Heater) ใช้ให้ความร้อนกับอากาศและของเหลว ในลักษณะเดียวกันกับฮีตเตอร์ครีบ

ฅ. ฮีตเตอร์บอบบิน (Bobbin Heater) ใช้ให้ความร้อนกับของเหลว เป็นฮีตเตอร์แบบจุ่มชนิดหนึ่ง ถูกออกแบบสำหรับใช้ความร้อนกับของเหลว สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ปลอกฮีตเตอร์สามารถเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีให้เลือกทั้งสแตนเลส 304 สแตนเลส 316 และคอปเปอร์ โดยแบบสแตนเลสมีข้อดี คือเมื่อฮีตเตอร์เสียสามารถซ่อมได้ แบบคอปเปอร์ใช้สำหรับงานชุบโดยไฟฟ้า แช่ในกรด หรือสารละลาย



รูปที่ 3.23 แสดงฮีตเตอร์ชนิดต่าง ๆ ก. Cartridge Heater ข. Immersion Heater ค. Infrared Heater (www.heaterthai.com วันที่สืบค้น 02/02/2556)



รูปที่ 3.24 แสดงฮีตเตอร์ชนิดต่าง ๆ ก. Strip Heater ข. Coil Finned Heater ค. Bobbin Heater (www.heaterthai.com วันที่สืบค้น 02/02/2556)

3.8.1 การคำนวณหาพลังงานของฮีตเตอร์

$$\text{จากสมการ} \quad Q = mC_p\Delta T \quad (3.17)$$

เมื่อ Q = พลังงานที่ต้องการรู้ หน่วย Watt , kW

m = มวลหรือน้ำมันที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิ หน่วย Kg , ลิตร

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 °C คือ 1 kcal/kg c

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำมัน หน่วย °C

3.9 เหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส เป็นโลหะผสมเหล็กที่มีโครเมียมอย่างน้อย 10.5% เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมที่มีสาเหตุจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อสแตนเลส เกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสแตนเลสได้เป็นอย่างดี ปกป้องการกัดกร่อน และไม่ชำระหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สแตนเลสประเภทนี้จัดเป็น Commercial Grade ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของสแตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304 304 316 และ 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสแตนเลส ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

3.9.1 ประเภทของสแตนเลส

สแตนเลสแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐาน ได้ 5 กลุ่มคือ ออสเทนนิติก เฟอร์ริติก ดูเพล็กซ์ มาร์เทนซิติก และ กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยวิธีการตกผลึก

ก. กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) หรือ สแตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากถึง 70% มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูไม่ติด มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุนิกเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ (Fabrication) และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ 18/10 มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 10% สามารถทนการเกิดออกซิไดซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้ในส่วนของประกอบของเตาหลอม ท่อนำความร้อน และแผ่นกันความร้อนในเครื่องยนต์ เรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดทนความร้อน (Heat Resisting Steel)

ข. กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic) มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดติดได้ มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญจะอยู่ระหว่าง 10.5% - 27% มีนิกเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมาก ความต้านทานต่อการกัดกร่อนน้อยกว่าประเภทออสเทนนิติกแต่สูงกว่าประเภทมาร์เทนซิติก นิยมใช้ทำเครื่องประดับอ่างล้างมืออุปกรณ์สำหรับรถยนต์ โดยเฉพาะทำท่อไอเสียรถยนต์ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 403 405 409 434 436 442 และ 446 เป็นต้น

ค. กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดติด มีส่วนผสมของโครเมียม 12-14% มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1% ไม่มีนิกเกิล สแตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว และอบคืนตัว สามารถลดความแข็งได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน พบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป คุณสมบัติเด่นในด้านการต้านทานการสึกกร่อน และความแข็งแรงทนทาน เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 414 416 420 431 และ 440 เป็นต้น

ง. กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening) เกรดที่เป็นที่รู้จักในกลุ่มนี้คือ 17- 4 H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17% และนิกเกิล 4% เป็นการนำเหล็กกล้าไร้สนิมประเภทออสเทนนิติกหรือมาร์เทนซิติกไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เย็นทิ้งให้ตกตะกอนทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมที่ได้มีคุณสมบัติเหนียวแข็งแรงทนทานการกัดกร่อนสูง นิยมนำไปใช้ทำสปริงและสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งจากการตกผลึก โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 MPa ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน

จ. กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) เป็นแม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอร์ริตและออสเทนนิติก มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19 - 28% โมลิบดีนัมสูงกว่า 5% และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติก พบว่า มีการใช้งานมากโดยเฉพาะในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์ส่วนใหญ่เหล็กชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรีนสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน

3.10 พัดลม

มาตรฐาน JIS กำหนดไว้ว่าพัดลมที่มีแรงดันลมต่ำกว่า 1,000 mmH₂O เรียกว่าแฟน (Fan) ส่วนพัดลมที่มีแรงดันลมตั้งแต่ 1,000 mmH₂O ขึ้นไปแต่ไม่ถึง 10 mH₂O (0.1 MPa) เรียกว่าโบลวเออร์ (Blower) พัดลมมีหลายชนิดตามขนาดอัตราไหลความดันของของไหลที่ลำเลียงและวัตถุประสงค์การใช้งาน การจำแนกพัดลมสามารถแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศได้ 2 ลักษณะดังนี้

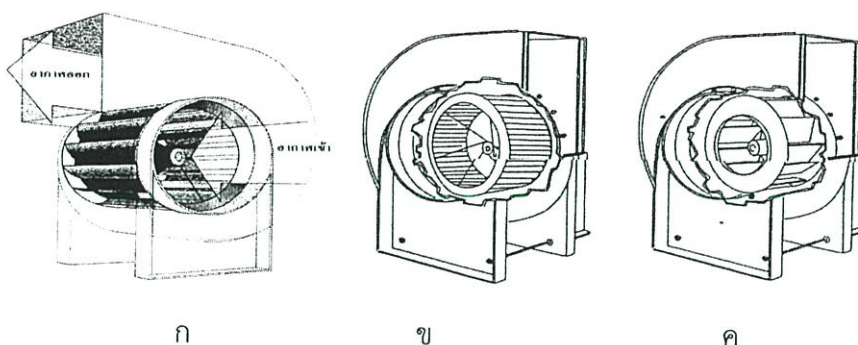
3.10.1 พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง (Centrifugal Flow or Radial Fans)

พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหรือพัดลมมีการไหลของอากาศในแนวรัศมี ประกอบด้วยใบพัดหมุนอยู่ในตัวเรือนของพัดลม (Fan House) ชุดใบพัดประกอบด้วยแผ่นใบเล็ก ๆ ประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะวงล้อ ค่าความดันของอากาศถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม ซึ่งสามารถเพิ่มค่าให้สูงขึ้นได้ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวของใบพัด ซึ่งทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในระบบมากยิ่งขึ้นอากาศไหลผ่านเข้าท่อทางเข้าโดยมีทิศทางขนานกับแกนของใบพัดและไหลออกในทิศทางตั้งฉากกับแกนของใบพัดพัดลมประเภทนี้จำแนกตามลักษณะรูปร่างของใบพัดเป็น 3 แบบคือ แบบตรง โค้งหน้า และโค้งหลังดังแสดงในรูปที่ 3.25

ก. แบบใบพัดตรง (Straight Blade หรือ Radial Fans) พัดลมชนิดนี้มีจำนวนใบน้อยที่สุดประมาณ 6 ถึง 20 ใบและใบพัดอยู่ในระนาบรัศมีจากเพลลาใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบอย่างต่ำประมาณ 500-3000 rpm ดังนั้นจึงเหมาะกับงานที่ต้องการปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจำนวนน้อย ๆ ที่มีค่าความกดดันของอากาศสูง

ข. แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward Curved Blade Fans) พัดลมประเภทนี้มีเสียงเบาที่สุดเมื่อเทียบกับพัดลมชนิดอื่น ๆ มีข้อเสียคือมอเตอร์ทำงานเกินกำลัง และมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร การหมุนใบพัดหมุนไปในทิศทางเดียวกับชุดใบพัด มีจำนวนแผ่นใบพัดประมาณ 20 - 60 ใบ ชุดใบพัดมีลักษณะคล้ายกับกรงกระรอก (Squirrel Cage) เพลลาใบพัดมีขนาดเล็ก หมุนด้วยความเร็วรอบสูงกว่าพัดลมใบพัดรัศมีตรงความเร็วลมที่เคลื่อนที่เร็วกว่าพัดลมใบพัดโค้งไปข้างหลัง ที่ความเร็วปลายใบพัดแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เป็ดกว้างเพิ่มขึ้น ค่ากำลังงานที่ให้กับแกนของพัดลมเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดลักษณะที่มอเตอร์ทำงานเกินกำลังได้ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้พัดลมประเภทนี้กับระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พัดลมชนิดนี้ให้ค่าความดันลมและอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมคือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เป็ดกว้างประมาณ 30 - 50%

ค. แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward Curved Blade Fans) พัดลมประเภทนี้มีราคาสูง แต่มีได้เปรียบมากกว่าพัดลมประเภทอื่น การทำงานของพัดลมเป็นพัดลมที่มีความเร็วรอบสูงไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง ไม่มีช่วงของการทำงานของพัดลมที่ไม่มีความเสถียร ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมคือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 50 – 60% ใบพัดของพัดลมประเภทนี้มีจำนวนใบไม่ถึงละเอียดเท่ากับพัดลมใบพัดโค้งไปข้างหน้ามีจำนวนใบพัด 10 – 50 ใบ มุมที่โค้งไปข้างหลังนี้จะต้องเป็นมุมที่พอเหมาะ ซึ่งจะสามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานความกดดันโดยตรงได้มากที่สุด เหมาะใช้กับการระบายอากาศ เนื่องจากสามารถควบคุมความกดดันและปริมาณลมได้ง่ายกว่า



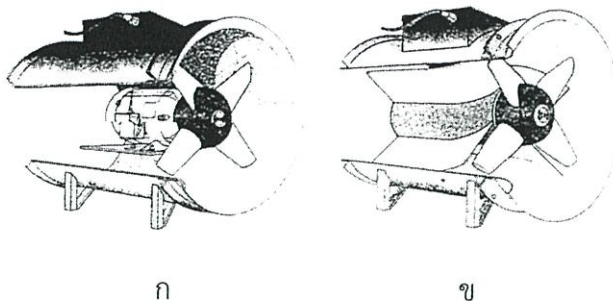
รูปที่ 3.25 พัดลมแบบหมุนแรงเหวี่ยง ก. การไหลของอากาศผ่านตัวพัดลมแบบหมุน ข. แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า ค. แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (www.cw.rmuti.ac.th วันที่สืบค้น 03/02/2556)

3.10.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)

พัดลมแบบนี้อากาศจะไหลขนานกับแกนของใบพัดและตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดถูกติดตั้งบนแกนเพลลาขับของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ในตัวพัดลมทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปกับอากาศที่ถูกขับเคลื่อน พัดลมชนิดนี้มีราคาถูก การทำงานของพัดลมมีเสียงดังและมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมประเภทนี้คือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 55 – 75% ซึ่งจะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดสามารถส่งปริมาณลมได้มาก จึงเหมาะกับงานที่มีความต้านทานลมต่ำ งานระบายอากาศมีขนาดเล็กเคลื่อนย้ายง่ายสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะคือลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว และลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.26

ก. ลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว (Tube Axial Fans) มีโครงสร้างประกอบด้วยชุดใบพัดหมุนภายในท่อรูปทรงกระบอกกลมที่ถูกขับเคลื่อนให้ผ่านชุดใบพัดหมุนเป็นเกลียวมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน พัดลมชนิดนี้ให้ค่าความกดดันของลมปานกลาง

ข. ลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง (Vane Axial Fans) มีแผ่นครีบเพื่อใช้ในการบังคับการไหลของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนติดตั้งอยู่ในตัวเรือนของพัดลม บริเวณช่องทางออกบริเวณด้านหลังชุดใบพัดช่วยในการไหลของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนมีการไหลเป็นเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งช่วยลดลักษณะการไหลของอากาศปั่นป่วนลดลง และลดพลังงานสูญเสียเนื่องจากการไหลของอากาศปั่นป่วนภายในระบบให้น้อยลงทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานและราคาสูงกว่าพัดลมชนิดพัดลมเป็นเกลียว (Tube Axial Fans)



รูปที่ 3.26 พัฒนแบบอากาศไหลตามแนวแกน ก. พัฒนชนิด Tube Axial Fans ข. พัฒนชนิด Vane Axial Fans (www.cw.rmuti.ac.th วันที่สืบค้น 03/02/2556)

3.11 ตลับลูกปืน (Bearing)

ตลับลูกปืนหรือแบริ่ง เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ใช้รองรับเพลลาให้เที่ยงตรงทั้งแนวรัศมีแนวแกนมีหน้าที่หลักในการ รับน้ำหนัก และถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นจากเพลลาไปสู่ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่มีการหมุน ช่วยลดแรงเสียดทานหรือลดความฝืด (Friction) ระหว่างการหมุนหรือเลื่อนชิ้นส่วนอื่นสามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อเกิดการสึกหรอหรือชำรุด ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่ต้องเปลี่ยนเพลลาหรือเฟืองแบริ่ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แบริ่งกาบ (Plain Bearings) และแบริ่งลูกปืน (Rolling Bearing) ดังแสดงในรูปที่ 3.27

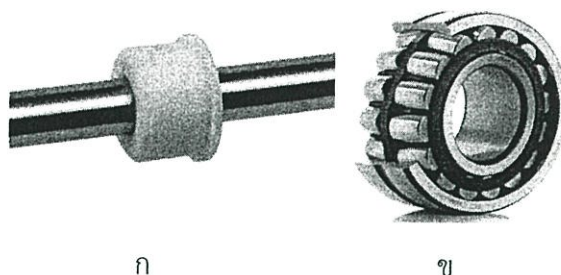
3.11.1 แบริ่งกาบ (Plain Bearings)

มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงโดยมีแกนหมุนอยู่ภายใน ส่วนของแกนหมุนหรือเพลลาที่หมุนอยู่ภายใน ส่วนของแกนหมุนหรือเพลลาที่หมุนอยู่ในแบริ่ง เรียกว่า เจอร์นอล (Journal) ส่วนรูปทรงกระบอกกลวงเรียกว่า เจอร์นอลแบริ่ง (Journal Bearing) ซึ่งทำด้วยโลหะหรือส่วนผสมของโลหะที่มีเนื้ออ่อนกว่าเจอร์นอล และสามารถแบ่งเป็น ทรัสต์แบริ่ง (Trust Bearing) ซึ่งตัวเจอร์นอลได้รับแรงกดและหมุนอยู่ภายใน เจอร์นอลแบริ่ง กับไกด์แบริ่ง (Guide Bearing) ซึ่งตัวเจอร์นอลเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตามแนวยาวของเจอร์นอลแบริ่ง ซึ่งแบริ่งกาบโดยทั่วไปใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นมากกว่าจาระบี และใช้จาระบีในกรณีที่แบริ่งไม่มีระบบป้องกันหรือซีลเพียงพอสำหรับน้ำมัน ในขณะที่ตัวเจอร์นอลหมุนอยู่ภายในแบริ่ง น้ำมันจะถูกเหวี่ยงเข้ามาเป็นฟิล์มป้องกันไม่ให้ผิวของเจอร์นอลและแบริ่งมาสัมผัสกัน ความหนืดของน้ำมันไม่ควรต่ำเกินไปจนฟิล์มน้ำมันไม่สามารถแยกผิวสัมผัสทั้งสองออกจากกันได้ ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นสูงขนาดน้ำมันหล่อลื่นลูกสูบ การเลือกความหนืดของน้ำมันขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ แรงกด และอุณหภูมิในขณะที่ใช้งาน

3.11.2 แบริ่งลูกปืน (Rolling Bearing)

ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ช่วยการหมุนเคลื่อนที่อยู่ระหว่างวงแหวนชั้นในและชั้นนอก ได้แก่ ลูกปืน ที่ทำด้วยโลหะแข็ง อาจมีลักษณะกลมเหมือนลูกเกิดในลักษณะเลื่อนสัมผัส (Sliding) ของผิวสัมผัสทั้งสอง ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น สามารถลดแรงเสียดทานลงโดยการเปลี่ยนการเคลื่อนไหวยแบบเลื่อนสัมผัส (Rolling) โดยการติดตั้งวงแหวนซึ่งประกอบด้วย ลูกปืน ที่ทำด้วยโลหะแข็ง อาจมีลักษณะกลมเหมือนลูกบอลหรือเป็นแบบลูกกลิ้งเคลื่อนที่อยู่ระหว่างวงแหวนชั้นในและชั้นนอกแบริ่ง

