การออกแบบระบบกลไกการพลิกกลับปาท่องโก๋สำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

DESIGN OF DOUGH STICK FLIPPING MECHANISM FOR CONTINUOUS FRYING PROCESS

นางสาวกาญจนา บุดศรีคำ

นางสาวทิวาวรรณ พาโคกทม

นายปราชญา วัฒนสันติเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การออกแบบระบบกลไกการพลิกกลับปาท่องโก๋สำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

DESIGN OF DOUGH STICK FLIPPING MECHANISM FOR CONTINUOUS FRYING PROCESS

นางสาวกาญจนา บุดศรีคำ

นางสาวทิวาวรรณ พาโคกทม

นายปราชญา วัฒนสันติเจริญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF DOUGH STICK FLIPPING MECHANISM FOR CONTINUOUS FRYING PROCESS

MISS KANJANA BUDSRIKAM
MISS TIWAWAN PAKOKTOM
MR. PRACHAYA WATTANASUNTICHAROEN

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 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ ... เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบระบบกลไกการพลิกกลับปาท่องโก๋สำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

นักศึกษาผู้ทำโครงงาน

นางสาวกาญจนา	บุดศรีคำ	รหัสนักศึกษา 53010091
นางสาวทิวาวรรณ	พาโคกทม	รหัสนักศึกษา 53010599
นายปราชญา	วัฒนสันติเจริญ	รหัสนักศึกษา 53010939

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	การออกแบบระบบกลไกการพลิกกลับปาท่องโก๋สำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง		
นักศึกษา	นางสาวกาญจนา	บุดศรีคำ	รหัสนักศึกษา 53010091
	นางสาวทิวาวรรณ	พาโคกทม	รหัสนักศึกษา 53010599
	นายปราชญา	วัฒนสันติเจริญ	รหัสนักศึกษา 53010939
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร		
ปีการศึกษา	2556		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบกลไกการพลิกปาท่องโก๋สำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง และศึกษาวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการพลิกปาท่องโก๋ของระบบกลไกต้นแบบ จากการศึกษารูปแบบการพลิกด้วยกลไกต่างๆ เปรียบเทียบกันพบว่า หลักการการพลิกแบบยกเป็นรูปแบบกลไกที่เหมาะสมที่สุดนำไปสร้างกลไกต้นแบบ ทำจากวัสดุสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร และแบ่งออกเป็นกลไก 3 ชุด มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แผ่นตะแกรงพลิกกว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร แผงกั้นกว้าง 14 เซนติเมตร และแผ่นตะแกรงพลิกออกกว้าง 7 เซนติเมตร ยาว 10.5 เซนติเมตร และสูง 8 เซนติเมตร ใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 36 วัตต์ เป็นต้นกำลัง และใช้การขับแบบเฟืองดอกจอกเป็นกลไกในการส่งกำลัง มีควบคุมการทำงานด้วยวงจรรีเลย์ ระบบกลไกการพลิกถูกติดตั้งเข้ากับรางทอดสแตนเลสยาว 150 เซนติเมตร กว้าง 14 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นโครงสร้างที่กลไกพลิกยึดติดและมีระดับน้ำมันที่ 11 เซนติเมตร จากการทดสอบและวิเคราะห์ผลพบว่า ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งกลไกการพลิกอยู่ที่กึ่งกลางของรางทอด ซึ่งสามารถทอดปาท่องโก๋ให้สุกได้โดยที่สีทั้งสองด้านไม่แตกต่างกันระหว่างผิวทั้ง 2 ด้าน และจากการทดสอบการทำงานของระบบกลไกพบว่า สามารถทำการพลิกปาท่องโก๋ได้อย่างสมบูรณ์ โดยสามารถทำการผลิตปาท่องโก๋ได้ 3 ตัวต่อนาที นอกจากนี้ยังมีการทดสอบค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) พบว่าปาท่องโก๋ 1 ตัว ใช้พลังงานเฉลี่ย 13.54 วัตต์ คิดเป็นค่าพลังงาน 0.02 บาทต่อตัว

คำสำคัญ เครื่องทอดแบบต่อเนื่อง กลไกการพลิก กลไกการส่งกำลัง กลไกการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Design of Dough Stick Flipping Mechanism for Continuous Frying Process	
Students	Miss Kanjana Budsrikam	Student ID 53010091
	Miss Tiwawan Pakoktom	Student ID 53010599
	Mr. Prachaya Wattanasunticharoen	Student ID 53010939
Project Advisor	Dr. Kiattisak Roonprasang	
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Food Engineering	
Academic Year	2013	

Abstract

This project presents the design and construction of mechanism for dough stick flipping in continuous frying process. In addition, the study of appropriated configuration and efficiency improvement of the frying machine are included. After research and comparison between conceptual mechanisms, the best mechanism is chosen. The components made from Stainless Steel and divided in to 3 groups of mechanism set. The flipping device consists of 9x12 cm flipping tray, 14-cm-wide fence, 7x10.5x8 cm bring-out tray, 36 W DC rotary motor as an actuator and bevel gears as a transmission system which controlled by timer-relay circuit. All of the components were assembled on 150x14x20 cm stainless steel rail which performed as a main structure. The frying process works well with 11 cm of palm oil level. The results from experiment were shown that the most suitable installation point of flipping device was located on the middle of the rail due to the color of product. It has no significant difference color between top and bottom surface when the products were flipped at this position. The performance test result shown that the prototype can completely flip the product and has production capacity of 3 pieces per minute. The specific energy consumption testing also done and found that production of continuous frying process consumed 13.54 W per piece and costs of THB 0.02.

Keywords Continuous Frying Machine, Flipping Mechanism, Transmission Mechanism, Controlling Mechanism

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์จาก ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษา เพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือในด้านการปฏิบัติงาน เทคนิคและวิธีการต่างๆ ในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ และคุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ ที่จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลองต่างๆ และจัดทำหนังสือรับรองในการยืมอุปกรณ์

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมอาหารและนอกภาควิชาที่ให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบผลิตปาท่องโก๋อัตโนมัติ ซึ่งได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2555

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดา และผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ผู้ที่มอบชีวิตการศึกษา และอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้จัดทำโครงงาน

นางสาวกาญจนา บุดศรีคำ

นางสาวทิวาวรรณ พาโคกทม

นายปราชญา วัฒนสันติเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญรูปภาพ	XI
สารบัญตาราง	XIII
รายการสัญลักษณ์	XIV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	
2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋	3
2.2 โดนัททอดและผลิตภัณฑ์อื่น	3
2.3 กระบวนการทอด	4
2.3.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น	5
2.3.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม	5
2.4 เครื่องทอดแบบต่อเนื่อง	5
2.4.1 ระบบการให้ความร้อนโดยตรง	5
2.4.2 ระบบการให้ความร้อนทางอ้อม	5
2.4.3 ระบบการให้ความร้อนจากภายนอก	6
2.5 แรงหน่วง	6
2.6 การศึกษาระบบกลไกการพลิก	6
2.6.1 กลไกการพลิกแบบตะเกียบ	7
2.6.2 กลไกการพลิกแบบยก	7
2.7 การศึกษาระบบกลไกในการส่งกำลัง	7
2.7.1 กลไกโซลินอยด์	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.2 กลไกการใช้คลัตช์	8
2.7.3 กลไกวงล้อเจนีวา	8
2.7.4 กลไกคันชัก	9
2.7.5 กลไกเหวี่ยงเลื่อนที่มีการชดเชยความสูง	9
2.7.6 กลไกการขับแบบเฟืองตัวหนอน	10
2.8 การศึกษาระบบควบคุมการทำงาน	14
2.8.1 ระบบควบคุม PLC	14
2.8.2 ระบบควบคุม PIC	14
2.8.3 วงจรรีเลย์	14
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการออกแบบ	
3.1 เฟือง	16
3.1.1 เฟืองตรง	16
3.1.2 เฟืองวงแหวน	17
3.1.3 เฟืองดอกจอก	17
3.1.4 เฟืองดอกจอกแบบสมมาตร	20
3.1.5 เฟืองเฉียง	20
3.1.6 เฟืองก้างปลา	21
3.1.7 เฟืองสะพาน	21
3.1.8 เฟืองเกลียวสกรู	22
3.1.9 เฟืองตัวหนอน	23
3.2 สกรูและน็อต	24
3.3 ตลับลูกปืน	26
3.3.1 ประเภทของตลับลูกปืน	26
3.3.2 โครงสร้างของตลับลูกปืน	27
3.3.3 ตลับลูกปืนประเภทต่างๆ	28
3.3.4 ความเสียหายที่เกิดจากการใช้งาน	30
3.3.5 สาเหตุความเสียหายของตลับลูกปืนในเครื่องมือกล	31
3.3.6 การบำรุงรักษาตลับลูกปืน	31
3.4 เพลา	32
3.4.1 เพลาส่งกำลัง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4.2 เพลารองรับภาระ	34
3.4.3 วัสดุเพลา	34
3.4.4 ขนาดของเพลา	34
3.4.5 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลา	35
3.5 เหล็กกล้าไร้สนิม	36
3.5.1 ประเภทของสแตนเลส	36
3.5.2 ค่าการนำความร้อน	37
3.5.3 สัมประสิทธิ์การขยายตัว	37
3.5.4 ฟิล์มป้องกันและการสร้างฟิล์ม	38
3.6 การเชื่อมสแตนเลส	38
3.6.1 แนวทางการประสานสแตนเลส	38
3.6.2 ประเภทของการเชื่อมสแตนเลส	39
3.6.3 ข้อมูลเทคนิคในการเชื่อมสแตนเลส	40
3.6.4 จุดบกพร่องในงานเชื่อมสแตนเลส	42
3.7 มอเตอร์	44
3.7.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	44
3.7.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	49
3.7.3 สวิตช์ที่ใช้ในการควบคุม	49
3.8 รีเลย์	50
3.8.1 หน้าที่ของรีเลย์	51
3.8.2 ประเภทของรีเลย์	51
3.8.3 ชนิดของรีเลย์	51
3.8.4 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์	52
3.8.5 ข้อคำนึงในการใช้งานทั่วไป	53
3.8.6 ประโยชน์ของรีเลย์	53
3.9 สวิตชิ่งพาวเวอร์ซับพลาย	53
3.9.1 สวิตชิ่งพาวเวอร์ซับพลายกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น	54
3.9.2 หลักการทำงานของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซับพลาย	54
3.9.3 คอนเวอร์เตอร์	55
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ	
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.1.1 ขนาดของผลิตภัณฑ์	56
4.1.2 น้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์	57
4.1.3 สีของผลิตภัณฑ์	57
4.1.4 ปริมาณการดูดซับน้ำมัน	57
4.1.5 เวลาที่ใช้ในการทอด	57
4.2 การออกแบบและสร้างกลไกต้นแบบ	58
4.2.1 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระยะในการติดตั้งกลไกการพลิก	58
4.2.2 การออกแบบระบบกลไกการพลิก	60
4.2.3 การออกแบบระบบกลไกในการส่งกำลัง	62
4.2.4 การออกแบบระบบที่ใช้ในการควบคุม	64
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ	
5.1 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น	69
5.2 ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้น	70
5.3 การทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง	72
5.3.1 การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์	72
5.3.2 ผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์	73
5.3.3 การทดสอบปริมาณน้ำมันของเครื่องทอด	74
5.3.4 ผลการทดสอบปริมาณน้ำมันของเครื่องทอด	75
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิจัย	77
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง	77
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กลไกการพลิกแบบตะเกียบ 7
รูปที่ 2.2 กลไกการพลิกแบบยก 7
รูปที่ 2.3 กลไกการใช้คลัตช์ 8
รูปที่ 2.4 กลไกวงล้อเจนีวา 8
รูปที่ 2.5 กลไกเหวี่ยงเลื่อนชดเชยความสูง 9
รูปที่ 2.6 แบบจำลองสามมิติและการเคลื่อนที่ของกระดาษแข็ง 10
รูปที่ 2.7 กลไกการขับแบบเฟืองตัวหนอนและเฟืองขบ 11
รูปที่ 2.8 องศาการพลิกและตัวหยุดแบบแนวตั้ง 11
รูปที่ 2.9 กลไกการใช้เฟืองตัวหนอนและโซ่ 12
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการทำงานของระบบส่งกำลัง 13
รูปที่ 2.11 ผลของความเร็ว ความเร่ง แรงบิด ต่อเวลา 13
รูปที่ 2.12 วงจรรีเลย์ที่ใช้ในการควบคุม 14
รูปที่ 3.1 ลักษณะของเฟืองตรง 16
รูปที่ 3.2 ลักษณะของเฟืองวงแหวน 17
รูปที่ 3.3 ลักษณะของเฟืองดอกจอก 18
รูปที่ 3.4 ลักษณะของเฟืองไฮปอยด์ 19
รูปที่ 3.5 ความแตกต่างระหว่างเฟืองดอกจอกกับเฟืองไฮปอยด์ 19
รูปที่ 3.6 ลักษณะของเฟืองดอกจอกแบบสมมาตร 20
รูปที่ 3.7 ลักษณะของเฟืองเฉียง 20
รูปที่ 3.8 ลักษณะของเฟืองก้างปลา 21
รูปที่ 3.9 ลักษณะของเฟืองสะพาน 22
รูปที่ 3.10 ลักษณะของเฟืองเกลียวสกรู 22
รูปที่ 3.11 ลักษณะของเฟืองตัวหนอน 23
รูปที่ 3.12 ประเภทของสกรู 25
รูปที่ 3.13 ประเภทของหัวน็อต 25
รูปที่ 3.14 ตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว 26
รูปที่ 3.15 โครงสร้างของตลับลูกปืน 27
รูปที่ 3.16 ลักษณะของเพลาส่งกำลัง 33
รูปที่ 3.17 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์ 45
รูปที่ 3.18 การใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน 45
รูปที่ 3.19 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.20 ความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิลของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่ 47
รูปที่ 3.21 การกระตุ้นเฟสต่างๆ ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 49
รูปที่ 3.22 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัปพลาย 54
รูปที่ 4.1 ขนาดตัวแปรต่างๆ ของปาท่องโก๋ 57
รูปที่ 4.2 เครื่องทอดแบบต่อเนื่องต้นแบบ 58
รูปที่ 4.3 การทดสอบหาตำแหน่งติดตั้งกลไกการพลิก 59
รูปที่ 4.4 การทดสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดสี 60
รูปที่ 4.5 รูปแบบโมเดลกลไกการพลิกแบบยก 60
รูปที่ 4.6 แผ่นตะแกรงพลิกปาท่องโก๋ 61
รูปที่ 4.7 แผงกั้นปาท่องโก๋ 62
รูปที่ 4.8 แผ่นตะแกรงพลิกออก 62
รูปที่ 4.9 กลไกการส่งกำลัง 64
รูปที่ 4.10 พัลส์ลำดับการทำงานของมอเตอร์ 64
รูปที่ 4.11 ชุดอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในการทดลอง 65
รูปที่ 4.12 วงจรควบคุม 66
รูปที่ 4.13 วงจรกำลัง 67
รูปที่ 4.14 ท่อปรับมุม 68
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานของกลไกต่างๆ 70
รูปที่ 5.2 การแก้ไขด้วยวิธีการต่างๆ 71
รูปที่ 5.3 การวัดอุณหภูมิด้านต่างๆ ของรางทอด 72
รูปที่ 5.4 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในเครื่องจักร 74
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิและน้ำมัน 75
รูปที่ 5.6 ปริมาณน้ำมันที่เสียไปในกระบวนการ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775-1969 35
ตารางที่ 3.2 ค่าตัวประกอบความล้า 36
ตารางที่ 3.3 เทคนิคการเลือกพารามิเตอร์การเชื่อมแบบจุด 40
ตารางที่ 3.4 เทคนิคการเลือกพารามิเตอร์การเชื่อมแบบแนวตะเข็บ 41
ตารางที่ 3.5 เทคนิคการเลือกใช้แก๊สในงานเชื่อม 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

C_t	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
C_m	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
L	ความยาวของวัตถุ
M	โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับเพลา
$\overline{Nu}$	ตัวเลขนัสเซลส์ *(Nusselt number)*
Pr	ตัวเลขพรันด์เทิล *(Prandtl number)*
Ra_L	ตัวเลขเรโนลด์ *(Reynolds number)*
T	โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลา
T_w	อุณหภูมิผนัง
T_∞	อุณหภูมิอากาศ
d^3	ขนาดของเพลา
g	แรงโน้มถ่วงของโลก
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
v	ความเร็วเฉลี่ยของการไหล
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ
φ	ฟังก์ชันกระแส *(Stream function)*
τ_p	ความเค้นเฉือนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยได้มีธุรกิจอาหารขนาดย่อมเกิดขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นธุรกิจอาหารประเภททอด ปิ้งหรือย่าง ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดธุรกิจอาหารเหล่านี้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ด้วยจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นทุกปีและการใช้ชีวิตประจำวันของแต่ละคนต่างก็เร่งรีบ รวมทั้งค่าครองชีพที่สูง จึงทำให้ผู้บริโภคต่างก็มองหาอาหารที่หาซื้อได้ง่าย สะอาด อิ่มท้อง และที่สำคัญต้องประหยัดทั้งเงินและเวลาด้วย ในปัจจุบันอาหารทอดได้รับความนิยมสูงมาก ซึ่งสามารถเห็นผู้ประกอบการและผู้บริโภคได้ทั่วไป ด้านผู้บริโภค อาหารทอดถือได้ว่าสามารถตอบโจทย์ได้ตรงตามความต้องการได้ดีที่สุด อีกทั้งอาหารทอดสามารถเป็นได้ทั้งอาหารว่างและอาหารหลักขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค ด้านผู้ประกอบการในการทำธุรกิจอาหารทอดนั้น ถือได้ว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน เพราะธุรกิจอาหารทอดมีต้นทุนต่ำ แต่ได้ผลประกอบการเป็นที่น่าพอใจและมีระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างเร็ว

ปัจจุบันการทำธุรกิจปาท่องโก๋ ก็เป็นอีกธุรกิจหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการเป็นอย่างมาก เนื่องจากปาท่องโก๋เป็นอาหารที่ได้รับความนิยมสูงจากผู้บริโภคตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งสามารถนำมารับประทานควบคู่ได้กับอาหารหลากหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นนมข้นหวาน สังขยา โอวัล-ติน น้ำเต้าหู้ หรือแม้กระทั่งโจ๊กร้อนๆ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปาท่องโก๋ที่ผลิตในแต่ละวันนั้นผลิตได้ช้า เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ต้องอาศัยการใช้แรงงานคนในการผลิต ทำให้ปริมาณการผลิตในแต่ละวันไม่คงที่ มีปริมาณน้อย ใช้ระยะเวลาในการผลิตนาน ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และอาจเกิดการปนเปื้อนมาจากผู้ผลิตได้ จึงทำให้ผู้ประกอบการส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจในเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวและเพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภคได้ จากโครงงานการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบเครื่องทอดปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง เมธินี สุกแดง และคณะ (2554) นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอาหาร ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบ พบว่าเครื่องจักรต้นแบบนั้นสามารถทอดปาท่องโก๋ให้สุกได้ แต่ยังต้องอาศัยแรงงานคนในขั้นตอนการพลิกปาท่องโก๋ ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งคือ การพลิกกลับปาท่องโก๋ในระหว่างการทอด จึงได้มีการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการพลิกกลับปาท่องโก๋ในแต่ละครั้ง และทำการออกแบบระบบกลไกในการพลิกกลับ โดยอาศัยหลักการของเครื่องทอดโดนัท มีขั้นตอนการทำงานคือ เมื่อแป้งปาท่องโก๋ลอยมาหยุดอยู่ที่ชุดพลิกกลับ รอจนกระทั่งถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ชุดพลิกกลับจะทำการพลิกปาท่องโก๋ทีละตัว โดยที่ชุดพลิกกลับจะมีตัวกั้นปาท่องโก๋ไม่ให้ลอยผ่านไปก่อนการพลิก และในขณะที่พลิกจะมีอุปกรณ์อีกชุดมาหยุดปาท่องโก๋ตัวต่อไปไม่ให้ลอยไปติดอยู่ใต้ชุดพลิกกลับ ซึ่งในการทำโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบกลไกการพลิกกลับปาท่องโก๋

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้ในการสร้างเครื่องจักรต้นแบบในกระบวนการผลิตปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อออกแบบและสร้างกลไกต้นแบบสำหรับพลิกชิ้นปาท่องโก๋ระหว่างกระบวนการทอดในรางทอดแบบต่อเนื่อง

2. เพื่อศึกษาการทำงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการพลิกชิ้นปาท่องโก๋ของระบบกลไกต้นแบบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ระบบกลไกนี้ใช้กับระบบการทอดที่ใช้น้ำมันไหลนำปาท่องโก๋เข้าสู่กลไกการพลิกเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับระบบสายพานหรือระบบลำเลียงอื่นๆ ได้

2. กลไกที่สร้างเป็นต้นแบบเพื่อสังเกตและศึกษาการทำงาน ดังนั้นวัสดุที่ใช้ยังไม่ถูกหลักการออกแบบเพื่อสุขอนามัย เพื่อความประหยัดทุนวิจัย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เครื่องจักรต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอด และมีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างน้อยเท่ากับการผลิตด้วยแรงงานคน เพื่อนำไปใช้งานในธุรกิจขนาดย่อมได้

2. สามารถเพิ่มปริมาณการผลิต เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างเพียงพอ

3. สามารถลดการใช้แรงงานคนในกระบวนการทอดปาท่องโก๋ลงได้

4. สามารถควบคุมคุณภาพและคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามที่กำหนดและสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ในการออกแบบและวิเคราะห์ตัวแปรที่สำคัญสำหรับกลไกการพลิกปาท่องโก๋นั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเพื่อสร้างกลไกต้นแบบ ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังต่อไปนี้

2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปาท่องโก๋

ปาท่องโก๋ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งสาลีมานวดผสมกับน้ำและส่วนประกอบอื่นให้เข้ากัน เช่น น้ำตาล เกลือ ผงฟู ผงแอมโมเนีย ยีสต์ หมักในระยะเวลาที่เหมาะสม นำแป้งมาแบ่งเป็นก้อนเล็กรีดเป็นแถบกว้างให้มีความหนาที่เหมาะสม ตัดแบ่งเป็นชิ้น อาจประกบเป็นคู่หรือทำเป็นเกลียว ทอดจนสุก อาจบรรจุไส้ด้วยส่วนประกอบอื่น เช่น สังขยา ครีมช็อกโกแลต นำไปแช่แข็งหรือแช่เย็น ก่อนบริโภคต้องนำไปให้ความร้อนอีกครั้ง ลักษณะทั่วไปของปาท่องโก๋ต้องติดกันเป็นคู่หรือม้วนเป็นเกลียว ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของปาท่องโก๋ ไม่ไหม้เกรียม ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของปาท่องโก๋ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน รสขม ลักษณะเนื้อสัมผัสต้องกรอบนอก นุ่มใน ไม่แข็งกระด้าง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554)

2.2 โดนัททอดและผลิตภัณฑ์อื่นๆ

การถ่ายโอนความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์แบเกอรี่ในระหว่างการทอดจะขึ้นอยู่กับจำนวนของปัจจัยรวมทั้งอุณหภูมิของน้ำมัน ประเภทของการทอด และรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ ในการป้อนแป้งโดนัทเข้าสู่เครื่องทอด ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังโดนัท (ยีสต์) โดยการนำความร้อนจากน้ำมันร้อนเข้าสู่ตัวของผลิตภัณฑ์ สำหรับโดนัทยีสต์รูปแบบการขยายตัวและการเชื่อมต่อกันของฟองอากาศ จะมีลักษณะเดียวกับที่เกิดในแป้งขนมปัง เพราะผิวสัมผัสมีความใกล้กันระหว่างแหล่งความร้อนและผลิตภัณฑ์ เวลาที่ทำให้เกิด foam to sponge เป็นการเปลี่ยนแปลงที่สั้นมาก อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงมักจะเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขบางส่วนของการพิจารณา ส่วนใหญ่การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นคือ การนำความร้อน

การทอดมี 2 วิธีหลักที่ใช้ในการผลิตโดนัท คือ การทอดแบบลอย (float frying) และการทอดโดยจมอยู่ใต้น้ำทอด (submerged frying) ในการทอดแบบลอยนั้นเป็นการวางแป้งโดนัทลงในน้ำมันร้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ แป้งโดนัทจะลอยบนพื้นผิวของน้ำมันเพื่อให้เพียงส่วนหนึ่งสัมผัสโดยตรงกับแหล่งความร้อน สิ่งนี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ทอด พื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่จมอยู่ในน้ำมันจะร้อนเร็วกว่าพื้นผิวด้านบน ดังนั้นจึงขยายตัวในอัตราที่มากขึ้นในขณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะลดลงและยังคงลอยต่อไป ด้านบนของแป้งโดนัทจะสัมผัสกับบรรยากาศ ซึ่งเริ่มเกิดการระเหยของน้ำออกจากแป้งโดนัท และผิวส่วนนี้จะแห้ง ในการเกิดการขยายตัวของผลิตภัณฑ์นี้ การทอดแบบลอยนี้จึงทำการพลิกเพื่อให้เกิดการขยายตัวในลักษณะเดียวกันของผิวด้านที่จมอยู่ในน้ำมัน

ผลิตภัณฑ์ทอดส่วนใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างเล็กและมีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ โดยทั่วไปถือว่าเป็นรูปร่างทรงกลมในระหว่างการทอด ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น ปาท่องโก๋ เป็นการยากที่ทำการทอดเพราะมีการนำความร้อนที่ต่ำของวัสดุที่ใช้ในการผลิต อัตราการถ่ายโอนความร้อนสามารถเพิ่มความเร็วในการทอดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโดนัทยีสต์ โดยการเพิ่มขนาดวงแหวนซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน วิธีการนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการทอดและเพิ่มความเร็วในการเกิด foam to sponge

ปัญหาที่พบบ่อยที่เกี่ยวข้องกับโดนัท คือ การดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่ค่อนข้างมากซึ่งเป็นผลมาจากการทอด สิ่งนี้นำไปสู่การเป็นไขมัน เมื่อต้องการควบคุมผลิตภัณฑ์โดนัทและการเลี่ยน เมื่อป้อนแป้งโดนัทลงในหม้อทอด จะเกิดการขยายตัวของแป้งเป็นเพราะความร้อนเริ่มแทรกซึมเข้าสู่ตัวแป้ง ในขณะที่ฟองแก๊สไม่เปลี่ยนแปลงและกำลังเกิดการขยายตัวของความดันภายในชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่าของน้ำมันหรือบรรยากาศ และสิ่งนี้จะป้องกันไม่ให้น้ำมันผ่านเข้าไปในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดหลังจากการเปลี่ยนแปลง foam to sponge เท่านั้น ความดันภายในชิ้นแป้งโดนัทเท่ากับบริเวณรอบๆ ตัวมัน ซึ่งน้ำมันที่สามารถเริ่มซึมเข้าไปในโครงสร้าง แม้ว่าไอน้ำจะต้านทานการเข้าแทรกซึมของไขมันดังนั้นการดูดซึมของไขมันควรจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่อมาของการทอด (Harold Corke, 2006)

2.3 กระบวนการทอด

การทอด คือ การทำอาหารให้สุกโดยใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิทอดอยู่ระหว่าง 170-200°C โดยการทอดเป็นการนำชิ้นอาหารวางลงในน้ำมันขณะร้อน ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในอาหารระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ผิวนอกของอาหารมีลักษณะแห้งและมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับน้ำมัน อัตราการถ่ายเทความร้อนแปรเปลี่ยนไปตามความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอุณหภูมิของอาหาร การทอดเป็นการถนอมอาหารรูปแบบหนึ่ง เพื่อให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยทำให้ปริมาณน้ำภายในอาหารลดน้อยลงและทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ลดค่าเอนไซม์ที่ผิวของอาหารตลอดชิ้น ความชื้นของอาหารหลังการทอดเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์ อาหารทีมีความชื้นอยู่ภายใน เช่น โดนัท ปาท่องโก๋ ขนมปังทอด การเก็บรักษาจะสั้นเนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำมันระหว่างการเก็บรักษา (ถาวร อริยภูชัย, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมี 2 วิธี สามารถจำแนกโดยวิธีการถ่ายโอนความร้อน ได้แก่ วิธีการทอดแบบน้ำมันตื้น และวิธีการทอดแบบน้ำมันท่วม

2.3.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น (Shallow frying)

การทอดแบบน้ำมันตื้นเป็นการทอดชิ้นอาหารในกระทะที่มีปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย โดยมีระดับน้ำมันในกระทะโดยประมาณ 0.5-1 นิ้ว โดยน้ำมันนั้นต้องไม่ท่วมชิ้นอาหารทั้งชิ้น วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอนสไลด์ ไข่ เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่างๆ ความร้อนจากผิวกระทะร้อนนั้นเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบางๆ ไปยังอาหาร ความหนาของชั้นน้ำมันที่สัมผัสกับอาหารนั้น เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวอาหารเป็นสีน้ำตาล ขณะเดียวกันที่ผิวหน้าของอาหารเกิดฟองจากไอน้ำ การทอดแบบน้ำมันตื้น ผิวหน้าของอาหารที่ทอดแบบน้ำมันตื้นมีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ

2.3.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep frying)

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นการทอดอาหารในน้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอที่ทำให้ท่วมอาหารทั้งชิ้น การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้เป็นทั้งการพาความร้อนและการนำความร้อนจากภายในอาหาร ผิวของอาหารทั้งหมดนั้นได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมสำหรับอาหารทุกรูปร่าง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน ในช่วงแรกของการทอดสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าประมาณ 200-300 $W/m^2.K$. แต่เมื่อทอดไปนานขึ้นมีการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าเกิด vapor bubble รอบๆ ชิ้นอาหารเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 800-1000 W/m^2K

2.4 เครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

ระบบการทอดแบบต่อเนื่องมักใช้กับการทอดอาหารปริมาณมาก เช่น การทอดอาหารในระดับอุตสาหกรรม โดยทั่วไประบบการทอดแบบต่อเนื่องประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ได้แก่ 1) อ่างน้ำมันหรือแทงค์น้ำมัน 2) ส่วนให้ความร้อนพร้อมระบบควบคุม 3) ระบบลำเลียงอาหารเข้าและออกจากแทงค์น้ำมัน 4) ระบบน้ำมันสำหรับทอด และ 5) ระบบระบายไอน้ำและควันที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ ระบบการให้ความร้อนสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

2.4.1 ระบบการให้ความร้อนโดยตรง (Direct heating system)

ความร้อนได้มาจากการเผาไหม้แก๊ส หรือน้ำมันเชื้อเพลิงหรือได้จากไฟฟ้า ถูกจัดวางไว้ที่ส่วนล่างของแทงค์น้ำมัน จะจมอยู่ในน้ำมัน

2.4.2 ระบบการให้ความร้อนทางอ้อม (Indirect heating system)

เป็นระบบที่น้ำมันได้รับความร้อนจากของไหลร้อน (thermalfluid) เช่น คลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน (Chaorinated hydrocarbons) ที่ถูกทำให้ร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก แล้วไหลเข้าไปในท่อที่อยู่ส่วนล่างของแทงค์น้ำมันเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันอีกทีหนึ่ง วิธีนี้หลีกเลี่ยงการต้องมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้แก๊สหรือไฟในบริเวณทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ระบบการให้ความร้อนจากภายนอก (External heating system)

น้ำมันนั้นถูกทำให้ร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ภายนอกเครื่องทอดแล้วไหลเข้าสู่แทงค์น้ำมัน ซึ่งไม่มีท่อให้ความร้อนในแทงค์น้ำมัน ทำให้ไม่มีปัญหาการเกาะติดของเศษอาหารบนท่อความร้อน ทำความสะอาดได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้พื้นที่มากสำหรับการจัดวางระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและท่อ

2.5 แรงหน่วง

แรงหน่วง (drag force) หมายถึง ปริมาณแรงที่คงเหลืออยู่บนพื้นผิวของแผ่นราบ เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลบนพื้นผิวและมีทิศทางเดียวกับความเร็วสัมพัทธ์ของของไหล การลดปริมาณ drag force หรือแรงต้าน มีความสำคัญมากในการเคลื่อนที่ของอากาศยาน รถบรรทุก และเครื่องยนต์ต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีแหล่งกำลังที่สามารถเอาชนะ drag force นี้

แรงหน่วงที่เกิดขึ้นบนผิวของวัตถุสามารถแบ่งเป็น แรงหน่วงที่เกิดจากความเค้นเฉือน หรืออาจเรียกว่า แรงเสียดทานผิว (Skin friction force) และแรงหน่วงที่เกิดจากความดันแรง (Pressure drag) ซึ่งมีตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ในการออกแบบระบบกลไกการพลิก คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงหน่วงของวัตถุ โดยขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของวัตถุนิยมหาค่าจากการทดลอง หากต้องการหาค่าแรงหน่วงด้วยวิธีทฤษฎีวิเคราะห์จะซับซ้อนและมีความยุ่งยาก ในบางครั้งอาจหาค่าไม่ได้เลย หากเกิดปรากฏการณ์การแยกขึ้นบนผิวของวัตถุ ตัวอย่างวัตถุที่แรงหน่วงเกิดจากทั้งความเค้นเฉือนที่ผนังและจากความดัน คือ วัตถุรูปทรงกระบอกเรียบ นอกจากนี้ยังเกิดกระแสวน (vortex) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การแยกและเกิดการไหลย้อนกลับของของไหลที่หลุดออกจากผิวแล้วม้วนตัวด้านหลังของรูปทรงกระบอก เมื่อการไหลมีความเร็วถึงค่าๆ หนึ่งจะเกิดกระแสวนที่ด้านหลังรูปทรงกระบอกเป็นคู่ และเมื่อมีค่าความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น กระแสวนเหล่านี้จะหลุดออกจากตำแหน่งเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปทางด้านหลังสลับกันไป ในขณะที่จะมีกระแสวนตัวใหม่เกิดขึ้น กระแสวนเหล่านี้จะเป็นตัวการหนึ่งที่ทำให้เกิดแรงหน่วง ทำให้เป็นการลดความเร็วของของไหล ส่งผลให้ความเร็วของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง และอาจทำให้ผลิตภัณฑ์สุกเกินไป เนื่องจากเครื่องต้นแบบนั้นมีระยะการทอดที่คงที่

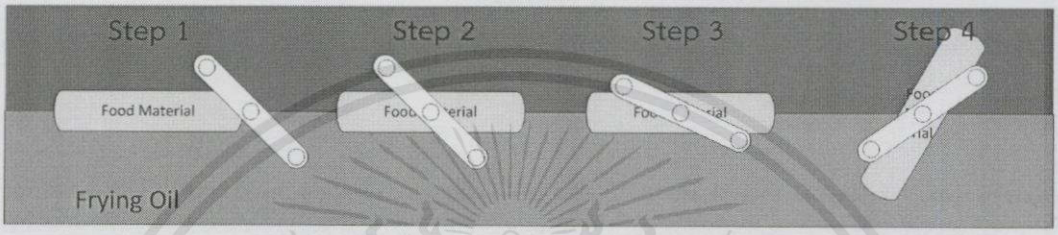
2.6 การศึกษาระบบกลไกการพลิก

กลไกที่นำมาใช้ในการพลิกนั้น ได้ศึกษาจากการใช้งานจริงในปัจจุบัน โดยสังเกตจากกระบวนการผลิตอาหารประเภททอด เพื่อนำมาวิเคราะห์ศึกษาข้อดีและข้อเสียรวมไปถึงการประยุกต์กลไกเข้ามาใช้กับเครื่องจักรกลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 กลไกการพลิกแบบตะเกียบ

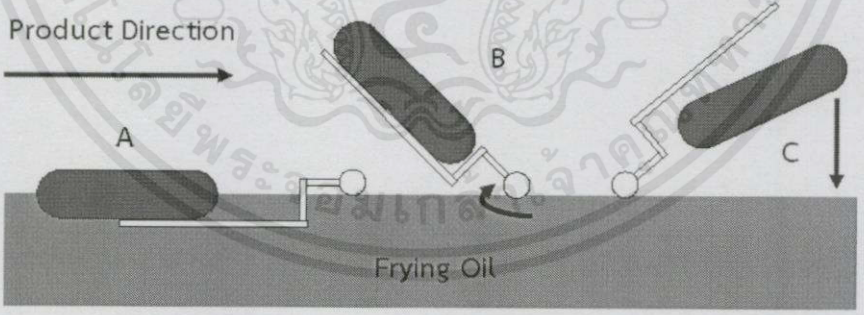
ได้แนวคิดมาจากลักษณะการทอดที่พบเห็นได้ทั่วไป เมื่อปาท่องโก๋เคลื่อนที่เข้ามายังส่วนการพลิกที่เป็นลักษณะคล้ายตะเกียบ ดังรูปที่ 2.1 จากนั้นส่วนการพลิกจะหมุนทำให้ปาท่องโก๋หมุนตาม จากการศึกษาพบว่า กลไกนี้มีจุดอ่อนคือ ต้องมีอุปกรณ์ไว้หยุดด้านหน้าและด้านหลังขณะที่เกิดการพลิก และเนื่องจากน้ำหนักที่เบาของปาท่องโก๋ อาจเกิดแรงลอยตัว (buoyancy) ทำให้ปาท่องโก๋กระเด็นออกจากน้ำมัน เหตุนี้อาจทำให้การพลิกปาท่องโก๋ไม่ประสบผลสำเร็จได้



รูปที่ 2.1 กลไกการพลิกแบบตะเกียบ

2.6.2 กลไกการพลิกแบบยก

เป็นกระบวนการพลิกที่ทำการพลิกปาท่องโก๋แบบยก สามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.2 โดยเริ่มต้นจากการรับปาท่องโก๋เข้าสู่กระบวนการพลิก (A) จากนั้นอุปกรณ์การพลิกหมุนเพื่อให้ปาท่องโก๋ลอยขึ้น (B) และพลิกกลับด้วยแรงโน้มถ่วง (C)



รูปที่ 2.2 กลไกการพลิกแบบยก

2.7 การศึกษาระบบกลไกในการส่งกำลัง

เพื่อทำให้การพลิกปาท่องโก๋ทำได้อย่างสมบูรณ์ การส่งกำลังจากต้นกำลังใดๆ มาสู่กลไกการพลิกต้องถูกนำมาพิจารณาหาความเหมาะสม จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบภายใต้เงื่อนไขตามจุดประสงค์ต่างๆ โดยการศึกษาแสดงให้เห็นถึงกลไกที่มีความเป็นไปได้ที่นำมาใช้

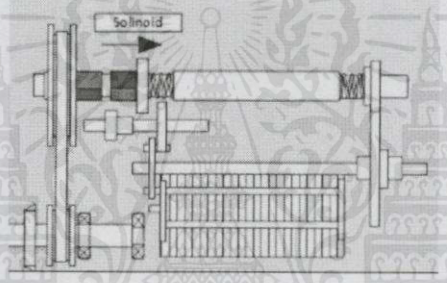
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 กลไกโซลินอยด์

ที่ใช้ทำการขับเคลื่อนตะแกรงแบบยกผ่านกลไกเหวี่ยงเลื่อน โดยจะทำการติดปลาย slider เข้ากับปลายโซลินอยด์ โซลินอยด์จะยื่นและหดกลับเพื่อทำให้เกิดการพลิกขึ้น แต่เนื่องจากโซลินอยด์นั้นมีระยะการยืดและหดที่สั้น ทำให้การพลิกมีองศาที่น้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถพลิกได้อย่างเหมาะสม

2.7.2 กลไกการใช้คลัตช์

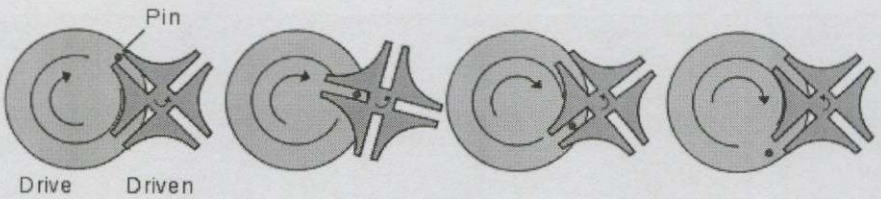
เป็นการขับตัวพลิกโดยใช้มอเตอร์ที่หมุนตลอดเวลาและขับเคลื่อนส่วนคลัตช์ที่ทำการควบคุมการพลิกหมุนด้วยโซลินอยด์ ดังรูปที่ 2.3 กลไกชนิดนี้มีข้อดีคือ มอเตอร์ไม่จำเป็นต้องใช้ระบบควบคุม เนื่องจากควบคุมผ่านระบบกลไกแทน แต่จะเกิดการกระแทกและสัมผัสของระบบกลไก ทำให้มีเสียงดัง มีการสึกหรอ ราคาสูง ดูแลรักษายาก และไม่ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากจำเป็นต้องมีมุมอับเป็นจำนวนมากสำหรับการขับเคลื่อน



รูปที่ 2.3 กลไกการใช้คลัตช์

2.7.3 กลไกวงล้อเจนิวา

เป็นกลไกที่สามารถขับเพลาได้เป็นคาบ โดยลักษณะกลไกเป็นลักษณะของวงล้อที่มีเบ้าและตัวรับหมุดจากจานขับ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถประยุกต์ใช้งานในเครื่องต้นแบบได้ แต่เนื่องจากกลไกดังกล่าวมีความสลับซับซ้อนมากเกินไป ทำให้เกิดอาการกระตุกซึ่งไม่เหมาะกับงานชนิดนี้ เนื่องจากการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดการกระจายของน้ำมันขึ้นสู่อากาศ ซึ่งเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้งานเครื่องจักรและมีความสลับซับซ้อนในการคำนวณมากเกินไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

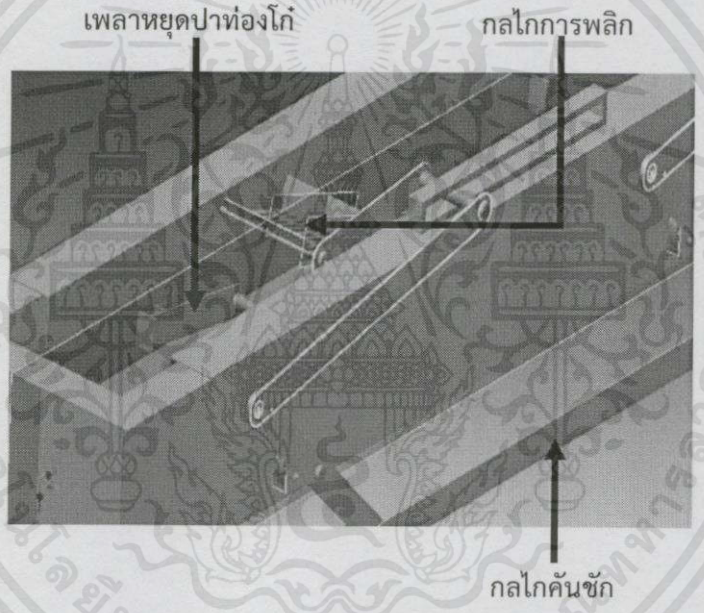
รูปที่ 2.4 กลไกวงล้อเจนีวา

2.7.4 กลไกคันชัก

เป็นกลไกลักษณะที่ขับจากจุดแรกและส่งแรงผ่านคันชัก เพื่อจับกลไกการพลิกให้ยกขึ้น โดยหลังจากที่ทำแบบสามมิติด้วยโปรแกรมออกแบบ CAD/CAM พบว่า กลไกดังกล่าวมีจุดอ่อนคือ ตัวคันชักมีความยาวมากเกินไป ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการโก่งตัวได้ รวมไปถึงระบบกลไกนี้สามารถพลิกซึ่งทำให้มีปัญหาระหว่างทำงานได้

2.7.5 กลไกเหวี่ยงเลื่อนที่มีการชดเชยความสูง (Slider Crank)

เป็นกลไกที่มีลักษณะการขับเป็นเส้นตรง ซึ่งจะทำการหมุนเหวี่ยงและเลื่อน โดยมีการชดเชยความสูงเพื่อความเหมาะสมแก่การใช้งาน จะทำการหาขนาดที่เหมาะสมและขับเคลื่อนผ่านคันชักดังรูปที่ 2.5 สามารถแก้ปัญหากลไกคันชักได้ เนื่องจากมีขนาดที่เล็กลงและเพิ่มความเสถียรให้กับกลไกเนื่องจากมีองศาอิสระที่น้อยลง

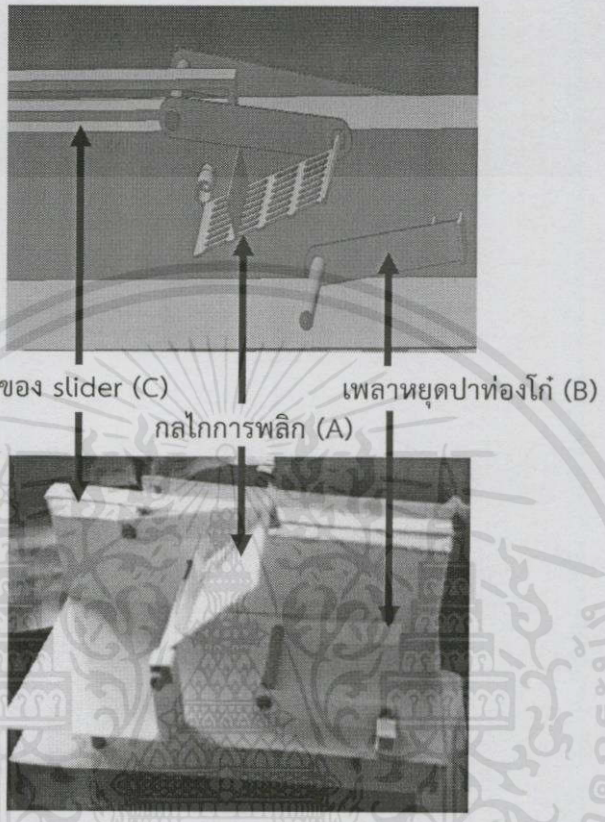


รูปที่ 2.5 กลไกเหวี่ยงเลื่อนชดเชยความสูง

จากนั้นนำมาต่อกับกลไกการพลิกแบบยก ซึ่งจะทำการขับผ่านจุดหมุนนอกรางของเครื่องต้นแบบ ถ่ายแรงเข้าสู่คันชักกลไกของตัวพลิกแรกและกลไกตัวที่สอง โดยจุดปลายของคันชักที่ทำการพลิกจะเลื่อนทำให้ปลายอุปกรณ์พลิกยกตาม นอกจากนี้ยังใช้ตัวหยุดด้านหลังเพื่อป้องกันปาท่องโก๋เข้าไปในส่วนของกลไกการพลิกก่อนที่กระบวนการพลิกจะทำงานสมบูรณ์ หลังจากทำแบบสามมิติและคำนวณด้วยโปรแกรม SAM พบว่า ความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการพลิกคือ 0.1087 m/s^2 เนื่องจากความเร็วของกลไกในตอนพลิกนั้นมีความเร็วที่ต่ำลง ทำให้น้ำมันไม่กระเด็น และจะไม่ทำให้ปาท่องโก๋ไม่กระเด็นออกด้วยความเร็ว แต่จะไถลและล้มลง ซึ่งเหมาะกับการพลิกมากกว่า จากนั้นจึงทำการสร้างโมเดลด้วยกระดาษแข็ง เพื่อทำการจำลองและตรวจสอบกลไก ดังรูปที่ 2.6 นำคันชักต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Slider Crank โดยมีเพลาหยุด (B) เพื่อป้องกันปาท่องโก๋เข้ามาในระหว่างการพลิกของส่วนการพลิก (A) ซึ่งต่อกับปลายของ Slider Crank (C)