ลูกปืนส่วนใหญ่ใช้จาระบีเป็นตัวหล่อลื่น จาระบียังทำหน้าที่เป็นซีลป้องกันไม่ให้ความชื้นหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ เข้าไปทำความเสียหายแก่ลูกปืน การเลือกชนิดของจาระบีขึ้นอยู่กับความเร็วรอบแรงกด และอุณหภูมิของแบริ่งในขณะใช้งาน โดยทั่วไปใช้จาระบีเอนกประสงค์ที่ทำด้วยสบู่ลิเทียมในงานบางประเภทที่มีความต้องการจาระบีที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำคือไม่เหลวและไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในขณะที่ใช้งานภายใต้อุณหภูมิต่ำ เช่น จาระบีสำหรับเครื่องบิน เป็นต้น ในบางสถานะจาระบีต้องมีคุณสมบัติทนต่อการถูกชะล้างโดยน้ำและน้ำมันต้องไม่แยกตัวออกจากจาระบี เป็นต้น แบริ่งลูกปืนหมุนรอบจัดซึ่งมีความร้อนเกิดขึ้นสูง ต้องใช้น้ำมันในการหล่อลื่นขณะเดียวกันช่วยระบายความร้อน แบริ่งเหล่านี้เป็นแบบปิด แห่อยู่ในอ่างน้ำมันหรือใช้วิธีฉีดพ่นหรือหยดน้ำมัน



รูปที่ 3.27 แบริ่งต่าง ๆ ก. แบริ่งกบ ข. แบริ่งลูกปืน (www.mwagroups.com

วันที่สืบค้น 03/02/2556)

3.12 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของ 3-Phases Squirrel-Cage Induction Motor ทำหน้าที่แปลงกลับสัญญาณจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยวิธีการปรับแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับมอเตอร์ บางครั้งเรียกว่า “ V/F Control”

3.12.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์แปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟกระแสตรงถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรทั้งสองนี้เป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์โดยไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาทำเปลี่ยนมาจากแบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแผงโซลาร์เซลล์ ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จะเหมือนกับไฟฟ้าที่ได้จากปลั๊กไฟตามผนังบ้าน โดย Inverter ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ พัดลม หรืออุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรง

3.12.2 ลักษณะเด่นของอินเวอร์เตอร์

- ก. มีโอเวอร์โหลด ในตัว
- ข. สามารถกลับเฟสไฟเข้ามอเตอร์ได้ ทำให้สั่งมอเตอร์เดินหน้าถอยหลังได้
- ค. สามารถต่อกับโวลุ่ม เพื่อปรับลดรอบมอเตอร์ได้
- ง. สามารถต่อกับสวิสท์ปุ่มกดและสวิสท์โยกธรรมดา เพื่อสั่งอินเวอร์เตอร์ได้

จ. ตั้งความเร็วรอบมอเตอร์ล่วงหน้าได้ 4 จังหวะ โดย สามารถต่อสวิสท์ภายนอกเพื่อกดสั่งได้ เหมาะกับเครื่องกลึง ใส ปาด เจียร

3.12.3 มอเตอร์ (Motor Control)

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปทำการขับเคลื่อนเครื่องจักรอื่น ๆ ซึ่งในการนำอินเวอร์เตอร์ (Inverter) มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับมอเตอร์ (Motor) โดยความเร็วรอบของมอเตอร์ สามารถกำหนดได้โดย

ก. แรงบิดของโหลด

ข. จำนวนขั้วของมอเตอร์

ค. ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับมอเตอร์

ง. แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์

ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$\text{ความเร็วรอบ } N = \{[120 * \text{ความถี่ } f \text{ (Hz)}] / \text{จำนวนขั้ว } P\} * (1-S)$$

โดยเทอม 1-S กำหนดโดยโหลด

จากสูตรข้างต้นพบว่าถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้มอเตอร์มีความเร็วเปลี่ยนแปลงได้ด้วย แต่เมื่อทำการเปลี่ยนความถี่โดยให้แรงดันคงที่ มีผลทำให้เกิดฟลักส์แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ร้อนจนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนแรงดันควบคู่ไปกับความถี่ด้วย และการที่เปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสามารถทำได้โดยการใช้อินเวอร์เตอร์

3.12.4 พิจารณาการเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์กับมอเตอร์

ก. การรวมกันและเข้ากันได้ระหว่างอินเวอร์เตอร์กับมอเตอร์ เช่น ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์หรือมอเตอร์ ใช้ไฟฟ้าระบบ 3 เฟส 380 V AC 3 เฟส 220 V AC หรือ 1 เฟส 220 V AC เป็นต้น

ข. ความสามารถของอินเวอร์เตอร์ แบ่งได้ 2 ชนิด

- ในระหว่างการเร่งความเร็วหรือการควบคุมความเร็วให้คงที่ ต้องสามารถตอบสนองได้ทันทีเมื่อมีการขับมอเตอร์ โดยไม่เกินพิกัดกระแส (Overload Current Rate)

- ในระหว่างการลดความเร็วลง ต้องมีความสามารถในการกำจัดและยับยั้งพลังงานที่มาจากมอเตอร์ขณะลดความเร็วลง

ค. กระแสพิกัดเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ มากกว่าหรือเท่ากับ กระแสพิกัดของมอเตอร์ $\times 1.1$

3.12.5 หลักการควบคุมมอเตอร์

ก. การสตาร์ท ทำได้โดยให้สัญญาณตั้งความถี่แก่อินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์จะสร้างแรงบิด จากนั้นอินเวอร์เตอร์ค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของ โหลด มอเตอร์จึงเริ่มหมุน

ข. การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่ หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขาออกค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่คือ

เวลาการเร่งความเร็ว และเมื่อความถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ การเร่งความเร็วก็จบ อินเวอร์เตอร์เข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่

ค. การลดความเร็ว ทำได้โดยตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อย ๆ ตามช่วงเวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะที่ลดความถี่ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะทำงานเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ (Regeneration) ทำให้แรงดันไฟตรง (แรงดันคร่อมคอนเดนเซอร์) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายในอินเวอร์เตอร์มีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการ Regeneration ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเบรคมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่า วงจรเบรคคืนพลังงานในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้หลาย ๆ ครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย (แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการลด ความเร็วมีขนาดเล็ก) อัตราการใช้งานวงจรเบรคก็ต่ำ บางครั้งอาจไม่ทำงานเลยอัตราการใช้งานวงจรเบรคนี้ ได้รับการออกแบบโดยการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนไว้ที่ 2-3 % เท่านั้น ถ้ามีการใช้เบรคบ่อยหรือใช้เบรคนานเกินไป ทำให้เกิดปัญหาการระบายความร้อนของตัวต้านทาน และอาจ ทำให้ทรานซิสเตอร์เสื่อมได้

ง. การหยุด อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงจนถึงระดับหนึ่ง และจะผลิตไฟตรงเข้าไปในมอเตอร์เพื่อทำงานเป็นเบรค จนมอเตอร์หยุด เรียกว่า การเบรคด้วยไฟตรง

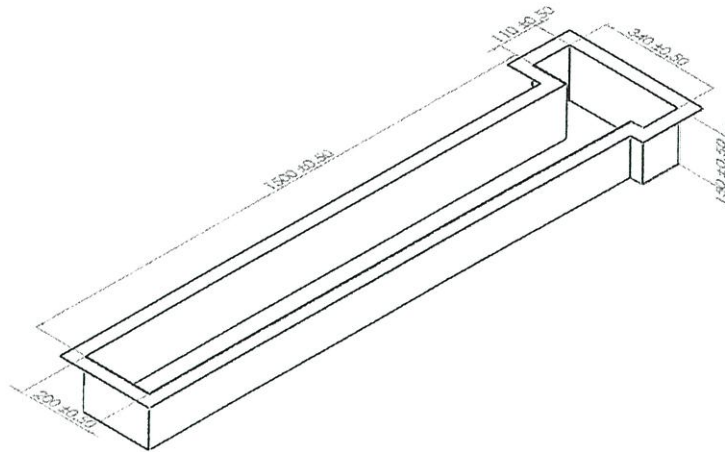
บทที่ 4

การออกแบบ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อเนื่องมาจากงานวิจัย เรื่องการศึกษาค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบเครื่องทอดปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องต้นแบบ ของนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมอาหารปีการศึกษา 2554 โดยพบว่าเครื่องทอดปาท่องโก๋ต่อเนื่องต้นแบบ มีลักษณะของรางทอดและชุดทำความร้อนที่สามารถทำงานได้โดยไม่เกิดข้อบกพร่อง แต่ระบบไหลวนของน้ำมันไม่สามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางรางทอดในเวลาที่กำหนดได้ ทางผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นทำการศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่อง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว สำหรับแนวทางการออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การออกแบบรางทอดของเครื่องทอดต่อเนื่อง

การออกแบบขนาดของรางทอดของเครื่องทอดต่อเนื่องได้พัฒนามาจากขนาดของเครื่องทอดปาท่องโก๋ โดยเครื่องทอดปาท่องโก๋มีขนาด ความกว้าง×ความยาว×ความสูง เท่ากับ $10 \times 170 \times 10$ cm มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ขนาดรางทอดของเครื่องทอดต่อเนื่องมีลักษณะที่แตกต่างจากรางทอดปาท่องโก๋ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของกระบวนการทอดและส่วนของกระบวนการทำให้ไหล (ส่วนของใบพัด) ซึ่งในส่วนของกระบวนการทอดมีขนาด ความกว้าง×ความยาว×ความสูง เท่ากับ $20 \times 150 \times 15$ cm เมื่อเปรียบเทียบกับรางทอดปาท่องโก๋เดิมมีการเพิ่มขนาดความกว้างเป็น 2 เท่า เป็นเหตุเนื่องมาจากความต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตที่สูงขึ้นเมื่อใช้เวลาในกระบวนการทอดที่เท่ากัน จากเดิมสามารถทอดผลิตภัณฑ์ได้ที่ละ 1 แถว จึงสามารถเพิ่มปริมาณการทอดผลิตภัณฑ์ได้อีกและการเพิ่มความสูงของรางทอดเนื่องจากใบพัดมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 cm และปริมาณน้ำมันต้องท่วมใบพัด เพื่อให้ได้ลักษณะ ซึ่งระดับของน้ำมันคือ 12.5 cm จึงต้องออกแบบความสูงของรางทอดให้มีขนาดที่เหมาะสมกับระดับของน้ำมัน คือ 15 cm และขนาดรางอีกส่วน คือส่วนของใบพัด ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $34 \times 11 \times 15$ cm โดยความกว้างของส่วนใบพัดมีขนาดใหญ่กว่าส่วนของกระบวนการทอด เพราะต้องการให้ใบพัดทำงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงออกแบบให้ใบพัดวางตัดพื้นที่การไหลได้เต็มพอดี โดยมีความยาว 20 cm ดังนั้น ขนาดรางทอดในส่วนของใบพัดจึงมีขนาดที่กว้างกว่าในส่วนของกระบวนการทอด อีกทั้งบริเวณด้านข้างและด้านล่างทั้งหมดของรางทอดต่อเนื่องได้ทำการหุ้มฉนวนใยหินเพื่อเป็นการลดปริมาณการสูญเสียความร้อนอันนอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น แผ่นสแตนเลส ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์ตกไปสัมผัสกับชุดทำความร้อน ซึ่งถ้ามีตะกอนตกไปสัมผัสกับชุดทำความร้อนทำให้คุณภาพน้ำมันเสื่อมเสีย แผ่นกรองมีหน้าที่ในการกรองน้ำมันที่ใช้ในการไหลวนมีความสะอาดกรองเศษของผลิตภัณฑ์ที่เข้าไปในบริเวณใบพัดไหล ทำการติดตั้งวาล์วชุดทำความร้อน และระบายน้ำมันออกเพื่อใช้ในการระบายน้ำมันออกจากรางทอด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขนาดรางทอดของเครื่องทอดต่อเนื่อง

4.2 การคำนวณหาขนาดของใบพัด

เพื่อการไหลวนของน้ำมันให้มีประสิทธิภาพจึงต้องมีการออกแบบขนาดและรูปทรงของใบพัดให้มีความเหมาะสมกับเครื่องทอดต่อเนื่อง โดยใช้หลักการออกแบบกังหันประเภทไหลขวางแกน (Cross Flow Turbine) จากงานวิจัยของ Chattopadhyay (2010) ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

การคำนวณหาพื้นที่ที่น้ำมันไหล

จากสมการ

$$A = W \times L$$

$$\begin{aligned} \text{ซึ่ง ความกว้างและความยาวของรางในช่วงกระบวนการทอด} &= 0.20 \times 1.61 \text{ m}^2 \\ &= 0.20 \times 1.61 \end{aligned}$$

$$A = 0.322 \text{ m}^2$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ที่น้ำมันไหล (m^2)
 W คือ ความกว้างของรางทอด (m)
 L คือ ความยาวของรางทอด (m)

การคำนวณหาค่าความเร็วของกระแสการไหลของน้ำมัน

จากสมการ

$$V = \frac{s}{t}$$

ซึ่ง s คือ ระยะทางของรางทอด = 150 cm

t คือ เวลาที่ใช้การทอดปลาต่อ 1 ตัว = 2 นาที (ในที่นี้ใช้ปลาต่อ 1 ตัวเป็นผลิตภัณฑ์

ตัวอย่าง)

$$r_i = \frac{D}{2}$$

$$V = 0.0125 \text{ m/s}$$

การคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำมัน

จากสมการ

$$Q = A \times V \\ = 0.322 \times 0.0125$$

$$\text{อัตราการไหล (Q)} = 0.00403 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

การคำนวณหาจำนวนรอบการทำงานของมอเตอร์

จากสมการ

$$N = \frac{39.81\sqrt{0.125}}{0.10}$$

ซึ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหัน (D) = 10 cm

$$N = \frac{39.81\sqrt{0.125}}{0.10}$$

จำนวนรอบการทำงานของมอเตอร์ (N) = 137.91 rpm

โดยที่ H คือ ระดับความสูงของน้ำมัน (m)

D คือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด (m)

การคำนวณหาช่องว่างระหว่างใบพัด

จากสมการ

$$t = 0.174 \times D \\ = 0.174 \times 0.10 \\ = 0.0174 \quad \text{m}$$

ระยะของช่องว่างระหว่างใบพัด (t) = 1.74 cm

การคำนวณหาความหนาของใบพัด

จากสมการ

$$s = \frac{0.22 \times Q}{L\sqrt{H}} \\ s = \frac{0.22 \times 0.00403}{1.61\sqrt{0.125}} \\ = 0.00156 \quad \text{m} \\ = 0.156 \quad \text{cm}$$

ความหนาของใบพัด (s) = 1.56 mm

การคำนวณหารัศมีความกว้างของขอบใบพัด

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad a &= 0.17 \times D \\ &= 0.17 \times 0.10 \\ &= 0.017 \quad \text{m} \\ \text{รัศมีความกว้างของขอบใบพัด (a)} &= 1.7 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

การคำนวณหารัศมีวงนอก

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad r_1 &= \frac{D}{2} \\ &= \frac{0.10}{2} \\ &= 0.05 \quad \text{m} \\ \text{รัศมีวงนอก (r}_1\text{)} &= 5 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

การคำนวณหารัศมีวงใน

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad r_2 &= 0.33 \times D \\ &= 0.33 \times 0.10 \\ &= 0.033 \quad \text{m} \\ \text{รัศมีวงใน (r}_2\text{)} &= 3.3 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

การคำนวณหารัศมีความโค้งของใบพัด

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad O &= 0.163 \times D \\ &= 0.163 \times 0.10 \\ &= 0.0163 \quad \text{m} \\ \text{รัศมีความโค้งของใบพัด (O)} &= 1.63 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

เมื่อได้ค่าของตัวแปรทั้งหมดจึงทำการวาดรูปใบพัดลงในกระดาษโดยมีขั้นตอนการวาดใบพัดดังต่อไปนี้