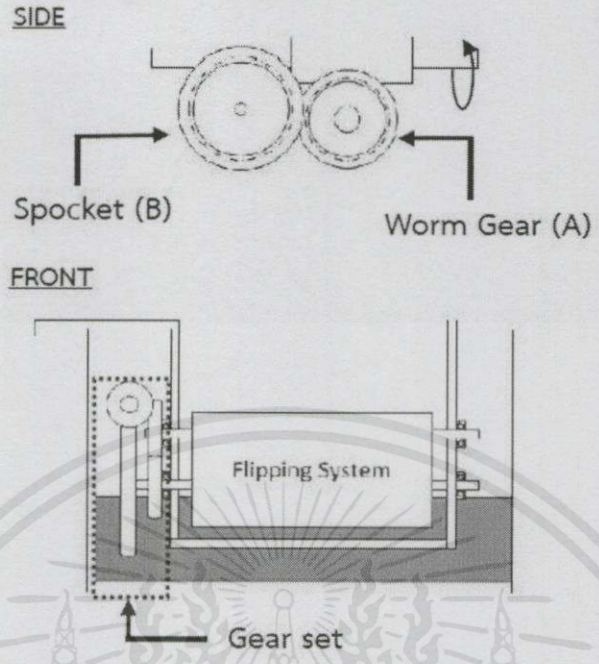
รูปที่ 2.6 แบบจำลองสามมิติและการเคลื่อนที่ของกระดาษแข็ง

หลังจากทำแบบจำลองดังกล่าวพบว่า คันชักรับแรงมากและรับแรงแบบคาบทำให้เกิดการโก่งตัวและการล้า ซึ่งเป็นเหตุให้อายุการทำงานสั้นลง สามารถแก้ได้โดยการเปลี่ยนคันชักเป็นเพลากลม แต่เนื่องจากเมื่อเปลี่ยนแล้วจะมีอุปกรณ์ต่างๆ ถูกนำเข้ามาใช้เป็นจำนวนมากจนทำให้กลไกซับซ้อนและมีราคาสูงขึ้น เช่น ลูกปืนที่ปลายเพลา ทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้งานเนื่องจากมีความสลับซับซ้อนเกินความจำเป็น

2.7.6 กลไกการขับแบบเฟืองตัวหนอน

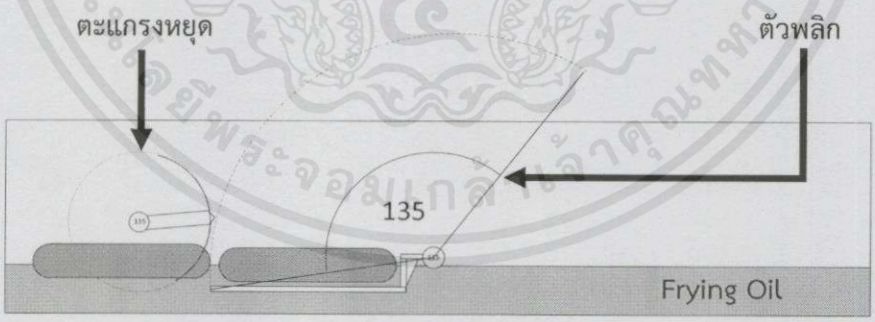
กลไกการขับแบบเฟืองตัวหนอน กลไกชนิดนี้ประกอบด้วยการใช้เฟืองตัวหนอน และเฟืองโซ่เข้าด้วยกัน โดยใช้เฟืองตัวหนอนในการถ่ายแรงจากมอเตอร์แทนคันชัก ซึ่งเป็นการลดอุปกรณ์ เพิ่มความเสถียร และลดความยุ่งยากในระบบ จากรูปที่ 2.7 ด้านข้าง (side) ประกอบด้วยชุดเกียร์ตัวหนอน (A) ซึ่งรับแรงมาจากเพลา และส่งแรงทำให้ชุดเกียร์ (B) เคลื่อนที่ตาม โดยต่อชุดเฟืองดังกล่าวเข้ากับส่วนของการพลิก ดังรูปด้านหน้า (front)

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กลไกการขับแบบเฟืองตัวหนอนและเฟืองขบ

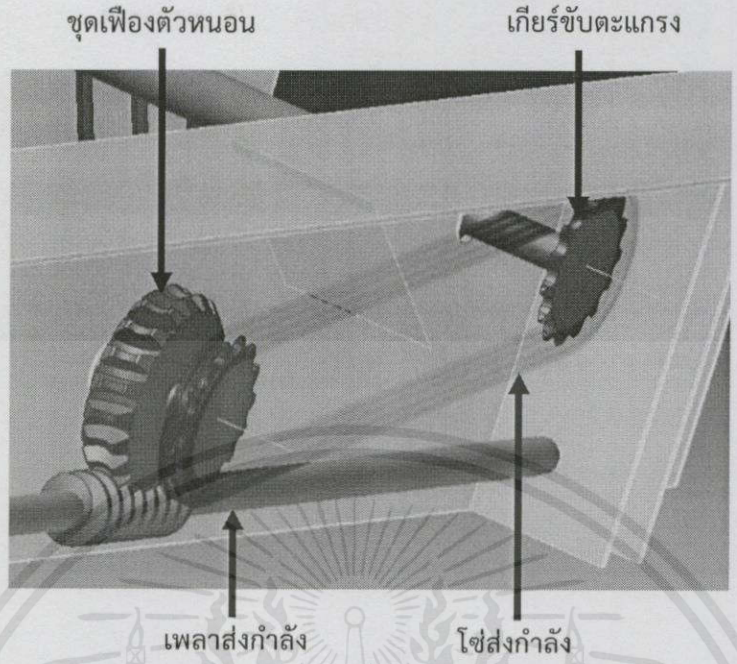
นอกจากนี้ยังใช้แผงกั้นปาท่องโก๋ติดตั้งที่ตำแหน่งด้านบน ดังรูป 2.8 แทนการหยุดปาท่องโก๋ที่ตำแหน่งด้านล่าง ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งหมุนตามตัวพลิกโดยอัตราทดเท่ากับ 1 มุมที่ใช้หมุนเท่ากับ 135 องศา



รูปที่ 2.8 องศาการพลิกและตัวหยุดแบบแนวตั้ง

จากการคำนวณและทำแบบสามมิติ พบปัญหาเรื่องของพื้นที่ในการใส่อุปกรณ์ จึงต้องเลื่อนรางออกไปด้านข้างเพื่อให้สามารถใส่อุปกรณ์ได้ เปลี่ยนจากการใช้เฟืองขับเป็นการใช้ระบบเฟืองโซ่แทน เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัด ทำการติดตั้งกับรางเครื่องต้นแบบ ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

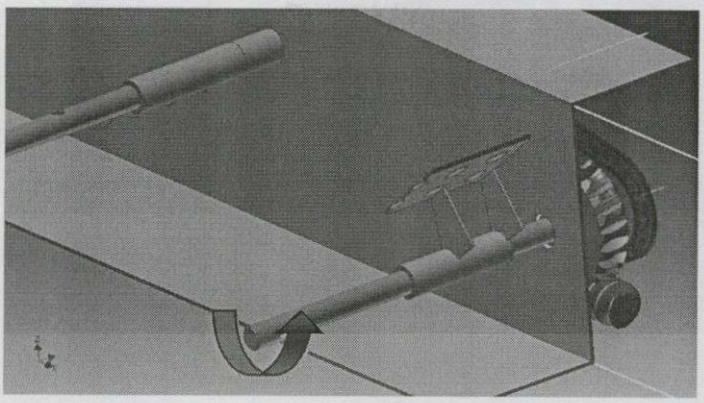


รูปที่ 2.9 กลไกการใช้เฟืองตัวหนอนและโซ่

การหมุนดังรูปเป็นขั้นตอนการพลิกขึ้น และหากกลับทิศทางโดยการส่งกำลังอีกทิศทางหนึ่งผ่านทางชุดเฟืองตัวหนอน (A) ในรูปที่ 2.6 จะเป็นการวางถาดลง เมื่อเพลาหมุนส่งกำลังผ่านชุดเกียร์และแผงกั้นปาท่องโก๋ ตำแหน่งของระบบการพลิก ดังรูปที่ 2.10 จากนั้นเมื่อปาท่องโก๋หลุดออกจากตะแกรงพลิกแล้ว ต้นกำลังจะส่งแรงหมุนกลับทำให้ระบบการพลิกกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น เพื่อรับปาท่องโก๋อีกครั้ง

(ก)

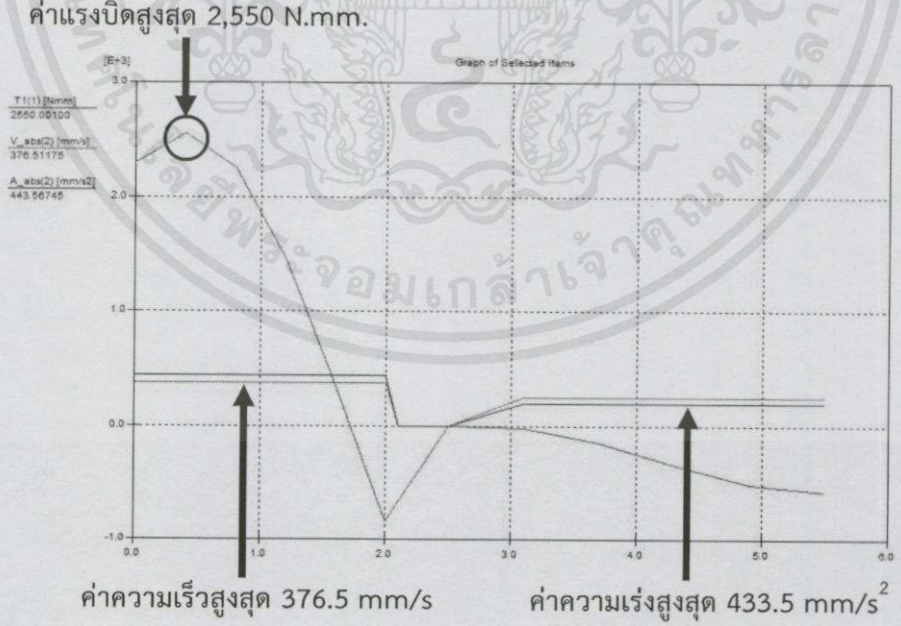
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการทำงานของระบบส่งกำลัง (ก) ตำแหน่งก่อนการพลิก
(ข) ตำแหน่งหลังการพลิก

จากนั้นวิเคราะห์การเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม SAM โดยกำหนดเงื่อนไขต่างๆ เช่น น้ำหนัก แรง ใช้ค่าตัวแปรที่ออกแบบป้อนเข้าสู่โปรแกรม แล้ววิเคราะห์ความเร็ว ความเร่ง ดังรูปที่ 2.11 ของจุดปลายของตัวพลิกเพื่อป้องกันการกระเด็นของน้ำมัน และแรงบิดที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้เป็นตัวแปรในการออกแบบระบบการส่งกำลังและต้นกำลังที่สามารถทำงานได้



รูปที่ 2.11 ผลของความเร็ว ความเร่ง แรงบิด ต่อเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 255 นิวตันเมตร ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวไปเลือกใช้มอเตอร์ได้ ส่วนความเร็วและความเร่งที่คงที่นั้นให้ผลดี เนื่องจากไม่มีการแกว่งค่าสูงหรือต่ำซึ่งสามารถทำให้น้ำมันกระเด็นไปตามแรงดังกล่าวได้

2.8 การศึกษาระบบควบคุมการทำงาน

ในการควบคุมการทำงานของระบบพลิกกลับ ได้ศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้พบว่า มีการควบคุมที่เป็นไปได้ 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

2.8.1 ระบบควบคุมแบบ PLC

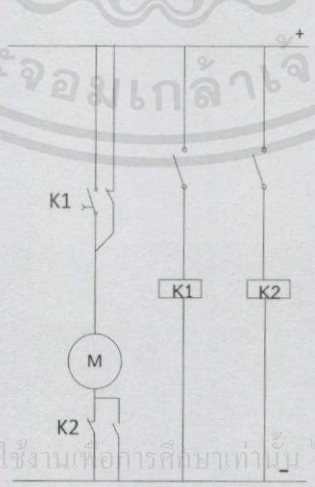
ระบบควบคุม PLC ประกอบไปด้วย PLC และชุดขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ซึ่งใช้ PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX1S1-14MR เนื่องจากเหมาะสมกับการใช้งานโดยมีพอร์ตเพียงพอ ต่อเข้ากับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 4 มอเตอร์ ซึ่งจะต่อเข้ากับกลไกการขับแบบเฟืองตัวหนอน สามารถโปรแกรมได้ด้วยโปรแกรม GX Developer แต่เนื่องด้วยราคาที่สูงทำให้เป็นตัวเลือกที่ไม่ดีนักต่อการประยุกต์ใช้

2.8.2 ระบบควบคุม PIC

ระบบควบคุม PIC เบอร์ AN906 โดยอุปกรณ์ดังกล่าวใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 24 โวลต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง โดยจะใช้งานร่วมกับภาษาซี (C) ในการเปิดปิดพอร์ตของสเต็ปมอเตอร์ ทำให้สเต็ปมอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่กำหนด แต่เนื่องจากอุปกรณ์ PIC เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งไม่ทนทานต่อไอน้ำมันและอุณหภูมิจึงไม่เหมาะสมกับงานชนิดนี้

2.8.3 ระบบควบคุมวงจรรีเลย์

ใช้ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงธรรมดา โดยสามารถประยุกต์ใช้กับเซนเซอร์แสง เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากลับขั้วให้มอเตอร์สามารถหมุนกลับด้านได้ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรรีเลย์ที่ใช้ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รชายา ธารากุลทิพย์ และคณะ (2554) ได้ทำการทดลองเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตตัวแป้งปาท่องโก๋ ซึ่งเป็นกระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋โดยใช้คน ขนาดของชิ้นแป้งโดยเฉลี่ยมีความยาว 5 เซนติเมตร ความกว้าง 1.5 เซนติเมตร และความหนา 1 เซนติเมตร เมื่อนำมาทอดพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วปาท่องโก๋มีความยาว 7.5 เซนติเมตร ความกว้าง 7 เซนติเมตร ความหนา 3 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 20.36 กรัม ซึ่งขนาดดังกล่าวเป็นขนาดที่เหมาะสม เนื่องจากเมื่อทำการทอดตัวปาท่องโก๋มีลักษณะรูปทรงเป็นที่น่าพึงพอใจและมีขนาดตัวเท่ากันสม่ำเสมอ

เมธินี สุกแดง และคณะ (2554) ได้ศึกษาค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบเครื่องทอดปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง ประกอบไปด้วย 3 ส่วนประกอบหลักคือ โครงสร้าง กลไกการให้ความร้อน และกลไกการเคลื่อนที่ โดยโครงสร้างทำจากสแตนเลส ประกอบด้วยรางทอดขนาด 10x170x10 เซนติเมตร มีปริมาตร 13.6 ลิตร และแผ่นปิดฮีทเตอร์ ระบบการให้ความร้อนเป็นระบบการให้ความร้อนโดยตรง ใช้ระบบไฟฟ้าในการให้ความร้อน โดยใช้ฮีทเตอร์แบบจุ่มขนาด 8,000 วัตต์ กลไกการเคลื่อนที่ของปาท่องโก๋เป็นระบบการให้ใบพัดหมุนวนในน้ำมัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 15 วัตต์ เป็นตัวขับเคลื่อน และใช้ระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง (DC Controller) เป็นตัวควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สามารถลำเลียงผลิตภัณฑ์ได้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด 3.5 เมตรต่อนาที ซึ่งสามารถผลิตปาท่องโก๋ได้สูงสุด 7 ตัวต่อนาที จากการทดสอบกับเครื่องต้นแบบความเร็วของน้ำมันเกิดจากความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงที่ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่เหมาะสม 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทอด 2 นาที 30 วินาที และความถี่ในการพลิกโดยเฉลี่ย 8 ครั้งต่อตัว

นภา จันทรภัทรานุกูล และภัทรชรินทร์ วรหาญ (2555) ได้ทำการออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง ซึ่งใช้กลไกกังหันแบบไหลขวางแกนหมุน (TangentialFlow Turbine) ในการลำเลียงอาหารทดแทนที่ระบบสายพาน โดยมีการทดสอบเครื่องต้นแบบกับปาท่องโก๋ที่ความเร็ว 60.62 รอบต่อนาที พบว่าสามารถทอดผลิตภัณฑ์ให้สุก และสามารถพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการทอดในระยะเวลาที่กำหนดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีและหลักการ

กลไกการพลิกปาท่องโก๋ ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ โดยใช้พื้นฐานทางวิศวกรรมในการคำนวณและออกแบบ หลักการการเลือกใช้วัสดุสำหรับชิ้นส่วนตามความเหมาะสมสำหรับชิ้นงาน ซึ่งสามารถแบ่งตามหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 เฟือง (Gears)

เฟืองเป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว คาดว่าตั้งแต่ยุคที่มนุษย์เริ่มมีอารยธรรมและคิดประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมา เฟืองเป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ถูกมนุษย์ทำขึ้นมา โดยเริ่มต้นที่เฟืองไม้ในยุคโบราณ แต่สำหรับเฟืองสมัยใหม่นั้นเพิ่งมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงลักษณะดังที่เราเห็นเมื่อไม่กี่ร้อยกว่าปีที่ผ่านมา เฟืองทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการ ใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี การส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

3.1.1 เฟืองตรง (Spur gears)

เฟืองตรงเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่งที่ขนานกัน ส่วนมากเฟืองขับ (driving gears) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (driven gears) และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พิเนียน (pinion) ส่วนเฟืองใหญ่เรียกว่าเฟือง แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ มีลักษณะเฉพาะคือ ฟันของเฟืองเรียงตัวเป็นแนวขนานไปกับรูเพลา ดังรูปที่ 3.1 โดยเฟืองตรงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เฟืองขนานกับเพลา (parallel-shaft gear) เป็นเฟืองที่มีฟันขนานกับแกนหมุน และใช้ในการส่งกำลังการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง ซึ่งเป็นเฟืองที่นิยมใช้กันทั่วไปเพราะราคาถูก อันตราส่วนมีให้เลือกตั้งแต่ขั้นเดียว 1:1 ถึงประมาณ 5:1 มีประสิทธิภาพสูงถึง 95% ทอร์กและความเร็วที่ส่งออกจากเพลามีความแปรปรวนเล็กน้อย มักใช้สำหรับงานที่ใช้กำลังไม่เกิน 0.5 แรงม้าหรือความเร็วที่ต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ

รูปที่ 3.1 ลักษณะของเฟืองตรง (http://www.gearsandstuff.com วันที่สืบค้น 19/12/2556)

3.1.1.1 ลักษณะเฉพาะของเฟืองตรง

1) ง่ายต่อการผลิตเนื่องจากรูปแบบของฟันเฟืองไม่สลับซับซ้อน ทำให้ราคาต่ำกว่าชนิดอื่น

2) ไม่มีแรงรุน (trust) ที่เกิดขึ้นในแนวแกนขณะทำงาน

3) เนื่องจากเป็นเฟืองแบบธรรมดาจึงหาซื้อได้ง่าย

3.1.2 เฟืองวงแหวน (Internal Gears or Ring Gears)

เฟืองวงแหวน มีลักษณะเหมือนเฟืองตรงแต่ฟันเฟืองอยู่ด้านในของวงกลม ต้องใช้คู่กับเฟืองขนาดเล็กกว่าที่ขบอยู่ด้านใน ดังรูปที่ 3.2 เฟืองวงแหวนใช้งานโดยให้เฟืองขับและเฟืองตามทำงานหรือหมุนในทิศทางเดียวกัน สำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้ โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (ring) และเฟืองตัวใน (pinion) หากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมาก อัตราทดจะมาก และถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดจะน้อย โดยปกติเฟืองตัวเล็ก (pinion Gear) ที่อยู่ด้านในทำหน้าที่เป็นตัวขับ

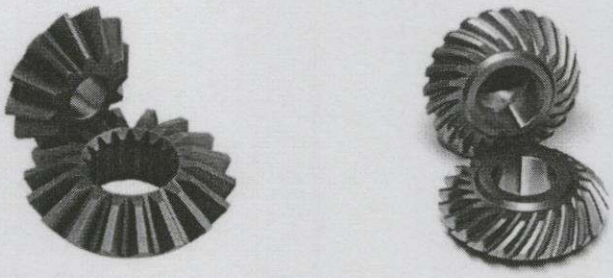
รูปที่ 3.2 ลักษณะของเฟืองวงแหวน

(http://www.f-lohmueller.de/pov_anim/ani_4014d.htm วันที่สืบค้น 19/12/2556)

3.1.3 เฟืองดอกจอก (Bevel Gears)

เฟืองดอกจอกมีรูปทรงคล้ายกับกรวย มีทั้งแบบเฟืองตรง (straight bevel gears) และแบบเฟืองเฉียง (spiral bevel gears) ดังรูปที่ 3.3 ลักษณะทั่วไปของเฟืองดอกจอกเป็นเฟืองสองตัวที่ขบกันในลักษณะแนวเพลา (shaft) ของเพลาทั้งคู่ จะตั้งฉากหรือตัดกัน (intersect) ส่วนมากแล้วเพลาของเฟืองทั้งคู่จะตั้งฉากกันเป็นมุม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 ลักษณะของเฟืองดอกจอก (ก) แบบเฟืองตรง (ข) แบบเฟืองเฉียง
(http://www.navakolkit.com/p/gallery.html วันที่สืบค้น 19/12/2556)

3.1.3.1 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gears)

เฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรงจะมีลักษณะของฟันเฟืองที่เป็นเฟืองตรง โดยที่แนวของฟันเฟืองเป็นแนวเดียวกับยอดของเฟือง และแนวของฟันเฟืองจะเป็นมุมตัดกับแนวแกนเพลา คุณสมบัติเฉพาะคือ

1) ง่ายต่อการผลิตจึงทำให้มีราคาถูกกว่า

2) สามารถทำอัตราทดได้สูงสุด 1:5

ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ในงานส่วนประกอบของเครื่องจักรและเฟืองท้ายของรถยนต์ โดยทำหน้าที่เป็นเฟืองบายศรี (differential gear) ป้องกันการสะบัดของล้อทั้งสองข้างขณะเลี้ยว

3.1.3.2 เฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gears)

ฟันของเฟืองแบบนี้จะมีลักษณะเป็นแนวโค้ง (curve ดังรูปที่ 3.3 (ข)) ออกไปรอบ ๆ รัศมีของเฟือง (ต่างจากแบบฟันตรงที่ฟันของแบบนั้นจะออกมาตรง ๆ ตามแนวรัศมีของเฟือง) และแนวด้านบนของฟันก็จะลาดลงในลักษณะโค้งจากด้านในออกไปสู่ด้านนอกขอบฟัน การที่เฟืองมีลักษณะโค้งแบบนี้ทำให้มีพื้นที่สัมผัสหรือพื้นที่รับแรงมากกว่าแบบเฟืองตรง ทำให้มีความทนทานมากกว่าและมีเสียงในขณะทำงานน้อยกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง คุณสมบัติเฉพาะในการใช้งานคือ

1) สามารถออกแบบให้อัตราทด (ratio) มากกว่า โดยมีความแข็งแรงทนทานมากกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง

2) เหมาะสำหรับใช้กับอัตราทดของเฟืองที่มากๆ

3) มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายกำลังที่ดีกว่าในขณะที่การทำงานเงียบกว่าเฟืองดอกจอกแบบเฟืองตรง

4) มีความยากกว่าในการออกแบบและสร้าง จึงทำให้มีราคาแพงกว่า

การใช้งานเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียงจะพบใช้งานมากในยานพาหนะทั้งบกและน้ำ เช่น ในอุปกรณ์และชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะในระบบส่งกำลังและขับเคลื่อน ในรถแทรกเตอร์ ในระบบเฟืองส่งกำลังของเรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.3 เฟืองไฮปอยด์ (Hypoid Gear)

เฟืองไฮปอยด์เป็นเฟืองที่จัดอยู่ในประเภทเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียง แต่จะต่างกันตรงที่แกนเพลาของเฟืองไฮปอยด์นั้นระนาบแกนของเพลาของเฟืองขับและเพลาของเฟืองตามจะไม่ตัดกัน ดังรูปที่ 3.4 ลักษณะรูปทรงของเฟืองไฮปอยด์จะมีลักษณะการหมุนเป็นไฮเปอร์บอลิกและที่ผิวของเฟืองไฮปอยด์จะมีลักษณะเป็นผิวไฮเปอร์บอลิก ในขณะที่ผิวของเฟืองดอกจอกแบบเฟืองเฉียงจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยธรรมดา (normally conical)

รูปที่ 3.4 ลักษณะของเฟืองไฮปอยด์
(http://www.gears.com.pk/HypoidGears.html วันที่สืบค้น 19/12/2556)

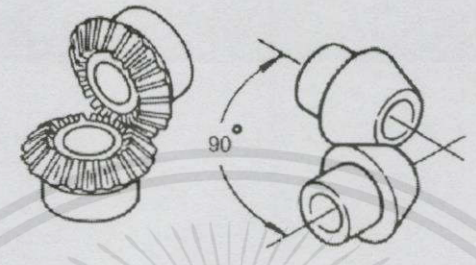
ในการส่งถ่ายกำลังระหว่างฟันเฟืองของเฟืองไฮปอยด์นั้น การถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปสู่เฟืองตามจะเป็นไปในลักษณะการลื่นไถล (sliding) อยู่กึ่งกลางระหว่างเฟืองตรง (straight gear) และเฟืองตัวหนอน (worm gear) ดังนั้นจึงต้องการสารหล่อลื่นที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการหล่อลื่นสูงสุด ซึ่งโดยปกติแล้วต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องมีความหนืดกว่าเฟืองดอกจอกสำหรับเฟืองที่มีขนาดเท่ากัน

รูปที่ 3.5 ความแตกต่างระหว่างเฟืองดอกจอกต่างๆกับเฟืองไฮปอยด์
(http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=13479&section=9
วันที่สืบค้น 19/12/2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 เฟืองดอกจอกแบบสมมาตร (Miter Gear)

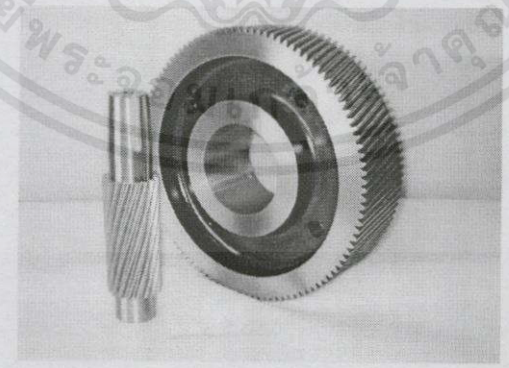
เฟืองดอกจอกแบบสมมาตรเป็นเฟืองดอกจอกแบบพิเศษแบบหนึ่ง โดยเป็นเฟืองที่มีอัตราทด (ratio) 1:1 หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าเฟืองเปลี่ยนทิศทาง โดยเพลาของเฟืองขับและเฟืองตามทำมุมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะของเฟืองดอกจอกแบบสมมาตร
(http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=13479&section=9
วันที่สืบค้น 19/12/2556)

3.1.5 เฟืองเฉียง (Helical Gear)

เฟืองเฉียงมีลักษณะทั่วไปเหมือนเฟืองตรง แต่ลักษณะแนวของฟันเฟืองจะไม่ขนานกับเพลา โดยจะทำมุมเฉียงไปเป็นมุมที่ต้องการ อาจจะเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางขวาขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการในการใช้งานและการออกแบบของผู้ผลิต เฟืองเฉียงมีลักษณะรูปร่าง ดังรูปที่ 3.7 โดยเฟืองเฉียงแต่ละคู่ที่ขบกันเพื่อส่งกำลังนั้น เฟืองหนึ่งฟันเฟืองจะเอียงไปทางซ้ายและอีกฟันเฟืองหนึ่งจะเอียงไปทางขวาในมุมที่เท่ากัน



รูปที่ 3.7 ลักษณะของเฟืองเฉียง
(http://www.navakolkit.com/p/gallery.html วันที่สืบค้น 19/12/2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5.1 ลักษณะเฉพาะของเฟืองเฉียง

1) เมื่อเปรียบเทียบการรับภาระ (load) แล้ว สำหรับเฟืองขนาดเดียวกัน เฟืองเฉียง (helical gear) จะรับภาระได้มากกว่าเฟืองตรง (spur gear) เนื่องจากการที่ฟันเฟืองมีลักษณะเอียงจึงทำให้ความยาวของฟันเฟืองยาวกว่าและพื้นที่หน้าสัมผัสของฟันมีมากกว่าเฟืองตรง

2) เสียงในขณะทำงานของเฟืองเฉียงจะเงียบกว่าเฟืองตรงเนื่องจากการขบกันของเฟืองจะกระทำอย่างนิ่มนวลกว่า เนื่องจากมุมที่เฉียงของฟันเฟืองทำให้เกิดการเหลื่อม (overlap) กันของฟันเฟืองขณะหมุน

3) เกิดแรงรุน (trust) ตามแนวแกนมากกว่าในขณะที่หมุน เนื่องจากการเอียงของฟันเฟืองที่มากซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของแบริ่งลดต่ำลง

3.1.6 เฟืองก้างปลา (Herringbone Gear or Double Helical Gear)

เพื่อลดแรงรุนด้านข้างในขณะทำงานของเฟืองเฉียง จึงได้ถูกพัฒนารูปแบบจากเฟืองเฉียงมาเป็นเฟืองก้างปลา ซึ่งมีลักษณะของฟันเฟืองที่เฉียงเข้าหากันในมุมที่เท่ากัน ทำให้แรงลัพธ์ของแรงรุนเท่ากับศูนย์

จากลักษณะของเฟืองก้างปลา ดังรูปที่ 3.8 จะเห็นว่ามีลักษณะเหมือนกับการเอาเฟืองเฉียงมาประกบกันในลักษณะที่สมมาตร ทำให้เฟืองก้างปลาสามารถรักษาข้อดีของเฟืองเฉียงไว้ได้ คือเสียงที่เงียบขณะทำงานรับภาระได้มากกว่าเฟืองตรง ในขณะเดียวกันแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะทำงานก็ยังคงน้อยเมื่อเทียบกับเฟืองตรง แต่ลดข้อเสียที่มีอยู่เพียงอย่างเดียวของเฟืองเฉียงคือแรงรุน จากลักษณะของเฟืองก้างปลาที่มุมเอียงของเฟืองเอียงเข้าหากันในลักษณะที่องศาเท่ากันทำให้ผลลัพธ์ของแรงรุนไม่มี

รูปที่ 3.8 ลักษณะของเฟืองก้างปลา

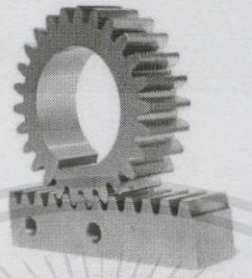
(http://www.gearsandstuff.com/types_of_gears.htm วันที่สืบค้น 19/12/2556)

3.1.7 เฟืองสะพาน (Rack Gear)

ในหนึ่งชุดของเฟืองสะพานนั้นประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นเฟือง (gear) ตัวขับ ซึ่งส่วนมากแล้วจะเป็นเฟืองตรง (spur gear) แต่ในบางอุปกรณ์อาจเป็นเฟืองเฉียงก็มี และส่วนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองสะพาน (rack) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งยาวตรงและมีฟันเฟืองอยู่ด้านบนขบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟืองดังรูปที่ 3.9 หน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา



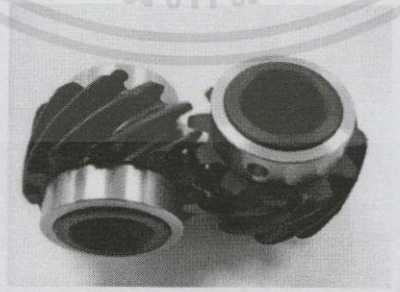
รูปที่ 3.9 ลักษณะของเฟืองสะพาน
(http://www.navakolkit.com/p/gallery.html วันที่สืบค้น 19/12/2556)

3.1.7.1 การใช้งานเฟืองสะพาน

1) การส่งถ่ายกำลังในเครื่องจักรกล
2) ใช้กับเครื่องพิมพ์หรือเครื่อง plot ขนาดใหญ่
3) หุ่นยนต์ (robot)
4) การส่งถ่ายกำลังในระบบบังคับเลี้ยวของรถยนต์ (steering)

3.1.8 เฟืองเกลียวสกรู (Screw Gear or Spiral Gear)

เฟืองเกลียวสกรูมีลักษณะเป็นเฟืองเฉียงหรือเฟืองเกลียว ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา ดังรูปที่ 3.10 การใช้งานเฟืองชนิดนี้ส่วนมากจะใช้ในการเปลี่ยนทิศทางในการส่งกำลังของเพลา



รูปที่ 3.10 ลักษณะของเฟืองเกลียวสกรู
(http://www.daehogear.co.kr/h_board/view.php วันที่สืบค้น 19/12/2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีลักษณะเฉพาะคือ

1) ใช้กับชุดเฟืองที่มีการทดรอบมากและมีจำนวนเฟืองมากหลายอัน

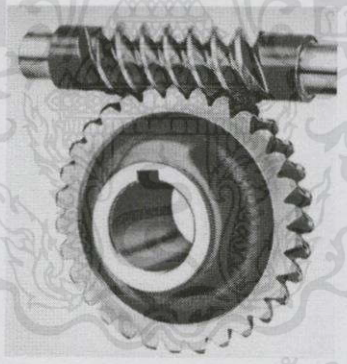
2) การสึกหรอจะเกิดขึ้นค่อนข้างมาก เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ส่งกำลังของเฟืองจะมีลักษณะในการลื่นไถล (sliding contact) ระหว่างผิวของฟันเฟืองคู่ที่ใช้ส่งกำลัง

3) ไม่เหมาะที่จะใช้กับระบบส่งกำลังที่มีกำลังมากๆ

การใช้งานเฟืองเกลียวสกรูมักจะนิยมใช้กับงาน ในระบบเฟืองส่งกำลังของรถยนต์ (driving gear for automobile) และในเครื่องจักรตรงจุดที่ต้องการเปลี่ยนมุมในการส่งกำลัง

3.1.9 เฟืองตัวหนอน (Worm Gear)

เฟืองตัวหนอนเป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (worm) ซึ่งมีลักษณะของเกลียวที่วางอยู่บนก้านเกลียวตัวหนอน (shank) เหมือนลักษณะของสกรูและเฟือง (worm wheel) ซึ่งมีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้ายๆ กับเฟืองเฉียง (helical gear) แต่จะต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงสันฟันเฟืองจะมีลักษณะเว้าเพื่อให้รับกับความโค้งของเกลียวตัวหนอน ดังรูปที่ 3.11 แนวเพลาขับ (worm shaft) และเพลาตาม (worm wheel shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90 องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนจะเงียบและมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปยังเฟืองตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการลื่นไถล (sliding)



รูปที่ 3.11 ลักษณะของเฟืองตัวหนอน
(http://www.navakolkit.com/p/gallery.html วันที่สืบค้น 19/12/2556)

อัตราทดของเฟืองตัวหนอนสามารถทำได้หลากหลาย เนื่องจากลักษณะเฉพาะทางรูปแบบของเฟือง โดยอัตราทดสามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของก้านเกลียวตัวหนอนถึงศูนย์กลางของเฟือง (worm wheel) หรือที่เรียกว่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (center distance) โดยถ้าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางยิ่งมากแสดงว่าอัตราทดของเฟืองจะยิ่งมาก ซึ่งในบางชุดเฟืองอาจทดมากกว่า 1 ชุด โดยอาจเป็นสองหรือสามชุด ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองตัวหนอนนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวฟันเฟืองจะมากกว่าเฟืองแบบเฟืองตรงหรือแบบเฟืองเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเฉพาะของเฟืองตัวหนอน คือ

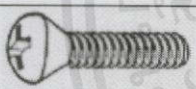
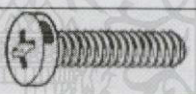
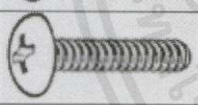
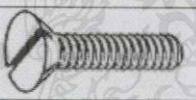
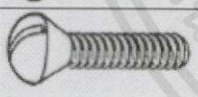
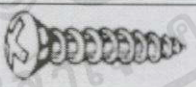
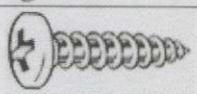
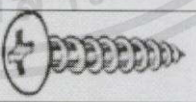
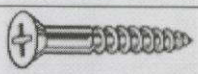
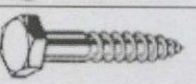
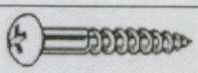
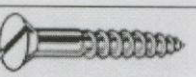
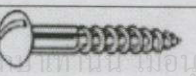
1) สามารถทำอัตราทดได้สูงโดยการเพิ่มความห่างของระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (center distance)

2) ขณะทำงานจะมีความเงียบและการสั่นสะเทือนน้อย

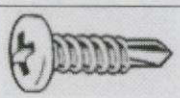
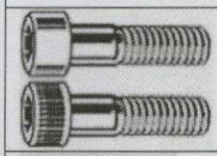
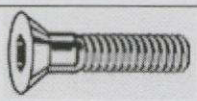
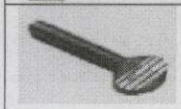
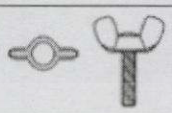
3.2 สกรูและน็อต (Screw and Nut)

สกรูน็อตเป็นวัสดุที่จำเป็นสำหรับการยึดวัตถุสองชิ้นให้ติดกัน มีหน้าที่คล้ายตะปู แต่จะอาศัยแรงหมุน เพื่อให้เกลียวเคลื่อนเจาะเข้าไปในเนื้อวัตถุได้ โดยทั่วไปมักเรียกสกรูน็อตรวมกันว่า น็อต

คำว่า สกรู หมายถึง น็อตตัวผู้ ซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวรอบทรงกระบอกยาว หัวสกรูจะมีหลายประเภท ดังรูปที่ 3.12

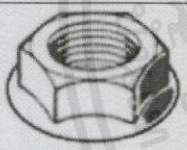
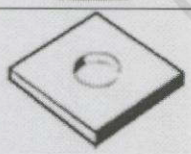
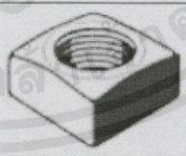
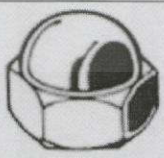
	สกรูหกเหลี่ยม (เกลียวเต็ม)		สกรูหกเหลี่ยม(เกลียวครึ่ง)
	สกรูหัว combi		สกรูแฉกเรียบ
	สกรูหัวผ่าหกเหลี่ยม		สกรูเกลียวปล่อยหัวผ่าหกเหลี่ยม
	สกรูแฉกนูน		สกรูแฉกแบน
	สกรูหัวแฉก		สกรูหัว combi
	สกรูหัวผ่าเทเปอร์		สกรูหัวผ่า
	สกรูเกลียวปล่อยแฉกเรียบ		สกรูเกลียวปล่อยแฉกนูน
	สกรูเกลียวปล่อยแฉกแบน		สกรูเกลียวปล่อยหัวแฉก
	สกรูเกลียวปล่อยแฉกเรียบ (ขันไม้)		สกรูเกลียวปล่อยหกเหลี่ยม (ขันไม้)
	สกรูเกลียวปล่อยแฉก (ขันไม้)		สกรูเกลียวปล่อยหัวผ่าเรียบ (ขันไม้)
	สกรูเกลียวปล่อยหัวผ่านูนเทเปอร์ (ขันไม้)		สกรูเกลียวปล่อยหัวผ่านูน (ขันไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	สกรูปลายสว่านหัวหกเหลี่ยม		สกรูปลายสว่านแฉกแบน
	สกรูหัวจม		สกรูหัวจมเทเปอร์
	สกรูหางแบน		สกรูหางปลา

รูปที่ 3.12 ประเภทของสรู (http://www.apnhardware.com วันที่สืบค้น 20/12/2556)

คำว่า น็อต หรือที่มักเรียกว่า หัวน็อต หมายถึง น็อตตัวเมีย ซึ่งมีลักษณะคล้ายแหวน มีรูตรงกลาง ภายในจะมีร่องเป็นเกลียวเพื่อที่จะสามารถหมุนเข้ากับร่องของสกรูได้ หัวน็อตมีหลายประเภท ดังรูปที่ 3.13

	น็อตหกเหลี่ยม (Hexagon nut)		น็อตหกเหลี่ยมบาง (Hex thin nut)
	น็อตหกเหลี่ยม (Hexagon flange nut)		น็อตล็อค (Lock nut)
	น็อตล็อคเสริมไนลอน (Insert nylon lock nut)		Prevailing torque lock nut
	น็อตสี่เหลี่ยมบาง (Square nut)		น็อตสี่เหลี่ยม (Square nut)
	น็อตหางปลา (Wing nut)		น็อตหัวหมวก (Cap nut)

รูปที่ 3.13 ประเภทของหัวน็อต (http://www.apnhardware.com วันที่สืบค้น 20/12/2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ตลับลูกปืน (Bearing)

ตลับลูกปืนหรือแบริ่ง ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รองรับและประคองการหมุนของเพลา ทั้งเพลางาน (work spindle) และเพลาชุดเฟืองทดรอบ (shaft) นอกจากนี้ตลับลูกปืนยังทำหน้าที่ถ่ายทอดหรือส่งผ่านแรงที่เกิดขึ้นจากการทำงานบนเพลาให้ผ่านลงไปสู่ฐานเครื่อง และลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้สามารถลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร และเนื่องจากความเสียดทานที่ลดลง จึงช่วยเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของเครื่องจักร ลดการสึกหรอ มีผลให้การดูแลรักษาง่ายขึ้น

3.3.1 ประเภทของตลับลูกปืน

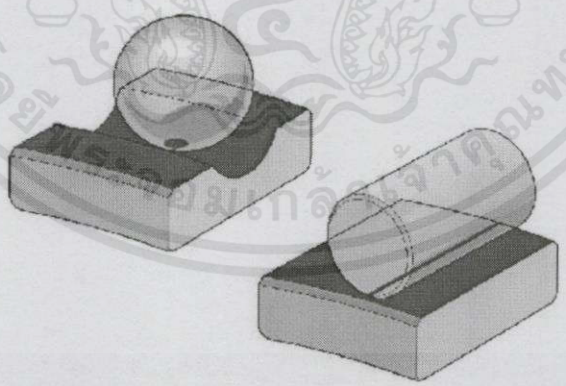
วิธีการแบ่งแยกประเภทของตลับลูกปืน โดยอาศัยปัจจัยในด้านโครงสร้าง แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

1) ตลับลูกปืนประเภทที่ไม่มีเม็ดลูกกลิ้ง (Plain Bearings) และตลับลูกปืนที่มีเม็ดลูกกลิ้ง (Rolling Bearings)

สำหรับเครื่องจักรที่ได้รับการผลิตในปัจจุบันเกือบทั้งหมดจะเลือกใช้ตลับลูกปืนที่มีเม็ดลูกกลิ้ง เนื่องจากค่าความเสียดทานที่ต่ำกว่า มีความสามารถในการรับแรงที่ดี การสึกหรอต่ำ และดูแลรักษาได้ง่ายกว่า

2) ตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว

ด้วยการออกแบบของเม็ดลูกกลิ้งที่แตกต่างกัน ทำให้ตลับลูกปืนที่มีมิติขนาดเท่ากัน เม็ดยาวจะสามารถรับแรงได้มากกว่าเม็ดกลม และสามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบที่ต่ำกว่า เนื่องจากความเสียดทานที่สูงกว่าของผิวสัมผัส ตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและเม็ดยาว แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว
(http://ebearing.samitkoyom.com/physical.php?mp=2&link=5 วันที่สืบค้น 20/12/2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความสามารถในการรับแรง

ตลับลูกปืนอาจแบ่งแยกประเภทตามการรับแรงได้เป็น 3 ประเภทคือ

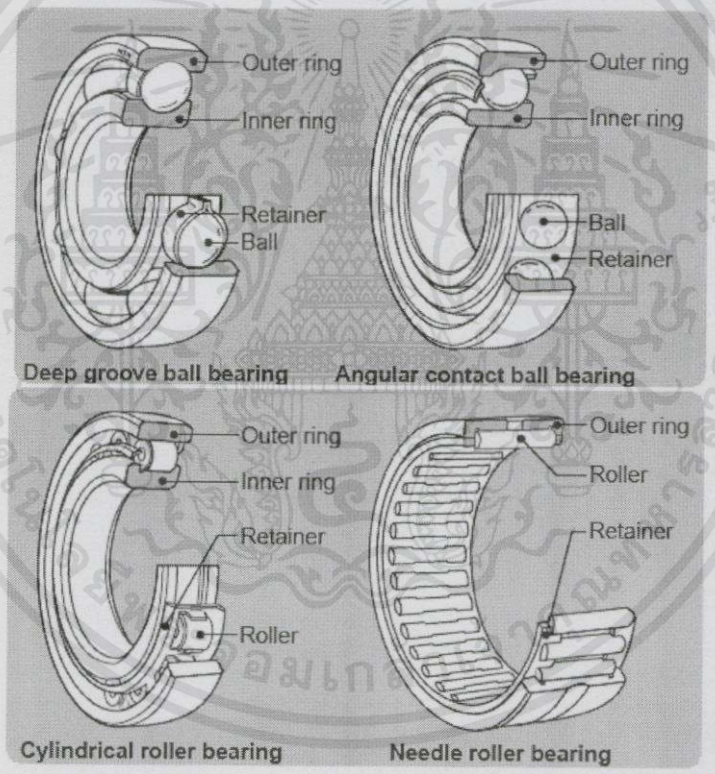
3.1) ตลับลูกปืนรับแรงแนวรัศมี (Fr)

3.2) ตลับลูกปืนรับแรงรุนในแนวแกน (Fa)

3.3) ตลับลูกปืนรับแรงในแนวรัศมีและแรงรุนได้ในขณะเดียวกัน

3.3.2 โครงสร้างของตลับลูกปืน

ภาระที่กระทำในเครื่องจักรกล สามารถจำแนกได้เป็นภาระในแนวรัศมีและภาระในแนวแกน ตลับลูกปืนที่ใช้ในการรองรับจำเป็นจะต้องรับภาระที่กระทำทั้งสองแกนหรือในแนวใดแนวหนึ่ง การออกแบบรูปร่างของตลับลูกปืนจึงต้องออกแบบให้โครงสร้างของตลับลูกปืนเหมาะสมต่อขนาดและทิศทางของการรับภาระที่กระทำ โครงสร้างของตลับลูกปืน ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 โครงสร้างของตลับลูกปืน