ก. กำหนดจุด O เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม สร้างวงกลมตามค่าของรัศมีวงนอก (r_1) จากนั้นสร้างวงกลมตามค่ารัศมีวงใน (r_2) ในโดยมีจุด A เป็นจุดศูนย์กลาง

ข. ลากเส้นจากจุด O ไปยังเส้นรัศมีวงนอก (r_1) กำหนดให้เป็นจุด A

ค. ลากเส้นสัมผัสกับวงกลมโดยเส้น AB ตั้งฉากกับเส้น AO

ง. จากเส้น AB วัดมุมที่มีขนาด 30° จะได้มุมแหลม BAE

จ. ลากเส้นตั้งฉากกับเส้น AE จะได้เส้นตรง AD

ฉ. ใช้จุด A เป็นจุดเริ่มต้นจากนั้นใช้ค่ารัศมีความโค้งของใบพัดลากตัดเส้น AD จุดตัดเป็นจุด C

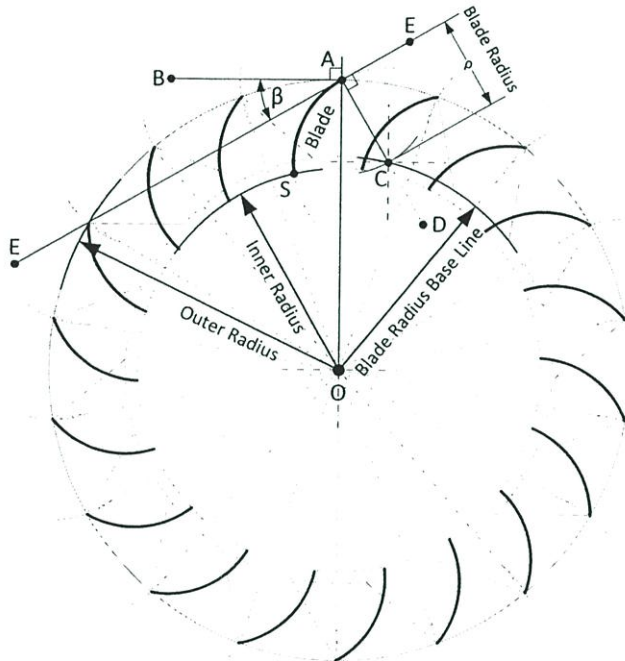
ช. สร้างวงกลมใหม่โดยใช้จุด C เป็นจุดศูนย์กลางและค่ารัศมีมีค่าเท่ากับระยะจากจุด A ไปจนถึงจุด C

ซ. ใช้ค่าระยะห่างของใบพัดกึ่งหัน (t) ที่ได้จากการคำนวณมาตัดเส้นรัศมีวงนอกโดยเริ่มที่จุด A จากนั้นใช้จุดตัดที่ได้เป็นจุดเริ่มตัดและใช้ค่าระยะห่างของใบพัดกึ่งหัน (t) มาตัดเส้นรัศมีวงนอก ทำไปจนบรรจบที่จุด A

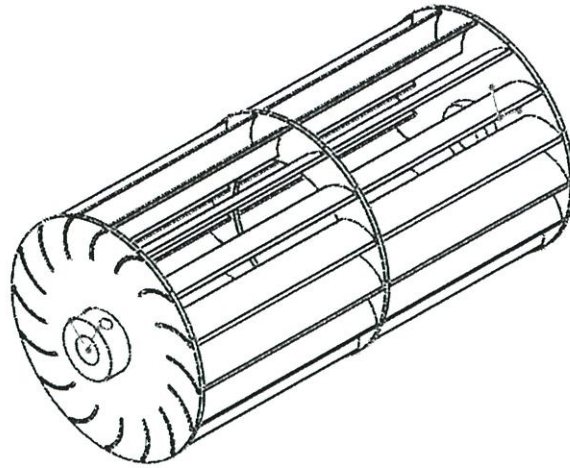
ฅ. ใช้จุดที่ตัดกับรัศมีวงนอกแต่ละจุดเป็นจุดหมุนและวัดระยะให้มีค่าเท่ากับค่ารัศมีความโค้งของใบพัด (AC) ไปตัดกับวงกลมที่ได้สร้างขึ้นมาใหม่ในข้อ ซ.

ญ. ใช้จุดตัดกับวงกลมที่สร้างขึ้นมาใหม่ที่ได้จากข้อ ฅ. เป็นจุดหมุนและวัดระยะให้มีค่าเท่ากับค่ารัศมีความโค้งของใบพัด (AC) จากนั้นลากเส้นโค้งจากเส้นรัศมีวงนอก (r_2) ไปจนถึง เส้นของรัศมีวงใน (r_1) ลากเส้นโค้งไปเรื่อยๆจนครบวง ซึ่งการออกแบบใบพัด แสดงดังรูปที่ 4.2

เมื่อทำตามขั้นตอนการวาดใบพัด จะได้ใบพัดที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่และให้ความหนาแต่ละใบของใบพัดมีค่าเท่ากับ 1.56 mm โดยที่ความยาวของใบพัดมีขนาด 20 cm โดยที่ลักษณะของใบพัด แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแบบของค้ประกอบของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบใบพัด



รูปที่ 4.3 รูปสามมิติของใบพัดหลังจากการออกแบบ

4.3 การคำนวณหากำลังของชุดทำความร้อน (Heater)

การเลือกใช้กำลังของชุดทำความร้อน (Heater) จากการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการใช้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงของการอุ่นน้ำมันให้ร้อน และช่วงของการทอดผลิตภัณฑ์

4.3.1 ช่วงการอุ่นน้ำมันให้ร้อน ซึ่งต้องการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการคือ $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายในระยะเวลา 20 min ซึ่งค่าคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าดังต่อไปนี้

โดยที่ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีค่า : $C_p = 1.875\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีค่า : $C_p = 2.358\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$

ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีค่า : $\rho = 885\text{ kg/m}^3$

ค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีค่า : $\rho = 818\text{ kg/m}^3$

ใส่น้ำมันในรางทอดสูง 12.5 cm ซึ่งรางทอด 2 ส่วนซึ่งมีขนาดดังนี้มีขนาด

$$A = (20 \times 150) + (34 \times 11)$$

$$= 3374 \quad \text{cm}^2$$

$$A = 0.3374 \quad \text{m}^2$$

ดังนั้น ปริมาตรน้ำมันทั้งหมดมีค่า $V = A \times H$

$$V = 0.125 \times 0.3374$$

$$\text{ปริมาตรน้ำมัน (V)} = 0.0422 \quad \text{m}^3$$

โดยที่ H คือ ความสูงของระดับน้ำมัน (m)

การคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมัน

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad m &= \rho \times V \\
 &= 885 \times 0.0422 \\
 &= 37.347 \quad \text{kg/20 min} \\
 &= \frac{37.347}{20 \times 60} \quad \text{kg/s}
 \end{aligned}$$

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมัน (m)} = 0.0311 \quad \text{kg/s}$$

โดยที่ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่อุณหภูมิ 30 °C (kg/m³)

การคำนวณหาค่าพลังงานที่ต้องการใช้

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad Q_1 &= m \times C_p \times \Delta T \\
 &= 0.0311 \times 1.875 \times (180-30) \\
 &= 8.747 \quad \text{kJ/s}
 \end{aligned}$$

$$\text{พลังงานความร้อน (Q}_1\text{)} = 8,747 \quad \text{W}$$

โดยที่ C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 30 °C (kJ/kg °C)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C)

4.3.2 ช่วงของกระบวนการทอดผลิตภัณฑ์ (ซึ่งใช้ปาห้องโก้เป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างการทดลอง) ความต้องการใช้พลังงานความร้อนมีสองอย่างด้วยกันคือ น้ำมัน และปาห้องโก้

ก. ต้องการทอดปาห้องโก้ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 30 °C ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการคือ 180 °C โดยปาห้องโก้ 40 ตัว ใช้ระยะเวลาในการทอด 2 min

คำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลได้จาก

ปาห้องโก้ 1 ตัวมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 0.00362 kg

$$\begin{aligned}
 m &= 40 \times 0.00362 \\
 &= 0.1448 \quad \text{kg/ 2min} \\
 &= \frac{0.1448}{2 \times 60} \quad \text{kg/s}
 \end{aligned}$$

$$m = 0.00121 \quad \text{kg/s}$$

โดยที่ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของปาห้องโก้มีค่า (C_p) = 2.765 kJ/kg °C

การคำนวณหาค่าพลังงานที่ต้องการใช้

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad Q_2 &= m \times C_p \times \Delta T \\
 &= 0.00121 \times 2.765 \times (180-30)
 \end{aligned}$$

$$\text{พลังงานความร้อน (Q}_2\text{)} = 0.5 \quad \text{kJ/s}$$

ข. ในระหว่างกระบวนการทอดปาท่องโก๋ทำให้อุณหภูมิน้ำมันลดลง 3 °C ภายในระยะเวลา 2 min

การคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล

จากสมการ

$$m = \rho \times q$$

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_3 = \rho \times q \times c_p \times \Delta T$$

$$= 818 \times 0.00403 \times 2.358 \times (3)$$

$$= 23.320 \quad \text{kJ/2 min}$$

$$= \frac{23.320}{2 \times 60} \quad \text{kJ/s}$$

$$\text{พลังงานความร้อน (} Q_3 \text{)} = 0.194 \quad \text{kJ/s}$$

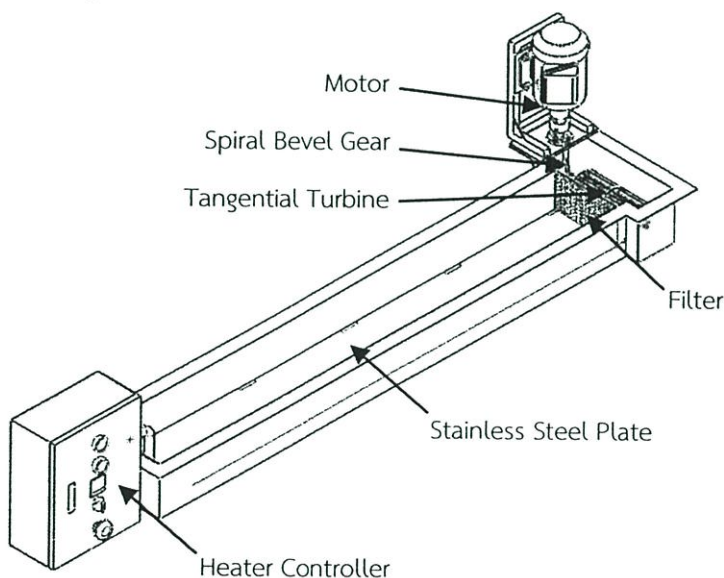
ดังนั้น ช่วงของการทอดปาท่องโก๋ต้องใช้พลังงานความร้อน

$$Q_t = Q_2 + Q_3$$

$$= 0.5 + 0.194$$

$$= 0.694 \quad \text{kW}$$

จะได้ว่าช่วงการอุ่นน้ำมันต้องการใช้พลังงานมากกว่าช่วงของการทอดผลิตภัณฑ์ จึงเลือกใช้ชุดทำความร้อนที่สามารถทำความร้อนที่มากกว่าเพื่อให้ครอบคลุมการใช้งานทั้งระบบ ซึ่งช่วงการอุ่นน้ำมันมีความต้องการใช้พลังงานความร้อนนี้คือ 8.747 kW แต่ในแค็ตตาล็อกชุดทำความร้อนมีขนาด 8.5 kW และ ขนาด 9 kW จึงควรเลือกใช้ชุดทำความร้อนที่มีขนาด 9 W แต่เนื่องจากราคาของชุดทำความร้อนขนาด 8 - 10 kW มีราคาเท่ากัน ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกชุดทำความร้อนขนาด 10 kW เพื่อเป็นการลดเวลาของการรอคอยในช่วงการอุ่นน้ำมันทำการออกแบบส่วนประกอบร่างทอดครบทุกส่วนโดยลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

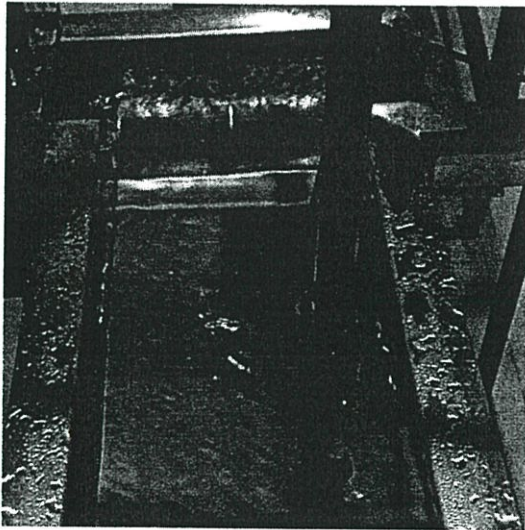
บทที่ 5

การทดสอบและผลของการทดสอบ

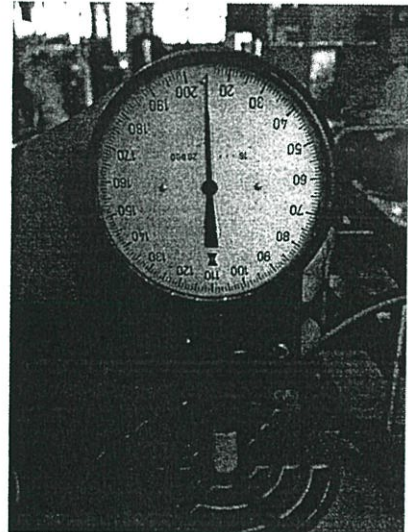
5.1 การทดสอบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่องต้นแบบ

5.1.1 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น

ทดสอบการทำงานเบื้องต้นหลังจากใบพัดสร้างสำเร็จ เพื่อทดสอบว่าใบพัดสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยใช้น้ำเป็นของไหลในการทดสอบ จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และนำไปใช้กับระบบการไหลเวียนสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่องได้แก่ค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์ ความเร็วของการไหลของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดโดยทำการทดลองการไหลของน้ำที่อุณหภูมิต่างกันเพื่อพิสูจน์ข้อสมมติฐานที่ว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงส่งผลต่อการไหลทำให้น้ำไหลได้ช้าลงในค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เท่ากันโดยแบ่งเป็นสองการทดลอง คือ ทำการวัดค่าความเร็วในการไหลของน้ำ และค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้องกับน้ำอุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ผลว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ โดยมีอุปกรณ์ในการทดลอง คือ เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ เครื่องวัดความเร็วรอบแบบสัมผัส เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำมัน ที่วัดอุณหภูมิแบบสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2

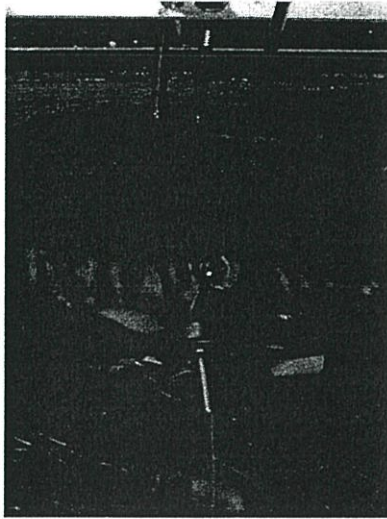


ก

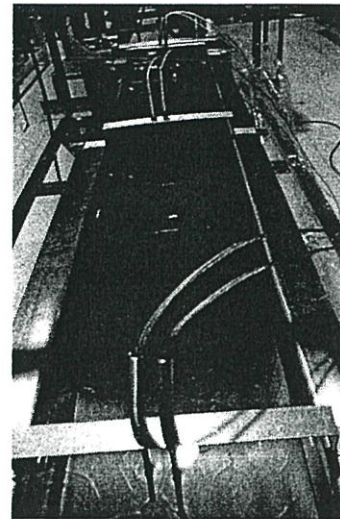


ข

รูปที่ 5.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ก) การวัดความเร็วของน้ำด้วยเครื่องวัดความเร็วของการไหลแบบพัด ข) การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบแบบสัมผัส



ก

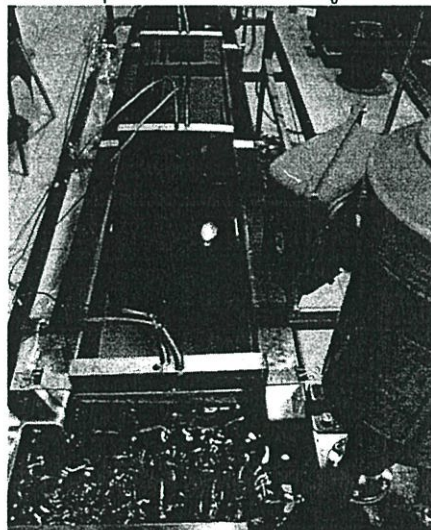


ข

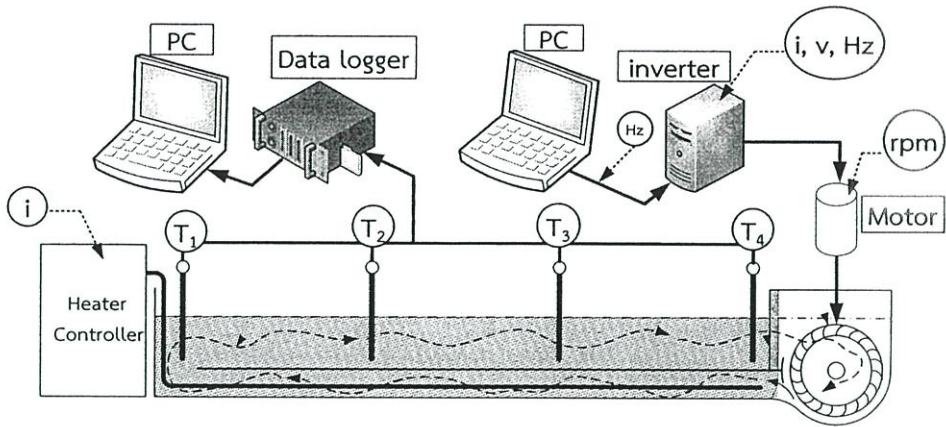
รูปที่ 5.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ก) เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำมัน ข) ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิน้ำมันในรางทอด

5.1.2 การทดสอบปรับความเร็วในการไหลโดยใช้น้ำมัน

จากข้อสมมติฐานเดิมที่ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ของไหลไหลได้เร็วมากขึ้นในค่าความเร็วรอบใบพัดที่เท่ากัน จึงได้ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันซึ่งมีความหนืดสูงกว่าน้ำมาก มาใช้เป็นของไหลในการทดสอบ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง คือ น้ำมันอุณหภูมิห้อง น้ำมันอุณหภูมิ 80 °C น้ำมันอุณหภูมิ 120 °C และน้ำมันอุณหภูมิ 180 °C โดยแต่ละการทดลองทำการวัดค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ คือ วัดค่าอุณหภูมิ 8 จุด ที่ระยะ 5, 49, 97 และ 145 cm ตามลำดับ ด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล โดยวัดอุณหภูมิทั้งด้านบน ด้านล่างแผ่นสแตนเลส และเก็บค่าอุณหภูมิด้วยดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger) วัดค่าความเร็วในการไหล และ ค่าความเร็วรอบของใบพัด นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ ซึ่งลักษณะการไหลของน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และรายละเอียดของอุปกรณ์ดังในแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการไหลของน้ำมัน



รูปที่ 5.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

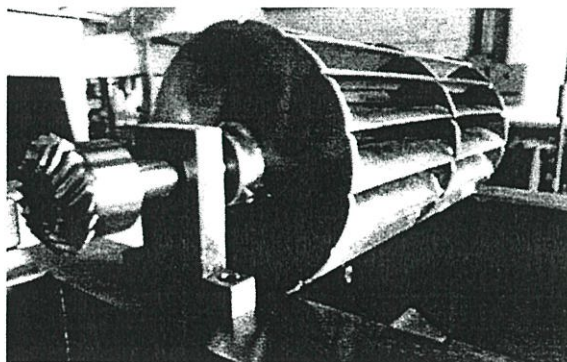
5.1.3 ทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วรอบของใบพัดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ทำการทดสอบเพื่อหาเวลาในการทอดผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดใช้เวลาในการทอดแตกต่างกัน จึงใช้ความเร็วในการไหลไม่เท่ากันซึ่งผลิตภัณฑ์ตัวอย่างได้แก่ ปาท่องโก๋ ลูกชิ้นปลา และ ทอดมันปลากราย พร้อมทั้งดูการลดลงของอุณหภูมิของน้ำมัน และจากผลการทดสอบที่ 5.1.2 นำค่าตัวแปรที่ได้จากอุณหภูมิน้ำมัน 180 °C ซึ่งได้แก่ความเร็วในการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของใบพัด นำมาสร้างความสัมพันธ์ และทำการทดสอบการลดลงของอุณหภูมิในขณะทอดโดยแบ่งเป็นสองการทดลอง คือ ทอดผลิตภัณฑ์ที่ละชิ้น กับทอดผลิตภัณฑ์เต็มรางทอดแล้วสังเกตการลดลงของอุณหภูมิทั้งสองการทดลอง

5.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

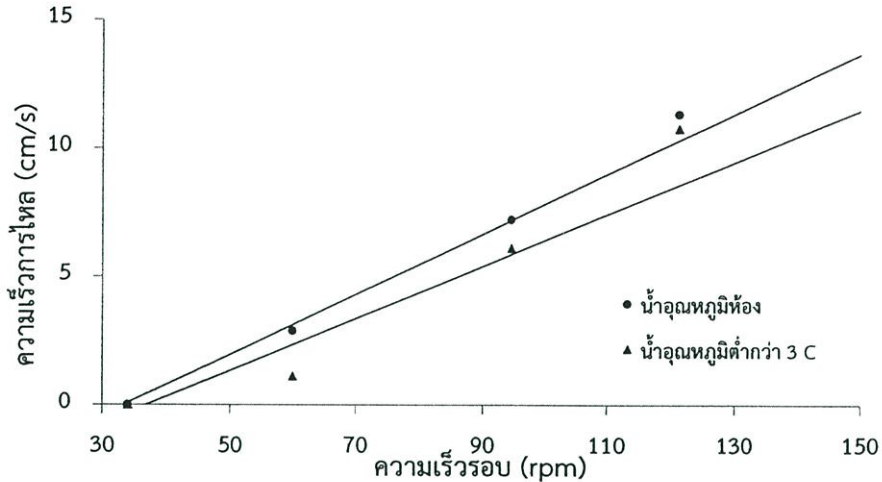
5.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทอดต่อเนื่อง

จากการทดสอบการทำงานของใบพัดในเครื่องทอดต่อเนื่อง พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบใบพัดไม่ส่งผลทำให้น้ำเกิดการไหล หรือมีการไหลในปริมาณน้อยมาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการพิจารณาและตรวจสอบเครื่องทอด พบว่าใบพัดมีการติดตั้งกลับด้าน ซึ่งโดยปกติแล้วใบพัดแบบไหลขวางแกนหมุนมีลักษณะการทำงานแบบโค้งหน้าเท่านั้น เมื่อติดตั้งกลับด้านใบพัดจึงมีลักษณะโค้งหลัง ดังแสดงในรูปที่ 5.5 ซึ่งใบพัดแบบไหลขวางแกนหมุนไม่สามารถทำงานได้ในลักษณะโค้งหลัง จึงส่งผลให้การทดสอบมีปริมาณการไหลน้อยมาก ผู้วิจัยจึงทำการกลับด้านของใบพัดให้กลายเป็นใบพัดโค้งหน้า หลังจากนั้นจึงได้ทำการทำการทดสอบการไหลของน้ำอีกครั้ง พบว่าน้ำสามารถไหลได้ดีแม้ค่าความเร็วรอบต่ำ



รูปที่ 5.5 ใบพัดติดตั้งกลับด้าน

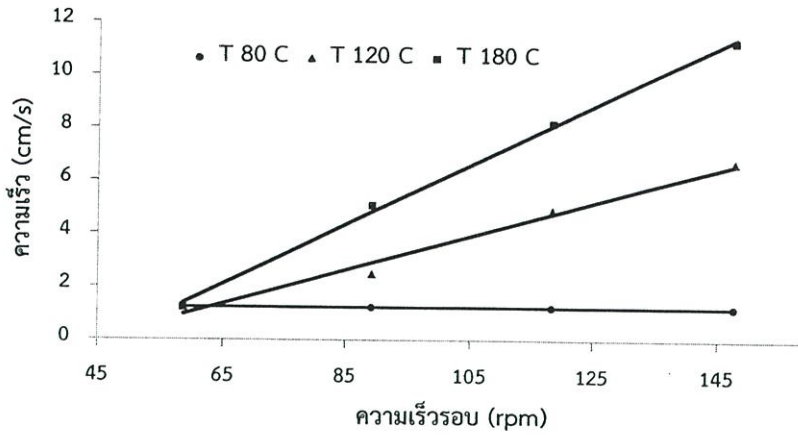
จากการทดสอบการไหลของน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน พบว่าการทดสอบเป็นไปตามข้อสมมติฐานที่ว่า การไหลของน้ำที่อุณหภูมิสูงมีการไหลที่เร็วกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำในค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เท่ากัน ซึ่งจากการทดสอบ การไหลของน้ำที่อุณหภูมิห้องมีความเร็วสูงกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C เพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5.6



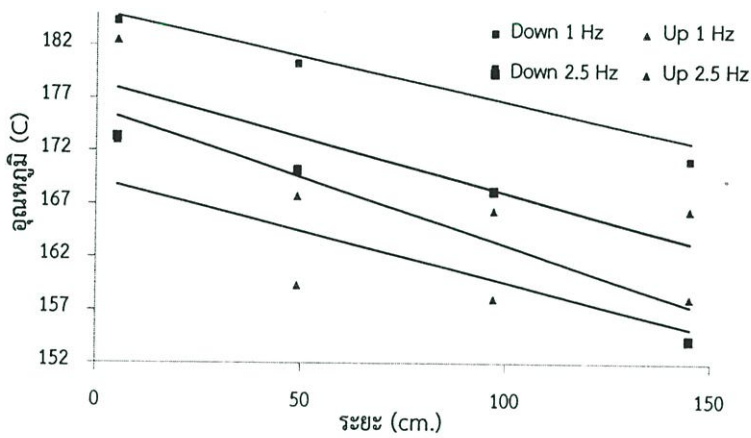
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์กับความเร็วของกระแส น้ำ

5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์

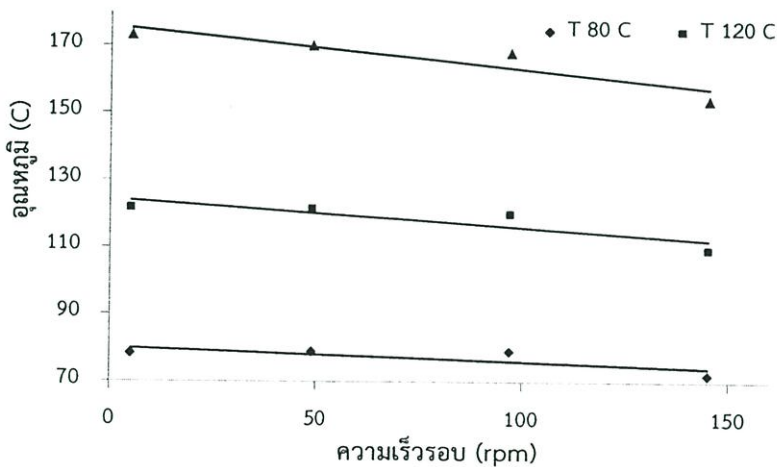
จากการทดสอบทั้ง 4 การทดลอง พบว่าน้ำมันที่อุณหภูมิต่างกันมีความเร็วในการไหลแตกต่างกัน โดยที่น้ำมันที่อุณหภูมิ 180 °C ไหลได้เร็วกว่า น้ำมันอุณหภูมิ 120 °C 80 °C และอุณหภูมิห้องตามลำดับ เมื่อใช้ความเร็วรอบของใบพัดที่เท่ากัน และน้ำมันที่อุณหภูมิห้องไม่เกิดกระแสการไหล เนื่องมาจากความเร็วรอบของใบพัดไม่สามารถเอาชนะความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิห้องได้ และทำการวัดอุณหภูมิทั้ง 8 จุดด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล โดยวัดอุณหภูมิบริเวณด้านบน 4 จุดและด้านล่าง 4 จุดที่ระยะ 5, 49, 97 และ 145 cm ตามลำดับ พบว่าน้ำมันอุณหภูมิห้องไม่เปลี่ยนแปลง และทำการตั้งค่าอุณหภูมิตู้ควบคุมชุดทำความร้อนให้ได้อุณหภูมิน้ำมัน 80 °C, 120 °C และ 180 °C เมื่อปรับความเร็วของใบพัดสูงขึ้น ทำให้ความเร็วของกระแสการไหลของน้ำมันสูงขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำมันลดต่ำลงทุกจุด เนื่องจากน้ำมันมีการถ่ายเทความร้อนกับอากาศบริเวณด้านบนของรางทอดและพบว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 180 °C อุณหภูมิลดลงมากกว่าการตั้งค่าอุณหภูมิ 120 °C และ 80 °C ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าค่าความแตกต่างอุณหภูมิมิค่ามาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่า ค่าที่มีความแตกต่างทางอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ในที่นี้เป็นการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากน้ำมันบริเวณด้านบนของรางทอดกับอากาศ และทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 8 จุดบริเวณด้านบนและด้านล่าง พบว่าอุณหภูมิของน้ำมันที่บริเวณด้านบนของรางทอดมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.8 เป็นเพราะน้ำมันที่ถูกทำความร้อนด้วยชุดทำความร้อนทำให้น้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นลอยตัวด้วยแรงลอยตัว อันเนื่องมาจากน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าน้ำมันอุณหภูมิต่ำกว่าจึงทำให้เกิดการลอยตัวขึ้นบริเวณด้านบน และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอุณหภูมิน้ำมันด้านบน ตั้งค่าอุณหภูมิจากตู้ควบคุมที่ 80 °C, 120 °C และ 180 °C ที่ความเร็ว 11.29 cm/s พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบใบพัดทำให้การไหลสูงขึ้น และทำให้อุณหภูมิลดลงอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ



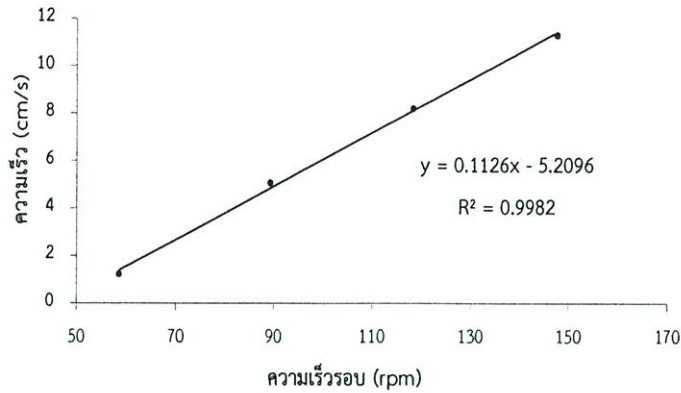
รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่วัดอุณหภูมิกับอุณหภูมิทั้งด้านบนและด้านล่างที่ความเร็ว 1.23 cm/s และ 11.29 cm/s



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอุณหภูมิน้ำมันด้านบน ตั้งค่าอุณหภูมิจากตู้ควบคุมแตกต่างกัน 3 ระดับ ที่ความเร็ว 11.29 cm/s

5.2.3 ทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วของน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทอดต่อเนื่องนำค่าตัวแปรที่ได้จากอุณหภูมิน้ำมัน 180 °C ได้แก่ความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วในการไหลของน้ำมันมาสร้างความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์