(http://ebearing.samitkoyom.com/physical.php?mp=2&link=5 วันที่สืบค้น 20/12/2556)

ตลับลูกปืนทั่วไปจะประกอบไปด้วยแหวนสองส่วนคือ แหวนใน (inner ring) และแหวนนอก (outer ring) แหวนในจะใช้สวมเข้ากับเพลาและแหวนนอกจะยึดอยู่ในตัวเรือน มีลูกกลิ้งแบบเม็ดกลม (ball) หรือแบบเม็ดทรงกระบอก (roller) อยู่ระหว่างแหวนในและแหวนนอก โดยจะมีกรงหรือรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(cage) หรือเรียกว่า Retainer คั่นแยกลูกกลิ้งให้มีระยะห่างคงที่ เมื่อแหวนใดแหวนหนึ่งหมุน ลูกกลิ้งก็จะกลิ้งอยู่ในรางของแหวน แหวนใน แหวนนอก และเม็ดลูกปืน โดยทั่วไปทำจากโลหะคาร์บอนเกรดสูงชุบโครเมียม

3.3.3 ตลับลูกปืนประเภทต่างๆ

3.3.3.1 ตลับลูกปืนรับแรงในแนวรัศมี

1) ตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมรับแรงในแนวรัศมี

1.1) ตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมร่องลึก (Deep groove ball bearings)

เป็นตลับลูกปืนที่ทนทาน มีคุณสมบัติและความสามารถในการรับแรงรอบตัว สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วรอบสูงและง่ายในการประกอบติดตั้งใช้งาน ทางเดินของลูกปืนเป็นร่องลึกจึงกลิ้งได้สะดวกและมีความเที่ยงศูนย์ สามารถรับแรงในแนวรัศมีได้มากและรับแรงในแนวแกนได้พอสมควร เหมาะสำหรับงานที่มีความเร็วรอบสูง

1.2) ตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม (Angular contact ball bearings)

มีลักษณะคล้ายกับตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมร่องลึก แต่ต่างกันตรงบ่าของแหวนนอกและแหวนในซึ่งมีเพียงบ่าเดียว จึงทำให้แหวนในและแหวนนอกแยกออกจากกันได้ เหมาะสำหรับใช้กับส่วนที่ต้องถอดเข้าถอดออกอยู่เสมอ สามารถรับแรงได้ทั้งแนวรัศมีและแรงในแนวแกนทิศทางเดียวได้มากกว่าตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมร่องลึก เป็นตลับลูกปืนที่ออกแบบมาให้เหมาะสำหรับการรับแรงรวมที่เกิดจากแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนกระทำกับตลับลูกปืนพร้อมกัน และเป็นตลับลูกปืนที่ช่วยเพิ่มความแข็งเกร็งของเพลา

1.3) ตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมประกอบเป็นคู่ (Duplex angular contact ball bearings)

สามารถรับแรงในแนวแกนสองทิศทาง เป็นการนำเอาตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม 2 อัน มาชนกัน ซึ่งทำได้ 3 ลักษณะคือ

1.3.1) แบบให้หลังชนกัน (back to back) จะใช้สัญลักษณ์ DB

1.3.2) แบบให้หน้าชนกัน (face to face) จะใช้สัญลักษณ์ DF

1.3.3) แบบให้หน้าชนกัน (tandem) จะใช้สัญลักษณ์ DT

1.4) ตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมสองแถว (Double row angular contact ball bearings)

มีลักษณะเหมือนกับตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมประกอบเป็นคู่แบบให้หลังชนกัน จึงสามารถรับแรงในแนวแกนได้สองทิศทาง และมีข้อดีตรงที่ขนาดความกว้างแคบกว่าตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมประกอบเป็นคู่แบบที่ใช้ให้หลังชนกัน

1.5) ตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมปรับแนวแกนได้เอง (Self aligning ball bearings)

จะมีร่องทางเดินของลูกปืนสองแถวที่แหวนใน ส่วนแหวนนอกจะมีเพียงร่องเดียวเป็นผิวโค้งทรงกลม ทำให้ลูกปืนกับแหวนวงในสามารถเบี่ยงเบนแกนไปตามร่องผิวโค้งทรงกลมของแหวนวงนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ เหมาะสำหรับใช้กับเพลาที่แกว่งหรือหมุนไม่เที่ยงหรือใช้กับเครื่องจักรที่มีความสั่นสะเทือน ตลับลูกปืนนี้สามารถปรับตัวไปตามแนวแกนเพลา ซึ่งทำให้ไม่เกิดการขัดตัว

2) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งรับแรงในแนวรัศมี

2.1) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Cylindrical roller bearings)

สามารถรับแรงในแนวรัศมีได้มาก ใช้กับความเร็วรอบสูงและมีความเที่ยงศูนย์ แต่รับแรงในแนวแกนได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.2) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งแบบโคน (Tapered roller bearings)

มีร่องทางเดินของลูกกลิ้งแบบโคนที่แหวนวงใน ลักษณะการวางของลูกกลิ้งอยู่ในแนวเอียง มีมุมกระทบโต จึงสามารถรับแรงแนวรัศมีและแนวแกนทิศทางเดียวได้มาก เป็นตลับลูกปืนที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ในโรงงานย่อยหิน ในรถยนต์ และในเครื่องจักรก่อสร้าง เป็นต้น

2.3) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งผิวโค้งทรงกลม (Spherical roller bearings)

มีลักษณะคล้ายกับตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมปรับแนวแกนได้เอง แตกต่างกันที่ใช้ลูกกลิ้งผิวโค้งทรงกลมแทน ส่วนลักษณะการใช้งานเหมือนกัน แต่สามารถรับแรงในแนวแกนได้มากกว่าเพราะมีมุมกระทบโต เหมาะสำหรับที่จะใช้รับแรงช็อค (shock load)

2.4) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งแบบเข็ม (Needle roller bearings)

สามารถรับแรงในแนวรัศมีได้มาก ลักษณะของลูกกลิ้งคล้ายกับลูกกลิ้งทรงกระบอก การที่จะเรียกว่าเป็นลูกกลิ้งแบบเข็มได้ก็ต่อเมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับความยาวแล้วจะแตกต่างกันมาก

3.3.3.2 ตลับลูกปืนรับแรงในแนวแกน

1) ตลับลูกปืนแบบเม็ดกลมรับแรงในแนวแกน

1.1) ตลับลูกปืนรับแรงในแนวแกน (Thrust ball bearings)

ตลับลูกปืนชนิดนี้ประกอบด้วยแหวนสองวง วงหนึ่งยึดติดกับเพลาเรียกว่า แหวนใน อีกวงหนึ่งเรียกว่า แหวนนอก แหวนทั้งสองจะมีร่องลึกสำหรับเป็นทางวิ่งของลูกปืน ตลับลูกปืนชนิดนี้รับแรงในแนวแกนได้เพียงทิศทางเดียว รับแรงในแนวรัศมีได้เพียงเล็กน้อย

2.1.2) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งรับแรงในแนวแกน

1) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกรับแรงในแนวแกน (Cylindrical roller thrust bearings)

สามารถรับแรงในแนวแกนได้มาก แต่รับแรงในแนวรัศมีได้น้อย

2) ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งผิวโค้งทรงกลมรับแรงในแนวแกน (Spherical roller thrust bearings)

ลักษณะการวางของลูกกลิ้งผิวโค้งทรงกลมอยู่ในแนวเอียงมีมุมกระทบประมาณ 45 องศา สามารถรับแรงในแนวแกนได้มาก รับแรงในแนวรัศมีได้บ้าง และยังสามารถเบี่ยงเบนแกนได้ แต่ใช้กับความเร็วสูงไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ความเสียหายที่เกิดจากการใช้งาน

ตลับลูกปืนเป็นชิ้นส่วนที่อาจเกิดการเสียหายหรือใช้งานไม่ได้เช่นเดียวกับชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอื่นๆ ด้วยสาเหตุหลายประการ การเสียหายที่สืบเนื่องมาจากการล้าตัวของวัสดุ ถือว่าเป็นผลทางธรรมชาติที่เกิดจากการรับภาระ การชำรุดของตลับลูกปืนอาจเกิดจากข้อผิดพลาดอื่นๆ ที่ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ส่วนใหญ่สามารถที่จะป้องกันไว้ล่วงหน้าด้วยมาตรการที่เหมาะสมได้ ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นในตลับลูกปืนมีหลายประการด้วยกัน ดังนี้

1) การแตกเป็นสะเก็ด (Flaking)

ลักษณะการเสียหายแบบนี้ เกิดจากการล้าตัวเพียงเล็กน้อยของผิวรางลูกปืนและลูกปืน ซึ่งเป็นผลทำให้วัสดุแตกเป็นสะเก็ดที่ผิว ในระยะเริ่มแรกจะเกิดการแตกเป็นสะเก็ดเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและจะขยายตัวตามการหมุนต่อไปอย่างรวดเร็ว สะเก็ดผงโลหะที่แตกออกมาจะบดและขัดสีผิวรางลูกปืนจนหยาบทั้งผิว โดยสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน

2) การร้าว (Crack)

ลักษณะการร้าวตัวมีหลายแบบ ภาระที่หนักเกินไปสามารถทำให้เกิดการร้าวตัว ในทางปฏิบัติการแตกของตลับลูกปืนโดยทันทีปรากฏน้อยมาก ภาระที่สูงมากทำให้วัสดุล้าตัวเร็ว ซึ่งเป็นต้นเหตุนำไปสู่การแตกหักได้ การอัดแหวนรางลูกปืนรูเรียวแน่นเกินควร และการรองรับรางลูกปืนตัวนอกเพียงที่ขอบข้างด้านเดียวเท่านั้น สามารถทำให้เกิดการร้าวตัวที่แหวนรางลูกปืนได้

3) รอยกดลึก (Indentation)

รอยกดลึกในรางลูกปืน เกิดจากการแทรกตัวของวัสดุแปลกปลอมจากภายนอก โดยการกดรีดของลูกปืนหรือจากการเปลี่ยนรูปเฉพาะแห่งที่จุดสัมผัสของลูกปืน เนื่องมาจากภาระที่หนักเกินไปหรือภาระแบบกระแทก

4) รอยขัดสี (Smearing)

รอยขัดสีเป็นลักษณะพิเศษของการกัดระยะแรก (Scuffing) ระหว่างผิวเลื่อนสองผิวที่วางซ้อนกัน ลักษณะนี้สามารถเกิดขึ้นได้ เช่น ที่ลูกปืนและรางลูกปืน หากตลับลูกปืนบรรจุไขสบู่ไว้เต็มโดยที่ลูกปืนหยุดอยู่ในบริเวณที่ลูกปืนไม่ได้รับภาระความเร่งโดยฉับพลันของลูกปืนจนกระทั่งถึงความเร็วปกติ ในขณะที่เคลื่อนเข้าไปสู่บริเวณที่มีภาระ สามารถทำให้เกิดรอยน้ำมันขึ้น

5) การสึกหรอ (Wear)

การสึกหรอในตลับลูกปืน ไม่ใช่ผลเนื่องมาจากการทำงานปกติ ส่วนใหญ่เกิดจากข้อผิดพลาดในการหล่อลื่น การซีล (seal) ห้องตลับลูกปืนที่ไม่ดี สามารถทำให้วัสดุผงแข็งผ่านเข้าไปในตลับลูกปืน ทำให้รางลูกปืนและสันรางลูกปืน รวมทั้งรางลูกปืนสึกหรอได้ การหล่อลื่นที่ไม่เพียงพอหรือขาดการหล่อลื่น อาจนำไปสู่การสึกหรอได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 สาเหตุความเสียหายของตลับลูกปืนในเครื่องมือกล

1) ความเสียหายเนื่องจากชนิดของน้ำมันหล่อลื่นไม่ถูกต้อง

ปกติเพลางานของเครื่องมือกลหมุนด้วยความเร็วรอบสูงและรับภาระในการทำงาน จึงจำเป็นต้องมีการหล่อลื่นตลับลูกปืนที่เหมาะสม การหล่อลื่นจะได้ผลดีเมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดเหมาะสมกับชนิดของงาน เครื่องมือกลส่วนใหญ่จะประกอบด้วยชุดเฟืองทดรอบ ซึ่งทำหน้าที่ส่งกำลังและปรับความเร็วรอบให้ตรงกับความต้องการและเพลางาน โดยส่วนประกอบทั้งสองมักจะรองรับอยู่ในห้องเครื่องเดียวกัน ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงมักใช้ระบบการหล่อลื่นชุดเฟืองทดรอบและตลับลูกปืนที่เพลางานด้วยระบบเดียวกัน ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นต้องเหมาะสมทั้งสำหรับการหล่อลื่นตลับลูกปืนของเพลางานและชุดเฟืองทดด้วย ผู้ผลิตเครื่องมือกลจะกำหนดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ควรใช้สำหรับเครื่องมือกลแต่ละชนิด โดยจะแสดงค่าไว้ในคู่มือประจำเครื่อง

2) ความเสียหายเนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอ

ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นในห้องเครื่องที่น้อยเกินไป จะทำให้การหล่อลื่นไม่ทั่วถึงและระบายความร้อนที่เกิดจากเสียดสีได้ไม่ทัน นอกจากนี้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าปกติ ทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนไป ด้วยการหล่อลื่นที่ไม่ทั่วถึงและความหนืดของน้ำมันที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของตลับลูกปืนมากกว่าปกติ

3) ความเสียหายเนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นสกปรกหรือหมดอายุ

สิ่งสกปรกที่แปลกปลอมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น อาจเข้าไปแทรกตัวอยู่ในตลับลูกปืน ลูกปืนจะบดสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้บนผิวรางลูกปืน ซึ่งเป็นต้นเหตุที่นำไปสู่ความเสียหายของผิวแหวนรางลูกปืน แม้ว่าห้องเครื่องหรือห้องเฟืองทดรอบของเพลางานจะซีลด้วยอุปกรณ์ต่างๆ อย่างมิดชิดแล้วก็ตาม แต่ยังมีผงแข็งหรือสิ่งสกปรกปรากฏอยู่ในห้องเฟือง สิ่งที่เป็นอันตรายต่อตลับลูกปืนคือ ผลโลหะที่เกิดจากการแตกเป็นสะเก็ดของชุดเฟืองทดในขณะที่ฟันเฟืองขัดสีกัน เมื่อส่งกำลังหรือเกิดการกระทบกันของฟันเฟืองเมื่อเปลี่ยนชั้นความเร็วรอบก่อนที่เครื่องจะหยุดหมุน ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเป็นระยะตามคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือกล

4) ความเสียหายเนื่องจากการคลายตัวของอุปกรณ์ปรับช่องว่าง

ตลับลูกปืนสำหรับเพลางานมักสามารถปรับขนาดช่องว่างในตลับลูกปืนในการประกอบได้ โดยใช้แหวนเกลียวขันปรับขนาดตามความต้องการ เพลางานที่ต้องหมุนกลับทางไปมาหรือรับแรงดัดสูงๆ อาจทำให้อุปกรณ์ช่วยปรับขนาดช่องว่าง เกิดการคลายตัวออกจากตำแหน่งเดิมได้ ช่องว่างในแนวรัศมีที่เกิดขึ้นทำให้เพลางานหมุนไม่ได้ศูนย์ในขณะที่ทำงาน เป็นเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น ส่งผลให้ตลับลูกปืนล้าตัวเร็วขึ้น และอาจแตกเป็นสะเก็ดที่ผิวรางของลูกปืนได้

3.3.6 การบำรุงรักษาตลับลูกปืน

การหล่อลื่นตลับลูกปืนมีอยู่สองวิธีการคือ การหล่อลื่นด้วยจาระบี และการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การหล่อลื่นด้วยจาระบี

ตลับลูกปืนกว่า 36% ที่เสียหายก่อนกำหนด มีสาเหตุมาจากการหล่อลื่นที่ไม่ถูกต้อง จาระบีสารพัดประโยชน์ไม่เพียงพอต่อความต้องการเฉพาะของตลับลูกปืนในเครื่องจักรแต่ละแบบ และทำให้เกิดปัญหามากกว่าเป็นประโยชน์ ตลับลูกปืนมีสภาพการทำงานที่หลากหลายและการหล่อลื่นที่ถูกต้องจำเป็นต้องใช้จาระบีเฉพาะของงาน

ในขณะที่ตลับลูกปืนทำงาน จำเป็นต้องเติมสารหล่อลื่นเพิ่ม การเลือกใช้จาระบีและการเติมด้วยปริมาณที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลต่ออายุการทำงานของตลับลูกปืน นอกจากนี้วิธีการเติมที่ถูกต้องจะช่วยยืดอายุตลับลูกปืนได้ หน้าที่หลักของการหล่อลื่นตลับลูกปืนคือ การเน้นไปที่การป้องกันการสัมผัสกันของโลหะระหว่างเม็ดลูกกลิ้งและรางวิ่ง เพื่อที่จะลดแรงเสียดทานและป้องกันการสึกหรอ หน้าที่ของรางสารหล่อลื่นคือ การปกป้องตลับลูกปืนจากการกัดกร่อนและสิ่งปนเปื้อนภายนอก

2) การหล่อลื่นด้วยน้ำมัน

คุณสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นคือ ความหนืดและชนิดของน้ำมัน การหล่อลื่นควรใช้น้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมกับความต้องการและมีปริมาณที่เพียงพอ ห้องเครื่องของเพลาควรได้รับการตรวจสอบคุณภาพและปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่มีอยู่ในห้องเครื่อง

การเลือกใช้น้ำมันจะขึ้นอยู่กับความหนืดที่ต้องใช้ในการหล่อลื่นที่เพียงพอแก่ตลับลูกปืน น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.1) น้ำมันแร่ (90%)

2.2) น้ำมันสังเคราะห์ (10%)

2.3) น้ำมันจากสัตว์และพืช (<1%)

โดยทั่วไปน้ำมันแร่เหมาะสมต่อการใช้งาน แต่ในบางกรณีน้ำมันชนิดอื่นมีความเหมาะสมมากกว่า น้ำมันจะต้องปราศจากสิ่งปนเปื้อนและทนต่อการเกิดปฏิกิริยากับอากาศ (ออกซิเดชัน) การเกิดยางเหนียวและการเสื่อมสภาพจากการระเหยตัว

ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันขึ้นอยู่กับสภาพการทำงาน (การปนเปื้อน อุณหภูมิ) และคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดหาได้โดยการทดลองใช้งานและส่งน้ำมันเข้าตรวจวิเคราะห์คุณภาพในห้องทดลองเป็นระยะๆ

3.4 เพลา (Shafts)

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลัง หรือทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่อง ขณะใช้งานเพลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่างๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิด ซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบวัฏจักรทำให้เกิดการล้าได้ เพลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้คือ

1) เพลา (shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แกน (axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุนเช่นล้อ ล้อสายพานเป็นต้นอย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกน นิยมเรียกรวมกันว่า เพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม

3) สพินเดิล (spindle) เป็นเพลาขนาดสั้น เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (head-stock spindle) เป็นต้น สตับชาฟ (stub shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาดรูปร่างและส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

4) เพลาแนว (line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (power transmission shaft) หรือเพลาเมน (main shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

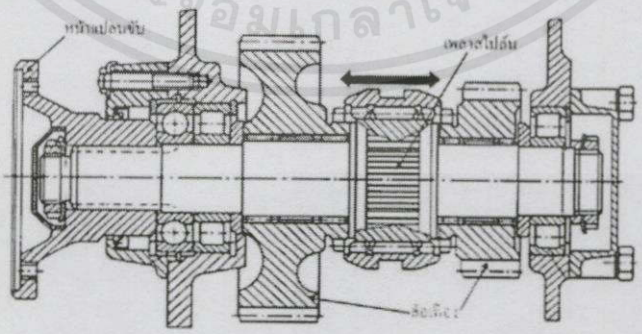
5) แจ๊คชาฟ (jack shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

6) เพลาอ่อน (flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

โดยทั่วไปสามารถแบ่งเพลาตามลักษณะการรับแรงได้เป็น 2 แบบคือ เพลาส่งกำลัง และเพลารองรับภาระ

3.4.1 เพลาส่งกำลัง (Transmission Shafts)

เพลาชนิดนี้รับภาระแรงบิด แรงดัด หรือทั้งการบิดและการดัดผสมกัน การถ่ายทอดกำลังผ่านเพลาอาศัยแผ่นประกบต่อเพลา (coupling) ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของเพลาส่งกำลังและส่วนประกอบอื่นๆ ที่สำคัญ การทำงานเริ่มจากการติดหน้าแปลน ขับเข้ากับเครื่องจักรที่ต้องการส่งถ่ายกำลัง จากนั้นต่อมอเตอร์ต้นกำลังเข้าที่เพลาสปายน์ แล้วต่อผ่านตัวประกบเพลาที่อีกด้านต่อกับล้อมู่เล่ เพื่อทำหน้าที่ในการขับเครื่องจักรต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 ลักษณะของเพลาส่งกำลัง
(http://i-p-p-c.blogspot.com/2012/02/coupling-1.html วันที่สืบค้น 20/12/2556)

3.4.2 เพลารองรับภาระ (Support Shafts)

เป็นเพลาชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล ขณะใช้งานเพลาชนิดนี้อาจหมุนหรือไม่ก็ได้ สิ่งที่สำคัญคือ เพลาชนิดนี้ไม่ได้ส่งกำลังแต่ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนอื่นให้หมุน เช่น เพลาลูกรอก สายพาน เพลาลูกล้อสลิงต่างๆ ซึ่งเป็นเพลาที่รับภาระน้ำหนักของอุปกรณ์อื่นที่กดทับ ทำให้สภาพการเสียหายของเพลาเกิดการดัดงอเป็นส่วนใหญ่ เช่น เพลาล้อรถไฟ

นอกจากการแบ่งด้วยลักษณะการรับแรงแล้วเพลาแบ่งออกเป็น 5 ชนิดตามลักษณะโครงสร้าง ได้แก่

1) เพลาตันเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้กันทั่วไป มีลักษณะเป็นเพลาผิวเรียบ ไม่มีบ่าหรืออาจกลึงมาให้มีบ่าเล็กน้อย เพื่อการประกอบกับชิ้นส่วนอื่นๆ ได้ เช่น เพลาล้อสายพาน เพลาของล้อเฟือง เพลาเฟืองโซ่ เป็นต้น

2) เพลากลวง เป็นเพลาที่ออกแบบมาเพื่อต้องการลดน้ำหนัก ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่าเพลาตันประมาณ 25% นิยมใช้กับเครื่องกัด เครื่องเจาะ โดยลักษณะของเพลามีผิวเรียบ

3) เพลาข้อเหวี่ยง เป็นเพลาที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการหมุนแบบเส้นตรงเป็นลักษณะตรงกันข้าม ส่วนใหญ่ มักใช้เป็นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์

4) เพลาสปายน์ เป็นเพลาที่มีร่องคล้ายกับเฟืองอยู่รอบตัวเพลา ความยาวของร่องฟันเฟืองขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้เพลานั้น เพลาชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับเฟืองหัวเครื่องกลึง

5) เพลาเรียว เป็นเพลาชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอีกลักษณะหนึ่งซึ่งตัวเพลามีความเรียวตามมาตรฐาน เพื่อใช้ในการจับการยึดเข้าด้วยกันระหว่างเรียวนอกและเรียวใน เช่น เพลาหัวเครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจาะ และศูนย์หัวท้ายของเครื่องกลึง

3.4.3 วัสดุเพลา

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพลา นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการใช้งานและภาระที่เพลาต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว เราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพลาตามขนาดระบุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไปคือ เหล็กกล้าละมุน (mild steel) ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347, 3140, 4150 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อนอย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

3.4.4 ขนาดของเพลา

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกันองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลาซึ่งระบุขนาดใน ISO/R 775–1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไปนอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลาดูได้จากตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775-1969

ขนาดระบุเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นมิลลิเมตร				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

ที่มา: ชาญ ถนัดงาน และวริทธิ์ อึ้งภากรณ์, 2522

3.4.5 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลา

การคำนวณหาขนาดเพลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือเพลาจะต้องมีความแข็งเกร็งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายยิ่งขึ้น การคำนวณเพลาในการออกแบบหาขนาดของเพลา จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้

1) กำลังงาน (power) และภาระ (load) ที่ใช้เพลาส่งกำลัง

2) ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา รวมทั้งรูปร่าง ขนาด วัสดุ และผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดความเค้นตกค้าง (stress concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเพลา

3) ความแกร่ง (stiffness or rigidity) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของเพลา เมื่อรับภาระ

4) ความเร็ววิกฤติ (critical speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพลาอันเป็นผลเนื่องมาจากการแอ่นตัวของเพลา

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเพลาส่วนใหญ่เกิดจากความล้า เพราะขณะทำงานเพลาจะหมุนตลอดเวลา จึงทำให้เกิดความเค้นขึ้น รวมถึงการเกิดแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการคำนวณหาขนาดของเพลา ดังสมการที่ 3.1 และค่าตัวประกอบความล้า ดังตารางที่ 3.2

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau_p}[(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad 3.1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ d^3 คือ ขนาดของเพลา (มิลลิเมตร)

τ_p คือ ความเค้นเฉือนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

T คือ โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลา (นิวตันมิลลิเมตร)

M คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับเพลา (นิวตันมิลลิเมตร)

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลาอยู่นิ่ง:		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาหมุน:		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกเบาๆ	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ที่มา: ชาญ ถนัดงาน และวริทธิ์ อิ๋งภากรณ์, 2522

3.5 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิม หรือสแตนเลส ในทางโลหะกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็กที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5% เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมที่มีสาเหตุจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อสแตนเลสเกิดเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสแตนเลสได้เป็นอย่างดี ปกป้องการกัดกร่อนและไม่ชำรุด หรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สแตนเลสประเภทนี้จัดเป็น commercial grade ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของสแตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304, 304L, 316, 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสแตนเลส ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

3.5.1 ประเภทของสแตนเลส

ประเภทของสแตนเลส แบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐานได้ 5 กลุ่มคือ ออสเทนนิติค, เฟอริติค, ดูเพล็กซ์, มาร์เทนซิติค และกลุ่มเพิ่มความแข็งโดยวิธีการตกผลึก

1) กลุ่มออสเทนนิติค (austenitic) หรือสแตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70% มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของนิกเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ (fabrication) และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 10%

2) กลุ่มเฟอริติค (ferritic) มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดติดมี คาร์บอนผสมอยู่ในปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญ อาจอยู่ระหว่าง 10.5-27% และมีนิกเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมาก

3) กลุ่มดูเพล็กซ์ (duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอริติคและออสเทนนิติค มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19-28% และโมลิบดินัมสูงกว่า 5% และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติค พบว่ามีการใช้งานมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์

4) กลุ่มมาร์เทนซิติค (martensitic) มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดติด มีคุณสมบัติของโครเมียม 12-14% และมีคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดินัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1% ไม่มีนิกเกิล สแตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว และอบคืนตัวสามารถลดความแข็งได้คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป

5) กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก (precipitation hardening) เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้คือ 17-4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17% และนิกเกิล 4% สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งจากการตกผลึก โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์อยู่ระหว่าง 1,000–1,500 เมกะปาสคาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน

3.5.2 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

สแตนเลสทุกชนิดจะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนมาก สแตนเลสเกรดที่มีส่วนผสมโครเมียมอย่างเดียว (plain chromium steel) มีค่าการนำความร้อน ±1/3 และเกรดออสเทนนิติคมีค่าการนำความร้อน ±1/4 ของเหล็กกล้าคาร์บอน ทำให้มีผลต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น มีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าระหว่างการเชื่อม ต้องให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้น เมื่อต้องทำงานขึ้นรูปร้อน

3.5.3 สัมประสิทธิ์การขยายตัว (Expansion Coefficient)

สแตนเลสเกรดที่มีส่วนผสมโครเมียมอย่างเดียวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวคล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน แต่เกรดออสเทนนิติคจะมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน 1½ เท่า การที่สแตนเลสมีการขยายตัวสูง แต่มีค่าการนำความร้อนต่ำทำให้ต้องหามาตรการป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงผลเสียหายที่ตามมา เช่น ใช้ปริมาณความร้อนในการเชื่อมต่ำกระจายความร้อนออกโดยใช้แท่งทองแดงรองหลังการจับยึดป้องกันการบิดงอ ปัจจัยเหล่านี้ต้องพิจารณาการใช้งานร่วมกันของวัสดุ เช่น ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ระหว่างเปลือกโครงสร้างเหล็กกล้าคาร์บอน และท่อออสเทนนิติค เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 ฟิล์มป้องกันและการสร้างฟิล์ม (Passive film)

สแตนเลสจะมีฟิล์มบางๆ ต้านทานการกัดกร่อน จำเป็นต้องรักษาความสมบูรณ์ของฟิล์มป้องกัน ดังนี้

1) หลีกเลี่ยงความเสียหายหรือการสัมผัสรุนแรงทางกล

2) ซ่อมปรับปรุงพื้นที่ที่มีผลต่อการเสียหาย เช่น บริเวณที่เกิดสะเก็ดหรือคาร์บอนออกไซด์เนื่องจากอุณหภูมิสูงใกล้ๆ แนวเชื่อมบริเวณที่เกิดความเสียหายทางกลหรือมีการเจียระไน มีการปนเปื้อนโดยวิธีการสร้างฟิล์มป้องกัน (passivation) อย่างเดียว หรือใช้ทั้งวิธีการแช่กรดเพื่อกำจัดคราบจากออกไซด์ (Pickling) หรือการแช่กรดหรือทาน้ำยาสร้างฟิล์มออกไซด์ที่ผิวเหล็กกล้าสแตนเลส

3) แน่ใจว่ามีออกซิเจนเพียงพอและสม่ำเสมอ ที่สร้างออกไซด์ที่ผิวของเหล็กกล้าสแตนเลสได้

4) การเสียหายที่ผิวเนื่องจากการเสียดสีที่ผิวโลหะกับโลหะอย่างรุนแรง (galling /pick up / seizing) ผิวหน้าสแตนเลสมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสียหายเนื่องจากการเสียดสีอย่างรุนแรง ต้องหลีกเลี่ยงและระมัดระวังความเสียหายที่จะเกิดขึ้นดังกล่าว โดยสำหรับผิวหน้าที่มีการเสียดสีกันตลอดเวลาควรใช้ load หรือแรงเสียดสีต่ำสุด และต้องแน่ใจว่าการเสียดสีไม่สร้างความร้อนเกิดขึ้น ควรรักษาผิวสัมผัสไม่ให้มีการบดกับผงฝุ่น เม็ดทราย ฯลฯ และใช้น้ำมันหล่อลื่นหรือเคลือบผิว

3.6 การเชื่อมสแตนเลส (Stainless Steel Welding)

การเชื่อมสเตนเลสเป็นวิธีการหนึ่งในการกระบวนการประสานสแตนเลส 2 ชิ้นให้ติดกัน (สแตนเลสทั้ง 2 ชิ้นจะเป็นสแตนเลสชนิดเดียวกัน หรือต่างกันก็ได้ หรือชิ้นหนึ่งเป็นสแตนเลสอีกชิ้นเป็นโลหะอื่นก็ได้) โดยการให้ความร้อนแก่สแตนเลสตรงบริเวณรอยต่อจนกระทั่งสแตนเลสเกิดการหลอมละลายแล้วประสานติดกัน ในขณะที่สแตนเลสกำลังหลอมละลายอยู่นั้น อาจเติมลวดเชื่อมประสานลงไปบริเวณรอยต่อหรือไม่ก็ได้ ในการเชื่อมบางแบบอาจใช้แรงกดบริเวณรอยต่อในขณะที่สแตนเลสกำลังหลอมละลายอยู่ เพื่อช่วยทำให้เนื้อสแตนเลสประสานติดกันดียิ่งขึ้น ซึ่งมีวิธีการในการประสานสแตนเลสให้ยึดติดกัน ดังนี้

3.6.1 แนวทางการประสานสเตนเลส

ในการประสานสแตนเลส 2 ชิ้น หรือหลายชิ้นให้ยึดติดกันให้เป็นชิ้นเดียวกัน อาศัยวิธีการ 3 แนวทางดังต่อไปนี้

1) แนวทางเชิงกล (mechanical fastening) คือ วิธีการใช้แรงยึดประกอบชิ้นงานให้ติดกัน ได้แก่ การใช้สกรู (screw), สลักเกลียว (bolt), หมุดย้ำ (rivets), ลวด (wire), อายเล็ด (eyelet), สลักเข็ม (cotter pin) เป็นต้น

2) แนวทางการเชื่อม (welding) คือ วิธีการใช้ความร้อนเพื่อให้ชิ้นงานยึดติดกันหรือให้ตัวกลางหลอมละลายไปยึดติดชิ้นงานหลังการเย็นตัวลง ได้แก่ การเชื่อม (welding), การบัดกรี (brazing and soldering) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แนวทางกาว (adhesive bonding) คือ วิธีการใช้สารที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานชิ้นงานให้ติดกัน ได้แก่ กาวอะคลิลิค (acrylics), กาวเรซิ่น, กาวอีพอกซี่ (epoxy), กาวพลาสติก กาวโพลิเมอร์ เป็นต้น

3.6.2 ประเภทของการเชื่อมสแตนเลส

เราสามารถแบ่งประเภทของการเชื่อมสแตนเลส โดยอาศัยแหล่งให้พลังงานความร้อนได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1) การเชื่อมแก๊ส (gas welding) อาศัยความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิง เช่น แก๊สอะเซทีลีนกับแก๊สออกซิเจน อุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ให้ความร้อนสูง 3,200 องศาเซลเซียส และจะไม่มีเขม่าหรือควัน

2) การเชื่อมอาร์ค (arc welding) อาศัยความร้อนที่เกิดจากการอาร์คของกระแสไฟฟ้า เกิดประกายอาร์คระหว่างชิ้นงานและลวดเชื่อม ซึ่งการหลอมละลายของลวดเชื่อมจะทำหน้าที่ป้อนเนื้อโลหะให้แก่แนวเชื่อม

3) การเชื่อมความต้านทาน (resistance welding) อาศัยความร้อนจากความต้านทานกระแสไฟฟ้า จากนั้นใช้แรงอัดส่วนที่หลอมละลายจนกระทั่งชิ้นงานติดกันเป็นจุด หรือเป็นแนวความร้อนที่ใช้ได้จากความต้านทานไฟฟ้า

4) การเชื่อมรังสี อาศัยความร้อนจากรังสีส่งต่อพลังงานความร้อนไปสู่ชิ้นงาน สามารถเชื่อมเข้าถึงจุดที่ยากๆ ที่ต้องการเชื่อมได้เป็นอย่างดี จุดที่เชื่อมสามารถกำหนดให้มีขนาดใหญ่หรือเล็กได้ จึงลดปัญหาการแตกร้าวหลังจากการเชื่อม ลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศในแนวเชื่อม

ซึ่งแต่ละกลุ่มยังแบ่งออกได้อีกเป็นหลายประเภท แต่สำหรับประเภทที่นิยมนำมาใช้เชื่อมสแตนเลสกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1) การเชื่อมติก (TIG / GTAW) เป็นประเภทหนึ่งของการเชื่อมอาร์ค เป็นวิธีการเชื่อมสแตนเลสโดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างลวดทังสเตนกับชิ้นงาน โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยาตรงบริเวณที่เชื่อม สแตนเลสกลุ่มออสเทนนิติกจะใช้แก๊สอาร์กอน 95% ผสมกับแก๊สออกซิเจน 5% แต่สำหรับเฟอริติกจะใช้แก๊สอาร์กอน 100%

2) การเชื่อมมิก (MIG/MAX/GMAW) เป็นประเภทหนึ่งของการเชื่อมอาร์ค การเชื่อม MIG เป็นกระบวนการเชื่อมสแตนเลสที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ลวดเชื่อมที่ใช้จะเป็นลวดเชื่อมเปลือยที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่อง ไปยังบริเวณอาร์คและทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลาย บริเวณบ่อหลอมละลายจะถูกปกคลุมไปด้วยแก๊สเฉื่อย เพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ แก๊สเฉื่อยจะใช้แก๊สอาร์กอน 97% ผสมกับแก๊สออกซิเจน 3%

3) การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW) เป็นประเภทหนึ่งของการเชื่อมอาร์ค การเชื่อมใต้ฟลักซ์เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า ที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อม โดยจะมีฟลักซ์ชนิดเม็ดปกคลุมบริเวณอาร์ค ทำให้ไม่เกิดรังสีและแสงขณะทำการอาร์ค และฟลักซ์ส่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ใกล้กับเนื้อเชื่อมจะหลอมละลายปกคลุมเนื้อเชื่อมเพื่อป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม ส่วนฟลักซ์ที่อยู่ห่างจากเนื้อเชื่อมจะไม่หลอมละลาย และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

4) การเชื่อมความต้านทานแบบจุด (RSW) เป็นประเภทหนึ่งของการเชื่อมความต้านทาน ระบบการเชื่อมแบบจุด ใช้กรรมวิธีการส่งกระแสสูงมากๆ ผ่านแท่งอิเล็กโทรดทองแดงที่หัวเชื่อมไปยังชิ้นงานซึ่งวางซ้อนทับกันอยู่เพื่อให้เกิดความร้อนในการหลอมชิ้นงานให้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นจุดเฉพาะบริเวณที่ปลายหัวอิเล็กโทรดทองแดงสัมผัสกับชิ้นงานเท่านั้น

5) การเชื่อมความต้านทานแบบแนวตะเข็บ (RSEW) เป็นประเภทหนึ่งของการเชื่อมความต้านทาน ระบบการเชื่อมแบบแนวต่อเนื่องเป็นเส้น ใช้กรรมวิธีการส่งกระแสสูงมากๆ ผ่านล้ออิเล็กโทรดไปยังชิ้นงานซึ่งวางซ้อนทับกันอยู่เพื่อให้เกิดความร้อนในการหลอมชิ้นงานให้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งรอยแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นต่อเนื่องตามการเคลื่อนที่ของล้ออิเล็กโทรด

6) การเชื่อมพลาสมา (PAW) เป็นประเภทหนึ่งของการเชื่อมอาร์ค เป็นวิธีการเชื่อมสแตนเลสโดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างลวดทังสเตนกับชิ้นงาน อาศัยกระบวนการอัดฉีดแก๊สให้เกิดการแตกตัวอย่างสมบูรณ์ระหว่างการอาร์คของอิเล็กโทรด ซึ่งจะช่วยนำกระแสไฟฟ้าขึ้นหัวเชื่อมได้ดี ทำให้พลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

3.6.3 ข้อมูลเทคนิคในงานเชื่อมสแตนเลส

1) เทคนิคการเลือกพารามิเตอร์ในงานเชื่อมความต้านทานแบบจุด การเชื่อมแบบจุดสิ่งสำคัญที่สุดก็คือการเลือกใช้กระแสไฟให้สอดคล้องกับความหนาของแผ่นสแตนเลส ยิ่งกว่านั้นสแตนเลสแต่ละชนิดก็ใช้ค่ากระแสที่แตกต่างกันด้วยดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เทคนิคการเลือกพารามิเตอร์การเชื่อมแบบจุด

ความหนาแผ่นสแตนเลส (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็กโทรด (มิลลิเมตร)	แรงกดของอิเล็กโทรด (เดกะนิวตัน)	กระแสไฟที่ใช้เชื่อม(แอมแปร์)	เวลาการเชื่อม (จำนวนรอบ)
เกรดออสเทนนิติก18%Cr-9%Ni				
0.5	3.0	170	3500	3
0.8	4.5	300	6000	4
2.0	6.0	650	11000	8
เกรดเฟอริติกเสถียร 17%Cr				
0.5	3.0	150	4000	3
0.8	4.5	250	7550	4

ที่มา: สมาร์ทหรู, 2554. (http://www.siamstainless.com/?p=945 วันที่สืบค้น 28 ธันวาคม 2556)

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เทคนิคการเลือกพารามิเตอร์ในงานเชื่อมความต้านทานแบบแนวตะเข็บ การเชื่อมความต้านทานแบบแนวตะเข็บสิ่งที่สำคัญคือกระแสไฟ ความเร็ว และแรงกดของล้อเชื่อมที่กระทำต่อแผ่นสแตนเลส ซึ่งความหนาของแผ่นสแตนเลสเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการเลือกใช้ปัจจัยเหล่านั้นดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เทคนิคการเลือกพารามิเตอร์การเชื่อมแบบแนวตะเข็บ

ความหนาแผ่นสแตนเลส (มิลลิเมตร)	ความหนาล้อเชื่อม (มิลลิเมตร)	แรงกด (เดกะนิวตัน)	ช่วงเวลาการเชื่อม (จำนวนรอบ)	ช่วงเวลาคายประจุ (จำนวนรอบ)	กระแสไฟที่ใช้เชื่อม (แอมแปร์)	ความเร็วในการเชื่อม (ซม.ต่อนาที)
0.5	3.0	320	3	2	7900	140
0.8	4.5	460	3	3	10600	120
1.5	6.5	80	3	4	15000	100
2.0	8.0	1200	4	5	16700	95
3.0	9.5	1500	5	7	17000	95

ที่มา: สมาร์ทหรู, 2554. (http://www.siamstainless.com/?p=945 วันที่สืบค้น 28 ธันวาคม 2556)

3) เทคนิคการเลือกใช้แก๊สในงานเชื่อม ในงานเชื่อมที่ต้องใช้แก๊สสิ่งสำคัญที่สุดก็คือการเลือกใช้ชนิดของแก๊สให้เหมาะสมกับวิธีการเชื่อมและชนิดของสแตนเลสด้วย ซึ่งแก๊สบางชนิดต้องหลีกเลี่ยงสำหรับสแตนเลสบางเกรดดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เทคนิคการเลือกใช้แก๊สในงานเชื่อม

วิธีการเชื่อม	แก๊สปกคลุม แก๊สพลาสมา	แก๊สปกคลุมผิวหลังการเชื่อม
GTAW	Ar Ar + H_2 (tot 20%) Ar + He (tot 70%) Ar + He + H_2 (1) Ar + N_2 (2)	Ar N_2 (2) N_2 + 10%H_2 (1)
PAW	Idem GTAW	Idem GTAW
GMAW	98%Ar + 2%O_2 97%Ar + 3%CO_2 95%Ar + 3%CO_2 +2%H_2	Idem GTAW

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	83%Ar + 15%He + 2%CO_2 69%Ar + 30%He + 1%O_2 90%He + 5, 7%Ar + 2, 5%CO_2	
FCAW	No 97%Ar + 3%CO_2 80%Ar + 20%CO_2	No Idem GTAW
LBW	He Ar	Idem GTAW
Ar: อาร์กอน, H_2: ไฮโดรเจน, He: ฮีเลียม, N_2: ไนโตรเจน, CO_2: คาร์บอนไดออกไซด์		

ที่มา: สมาร์ทหรู, 2554. (http://www.siamstainless.com/?p=945 วันที่สืบค้น 28 ธันวาคม 2556)

หมายเหตุ :

1.1) แก๊สที่มีส่วนผสมของไฮโดรเจนไม่ควรนำมาใช้ในงานเชื่อมสแตนเลสกลุ่มเฟอริติกมาร์เทนซิติกและดูเพล็กซ์

1.2) สำหรับงานเชื่อมสแตนเลสกลุ่มออสเทนนิติกและดูเพล็กซ์ สามารถใช้แก๊สปกคลุมที่มีส่วนผสมของแก๊สไนโตเจนได้

3.6.4 จุดบกพร่องในงานเชื่อมสแตนเลส

ความบกพร่องที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อมสแตนเลสมีมากมายหลายชนิด แต่จะอธิบายเฉพาะชนิดความบกพร่องที่พบเห็นบ่อย 10 ตำหนิ ดังนี้

1) ฟองอากาศ (porosity) เกิดจากแก๊สภายในของเนื้อแนวเชื่อมของสแตนเลส ซึ่งไม่สามารถขับออกมาด้านนอกได้ อันมีเหตุจากอัตราการเย็นตัวของแนวเชื่อมไวกว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ ความอันตรายจะมากหรือน้อยขึ้นกับรูปร่างลักษณะของฟองอากาศและทิศทางของแรงที่มากระทำ ฟองอากาศในเนื้อสแตนเลสอาจจะมีก๊าซออกซิเจนหรือก๊าซไฮโดรเจนอยู่ก็ได้ หากเป็นไฮโดรเจนอาจเป็นเหตุทำให้เกิดการแตกร้าวที่แนวเชื่อมในขณะการใช้งาน

2) สารมลทินฝังใน (slag inclusion) เกิดจาการรวมตัวของสารที่ไม่ใช่โลหะฝังอยู่ในแนวเชื่อมหรือระหว่างแนวเชื่อมกับสแตนเลส มักพบได้ในงานเชื่อมไฟฟ้า อันเป็นผลมาจากความผิดพลาดทางด้านเทคนิคการเชื่อม การออกแบบที่ไม่ถูกต้อง และชิ้นงานสกปรก เพราะปกติสารมลทินจะลอยขึ้นสู่ผิวหน้า แต่บางครั้งอาจจะถูกปิดกั้นโดยน้ำโลหะทำให้ฝังตัวอยู่ในแนวเชื่อม อีกกรณีหนึ่งคือทังสเตนฝังในรอยเชื่อมอันเกิดจากกระบวนการเชื่อมทิก (GTAW) ซึ่งใช้ทังสเตนเป็นตัวอาร์คกับชิ้นงานเพียงอย่างเดียวถือเป็นวิธีการเชื่อมแบบไม่สิ้นเปลืองลวดเชื่อม สาเหตุอาจเกิดจากการจุ่มทังสเตนลงในบ่อหลอมละลาย หรือใช้กระแสไฟสูงเกินไป ทำให้ทังสเตนหักฝังอยู่ในรอยเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทังสเตนจะจมอยู่ในรอยเชื่อมเพราะหนักกว่าสแตนเลส สามารถตรวจสอบโดยการนำชิ้นงานไปถ่ายภาพรังสี จะเห็นสีขาวบนฟิล์ม

3) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (incomplete fusion) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์เป็นผลมาจากเทคนิคการเชื่อม รวมทั้งการเตรียมรอยต่อไม่ถูกต้อง หรือการออกแบบแนวเชื่อมไม่ดี หรือเกิดจากการให้ความร้อนไม่เท่ากันในขณะเชื่อม หรือมีออกไซด์เกิดขึ้นในขณะหลอมละลาย

4) รอยต่อไม่หลอมละลาย (incomplete penetration) เป็นลักษณะของการซึมลึกตรงรอยต่อไม่เพียงพออาจจะเกิดจากความร้อนไม่เพียงพอ หรือการออกแบบไม่ถูกต้อง เช่น บริเวณรอยต่อหนาเกินไปสำหรับรอยต่อที่ต้องการเชื่อมให้ซึมลึกตลอดความหนา อาจจะออกแบบให้เชื่อมข้างหลังโดยก่อนที่จะเชื่อมข้างหลังต้องมีการเซาะร่องหรือเจียระไนเสียก่อน หรืออาจจะออกแบบโดยใช้แผ่นประกอบหลัง

5) รอยเชื่อมไม่เต็ม (under fill) คือ รอยเชื่อมไม่เต็มอาจจะเป็นด้านหน้าหรือด้านรากแนวเชื่อม เป็นผลมาจากช่างเชื่อมไม่เติมให้เต็ม หรือเชื่อมไม่ถูกต้องตามแผนการเชื่อม