จากการทดลองหาค่าเวลาที่ใช้ในการทอดผลิตภัณฑ์พบว่า ปาท่องโก๋ใช้เวลาในการทอดเฉลี่ย 1.52 min ลูกชิ้นปลาใช้เวลาในการทอดเฉลี่ย 1.35 min และทอดมันปลากรายใช้เวลาในการทอดเฉลี่ย 1.14 min จากนั้นนำไปหาค่าความเร็วจากสมการ $V = s/t$ และนำค่าเวลาไปแทนค่าในสมการ $V = 0.112(\text{rpm}) - 5.209$ เพื่อหาค่าความเร็วรอบ โดยที่ V คือค่าความเร็วและ rpm นำค่าความถี่ที่ได้ใช้ในการตั้งค่าความเร็วในการไหลของน้ำมันสำหรับการทอดผลิตภัณฑ์ชนิดนั้น โดยที่ค่าความเร็วรอบของ ปาท่องโก๋ ลูกชิ้นปลา และ ทอดมันมีค่าเท่ากับ 58.47, 60.62 และ 65.08 rpm ตามลำดับ ในขณะที่กระบวนการทอดได้ทำการบันทึกและวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิของน้ำมันบริเวณด้านบนของรางทอดที่ระยะ 5, 49, 97 และ 145 cm ตามลำดับ พบว่าการทอดผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอย่างละ 1 ชั้น ไม่ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิ แต่เมื่อทอดผลิตภัณฑ์เต็มรางทอด โดยมีผลิตภัณฑ์หลายอย่างเช่น ปาท่องโก๋ ลูกชิ้นปลา เผือก หมวยทอดมันปลากราย ดังแสดงในรูปที่ 5.11 รูปที่ 5.12 และ รูปที่ 5.13 พบว่าอุณหภูมิทุกจุดมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะระยะ 5 cm คือ อุณหภูมิลดลงโดยเฉลี่ย 5 °C และที่ระยะอื่น ๆ อุณหภูมิลดลงแต่ละจุดไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ทอด



ก

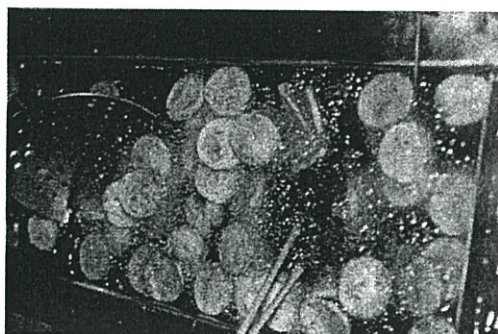


ข

รูปที่ 5.11 ก) ลักษณะของปาท่องโก๋ที่อยู่ในกระบวนการทอด ข) ลักษณะของลูกชิ้นปลาในกระบวนการทอด



ก



ข

รูปที่ 5.12 ก) ลักษณะของเผือกที่อยู่ในกระบวนการทอด ข) ลักษณะของหมุยอที่อยู่ในกระบวนการทอด



รูปที่ 5.13 ลักษณะของทอดมันปลากรายที่อยู่ในกระบวนการทอด

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง เพื่อให้ระบบมีการไหลที่สามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการทอดในระยะเวลาที่กำหนดได้ โดยใช้หลักการทำงานของพัดลมและกังหันประเภทไหลขวางแกน พบว่ากังหันประเภทไหลขวางแกนเหมาะสำหรับการทำงานกับของเหลวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องทอดแบบต่อเนื่องได้ดี

จากการทดสอบเครื่องทอดต่อเนื่องด้วยการทดสอบการไหลในเบื้องต้นพบว่าเมื่อแก้ไขลักษณะการทำงานของใบพัดจากโค้งหลังเป็นใบพัดโค้งหน้าทำให้เกิดกระแสการไหลที่ดีขึ้น เพราะใบพัดโค้งหน้าให้ลักษณะการไหลที่ปั่นป่วน ซึ่งเหมาะสำหรับลักษณะการไหลของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่องและจากการทดสอบน้ำที่อุณหภูมิห้องสามารถไหลได้ดีกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C และในการทดสอบโดยมีน้ำมันเป็นของไหลพบว่าหากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการไหลที่เร็วมากยิ่งขึ้น และอุณหภูมิของน้ำมันบริเวณด้านบนของรางทอดมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณด้านล่าง และหากน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิกับอุณหภูมิห้องได้มากกว่า ส่งผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนหรือการสูญเสียความร้อนได้มากกว่า และการทอดผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดใช้เวลาในการทอดไม่เท่ากันจึงตั้งค่าความเร็วรอบของใบพัดที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วในการไหลของผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน และการทอดผลิตภัณฑ์หากทอดในปริมาณน้อยจะไม่ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิของน้ำมันในรางทอดแต่ถ้าทอดในปริมาณมากที่จุดวัดที่ระยะ 5 cm จะมีการลดลงของอุณหภูมิที่มากที่สุด

จากการทดสอบการทำงานของระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่องโดยนำผลิตภัณฑ์หลายชนิดมาทำการทดสอบ พบว่าระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่องสามารถทอดผลิตภัณฑ์ให้สุก และสามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการทอดในระยะเวลาที่กำหนดได้

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

จากการทดลองพบว่าค่าของความเร็วรอบของใบพัดที่ใช้สำหรับระบบการไหลวนของน้ำมันนั้นมีค่าต่ำมาก ส่งผลทำให้มอเตอร์ใช้รอบทำงานต่ำ ระบายความร้อนไม่ทัน ทำให้มอเตอร์ร้อน จึงมีข้อเสนอแนะที่ว่า หากลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดลง ทำให้ค่าความเร็วรอบของใบพัดมีค่ามากขึ้น ซึ่งสามารถหามอเตอร์ที่เหมาะสมง่ายขึ้น และนอกจากนี้ยังสามารถลดขนาดของมอเตอร์ให้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากกำลังที่วัดได้จากการทดลองมีค่าน้อย

*** รายงานการวิจัยนี้ไม่เปิดเผยข้อมูลเชิงลึกบางอย่างซึ่งเป็นข้อมูลปกปิดของผู้สนับสนุนทุนวิจัยและเพื่อประโยชน์ในการจดทะเบียนสิทธิบัตรทรัพย์สินทางปัญญา

เอกสารอ้างอิง

- การุณย์ และคณะ, (2541). การออกแบบและสร้างเครื่องทอดปาห้องโก่ระบบกึ่งอัตโนมัติ กรุงเทพฯ, สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล(ออกแบบเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, น.ก-73.
- นิธิยา และ ไพโรจน์, (2004). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน เชียงใหม่, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- เมธินี และคณะ, (2554), การศึกษาค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบเครื่องทอดปาห้องโก่แบบต่อเนื่อง กรุงเทพฯ, วิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- Chattopadhyay, A. (2010). Cross-Flow Water Turbine. p. 1-6.
- Canadian, B. (2004). Industrial Fan Sand Blowers Energy Efficiency Guide Book, chapter 5, p. 93-112.
- Gabi, M., and Klemm, T. (2004). Numerical and Experimental Investigations of Cross-Flow Fans. Journal of Computational and Applied Mechanics, 5(2), p. 251-261.
- Gebrehiwot, M. G., Baerdemaeker, D. J. and Baelmans, M. (2007). Numerical Analysis of a Cross-Flow Fan with Two Outlets. In:HEFAT2007, 5th international conference on heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics. Sun City, South Africa. Paper number: GM2.
- Lazzaretto, A., Toffolo, A., and Martegani, A. D. (2003). A Systematic Experimental Approach to Cross-Flow Fan Design. ASME Journal of Fluid Engineering, (125), p. 684-693.
- Gebrehiwot, M. G., Baerdemaeker. J and Baelmans, M. (2010). Numerical and Experimental Study of a Cross-Flow Fan for Combine Cleaning Shoes. Bio Systems Engineering, 106, p. 448-457.
- Shih, Y. C., Hou, H. C., and Chiang, H. (2004). Numerical Study of the Similarity Law for the Cross Flow Fan of the Split-Type Air Conditioner. ASHRAE Transactions, 110, p. 378-388.
- Tanaka, S., and Murta, S. (1995). Scale Effect in Cross Flow Fans: Effect of Fan Dimensions on Flow Details and the Universal Representation of Performances. JSME International Journal, Series B, 38(3), p. 388-397.
- Toffolo, A., Lazzaretto, A. and Martegani, A. D. (2004). An Experimental Investigation of the Flow Field Pattern within the Impeller of a Cross-Flow Fan. Experimental Thermal and Fluid Science, (29), p. 53-64.
- Yildizetal, (2006), Determination of Heat and Mass Transfer Parameters During Frying of Potato Slices. Journal of Food Engineering, (60), p. 49-68

ภาคผนวก

ตารางที่ ผ. 1 ค่าความเร็วของน้ำที่อุณหภูมิห้องในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด

ความถี่ (Hz)	กำลัง	ความเร็วรอบ (rpm)				ความเร็วน้ำที่อุณหภูมิห้อง (cm/s)			
		1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0.5	7	36	36	30	34	0	0	0	0
1	8	60	60	60	60	3	4	1.667	2.889
1.5	8	95	95	94	94.67	7.333	8.6670	5.6670	7.222
2	9	120	122	122	121.33	11	13	10	11.333
2.5	10	157	153	152	154	12.667	15.667	12	13.444

ตารางที่ ผ. 2 ค่าความเร็วของน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C ในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด

ความถี่ (Hz)	กำลัง	ความเร็วรอบ (rpm)				ความเร็วน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C (cm/s)			
		1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0.5	7	36	36	30	34	0	0	0	0
1	8	60	60	60	60	1.333	2.000	0	1.111
1.5	8	95	95	94	94.67	6.333	6.667	5.333	6.111
2	9	120	122	122	121.33	9.667	10.000	6.667	10.778
2.5	10	157	153	152	154	11.000	12.333	8.000	10.444

ตารางที่ ผ. 3 ค่าความเร็วของน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 °C ในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)				ความเร็ว (cm/s)				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
1	59	58	59	58.667	1.2000	1.1000	1.4000	1.2000	1.2250
1.5	89	89	90	89.333	1.2000	1.1000	1.4000	1.2000	1.2250
2	118	118	119	118.333	1.2000	1.1000	1.4000	1.2000	1.2250
2.5	148	148	147	147.667	1.2000	1.1000	1.4000	1.2000	1.2250

ตารางที่ ผ. 4 ค่าความเร็วของน้ำมันที่อุณหภูมิ 120 °C ในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)				ความเร็ว (cm/s)				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
1	59	58	59	58.667	1.2000	1.1000	1.4000	1.2000	1.2250
1.5	89	89	90	89.333	3.4800	1.8300	2.1500	2.4500	2.4787
2	118	118	119	118.333	5.9300	5.3800	4.0700	4.2200	4.9006
2.5	148	148	147	147.667	7.7500	8.0200	5.6800	5.4500	6.7225

ตารางที่ ผ. 5 ค่าความเร็วของน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 °C ในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)				ความเร็ว (cm/s)				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
1	59	58	59	58.667	1.2000	1.1000	1.4000	1.2000	1.2250
1.5	89	89	90	89.333	6.7100	5.6700	3.9400	3.9700	5.0708
2	118	118	119	118.333	10.7600	9.2100	6.3500	6.4400	8.1920
2.5	148	148	147	147.667	16.4400	12.9300	7.7900	8.0000	11.2884

ตารางที่ ผ. 6 ค่าอุณหภูมิในการวัดระยะของแต่ละจุดทั้งบริเวณด้านบนและด้านล่างของแผ่นกั้น
สแตนเลส ที่ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ 180 °C และความเร็วรอบของใบพัด 1.23 m/s

อุณหภูมิ (°C)	ระยะวัดอุณหภูมิด้านบนแผ่นกั้นสแตนเลส (cm)				ระยะวัดอุณหภูมิด้านล่างแผ่นกั้นสแตนเลส (cm)			
	5	49	97	145	5	49	97	145
1	185.4836	180.7644	180.3588	170.8326	181.3142	167.8398	166.9291	166.9588
2	184.9888	180.9204	180.424	170.9443	182.4945	168.1867	167.0624	167.1291
3	184.8682	180.621	180.2124	171.8543	182.6396	168.3737	166.8871	167.0995
4	184.7362	180.578	180.2617	171.4383	182.8597	168.2838	166.5845	166.8226
5	184.4997	180.3682	180.0793	171.3684	182.9016	168.0098	166.353	166.5005
6	184.2126	180.2135	180.0193	171.4704	182.6462	167.711	166.2128	166.2814
7	183.733	180.107	179.8857	171.3174	182.6853	167.4726	166.1325	166.1389
8	183.5799	179.9043	179.5561	171.3215	182.3255	167.3583	166.0359	166.0201
9	183.4854	179.7033	179.2966	170.5767	182.1986	167.1743	165.9054	165.9192
10	183.1219	179.4796	179.1647	170.6967	182.5829	167.0834	165.7465	165.7708
เฉลี่ย	184.271	180.266	179.926	171.182	182.465	167.749	166.385	166.464

ตารางที่ ผ. 7 ค่าอุณหภูมิในการวัดระยะของแต่ละจุดทั้งบริเวณด้านบนและด้านล่างของแผ่นกั้น
 สแตนเลส ซึ่งตั้งค่าตู้ควบคุมอุณหภูมิไว้ 180 °C และความเร็วรอบของใบพัด 11.29
 m/s

อุณหภูมิ (°C)	ระยะวัดอุณหภูมิด้านบนแผ่นกั้นสแตนเลส (cm)				ระยะวัดอุณหภูมิต่ำด้านล่างแผ่นกั้นสแตนเลส (cm)			
	5	49	97	145	5	49	97	145
1	173.4198	170.1871	169.9266	154.4527	172.9628	159.3798	158.107	158.1522
2	173.3635	170.2404	170.039	154.3934	173.2504	159.3342	158.0761	158.1944
3	173.2609	170.2572	169.9201	154.2443	173.0795	159.3357	158.1102	158.1956
4	173.3853	170.2197	169.9787	154.1923	172.859	159.3083	158.0604	158.1543
5	173.2348	170.2133	169.925	154.1544	173.1708	159.3153	158.1031	158.1625
6	173.3246	170.1511	169.8642	154.1814	172.7102	159.3337	158.0479	158.1446
7	173.2305	170.1787	152.9331	154.1623	173.1749	159.3041	158.0932	158.1528
8	173.2938	170.1346	169.9116	154.1365	172.7058	159.1515	158.049	158.1225
9	173.3453	170.1365	169.8726	154.1133	172.9536	159.2629	158.0891	158.113
10	173.256	170.1549	169.9508	154.0884	173.1314	159.4262	158.0303	158.1253
เฉลี่ย	173.311	170.187	168.232	154.212	173.000	159.315	158.077	158.152

ตารางที่ ผ. 8 ค่าอุณหภูมิในแต่ละความเร็วรอบของใบพัดซึ่งตั้งค่าตู้ควบคุมอุณหภูมิไว้ 80 °C

อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)			
	58.667	89.337	118.333	147.667
1	78.4209	78.9072	78.9172	72.0967
2	78.7424	78.7455	78.962	72.0515
3	78.4001	78.775	79.1616	72.0394
4	78.341	78.8867	79.0984	72.1646
5	78.3857	79.0194	78.9925	72.168
6	78.3215	79.1412	78.9571	72.0888
7	78.4723	79.0017	78.9635	72.0995
8	78.5093	78.9391	78.9938	72.0907
9	78.4465	78.8978	79.0623	72.1209
10	78.3998	78.9043	79.0613	72.1273
11	78.4374	78.9791	79.0529	72.0954
12	78.3832	79.0067	79.0696	72.0762
13	78.3992	78.9603	78.9795	72.1015
14	78.4489	78.9439	79.0334	72.0498
15	78.4052	78.9307	79.0355	72.092
เฉลี่ย	78.434	78.935	79.023	72.097

ตารางที่ ผ. 9 ค่าอุณหภูมิในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด ซึ่งตั้งค่าตู้ควบคุมอุณหภูมิไว้ 120 °C

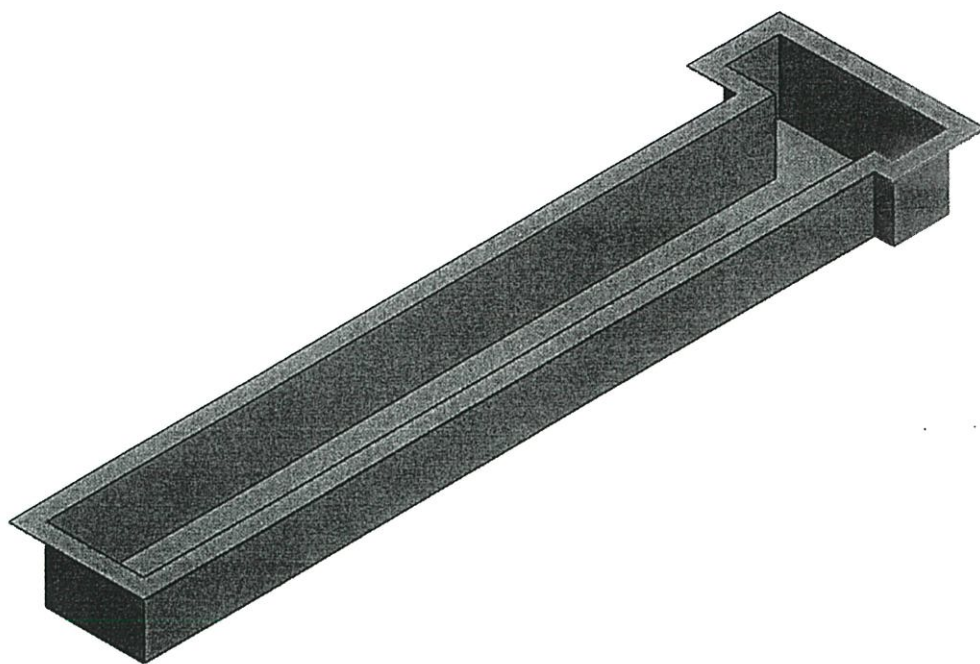
อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)			
	58.667	89.337	118.333	147.667
1	122.1252	121.8374	121.5726	109.6893
2	122.0804	121.7995	121.5341	109.6182
3	121.9767	121.6662	121.4311	109.6418
4	121.9275	121.6834	121.392	109.5185
5	121.829	121.6011	121.2663	109.4753
6	121.7265	121.5234	121.1868	109.3807
7	121.5652	121.3915	121.071	109.4232
8	121.4875	121.2713	108.892	109.397
9	121.407	121.194	120.845	109.406
10	121.228	121.169	120.907	109.387
เฉลี่ย	121.735	121.514	120.010	109.494

ตารางที่ ผ. 10 ค่าอุณหภูมิในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด ซึ่งตั้งค่าตู้ควบคุมอุณหภูมิไว้ 180 °C

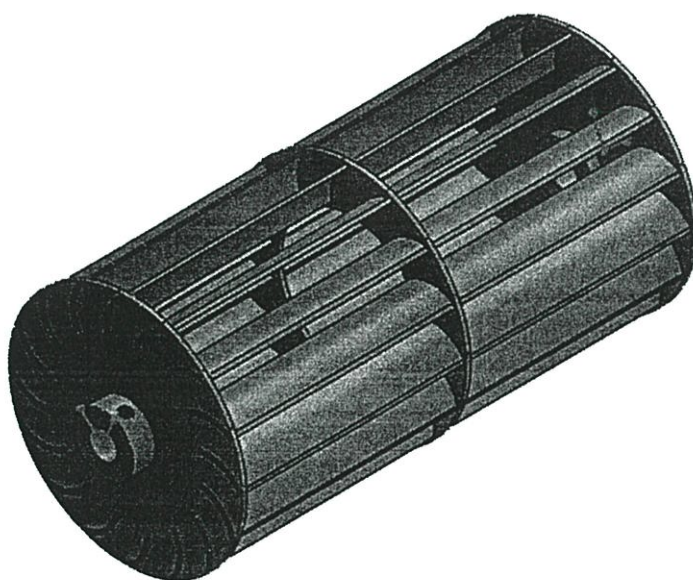
อุณหภูมิ(°C)	ความเร็วรอบ (rpm)			
	58.667	89.337	118.333	147.667
1	173.4198	170.1871	169.9266	154.4527
2	173.3635	170.2404	170.039	154.3934
3	173.2609	170.2572	169.9201	154.2443
4	173.3853	170.2197	169.9787	154.1923
5	173.2348	170.2133	169.925	154.1544
6	173.3246	170.1511	169.8642	154.1814
7	173.2305	170.1787	152.9331	154.1623
8	173.2938	170.1346	169.9116	154.1365
9	173.3453	170.1365	169.8726	154.1133
10	173.256	170.1549	169.9508	154.0884
เฉลี่ย	173.311	170.184	168.232	154.212

ตารางที่ ผ. 11 ค่าความเร็วของน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 °C ในแต่ละความเร็วรอบของใบพัด

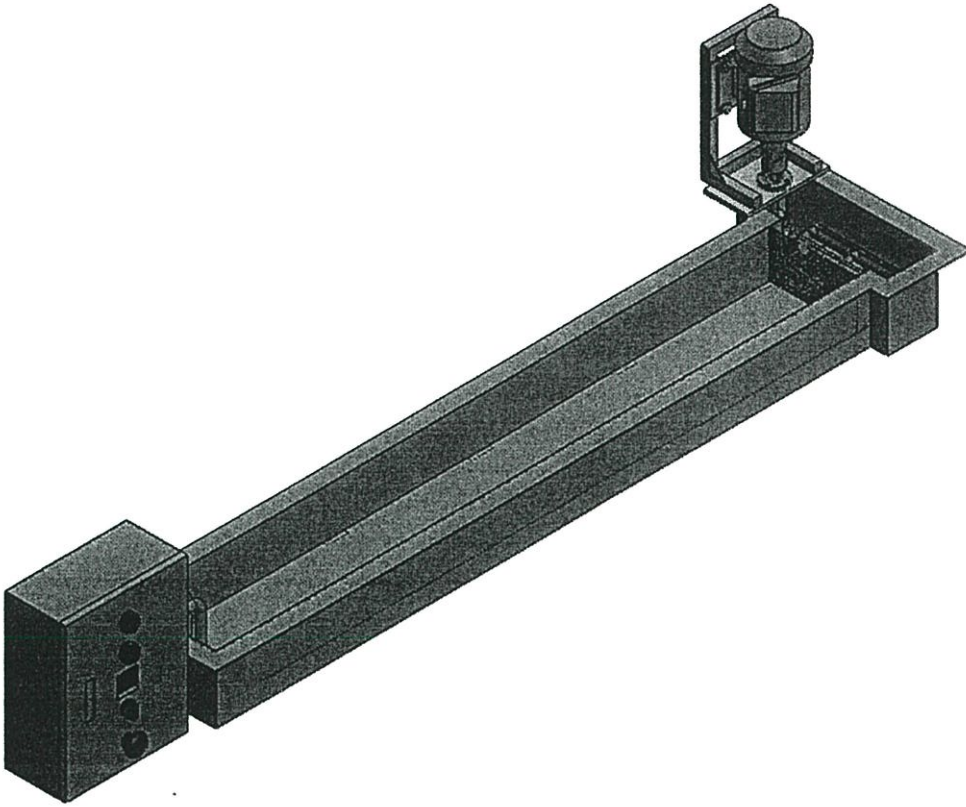
ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)				ความเร็ว (cm/s)				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
1	59	58	59	58.667	1.2000	1.1000	1.4000	1.2000	1.2250
1.5	89	89	90	89.333	6.7100	5.6700	3.9400	3.9700	5.0708
2	118	118	119	118.333	10.7600	9.2100	6.3500	6.4400	8.1920
2.5	148	148	147	147.667	16.4400	12.9300	7.7900	8.0000	11.2884



ภาพที่ ผ. 1 โครงสร้างของรางทอด



ภาพที่ ผ. 2 รูปสามมิติของใบพัดหลังจากการออกแบบ



ภาพที่ ผ. 3 ส่วนประกอบของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

การออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง Design of Oil Circulation System for Continuous Frying Machines

นางสาวภา จันทระภักทรานุกูล และ นางสาวภัทรชรินทร์ วรหาญ

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง เพื่อใช้สำหรับเป็นกลไก ส่วนประกอบของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีหน้าที่สร้างกระแสการไหลวนของน้ำมันทอดเพื่อพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการทอด จากการสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่ากลไกกังหันแบบไหลขวางแกนหมุน (Tangential Flow Turbine) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานได้ จากการศึกษารายละเอียดการคำนวณและออกแบบใบกังหัน สามารถสร้างกังหันต้นแบบทำด้วยสแตนเลส ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm และมีความยาว 20 cm ใบพัดมีขนาดส่วนโค้ง 1.63 cmหนา 1 mm ช่องว่างระหว่างใบพัด 1.74 cm และมีจำนวนใบพัดทั้งหมด 18 ใบ โดยมีชุดลูกปืนสแตนเลสเป็นจุดหมุน ปลายเพลลาใช้เฟืองดอกจอกเป็นกลไกส่งกำลัง ซึ่งมีมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 0.25 แรงม้า เป็นต้นกำลัง ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ซึ่งพ่วงต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านตัวแปลงสัญญาณ RS 485 ระบบกังหันถูกติดตั้งเข้ากับรางทอดสแตนเลส ซึ่งมีความยาว 150 cm ความกว้าง 20 cm และความลึก 15 cm สามารถบรรจุน้ำมันได้ 42.2 ลิตร หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดใยหินหนา 2.54 cm ทุกพื้นผิว และมีเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 10 kW เป็นแหล่งความร้อน หลังจากปรับแต่งเครื่องต้นแบบจนสามารถทำงานได้ จึงทำการทดลองการทอดที่ความเร็วรอบของใบพัดค่าต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 180 °C พบว่าใบพัดสามารถทำให้น้ำมันไหลได้ดี โดยสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ 14.8 cm/s ที่ความเร็วรอบ 147.5 rpm จากการทดลองนำผลิตภัณฑ์อาหารมาทอด 6 ชนิด ได้แก่ ปาท่องโก๋ ลูกชิ้นปลา ทอดมันปลากราย เผือก หมวยอ ไม้กระถอยเล็ก สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการทอดได้อย่างสมบูรณ์ทุกชนิด

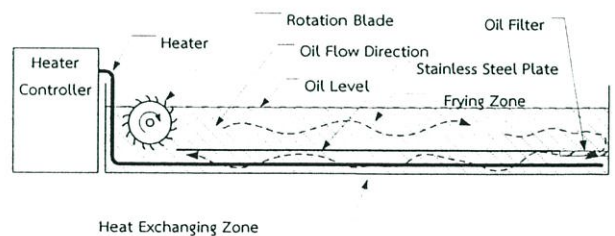
คำสำคัญเครื่องทอดต่อเนื่อง การออกแบบใบพัด ใบพัดไหลขวางแกน

1. บทนำ

อาหารทอดเป็นอาหารว่างหรือเป็นอาหารหลักที่คนไทยนิยมรับประทาน ซึ่งเป็นที่นิยมในการทำการค้าเป็นจำนวนมาก เพราะมีต้นทุนต่ำและกำไรสูง ซึ่งในปัจจุบันร้านอาหารทอดยังคงใช้แรงงานคนในกระบวนการผลิต ทำให้ตลอดทั้งกระบวนการผลิตมีการสัมผัสกับมือผู้ผลิตอยู่ตลอดเวลา ทำให้อาหารมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนอันเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากมือของผู้ผลิต ซึ่งความสะอาดของผลิตภัณฑ์ถือเป็นปัจจัยหลักในการเลือกซื้อของผู้บริโภค ดังนั้นจึงควรมีกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพเพื่อให้ได้อาหารทอดที่มีความสะอาด ถูกหลักอนามัย มีความสะดวก รวดเร็ว ความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัยในกระบวนการผลิต และต้องการลดแรงงานคน อีกทั้งต้องการกำลังการผลิตที่สูงขึ้นจึงมีแนวคิดการผลิตเครื่องทอดแบบต่อเนื่องขึ้นมาทดแทนแรงงานคนเพื่อลดปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น

จากการศึกษารูปแบบและทดสอบลักษณะการทำงานของเครื่องทอดปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบโดย เมธินีและคณะ.(2554) ดังแสดงในรูปที่ 1 เครื่องทอดปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องสามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำมันสูงได้ แต่ยังมีจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอดคือลักษณะการไหลเวียนของน้ำมันไม่คงที่เนื่องจากการหมุนของใบพัดไม่สามารถทำให้ปาท่องโก๋เคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบให้แก่ใบพัดยังทำให้น้ำมัน

กระเด็นออกนอกราง เป็นอันตราย สูญเสียปริมาณความร้อน และปริมาณน้ำมันซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องแก้ไข งานวิจัยนี้เป็นการมุ่งเน้นเพื่อพัฒนาระบบการไหลเวียนของน้ำมันจึงได้ทำการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาโดยการพิจารณาหลักการที่ทำให้เกิดการไหลเวียนเป็นหลัก ใบพัด ซึ่งเดิมเป็นกังหันที่มีลักษณะเป็นเพลลาต้น การติดตั้งกังหันโพล์พ่นน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องทอดปาท่องโก๋ต้นแบบเมธินีและคณะ(2554)

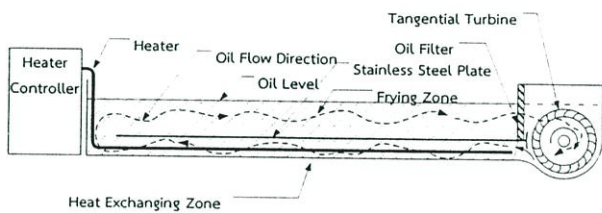
สำหรับรูปแบบของกลไกที่ใช้ในการบังคับการไหล สามารถรวบรวมข้อมูลการออกแบบ และลักษณะการประยุกต์ใช้งานได้จาก CanadianBlower.(2004)ซึ่งเป็นแหล่งรวบรวมเทคโนโลยีที่ใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการไหลของของไหลชนิดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาพัฒนาแบบไหลขวางแกนจากงานวิจัยของGabi and Klemm, (2004); Gebrehiwot et al. (2007); Gebrehiwot et al.(2010) and Lazzaretto et al. (2003) and Shih et al. (2004) พบว่ามีลักษณะการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

แต่โดยส่วนใหญ่พัฒนาแบบไหลขวางแกนใช้กับของไหลที่เป็น ก๊าซ และศึกษาหลักการทำงานของกังหันแบบไหลขวางแกน ซึ่งมีหลักการทำงานโดยนำกังหันวางขวางกระแสการไหลของ น้ำเพื่อให้ได้กำลังงาน และกังหันประเภทไหลขวางแกนเหมาะ สำหรับของไหลประเภทของเหลว จึงได้ทำการพิจารณาถึง ความเหมาะสมที่นำมาใช้สำหรับระบบการไหลวนของน้ำมัน ในเครื่องทอดต่อเนื่อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักรที่ผลิต ปาห้องโก๋ โดยการุณย์ และคณะ (2541) ได้สร้างเครื่องทอด ปาห้องโก๋ ซึ่งออกแบบโดยอาศัยหลักการเครื่องทอดโดนัท มี ขั้นตอนการทำงานคือ นำแป้งที่ทำมาสำเร็จรูปแล้วมานวดด้วย มือจนแป้งเข้ากันได้ดี จึงนำแป้งบรรจุลงในถังอัดเมื่อเครื่อง ทำงานแป้งจะถูกอัดผ่านตัวตัดและถูกตัดลงสู่กระทะ ใน กระทะประกอบด้วยกังหันซึ่งทำหน้าที่ให้เกิดการไหลของ น้ำมัน เมื่อแป้งลงสู่กระทะจะลอยตัวบนน้ำมันโดยมีชุดพลิก กลับด้าน และชุดตัดผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะที่เตรียมไว้

2. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

จากการสืบค้นข้อมูลและวิจัยเพื่อสรุปรูปแบบของ กลไกการไหลเวียนของน้ำมันทอด พบว่ามีอุปกรณ์ที่สามารถ ทำให้เกิดการไหลเวียนหลายชนิดที่สามารถใช้งานได้และใช้ กังหันประเภทไหลขวางแกนในการออกแบบอีกทั้งยังเปลี่ยน จุดติดตั้งจากด้านข้างตู้ควบคุมไปเป็นบริเวณปลายรางอีกข้าง และติดตั้งให้น้ำมันท่วมกังหันเพื่อทำให้กระแสการไหลของ น้ำมันนิ่งมากขึ้นและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียน ของน้ำมัน อีกทั้งการติดตั้งใบพัดบริเวณด้านหน้ารางทำให้ ขบวนการปล่อยผลิตภัณฑ์ลงในรางทอด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวคิดการออกแบบเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

2.1 การคำนวณและการออกแบบรางทอด

การออกแบบรางทอดต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่มี ต่ออาหาร ความแข็งแรงทนทาน และทนต่ออุณหภูมิสูงดังนั้น วัสดุที่นำมาใช้ทำรางทอดจึงเลือกใช้แผ่นสแตนเลส ความหนา 2 mm

การออกแบบขนาดรางทอดของเครื่องทอด แบบต่อเนื่องได้พัฒนามาจากขนาดของเครื่องทอดปาห้องโก๋ แบบต่อเนื่องต้นแบบ ซึ่งเครื่องทอดปาห้องโก๋ต่อเนื่องต้นแบบ ออกแบบโดยการพิจารณาจากระยะการขยายตัวของปาห้องโก๋ เมื่ออยู่ในกระบวนการทอด และนำค่าการขยายตัวของ ปาห้องโก๋ มาเป็นหลักในการพิจารณาในการออกแบบรางทอด

โดยมีขนาด $10 \times 170 \times 10$ cm. มีลักษณะเป็นรูปทรง สี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ขนาดรางทอดของเครื่องทอดแบบต่อเนื่องมี ลักษณะที่แตกต่างจากรางทอดของเครื่องทอดปาห้องโก๋ แบบต่อเนื่องต้นแบบแต่ขนาดรางทอดของเครื่องทอดต่อเนื่อง มีลักษณะที่แตกต่างจากรางทอดปาห้องโก๋ โดยจะแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของกระบวนการทอดและส่วนของ กระบวนการทำให้ไหล ซึ่งในส่วนของกระบวนการทอดมีขนาด $20 \times 150 \times 15$ cm. เมื่อเปรียบเทียบกับรางทอดปาห้องโก๋เดิมมี การเพิ่มขนาดความกว้างเป็น 2 เท่า เป็นเหตุเนื่องมาจาก ความต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตที่สูงขึ้นเมื่อใช้เวลาใน กระบวนการทอดที่เท่ากัน และเพิ่มความสูงของรางทอด เนื่องจากใบพัดมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 cm. และปริมาณน้ำมันต้องท่วมใบพัด ซึ่งระดับของน้ำมันคือ 12.5 cm. รางทอดจึงมีความสูงที่เหมาะสมกับระดับของน้ำมัน คือ 15 cm. และส่วนของกระบวนการไหลซึ่งมีขนาดเท่ากับ $34 \times 11 \times 15$ cm. ซึ่งความกว้างของส่วนนี้มีขนาดใหญ่กว่าส่วน ของกระบวนการทอด เพราะต้องการให้ใบพัดทำงานอย่างมี ประสิทธิภาพจึงออกแบบให้ใบพัดมีความยาว 20 cm. ซึ่งพอดี กับพื้นที่การไหล บริเวณพื้นผิวด้านข้างและด้านล่างทั้งหมด ของรางทอดได้ทำการหุ้มฉนวนใยหินหนา 2.54 cm เพื่อเป็น การลดปริมาณการสูญเสียความร้อน นอกจากนี้ยังมี ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แผ่นสแตนเลส ซึ่งทำหน้าที่ป้องกัน ไม่ให้ผลิตภัณฑ์ตกไปสัมผัสกับชุดทำความร้อนซึ่งถ้ามีตะกอน ตกไปสัมผัสกับชุดทำความร้อนทำให้คุณภาพน้ำมันเสื่อมเสีย แผ่นกรอง มีหน้าที่ในการกรองน้ำมันที่ใช้ในการไหลวนมีความ สะอาดกรองเศษของผลิตภัณฑ์ที่เข้าไปในบริเวณใบพัดไหล และชุดทำความร้อนทำการติดตั้งวาล์วระบายน้ำมันออกเพื่อ ใช้ในการระบายน้ำมันออกจากรางทอด

2.2 การคำนวณและการออกแบบใบพัด

ศึกษาเทคโนโลยีที่น่าสนใจสำหรับการนำมาใช้กับ ระบบไหลวนของน้ำมันคือกังหันหรือพัดลมประเภทไหลขวาง แกน (Tangential or Cross Flow) ซึ่งใบพัดแบบไหลขวาง แกน เป็นรูปแบบของกลไกทางกลที่ใช้กับของไหลทั้งในแบบ ของเหลว และก๊าซ (โดยมากเป็นอากาศ) ซึ่งในแบบก๊าซพบได้ ในการใช้งานในรูปแบบพัดลม และเมื่อใช้งานกับของเหลวจะ เรียกว่า กังหันน้ำแบบออสเบอร์เกอร์ (Ossberger Turbine) ทั้ง 2 แบบนั้นมีความแตกต่างกันตรงที่การให้กำลังงานเข้า ออกระบบ โดยเมื่อให้กำลังแก่ใบพัดจะทำงานเป็นตัว ขับเคลื่อนของไหล และเมื่อใบพัดวางขวางกระแสการไหลของ ของเหลวจะให้กำลังงานออกมา การประยุกต์ใช้งานใบพัดชนิด นี้ในงานวิจัยเป็นการประยุกต์ใช้งานแบบใหม่ เนื่องจากจะ ป้อนกำลังขับใบพัดเพื่อขับเคลื่อนของไหลที่เป็นของเหลวให้เกิด การไหลแทนที่จะเป็นอากาศ

จากข้างต้นจะเห็นว่าหลักการทำงานของกังหันและ พัดลมประเภทไหลขวางแกน ไม่มีอุปกรณ์ใดที่มีลักษณะการ

ทำงานที่ตรงกับความต้องการการทำงานของเครื่องทอด ต่อเนื่องทุกประการ คือ มีการให้พลังงานไฟฟ้าให้แก่ใบพัดเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำมัน จึงเลือกออกแบบใบพัดเหมือนการออกแบบกังหันเพราะเหมาะสมหรับการทำงานกับของเหลว ซึ่งใบพัดมีรูปแบบการออกแบบที่ชัดเจนจากงานวิจัยของ Chattopadhyay (2010) ดังแสดงในสมการที่ 1-7

$$\text{รอบของมอเตอร์} \quad N = \frac{39.81\sqrt{H}}{D} \quad (1)$$

$$\text{ช่องว่างระหว่างใบพัด} \quad t = 0.174D \quad (2)$$

$$\text{ความหนาของใบพัด} \quad s = 0.22 \frac{Q}{L\sqrt{H}} \quad (3)$$

$$\text{รัศมีความกว้างของขอบใบพัด} \quad a = 0.174D \quad (4)$$

$$\text{รัศมีภายในของใบพัด} \quad r_2 = 0.33D \quad (5)$$

$$\text{รัศมีภายนอกของใบพัด} \quad r_1 = \frac{r_2}{0.66} \quad (6)$$

$$\text{ความโค้งของใบพัด} \quad \rho = 0.163D \quad (7)$$

กำหนดให้ H คือระยะจากผิวของของไหลถึงจุดกึ่งกลาง Q คืออัตราการไหลของของไหล (m^3/s), D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด (m) และ L คือความกว้างของใบพัด จากการคำนวณตามสมการข้างต้นเพื่อให้ได้ใบพัดที่มีความเหมาะสมกับการไหล คือค่า $t = 1.74\text{cm}$, $s = 1.56\text{mm}$, $a = 1.7\text{cm}$, $r_1 = 5\text{ cm}$, $r_2 = 3.3\text{ cm}$ และ ค่ารัศมีความโค้งของใบพัด, $\rho = 1.63\text{ cm}$.

โดยใบพัดที่ทำการออกแบบให้มีลักษณะการทำงานเป็นใบพัดโค้งหน้า เพราะใบพัดโค้งหน้าจะทำให้การไหลมีลักษณะปั่นป่วนซึ่งมีเหมาะกับการกระบวนกรทอดในเครื่องทอดต่อเนื่อง ในขณะที่ใบพัดแบบโค้งหลังทำให้ลักษณะการไหลราบเรียบ ลักษณะของความโค้งของใบพัดดังแสดงในรูปที่ 3 และ โดยขั้นตอนการออกแบบขนาดของใบพัดมีดังต่อไปนี้

ก. กำหนดจุด O เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม สร้างวงกลมตามค่าของรัศมีวงนอก (r_1) จากนั้นสร้างวงกลมตามค่ารัศมีวงใน (r_2) ในโดยมีจุด A เป็นจุดศูนย์กลาง

ข. ลากเส้นจากจุด O ไปยังเส้นรัศมีวงนอก (r_1) กำหนดให้เป็นจุด A

ค. ลากเส้นสัมผัสกับวงกลมโดยเส้น AB ตั้งฉากกับเส้น

AO

ง. จากเส้น AB วัดมุมที่มีขนาด 30° จะได้มุมแหลม BAE

จ. ลากเส้นตั้งฉากกับเส้น AE จะได้เส้นตรง AD

ฉ. ใช้จุด A เป็นจุดเริ่มต้นจากนั้นใช้ค่ารัศมีความโค้งของใบพัดลากตัดเส้น AD จุดตัดเป็นจุด C

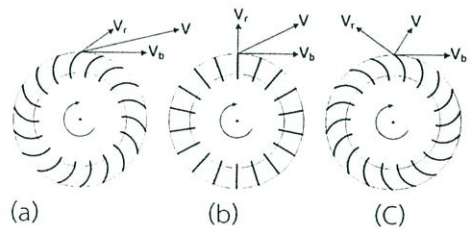
ช. สร้างวงกลมใหม่โดยใช้จุด C เป็นจุดศูนย์กลางและค่ารัศมีมีค่าเท่ากับระยะจากจุด A ไปจนถึงจุด C

ซ. ใช้ค่าระยะห่างของใบพัดกั้นกัน (t) ที่ได้จากการคำนวณมาตัดเส้นรัศมีวงนอกโดยเริ่มที่จุด A จากนั้นใช้จุดตัดที่ได้เป็นจุดเริ่มต้นและใช้ค่าระยะห่างของใบพัดกั้นกัน (t) มาตัดเส้นรัศมีวงนอก ทำไปจนบรรจบที่จุด A

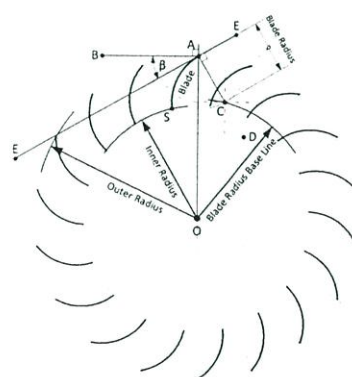
ณ. ใช้จุดที่ตัดกับรัศมีวงนอกแต่ละจุดเป็นจุดหมุนและวัดระยะให้มีค่าเท่ากับค่ารัศมีความโค้งของใบพัด (AC) ไปตัดกับวงกลมที่ได้สร้างขึ้นใหม่ในข้อ ช

ญ. ใช้จุดตัดกับวงกลมที่สร้างขึ้นใหม่ที่ได้จากข้อ ณ. เป็นจุดหมุนและวัดระยะให้มีค่าเท่ากับค่ารัศมีความโค้งของใบพัด (AC) จากนั้นลากเส้นโค้งจากเส้นรัศมีวงนอก (r_2) ไปจนถึง เส้นของรัศมีวงใน (r_1) ลากเส้นโค้งไปเรื่อยๆจนครบวง ซึ่งการออกแบบใบพัด แสดงดังรูปที่ 4

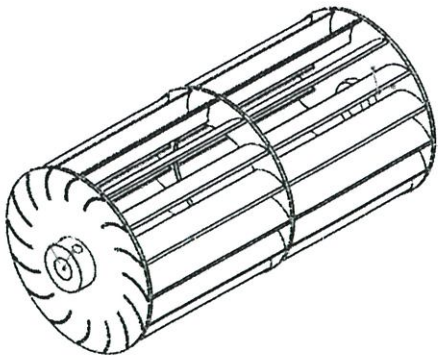
เมื่อทำตามขั้นตอนการวาดใบพัด จะได้ใบพัดที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3 และให้ความหนาแต่ละใบของใบพัดมีค่าเท่ากับ 1.56 mm โดยที่ความยาวของใบพัดมีขนาด 20 cm. โดยที่ลักษณะของใบพัดแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 แสดงลักษณะความโค้งของใบพัด (a) ใบพัดโค้งหน้า (b) ใบพัดหน้าตรง (c) ใบพัดโค้งหลัง



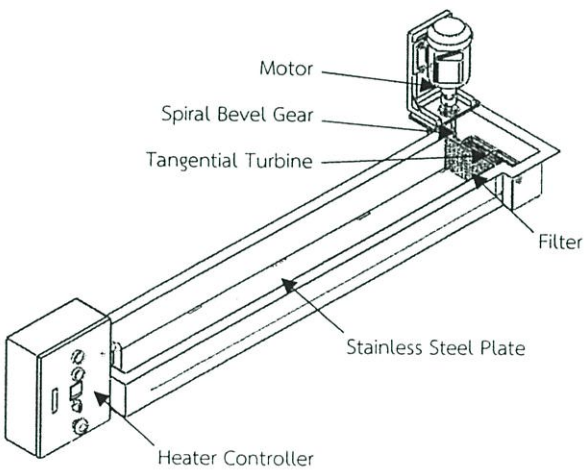
รูปที่ 4 รูปแบบองค์ประกอบของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบใบพัด



รูปที่ 5 รูปสามมิติของใบพัดหลังจากการออกแบบ

2.3 การคำนวณหาค่ากำลังของชุดทำความร้อน

ในการออกแบบขนาดชุดทำความร้อนให้เหมาะสมกับรางทอดนั้นจากการคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ต้องการใช้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงของการอุ่นน้ำมันให้ร้อน และช่วงของการทอดผลิตภัณฑ์ และเมื่อคำนวณพบว่าช่วงของการอุ่นน้ำมันให้ร้อนต้องการใช้พลังงานความร้อนที่มากกว่าช่วงของการทอดผลิตภัณฑ์ คือ 10 kW เพื่อให้เพียงพอต่อการให้ความร้อนแก่น้ำมันในปริมาณ 42.2 L ในเวลา 20 min โดยที่ชุดทำความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 mm. ติดกับตู้ควบคุมอุณหภูมิและทำการออกแบบส่วนประกอบรางทอดครบทุกส่วนจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ส่วนประกอบของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

3. การทดสอบเครื่องทอดต่อเนื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องทอดแบบต่อเนื่องได้ออกแบบโดยใช้ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลเวียนของน้ำมันในกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง จากการศึกษาลักษณะระบบการไหลเวียนของน้ำมันเครื่องทอดปลาห้องโถงแบบต่อเนื่องต้นแบบ จากนั้นจึงทำการออกแบบขนาดของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง และ

ออกแบบลักษณะของใบพัดที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการพาผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ไปตามรางทอด และสามารถทำให้น้ำมันไหลวนภายในรางทอด โดยหลักการการทำงานของเครื่องทอดต่อเนื่อง เริ่มจากใส่น้ำมันให้ได้ระดับ 12.5 cm. จากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอดที่ตู้ควบคุมชุดทำความร้อน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน หลังจากนั้นสั่งให้ใบพัดทำงาน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับค่าความถี่คือ inverter สามารถควบคุมและบันทึกค่าโดยระบบคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งทำงานโดยถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ส่งกำลังไปเพลาลูกเบี้ยวให้เฟืองดอกจอกหมุนขบกัน และทำให้ใบพัดหมุน

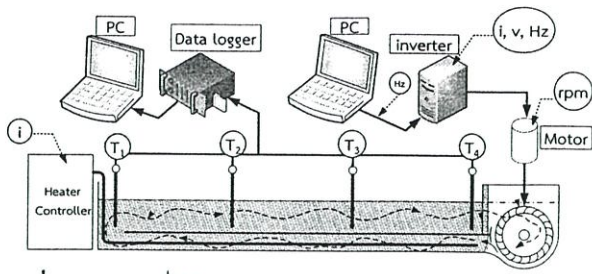
3.1 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น

ทดสอบการทำงานเบื้องต้นหลังจากใบพัดสร้างสำเร็จเพื่อทดสอบว่าใบพัดสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยใช้น้ำเป็นของไหลในการทดสอบ

การออกแบบการทดลองในส่วนต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้กับเครื่องทอดแบบต่อเนื่องได้แก่ค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์ ความเร็วของการไหลของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดแต่ละผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองนำที่อุณหภูมิต่างกันเพื่อพิสูจน์ข้อสมมติฐานที่ว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจะส่งผลต่อการไหลทำให้น้ำไหลได้ช้าลงในค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เท่ากันโดยแบ่งเป็นสองการทดลองคือ ทำการวัดค่าความเร็วในการไหลของน้ำ และค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้ น้ำที่อุณหภูมิห้อง และน้ำอุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่

3.2 การทดสอบปรับความเร็วในการไหลโดยใช้น้ำมัน

จากข้อสมมติฐานเดิมที่ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ของไหลไหลได้เร็วมากขึ้นในค่าความเร็วรอบใบพัดที่เท่ากัน จึงได้ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันซึ่งมีความหนืดสูงกว่าน้ำมาก มาใช้เป็นของไหลในการทดสอบ มอเตอร์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง คือ น้ำมันอุณหภูมิห้อง, น้ำมันอุณหภูมิ 80 °C น้ำมันอุณหภูมิ 120 °C และน้ำมันอุณหภูมิ 180 °C โดยแต่ละการทดลองทำการวัดค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้คือ วัดค่าอุณหภูมิ 8 จุด ที่ระยะ 5, 49, 97 และ 145 cm ตามลำดับด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล โดยวัดอุณหภูมิทั้งบนและล่างแผ่นสแตนเลส และเก็บค่าอุณหภูมิด้วยดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger) ค่าความเร็วในการไหล และ ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลว่าเป็นไปตามสมมติฐานหรือไม่ซึ่งแบบจำลองอุปกรณ์ในการทดลอง ดังในแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

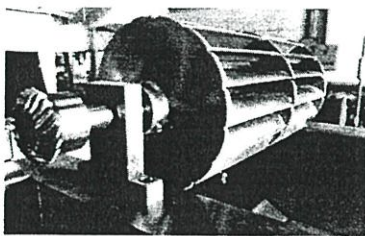
3.3 ทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วรอบของใบพัดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ทำการทดสอบเพื่อหาเวลาในการทอดผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดใช้เวลาในการทอดแตกต่างกัน จึงใช้ความเร็วในการไหลไม่เท่ากันซึ่งผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ได้แก่ ปาท่องโก๋, ลูกชิ้นปลา และ ทอดมันปลาทรายพร้อมทั้งดูการลดลงของอุณหภูมิของน้ำมัน และจากผลการทดสอบที่ 3.2 นำค่าตัวแปรที่ได้จากอุณหภูมิน้ำมัน 180 °C ซึ่งได้แก่ความเร็วในการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของใบพัดนำมาสร้างความสัมพันธ์ และทำการทดสอบการลดลงของอุณหภูมิในขณะทอดโดยแบ่งเป็นสองการทดลอง คือ ทอดผลิตภัณฑ์ที่ละเอียดขึ้น กับใช้ผลิตภัณฑ์เต็มร่างทอดแล้วสังเกตการลดลงของอุณหภูมิตั้งสองการทดลอง

4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

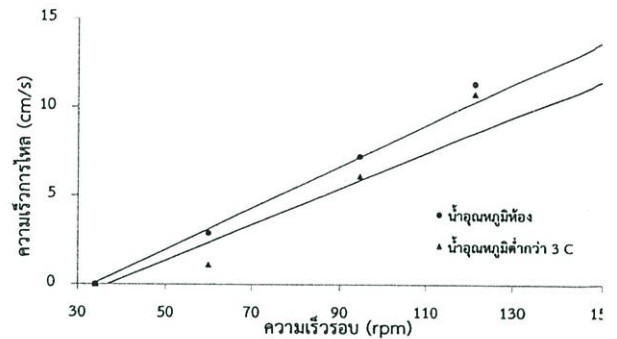
4.1 ทดสอบการทำงานของเครื่องทอดต่อเนื่อง

จากการทดสอบการทำงานของใบพัดในเครื่องทอดต่อเนื่อง พบว่าความเร็วรอบใบพัดทั้งสูงและต่ำไม่ส่งผลทำให้น้ำเกิดการไหล หรือมีการไหลในปริมาณน้อยมาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการพิจารณาและตรวจสอบเครื่องทอด พบว่าใบพัดมีการติดตั้งกลับด้านคือเมื่อทำงานใบพัดมีลักษณะเป็นแบบโค้งหลังดังแสดงในรูป 8 โดยปกติใบพัดถูกออกแบบมาให้ใช้งานเป็นใบพัดแบบโค้งหน้า ซึ่งใบพัดโค้งหน้าจะทำให้การไหลลักษณะปั่นป่วนซึ่งเหมาะสำหรับระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่อง ในขณะที่ใบพัดแบบโค้งหลังทำให้ลักษณะการไหลราบเรียบ ผู้วิจัยจึงทำการกลับด้านของใบพัดให้กลายเป็นใบพัดโค้งหน้า หลังจากนั้นจึงได้ทำการทำการทดสอบการไหลของน้ำอีกครั้ง พบว่าน้ำสามารถไหลได้ดีแม้ค่าความเร็วรอบต่ำ



รูปที่ 8 ใบพัดมีการติดตั้งกลับด้าน

การจากทดสอบการไหลของน้ำที่มีอุณหภูมิต่างกัน พบว่าการทดสอบเป็นไปตามข้อสมมติฐานที่ว่าในค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เท่ากันการไหลของน้ำที่อุณหภูมิสูงจะมีการไหลที่เร็วกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำในค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เท่ากัน ซึ่งจากการทดสอบการไหลของน้ำที่อุณหภูมิต่ำมีความเร็วสูงกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C เพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยเกินไปดังแสดงในรูปที่ 9

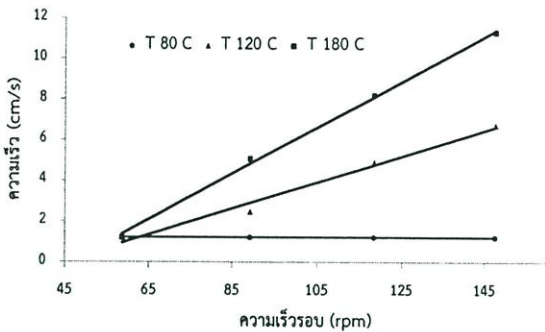


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์กับความเร็วของกระแส

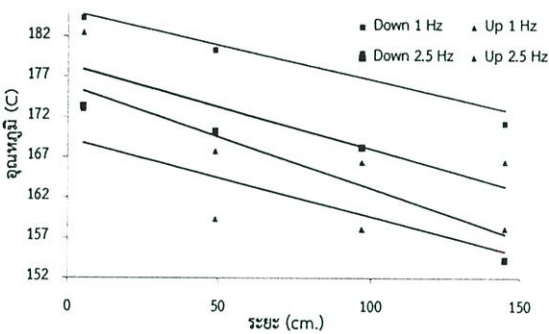
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์

จากการทดสอบทั้ง 4 การทดลอง พบว่าน้ำมันที่อุณหภูมิต่างกัน จะมีความเร็วในการไหลแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่น้ำมันที่อุณหภูมิ 180 °C ไหลได้เร็วกว่า น้ำมันอุณหภูมิ 80 °C และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับเมื่อใช้ความเร็วรอบของใบพัดที่เท่ากันและน้ำมันที่อุณหภูมิห้องไม่เกิดกระแสการไหลทำการวัดอุณหภูมิทั้ง 8 จุดด้วยเทอร์โมคัปเปิลโดยวัดอุณหภูมิตั้ง 4 จุดและด้านล่าง 4 จุด ที่ระยะ 5, 49, 97 และ 145 cm. ตามลำดับ พบว่าน้ำมันอุณหภูมิห้องไม่เปลี่ยนแปลง และการตั้งค่าอุณหภูมิคุ้มครองทำความร้อนให้ได้อุณหภูมิน้ำมัน 80 °C, 120 °C และ 180 °C เมื่อปรับความเร็วของใบพัดสูงขึ้น ทำให้ความเร็วของกระแสการไหลของน้ำมันสูงขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำมันลดลงทุกจุดเนื่องจากน้ำมันมีการถ่ายเทความร้อนกับอากาศบริเวณด้านบนของรางทอดและพบว่า การตั้งอุณหภูมิที่ 180 °C อุณหภูมิลดลงมากกว่าการตั้งค่าอุณหภูมิ 120 °C และ 80 °C ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าค่าความแตกต่างอุณหภูมียิ่งมีค่ามากจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่า ค่าที่มีความแตกต่างทางอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ในที่นี้เป็นถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากน้ำมันบริเวณด้านบนของรางทอดกับอากาศดังแสดงในรูปที่ 10 ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้ง 8 จุดบริเวณด้านบนและด้านล่างพบว่าอุณหภูมิของน้ำมันที่บริเวณด้านบนของรางทอดมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิด้านล่างเป็นเพราะน้ำมันที่ถูกทำความร้อนด้วยชุดทำความ

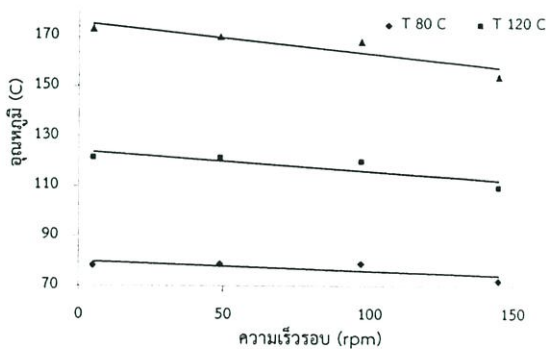
ร้อนมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะลอยตัวด้วยแรงลอยตัวอ่อน เนื่องจากน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่า น้ำมันอุณหภูมิต่ำกว่าจึงทำให้เกิดการลอยตัวขึ้นบริเวณด้านบนดังแสดงในรูปที่ 11 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัดอุณหภูมิกับอุณหภูมิน้ำมันด้านบน ตั้งค่าอุณหภูมิจากตู้ควบคุมที่ 80 °C, 120 °C และ 180 °C ที่ความเร็ว 11.29 cm/s พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบใบพัดทำให้การไหลสูงขึ้นและทำให้อุณหภูมิลดลงอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ



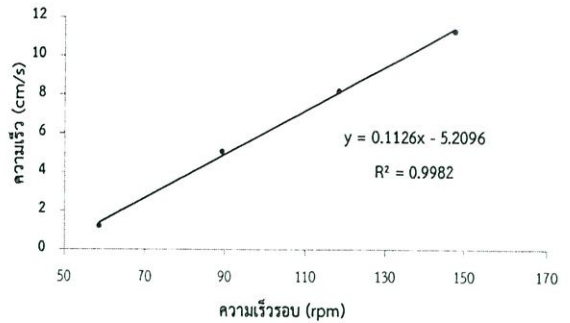
รูปที่ 11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่วัดอุณหภูมิกับอุณหภูมิทั้งด้านบนและล่างที่ ความเร็ว 1.23 cm/s และ 11.29 cm/s



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัดอุณหภูมิกับอุณหภูมิ น้ำมันด้านบน ตั้งค่าอุณหภูมิจากตู้ควบคุมแตกต่างกัน 3 ระดับ ที่ความเร็ว 11.29 cm/s

4.3 ทดสอบเพื่อหาค่าความเร็วของน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทอดต่อเนื่อง นำค่าตัวแปรที่ได้จากอุณหภูมิน้ำมัน 180 °C ได้แก่ความเร็วรอบของใบพัดกับความเร็วในการไหลของน้ำมันมาสร้างความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำมันกับความเร็วรอบของมอเตอร์

จากการทดลองหาค่าเวลาที่ใช้ในการทอดผลิตภัณฑ์ พบว่า ปาท่องโก๋ใช้เวลาในการทอดเฉลี่ย 1.52 min ลูกชิ้นปลาใช้เวลาในการทอดเฉลี่ย 1.35 min และทอดมันปลากรายใช้เวลาในการทอดเฉลี่ย 1.14 min จากนั้นนำปาค่าความเร็วจากสมการ $V = s/t$ และนำค่าเวลาไปแทนค่าในสมการ $V = 0.112(\text{rpm}) - 5.209$ เพื่อหาค่าความเร็วรอบ โดยที่ V คือค่าความเร็วและ rpm นำค่าความถี่ที่ได้ใช้ในการตั้งค่าความเร็วในการไหลของน้ำมันสำหรับการทอดผลิตภัณฑ์ชนิดนั้น โดยที่ค่าความเร็วรอบของ ปาท่องโก๋, ลูกชิ้นปลา และ ทอดมันมีค่าเท่ากับ 58.47, 60.62 และ 65.08 หน่วยตามลำดับ ในขณะที่กระบวนการทอดได้ทำการบันทึกและวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิของน้ำมันขณะทอดพบว่าการทอดผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอย่างละ 1 ชิ้น ไม่ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิ และจากการทดลองวัดอุณหภูมิน้ำมันบริเวณด้านบนของรางทอดที่ระยะ 5, 49, 97 และ 145 cm ตามลำดับ พบว่าเมื่อทอดผลิตภัณฑ์เต็มรางทอด อุณหภูมิทุกจุดมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะระยะ 5 cm คือ อุณหภูมิลดลงโดยเฉลี่ย 5n°C ซึ่งเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์จมลงในน้ำมันและเกิดการลอยตัวบริเวณนี้ และช่วงอื่นๆ อุณหภูมิลดลงแต่ละจุดไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ทอด

5. สรุปผลการออกแบบ

การออกแบบและสร้างระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง เพื่อให้ระบบมีการไหลที่สามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการทอด โดยใช้หลักการทำงานของพัดลมและกังหันประเภทไหลขวางแกน พบว่ากังหันประเภทไหลขวางแกนเหมาะสำหรับการทำงาน

กับของเหลว สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องทอดแบบต่อเนื่องได้ดี

หลังจากสร้างเครื่องทอดต่อเนื่องเสร็จจึงทำการทดสอบเครื่องทอดต่อเนื่องด้วยการทดสอบการการไหลในเบื้องต้นพบว่าเมื่อแก้ไขลักษณะการทำงานของใบพัดจากโค้งหลังเป็นใบพัดโค้งหน้าทำให้เกิดกระแสการไหลที่ดีขึ้น เพราะใบพัดโค้งหน้าให้ลักษณะการไหลที่ปั่นป่วน ซึ่งเหมาะสำหรับลักษณะการไหลของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดต่อเนื่องและจากการทดสอบน้ำที่อุณหภูมิห้องสามารถไหลได้ดีกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3 °C และในการทดสอบโดยมีน้ำมันเป็นของไหลพบว่าหากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการไหลที่เร็วมากยิ่งขึ้น และอุณหภูมิของน้ำมันบริเวณด้านบนของรางทอดมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณด้านล่าง และหากน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิกับอุณหภูมิห้องได้มากกว่าส่งผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนหรือการสูญเสียความร้อนได้มากกว่า และการทอดผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดใช้เวลาในการทอดไม่เท่ากันจึงตั้งค่าความถี่ที่ใช้ในการทอดไม่เท่ากัน และการทอดผลิตภัณฑ์หากทอดในปริมาณน้อยจะไม่ส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิของน้ำมันในรางทอดแต่ถ้าทอดในปริมาณมากที่จุดวัดที่ระยะ 5 cm จะมีการลดลงของอุณหภูมิที่มากที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

- Abhiroop Chattopadhyay. 2010. Cross-Flow Water Turbine.1-6.
- Canadian Blower. (2004). Industrial Fans and Blowers. Energy Efficiency Guide Book, chapter 5, 93-112.
- Gabi, M., and Klemm, T. (2004). Numerical and Experimental Investigations of Cross-Flow Fans. Journal of Computational and Applied Mechanics, 5(2), 251-261.
- Gebrehiwot, M. G., De Baerdemaeker, J. and Baelmans, M. (2007). Numerical Analysis of a Cross-Flow Fan with Two Outlets. In: HEFAT2007, 5th international conference on heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics, Sun City, South Africa. Paper number: GM2.
- Lazzaretto, A., Toffolo, A., and Martegani, A. D. (2003). A Systematic Experimental Approach to Cross-Flow Fan Design. ASME Journal of Fluid Engineering, 125, 684-693.
- Gebrehiwot, M.G., Baerdemaeker, J, Baelmans, M. 2010. Numerical and experimental study of a

cross-flow fan for combine cleaning shoes. Biosystems Engineering, 106, 448-457

- Shih, Y. C., Hou, H. C., and Chiang, H. (2004). Numerical Study of the Similarity Law for the Cross Flow Fan of the Split-Type Air Conditioner. ASHRAE Transactions, 110(II), 378-388.
- Tanaka, S., & Murta, S. (1995). Scale Effect in Cross Flow Fans: Effect of Fan Dimensions on Flow Details and the Universal Representation of Performances. JSME International Journal, Series B, 38(3), 388-397.
- Toffolo, A., Lazzaretto, A. and Martegani, A. D. (2004). An experimental investigation of the flow field pattern within the impeller of a cross-flow fan. Experimental Thermal and Fluid Science, 29, 53-64.
- การุณย์ และคณะ, 2541, "การออกแบบและสร้างเครื่องทอดปาท่องโก๋ระบบกึ่งอัตโนมัติ" กรุงเทพฯ, สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล(ออกแบบเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า ก-73.