6) รอยกัดแหว่ง (undercut) โดยทั่วไปแล้วเกิดจากเทคนิคการเชื่อมหรือใช้กระแสไฟมากเกินไป รอยกัดแหว่งส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะชิ้นงานทั้งด้านหน้าและด้านรากแนวเชื่อม รอยกัดแหว่งนี้เป็นรอยบากซึ่งเป็นอันตรายเพราะจะเป็นแหล่งรวมความเค้น

7) รอยพอกเกย (overlap) คือ ส่วนของรอยเชื่อมพอกเกยออกมาจากแนวเชื่อม โดยที่ไม่หลอมละลาย อาจจะเกิดที่ด้านหน้าหรือด้านรากของแนวเชื่อม เป็นผลมาจากการควบคุมการเชื่อมไม่ดี หรือวัสดุเติมไม่ถูกต้อง หรือผิวหน้าของวัสดุมีออกไซด์ รอยพอกเกยเป็นจุดบกพร่องที่ผิวหน้าและเป็นรอยบาก (notch) ที่จะทำให้เกิดการรวมความเค้น

8) รอยแยกชั้น (laminations) ส่วนใหญ่จะเกิดตามยาวของวัสดุ ปกติจะพบที่กึ่งกลางของชิ้นงาน อาจจะตรวจได้โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง และถ้าเกิดรอยแยกชั้นออกมาที่บริเวณหน้าตัดของชิ้นงาน อาจตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม หรืออนุภาคแม่เหล็กได้ รอยแยกชั้นอาจเกิดมาจากฟองอากาศ โพรงอากาศจากการหดตัว สารมลทินฝังใน เมื่อผ่านการรีดจะทำให้จุดบกพร่องเหล่านี้แบนราบขนานไปทิศทางของแนวรีด วัสดุที่มีรอยแยกชั้นภายในไม่สามารถรับแรงในแนวตั้งฉากกับความหนาได้

9) รอยแยกชั้นแบบเป็นโพรง (delamitation) เป็นการแยกออกจากกันของรอยแยกชั้นอันเนื่องมาจากรอยแยกชั้น (lamination) ความเค้นอาจมาจากการเชื่อมหรือเกิดจากแรงภายนอก การแยกชั้นออกจากกันอาจจะตรวจพบได้ที่ขอบด้านความหนาของชิ้นงาน หรือตรวจด้วยอุลตราโซนิคด้วยหัวตรวจสอบแบบตรง (normal probe) รอยบกพร่องแบบนี้ไม่สามารถรับแรงดึงในแนวตั้งฉากกับความหนาได้เช่นกัน

10) รอยตะเข็บและรอยเกย (seam and laps) คือ จะเกิดตามความยาวของโลหะอาจพบในการผลิตเหล็ก ถ้ารอยตะเข็บและรอยเกยขนานไปกับทิศทางความเค้นจะไม่ค่อยอันตราย แต่ถ้ารอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะเข็บและรอยเกยตั้งฉากกับความเค้น จะทำให้เกิดรอยร้าวได้ รอยตะเข็บและรอยเกยจะอยู่บนผิวหน้างาน ในการเชื่อมอาจจะไปเชื่อมตรงบริเวณรอยตะเข็บและรอยเกย อาจจะเกิดรอยแตกได้ สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงความปลอดภัยในงานเชื่อมทั้งต่อตนเองและสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1) สวมเครื่องป้องกันร่างกาย ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของการเชื่อม เช่น หน้ากาก ถุงมือหนัง ปลอกแขน เสื้อหนัง รองเท้า

2) สภาพพื้นที่ทำงานต้องมีความเหมาะสม เช่น อากาศถ่ายเทได้ดี พื้นที่ต้องแห้งไม่เปียก ไฟแสงสว่างเพียงพอ

3) ใช้อุปกรณ์ป้องกันสภาพรอบข้างจากกระบวนการเชื่อม ซึ่งอาจมีแสงไฟรบกวนหรือสะเก็ดไฟกระเด็นไปทำอันตรายต่อร่างกายหรือก่อเกิดอัคคีภัยได้ เช่น ฉากบังแสง ฉากกั้นสะเก็ดไฟป้ายเตือนการเข้าพื้นที่ ป้านเตือนห้ามมอง

4) ไม่ทำงานในพื้นที่เตือนห้ามประกายไฟโดยเฉพาะมีป้ายเตือน หากจำเป็นต้องมีระบบการป้องกันที่ดีที่สุดและผ่านประเมินความเสี่ยงและได้รับอนุญาตจากผู้เกี่ยวข้องก่อนลงมือปฏิบัติ

3.7 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังกล มอเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าต้องการนำไปใช้ในลักษณะงานใด เช่น มอเตอร์ในงานอุตสาหกรรมต้องการแรงบิดมาก มอเตอร์ในของเล่นต่างๆ ต้องการความเร็วรอบหรือกำลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งมอเตอร์แต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันมากมาย แต่สามารถแบ่งตามการใช้กระแสไฟฟ้าได้เป็น 2 ชนิด

3.7.1 มอเตอร์กระแสตรง (DC: Direct Current Motor) หรือ ดีซี มอเตอร์

มอเตอร์ชนิดนี้ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนมากใช้งานกับเครื่องเล่นเด็ก อุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์กระแสตรง เช่น มอเตอร์ในรถจักรยานไฟฟ้า ที่ปัดน้ำฝน เป็นต้น มอเตอร์กระแสตรงยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

1) มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์กระแสตรงเป็นมอเตอร์ที่หมุนได้ทันที เมื่อมีการป้อนแรงดันที่เหมาะสม ทิศทางการหมุนจะขึ้นอยู่กับขั้วแรงดันที่ป้อน หากต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทาง เพียงแค่กลับขั้วของแหล่งจ่ายเท่านั้น มอเตอร์ก็จะเปลี่ยนทิศทางทันที มอเตอร์ชนิดนี้ทำงานเพียง 3 แบบ คือหมุนตามเข็มนาฬิกา หมุนทวนเข็มนาฬิกา และหยุดหมุน ซึ่งอัตราความเร็วที่หมุนขึ้นอยู่กับกระแสและแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ ถ้าหากแรงบิดไม่เพียงพอสามารถทดรอบของการหมุนได้ มอเตอร์ต้องแรงดันไฟฟ้าในระดับต่างกัน ก่อนไปใช้ควรดูว่ามอเตอร์นี้ต้องการแรงเท่าไร

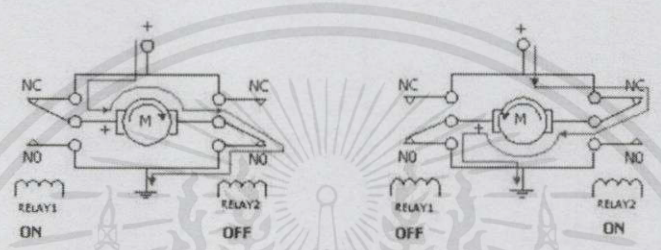
1.1) การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง (DC motor)

ในการใช้ไอซีไมโครคอนโทรเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุน และทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้น ต้องมีส่วนของวงจรที่เรียกว่า วงจรขับมอเตอร์ (driver) ในส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

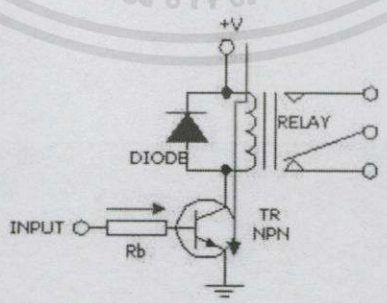
นั้น สามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจร สวิตช์เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลัง เช่น ทรานซิสเตอร์มอสเฟต แล้วแต่วิธีที่จะเลือกใช้งาน

จากรูปที่ 3.17 เป็นการใช้รีเลย์ควบคุมการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยการควบคุมการปิด-เปิดที่รีเลย์ 2 ตัว ซึ่งจะทำหน้าที่กลับทิศทางของขั้วไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ โดยการสลับการทำงานของรีเลย์เช่น ให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน (on) และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน (off) จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางซ้าย และในทำนองเดียวกันถ้าหากรีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน (off) และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน (on) ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา



รูปที่ 3.17 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้รีเลย์
(http://www.adisak51.com/page21.html วันที่สืบค้น 20/12/2556)

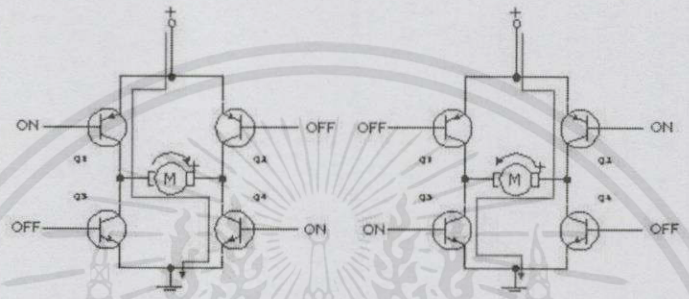
จากรูปที่ 3.18 เป็นวงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขาเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีส่วนของวงจรทรานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะเกิดการยุบตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้



รูปที่ 3.18 การใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับรีเลย์ให้ทำงาน
(http://www.adisak51.com/page21.html วันที่สืบค้น 20/12/2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.19 เป็นวงจรลิเนียร์บริดจ์แอมป์ ซึ่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์กำลัง 4 ตัว ที่ทำหน้าที่ขับและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ถ้าหากกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 อยู่ในสภาวะทำงาน (active) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านทรานซิสเตอร์จากซ้ายไปขวา โดยผ่านมอเตอร์ กระแสตรงทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวา ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 อยู่ในสภาวะทำงาน (active) กระแสไฟฟ้าก็จะไหลจากทางขวาไปทางซ้ายซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนจากทางขวาไปทางซ้าย



รูปที่ 3.19 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขับและกำหนดทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง (http://www.adisak51.com/page21.html วันที่สืบค้น 20/12/2556)

1.2) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

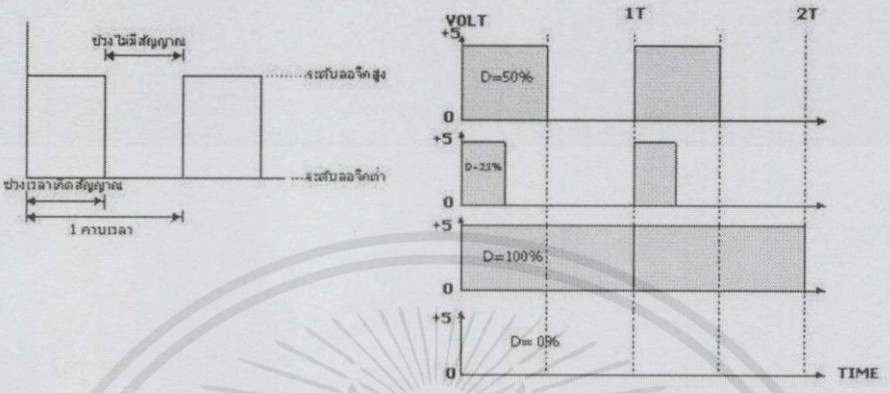
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไป เช่น การควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ที่เรียกว่า วิธีการของการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM: pulse width modulation)

1.3) วิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM: Pulse Width Modulation)

การมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วนและความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตี้ไซเกิล (duty cycle) นั่นเอง ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นจากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% หมายถึง ใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง ดังรูปที่ 3.20 และในทำนองเดียวกันถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่ามาก หมายความว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% หมายความว่าจะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย



รูปที่ 3.20 ความกว้างของพัลส์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิลของช่วงพัลส์ที่มีความถี่คงที่ (http://www.adisak51.com/page21.html วันที่สืบค้น 20/12/2556)

2) สเต็บปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเตปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการควบคุมได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุน ที่ต้องการตำแหน่งและทิศทางที่แน่นอน การทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้น ขั้นละ 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ตัวนั้นๆ สเต็ปปิ้งมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC motor) โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ปได้ ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า แต่ส่วนใหญ่จะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ทำการควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิตอล เช่น พรินเตอร์ (printer), พล็อตเตอร์ (X-Y plotter), ดิสค์ไดร์ฟ (disk drive) ฯลฯ

ข้อดีของสเต็ปปิ้งมอเตอร์เมื่อเปรียบกับมอเตอร์กระแสตรง คือ

1) การควบคุมไม่ต้องอาศัยตัวตรวจจับการหมุน

2) ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีส่วนที่จะต้องสึกหรอและปัญหาของการสปาร์ค (ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของแปรงถ่านแหวนตัวนำในโรเตอร์) ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน

3) การควบคุมโดยทางวงจรดิจิตอลหรือไมโครโพรเซสเซอร์ ทำได้ง่ายและสะดวก

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่พบในปัจจุบันมี 3 ลักษณะดังนี้

1) แบบแม่เหล็กถาวร (permanent macnet: PM)

สเต็ปมอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (stator) ที่พันขดลวดไว้หลายๆ โพล โดยมีโรเตอร์ (rotor) เป็นรูปทรงกระบอกฟันเลื่อย และโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กับขดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุน มอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงฉุดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่ แม้จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด

2) แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (variable reluctance: VR)

สเต็ปมอเตอร์แบบ VR จะมีการหมุนโรเตอร์ได้อย่างอิสระ แม้จะไม่ได้จ่ายไฟให้โรเตอร์ ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติกกำลังอ่อน มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย รูปทรงกระบอกโดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะหมุนโรเตอร์ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนท์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆ จุด ดังนั้น เมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆ ในมอเตอร์แตกต่างขดกันไป ก็ทำให้มอเตอร์หมุนไปตำแหน่งต่างๆ กัน โรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

3) แบบผสม (hybrid: H)

สเต็ปมอเตอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้มปลาย ซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดีทำให้ได้มุมการหมุนแต่ละครั้งน้อยและแม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูง ขนาดกระทัดรัด และให้แรงฉุดยึดโรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟ

2.1) วิธีการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้หมุนโดยการกระตุ้นเฟส

ในการควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์เพื่อที่จะทำให้หมุน มีวิธีการควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ ในแต่ละเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์อย่างเป็นลำดับที่แน่นอน โดยถ้าหากเราต้องการให้กระแสไหลในเฟสใดๆ ก็จะทำให้สถานะของเฟสนั้นๆ เป็นสถานะลอจิก "1" และในการกระตุ้นเฟสของสเต็ปปิ้ง มี 2 แบบคือ

1) การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ปมอเตอร์ (full step motor) สามารถแบ่งการกระตุ้นเฟสได้อีก 2 วิธี คือ

1.1) การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (single-phase driver) หรือแบบเวฟ ดังรูปที่ 3.21 (ก) เป็นการป้อนกระแสไฟให้กับขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทีละขด โดยจะป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไป ดังนั้นกระแสที่ไหลในขดลวดจะทำการไหลในทิศทางเดียวกันทุกขด ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แรงขับของสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีน้อย

1.2) การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (two-phase driver) ดังรูปที่ 3.21 (ข) เป็นการป้อนกระแสให้กับขดลวด 2 ขด ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์พร้อมๆ กันไป และจะกระตุ้นเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังนั้นการกระตุ้นแบบนี้จึงต้องใช้กำลังไฟมากขึ้น และจะทำให้มีแรงบิดของมอเตอร์มากกว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟส

2) การกระตุ้นเฟสแบบฮาล์ฟสเต็ป (half step motor) หรือ one-two phase driver คือ การกระตุ้นเฟสแบบ ฟูลสเต็ป 1 เฟส และ 2 เฟส ดังรูปที่ 3.21 (ค) แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะมีเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วงของสเต็ปมีระยะสั้นลง ในการกระตุ้นแบบนี้ เราจะต้องมีการกระตุ้นที่เฟสถึง 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของสเต็ปเท่ากับการกระตุ้นเพียงครั้งเดียวของแบบฟูลสเต็ป 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรกความละเอียดของการหมุนตำแหน่งองศาต่อสเต็ป เป็นสองเท่าของแบบแรก ความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้น

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

ก แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

ข แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

ค แบบฮาลฟ์สเต็ป 2 เฟส

รูปที่ 3.21 การกระตุ้นเฟสต่างๆ ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์
(http://www.adisak51.com/page22.html วันที่สืบค้น 20/12/2556)

3.7.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC: Alternating Current Motor) หรือ เอซี มอเตอร์

มอเตอร์กระแสสลับเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันแพร่หลายในอาคารบ้านเรือน หรือโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เครื่องไฟฟ้าที่ต้องใช้แรงขับจำพวกพัดลม แอร์ ตู้เย็น เครื่องดูดฝุ่น และอื่นๆ ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งชนิดได้ดังนี้

1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ มีสายไฟ เข้า 2 สาย มีแรงม้าไม่สูง ส่วนใหญ่ใช้ตามบ้านเรือน

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต้องใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ใช้แรงดัน 380 โวลต์ มีสายไฟเข้ามอเตอร์ 3 สาย

3.7.3 สวิตช์ที่ใช้ในการควบคุม

1) สวิตช์ปิดเปิดแบบขึ้นลง เป็นสวิตช์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์เบื้องต้นที่ง่ายที่สุด สวิตช์ที่ปิดเปิดแบบขึ้นลงใช้ควบคุมการปิดเปิดมอเตอร์ โดยจะใช้ในมอเตอร์ขนาดเล็กที่มีกำลังแรงม้าต่ำ เช่น มอเตอร์ที่หมุนด้วยใบพัดของพัดลม และมอเตอร์ที่ใช้หมุนเป่าลมขนาดเล็ก ซึ่งการปิดเปิดของมอเตอร์ก็สามารถทำได้โดยตรงจากสวิตช์ปิดเปิดแบบขึ้นลงนี้โดยไม่จำเป็นต้องมีสวิตช์แม่เหล็ก หรืออุปกรณ์ช่วยอย่างอื่น ดังนั้นมอเตอร์อาจจะถูกป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดเกิดจากฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ในวงจรย่อยเท่านั้น ดังนั้นควรที่จะต้องทำความเข้าใจ รู้จักสัญลักษณ์และการทำงานของสวิตช์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สวิตช์แบบกด เป็นสวิตช์อีกแบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในวงจรการควบคุมมอเตอร์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมให้มอเตอร์เริ่มเดิน หยุดเดิน หรือเพื่อกลับทางการหมุนของมอเตอร์ สวิตช์แบบกดจะใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์แบบใช้มือ

3) สวิตช์แบบหมุน เป็นสวิตช์แบบหมุนที่มีแกนสำหรับหมุนเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของหน้าสัมผัสภายในสวิตช์ให้เปลี่ยนไป โดยใช้การหมุนด้วยมือในลักษณะตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกา เพื่อทำการควบคุมหน้าสัมผัสของสวิตช์

4) ลิมิตสวิตช์ เป็นสวิตช์ขนาดเล็กที่ทำงานโดยการปิดเปิดวงจรควบคุม โดยการเปลี่ยนแปลงในทางกล มาทำให้สวิตช์ทำงานเพื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่เข้ามาควบคุมมอเตอร์

5) สวิตช์อุณหภูมิ สวิตช์อุณหภูมิถูกนำมาใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์ต่างๆ มากมาย โดยมีหลักการทำงาน คือ ให้ของเหลวที่บรรจุในกระเปาะควบคุมอุณหภูมิเกิดการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของหน้าสัมผัสของสวิตช์ สวิตช์อุณหภูมิสามารถปรับตั้งอุณหภูมิตามที่เราต้องการได้

6) สวิตช์ลูกลอย เป็นสวิตช์ที่ใช้ในการวัดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเหลวต่างๆ โดยจะใช้ในวงจรการควบคุมมอเตอร์แบบอัตโนมัติเพื่อทำการเปิดปิดวงจรควบคุม เมื่อของเหลวอยู่ในระดับที่ต้องการ การทำงานของสวิตช์จะใช้ลูกลอยเป็นตัวควบคุมการปิดเปิดของสวิตช์

7) สวิตช์แรงดัน เป็นสวิตช์ที่ใช้เพื่อการควบคุมความดันของเหลวหรือก๊าซให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยในการควบคุมต้องใช้ความดันที่วัดได้ไปควบคุมการเปิดปิดหน้าสัมผัสของสวิตช์ เช่น ในการให้มอเตอร์ทำงานต้องเพิ่มแรงดันเข้าไปในถังลม เมื่อความดันภายในถังลดลงและจะเปิดวงจรให้มอเตอร์หยุดทำงานเมื่อความดันภายในถังได้ตามที่กำหนดไว้

8) สวิตช์ที่ใช้เท้าเหยียบ ในการควบคุมมอเตอร์อีกแบบหนึ่ง คือ การใช้สวิตช์ที่ใช้เท้าเหยียบ โดยจะมีกระเดื่องสำหรับเหยียบเพื่อใช้ในการควบคุม โดยในสวิตช์แบบนี้จะใช้ในกรณีที่ผู้ควบคุมทำงานทั้งมือและเท้าในเวลาเดียวกัน

9) Drum-Controller Switcher เป็นสวิตช์ควบคุมที่จะใช้ในจุดประสงค์ที่พิเศษ โดยปกติจะนิยมใช้ในมอเตอร์ขนาดใหญ่ทั้งในมอเตอร์เฟสเดียวและสามเฟส จะใช้ในการควบคุมการเริ่มเดินหรือการหยุดเดิน หรือควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ การควบคุมจะทำได้โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของแกนหมุนด้านบนของมอเตอร์ด้านบนของสวิตช์

3.8 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมวงจรไฟฟ้าที่มีการทำงานในลักษณะเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่นิยมใช้ในวงจรควบคุมแบบต่างๆ อย่างแพร่หลาย โดยโครงสร้างพื้นฐานและการทำงานของรีเลย์ประกอบไปด้วยขดลวดตัวนำ และแกนโลหะที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ เรียกว่าอาร์มาเจอร์ โดยอาร์มาเจอร์มีหน้าที่เปิดปิดหน้าสัมผัสของรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ จะเริ่มทำงานได้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปที่ขดลวดตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ไปดึงดูดแกนของอาร์มาเจอร์ ถ้าแรงดึงดูดที่เกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กสามารถชนะแรงดึงของสปริงได้ ก็จะดึงแกนของอาร์มาเจอร์ให้หน้าสัมผัสของรีเลย์มาอยู่ในตำแหน่งอีกทางหนึ่ง แต่ถ้าแรงดึงดูดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไม่สามารถชนะแรงดึงของสปริงได้ หน้าสัมผัสของรีเลย์ก็จะอยู่ในตำแหน่งเดิม

รีเลย์จะมีหน้าสัมผัสอยู่สองแบบ คือ แบบปกติเปิดและแบบปกติปิด รีเลย์แบบปกติเปิด หน้าสัมผัสของรีเลย์จะเปิดเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดของรีเลย์ และหน้าสัมผัสจะปิดเมื่อมี กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปที่ขดลวดของรีเลย์ ซึ่งการทำงานก็จะตรงกันข้ามกัน ในรีเลย์แบบปกติปิดรีเลย์มีหลายชนิดด้วยกัน โดยมากรีเลย์จะถูกนำมาใช้ในวงจรการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ในลักษณะของการหน่วงเวลาเพื่อทำให้เกิดการทำงานของวงจรควบคุมเป็นไปตามลำดับหรือใช้เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นภายในวงจรควบคุม

3.8.1 หน้าที่ของรีเลย์

รีเลย์มีหน้าที่ คือ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตรวจสอบสภาพการณ์ของทุกส่วน ในระบบกำลังไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา หากระบบมีการทำงานที่ผิดปกติ รีเลย์จะเป็นตัวสั่งการให้ตัดส่วนที่ลัดวงจรหรือส่วนที่ทำงานผิดปกติ ออกจากระบบทันทีโดยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเป็นตัวที่ตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบจริงๆ

3.8.2 ประเภทของรีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจรไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) รีเลย์กำลัง (power relay) หรือมักเรียกกันว่า คอนแทกเตอร์ (contactor or magneticcontactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2) รีเลย์ควบคุม (control relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมบางทีเรียกว่า "รีเลย์"

3.8.3 ชนิดของรีเลย์

ชนิดของรีเลย์แบ่งตามลักษณะของคอยล์ หรือแบ่งตามลักษณะการใช้งาน (application) ได้แก่ รีเลย์ดังต่อไปนี้

1) รีเลย์กระแส (current relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยใช้กระแสมีทั้งชนิดกระแสขาด (under-current) และกระแสเกิน (over current)

2) รีเลย์แรงดัน (voltage relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยใช้แรงดันมีทั้งชนิดแรงดันขาด (under-voltage) และแรงดันเกิน (over voltage)

3) รีเลย์ช่วย (auxiliary relay) คือ รีเลย์ที่เวลาใช้งานจะต้องประกอบเข้ากับรีเลย์ชนิดอื่น จึงจะทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) รีเลย์กำลัง (power relay) คือ รีเลย์ที่รวมเอาคุณสมบัติของรีเลย์กระแส และรีเลย์แรงดันเข้าด้วยกัน

5) รีเลย์เวลา (time relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ

5.1) รีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแส (inverse time over current relay) คือ รีเลย์ ที่มีเวลาทำงานเป็นส่วนกลับกับกระแส

5.2) รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (instantaneous over current relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานทันทีทันใดเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าที่กำหนดที่ตั้งไว้

5.3) รีเลย์แบบดิฟฟินิตไทม์เล็ก (definite time lag relay) คือ รีเลย์ที่มีเวลาการทำงานไม่ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของกระแสหรือค่าไฟฟ้าอื่นๆ ที่ทำให้เกิดงานขึ้น

5.4) รีเลย์แบบอินเวอสดิฟฟินิตมินิมั่มไทม์เล็ก (inverse definite time lag relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยรวมเอาคุณสมบัติของเวลาผกผันกับกระแส (inverse time) และ แบบดิฟฟินิตไทม์แล็ก (definite time lag relay) เข้าด้วยกัน

6) รีเลย์กระแสต่าง (differential relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยอาศัยผลต่างของกระแส

7) รีเลย์มีทิศ (directional relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานเมื่อมีกระแสไหลผิดทิศทาง มีแบบรีเลย์กำลังมีทิศ (directional power relay) และรีเลย์กระแสมีทิศ (directional current relay)

8) รีเลย์ระยะทาง (distance relay) คือ รีเลย์ระยะทางมีแบบต่างๆ ดังนี้

8.1) รีแอกแตนซ์รีเลย์ (reactance relay)

8.2) อิมพีแดนซ์รีเลย์ (impedance relay)

8.3) โมห์รีเลย์ (mho relay)

8.4) โอห์มรีเลย์ (ohm relay)

8.5) โพลาไรซ์โมห์รีเลย์ (polaized mho relay)

8.6) ออฟเซทโมห์รีเลย์ (off set mho relay)

9) รีเลย์อุณหภูมิ (temperature relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว

10) รีเลย์ความถี่ (frequency relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานเมื่อความถี่ของระบบต่ำกว่าหรือมากกว่าที่ตั้งไว้

11) บูคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz's relay) คือรีเลย์ที่ทำงานด้วยก๊าซ ใช้กับหม้อแปลงที่แช่อยู่ในน้ำมันเมื่อเกิด ฟอลต์ ขึ้นภายในหม้อแปลง จะทำให้น้ำมันแตกตัวและเกิดก๊าซขึ้นภายในไปดันหน้าสัมผัส ให้รีเลย์ทำงาน

3.8.4 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์

1) ต้องมีความไว (sensitivity) คือ มีความสามารถในการตรวจพบสิ่งที่ผิดปกติเพียงเล็กน้อยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) มีความเร็วในการทำงาน (speed) คือ ความสามารถทำงานได้รวดเร็ว ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ และไม่กระทบกระเทือนต่อระบบ โดยทั่วไปแล้วเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรจะขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันของระบบด้วย

ระบบ 6-10 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 1.5-3.0 วินาที

ระบบ 100-220 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.15-0.3 วินาที

ระบบ 300-500 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.1-0.12 วินาที

3.8.5 ข้อคำถึงในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป

1) แรงดันใช้งาน หรือแรงดันที่ทำให้รีเลย์ทำงานได้ หากดูที่ตัวรีเลย์จะระบุค่าแรงดันใช้งานไว้ (หากใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมากจะใช้แรงดันกระแสตรงในการใช้งาน) เช่น 12 VDC คือ ต้องใช้แรงดันที่ 12 VDC เท่านั้น หากใช้มากกว่านี้ขดลวดภายในตัวรีเลย์อาจจะขาดได้ หรือหากใช้แรงดันต่ำกว่ามาก รีเลย์จะไม่ทำงาน ส่วนในการต่อวงจรนั้นสามารถต่อขั้วใดก็ได้ เพราะตัวรีเลย์จะไม่ระบุขั้วต่อไว้ (นอกจากชนิดพิเศษ)

2) การใช้งานกระแสผ่านหน้าสัมผัส ซึ่งที่ตัวรีเลย์จะระบุไว้ เช่น 10A 220AC คือ หน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสามารถทนกระแสได้ 10 แอมแปร์ ที่ 220VAC แต่การใช้ก็ควรจะใช้งานที่ระดับกระแสต่ำกว่า เพราะถ้ากระแสมากหน้าสัมผัสของรีเลย์จะละลายเสียหายได้

3) จำนวนหน้าสัมผัสการใช้งาน ควรดูว่ารีเลย์นั้นมีหน้าสัมผัสให้ใช้งานกี่อัน และมีขั้วคอมมอนหรือไม่

3.8.6 ประโยชน์ของรีเลย์

1) ทำให้ระบบส่งกำลังมีเสถียรภาพ (stability) สูง โดยรีเลย์จะตัดวงจรเฉพาะส่วนที่เกิดผิดปกติออกเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการลดความเสียหายให้แก่ระบบน้อยที่สุด

2) ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมส่วนที่เกิดผิดปกติ

3) ลดความเสียหายไม่เกิดลุกลามไปยังอุปกรณ์อื่นๆ

4) ทำให้ระบบไฟฟ้าไม่ดับทั้งระบบเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ

3.9 สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply)

สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลาย (switching power supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไฟสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเลคทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (linear power supply) ถึงแม้พาวเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.1 สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น

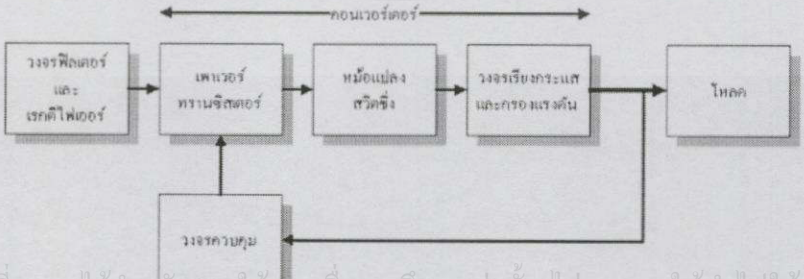
ข้อได้เปรียบของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น คือ ประสิทธิภาพที่สูง ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบากว่าแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก ขณะใช้งานจะมีแรงดันและกระแสผ่านตัวหม้อแปลงตลอดเวลา กำลังงานสูญเสียที่เกิดจากหม้อแปลงจึงมีค่าสูง การคงค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นส่วนมากจะใช้พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมที่เอาต์พุตเพื่อจ่ายกระแสและคงค่าแรงดัน กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ เมื่อพาวเวอร์ซัพพลายต้องจ่ายกำลังงานสูงๆ จะทำให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ปกติแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะมีประสิทธิภาพประมาณ 30% หรืออาจทำได้สูงถึง 50% ในบางกรณีนับได้ว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายซึ่งมีประสิทธิภาพในช่วง 65-80%

สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายมีช่วงเวลาโคลสอัพประมาณ $20x10^{-3}$ ถึง $50x10^{-3}$ วินาที ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะทำได้เพียงประมาณ $2x10^{-3}$ วินาที ซึ่งมีผลต่อการจัดหาแหล่งจ่ายไฟสำรองเพื่อป้องกันการหยุดทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับพาวเวอร์ซัพพลายเมื่อเกิดการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ รวมทั้งสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันอินพุตค่อนข้างกว้างจึงยังคงสามารถทำงานได้เมื่อเกิดกรณีแรงดันไฟตกอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายจะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ต่ำกว่า และก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น รวมทั้งสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายยังมีความซับซ้อนของวงจรมากกว่าและมีราคาสูง ที่กำลังงานต่ำๆ แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะประหยัดกว่าและให้ผลดีเท่าเทียมกัน ดังนั้นสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายจึงมักนิยมใช้กันในงานที่ต้องการกำลังงานตั้งแต่ 20 วัตต์ ขึ้นไปเท่านั้น

3.9.2 หลักการทำงานของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไปมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน และไม่ซับซ้อนมากนัก หัวใจสำคัญของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุตด้วย องค์ประกอบต่างๆ ทำงานตามลำดับดังรูปที่ 3.22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลาย
(http://www.cpe.ku.ac.th/204471/power/switching_regulator/ วันที่สืบค้น 20/12/2556)

แรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นพาวเวอร์คอนเวอร์เตอร์ โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วงๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตชิ่งเพื่อลดแรงดันลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้

3.9.3 คอนเวอร์เตอร์ (Converter)

คอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ และสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลายนั้น มีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

1) ลักษณะการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
2) ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
3) ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
4) ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมพาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
5) การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
6) การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของคอนเวอร์เตอร์

จากข้อพิจารณาดังกล่าว ทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของคอนเวอร์เตอร์และสามารถตัดสินใจเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์ได้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมามากมาย ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้เป็นในอุตสาหกรรมของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย คือ

1) ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (flyback converter)
2) ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (forward converter)
3) พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (push-pull converter)
4) ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (half-bridge converter)
5) ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (full-bridge converter)

คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้ มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา คอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายประเภทโดยการเพิ่มเทคนิคบางประการให้กับคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาต่อเนื่องมาจากโครงงานเรื่อง การออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง ของนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอาหาร ปีการศึกษา 2555 โดยโครงงานดังกล่าวเป็นการออกแบบและสร้างระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีหน้าที่สร้างกระแสการไหลของน้ำมันทอดเพื่อพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการทอด โดยใช้กลไกกังหันแบบไหลขวางแกนหมุน (Tangential Flow Turbine) แต่ในการทอดยังอาศัยการใช้แรงงานคนในการพลิกอยู่ ทางผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นทำการศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบกลไกการพลิกปาท่องโก๋สำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

การออกแบบระบบกลไกการพลิกสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่องนั้น ต้องคำนึงถึงความสามารถในการใช้งานและความปลอดภัยในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงศึกษาค้นคว้าลักษณะของกลไกและการควบคุมกลไกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงงานนี้ได้ รวมถึงการพิจารณาเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ของเครื่องทอดแบบต่อเนื่องโดยได้ตรวจเอกสารเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการออกแบบกลไกการพลิก

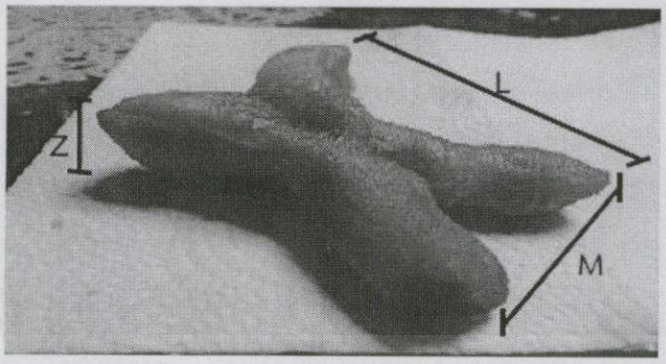
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบ โดยเมธินี สุกแดง และคณะ (2554) ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตปาท่องโก๋ โดยเก็บข้อมูลเบื้องต้นด้านลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ สีของผลิตภัณฑ์ ปริมาณการดูดซับน้ำมัน เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นตัวแปรในการออกแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ขนาดของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลพบว่า กระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋จริงโดยปกติ ขนาดของชิ้นแป้งปาท่องโก๋มีขนาดชิ้นแป้งโดยเฉลี่ย ยาว (L) 5 เซนติเมตร กว้าง (M) 1.5 เซนติเมตร และหนา (Z) 1 เซนติเมตร เมื่อนำมาทอดหลังทอดพบว่า มีความยาวเฉลี่ย 6.36 เซนติเมตร ความกว้าง 1.82 เซนติเมตร และหนา 2.65 เซนติเมตร ซึ่งขนาดดังกล่าวเป็นขนาดที่เหมาะสม เนื่องจากเมื่อทำการทอดตัวปาท่องโก๋มีลักษณะเป็นที่น่าพึงพอใจ และมีขนาดตัวที่เท่ากันสม่ำเสมอ โดยขนาดลักษณะรูปร่างทางกายภาพ ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ขนาดตัวแปรต่างๆ ของปาท่องโก๋

4.1.2 น้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาพบว่า น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยเท่ากับ 36.15 กรัม และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 40.38 กรัม ซึ่งจะใช้เป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้ขนาดมอเตอร์ที่ใช้การคำนวณขนาดเพลาส่งกำลัง

4.1.3 สีของผลิตภัณฑ์

สีของผลิตภัณฑ์ใช้เป็นมาตรฐานบ่งบอกถึงคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากกระบวนการทอด เมธินี สุกแดง และคณะ (2554) ได้ทำการวัดค่าสีด้วยวิธีการทดสอบแบบ CIE ด้วยเงื่อนไข มุม Observer 2 องศา ชนิดแสง d65 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าสีของผลิตภัณฑ์เป็นดังนี้ L* 53.225±1.998, a* 13.811±1.7836, b* 30.718±1.004

4.1.4 ปริมาณการดูดซับน้ำมัน

จากการศึกษาปริมาณน้ำมันที่ดูดซึมของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการหลังทอดด้วยวิธี Soxhlet Extractor โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าปริมาณน้ำมันที่ดูดซึมเท่ากับ 20.77% (เมธินี สุกแดง และคณะ, 2554)

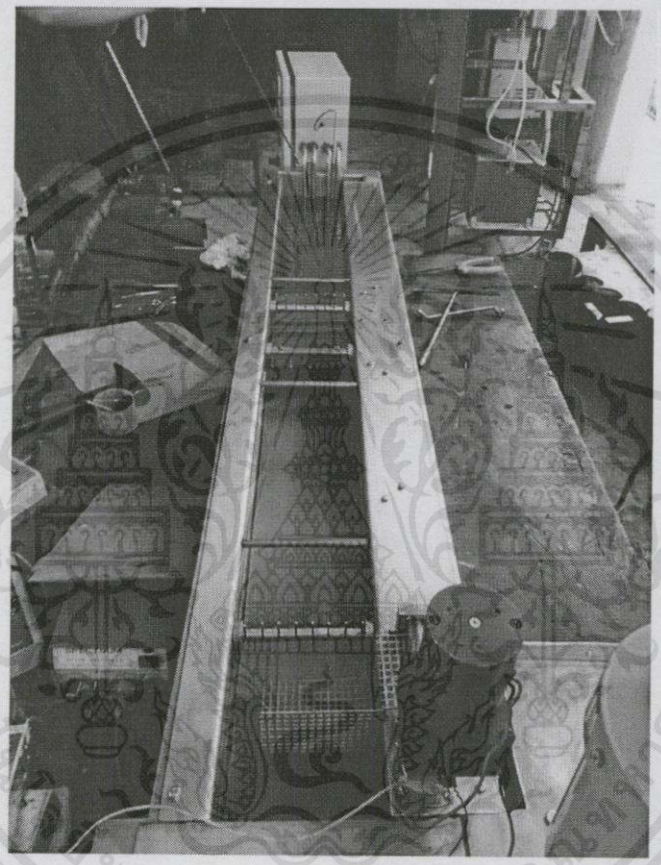
4.1.5 เวลาที่ใช้ในกระบวนการทอด

เวลาที่ใช้ในการทอดเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถใช้สีเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ตำแหน่งติดตั้งกลไกการพลิกที่เหมาะสม พบว่าเวลาที่ใช้ในการทอดเฉลี่ย 1.5-2 นาทีต่อตัว และอุณหภูมิทอด 170-180 องศาเซลเซียส โดยเนื้อทอง วนานุวัธ และคณะ (2547) ได้ทำการทดลองการทอดปาท่องโก๋ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 160 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4 นาที โดยใช้เครื่องทอดนอกจากนี้ นภา จันทรภัทรานุกูล และภัทรชรินทร์ วรหาญ (2555) ได้ศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันพบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ทอดนานขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ ความหนืดมีค่ามากขึ้น และค่าสีของน้ำมันที่ใช้ในการทอดปาท่องโก๋เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อทอดไป 36 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบและสร้างกลไกต้นแบบ

จากการศึกษาระบบกลไกต่างๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องทอดแบบต่อเนื่องได้ พบว่ากลไกที่เหมาะสมในการพลิกคือ กลไกการพลิกแบบยก ใช้กลไกการขับแบบเฟืองดอกจอกเป็นกลไกในการส่งกำลัง และมีระบบควบคุมการทำงานของระบบคือ วงจรรีเลย์ ซึ่งเครื่องทอดแบบต่อเนื่องต้นแบบดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เครื่องทอดแบบต่อเนื่องต้นแบบ

4.2.1 การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาระยะในการติดตั้งกลไกการพลิก

เครื่องทอดปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง มีขนาดความยาวของรางทอด 150 เซนติเมตร ทำการทดสอบการพลิกด้วยมือที่ระยะต่างๆ ดังรูปที่ 4.3 คือ (ก) ระยะก่อนกึ่งกลาง (ข) ระยะกึ่งกลาง และ (ค) ระยะหลังกึ่งกลางของรางทอด ขนาดปาท่องโก๋ที่ใช้ในการทดลองทอด มีขนาดความยาว 5 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร ทำ 5 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อปาท่องโก๋เข้าสู่กระบวนการแล้ว ตัวผลิตภัณฑ์จะจมอยู่ภายใต้น้ำมันเป็นระยะเวลาหนึ่ง ในระหว่างนี้กระบวนการทอดจะเป็นลักษณะการทอดแบบจมน้ำมัน เมื่อเวลาผ่านไปตัวผลิตภัณฑ์จะลอยขึ้นมาเหนือน้ำมัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นจากการระเหยของน้ำ

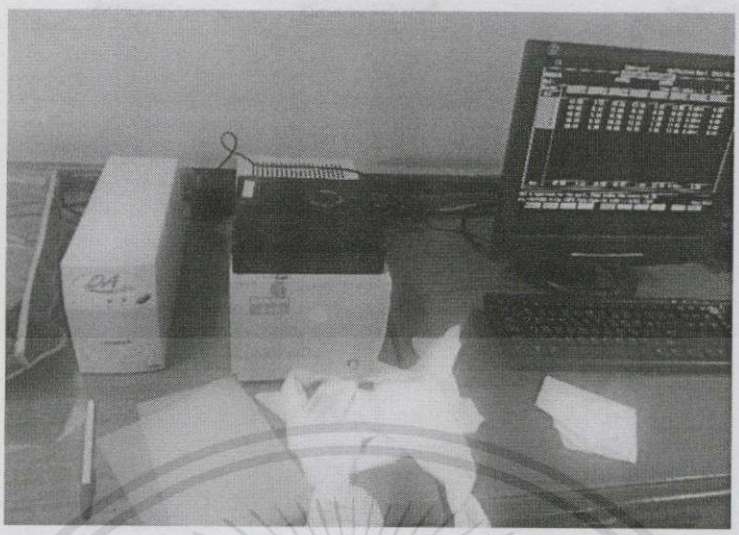
เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ด้านการค้า ... ไปใช้

ภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งออกมาในรูปของไอน้ำโดยมีค่าลดลง เกิดการพองตัวภายในผลิตภัณฑ์ลักษณะคล้ายแป้งเค้ก (batter) และผิวของผลิตภัณฑ์เริ่มเปลี่ยนสีจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาลอ่อน เมื่อเวลาผ่านไปสีของผลิตภัณฑ์บริเวณด้านที่ถูกทอดจะมีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีข้อสังเกตคือ บริเวณที่เกิดการเปลี่ยนสีเป็นบริเวณที่สัมผัสน้ำมันเท่านั้น นำมาซึ่งสีที่แตกต่างกันของด้านทั้งสอง บริเวณด้านที่ถูกทอดจะมีลักษณะที่แข็งขึ้นเนื่องจากเกิดลักษณะของเปลือก (crust) และเมื่อทำการพลิกผลิตภัณฑ์ พบว่าด้านซึ่งสัมผัสกับน้ำมันมีสีที่เข้มขึ้นและเกิดเปลือกแข็งเช่นเดียวกัน

รูปที่ 4.3 การทดสอบหาตำแหน่งติดตั้งกลไกการพลิก

จากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Color meter) Tri-Stimuluscolori-meter รุ่น J4801 ดังรูปที่ 4.4 มีการตั้งค่าเครื่องใช้มุมแสง 2 องศา และแสงแบบ d65 ซึ่งเลียนแบบแสงในเวลากลางวัน โดยผลที่ได้จากเครื่องถูกบันทึกในหน่วย CIE1976 (CIELAB) มีสามหน่วยสีคือ L*, a* และ b* ซึ่งภายในหนึ่งหน้าของผลิตภัณฑ์จะถูกวัดทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Paired T-Test โดยในการทดสอบทางสถิตินี้จับคู่ระหว่างแต่ละด้านภายในผลิตภัณฑ์ชิ้นเดียวกันเพื่อวิเคราะห์ถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หากมีค่าระดับนัยสำคัญ (Significant level) ต่ำกว่า 0.1 ทุกหน่วยสีถือว่าผลิตภัณฑ์มีสีที่แตกต่างกันทั้งสองด้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งกลไกการพลิกอยู่ที่ระยะกึ่งกลางของรางทอด ซึ่งสามารถทอดปาท่องโก๋ให้สุกได้ โดยที่สีทั้งสองด้านของปาท่องโก๋ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามภาคผนวก

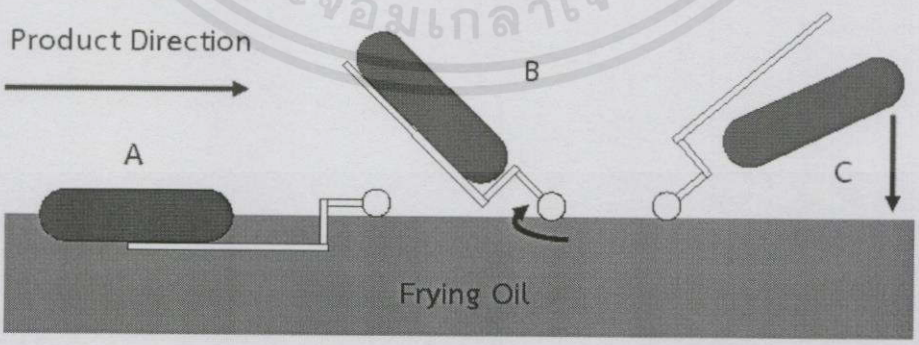
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ทดสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดสีรุ่น J4801

4.2.2 การออกแบบระบบกลไกการพลิก

จากการวิเคราะห์ระบบกลไกในบทที่ 3 และนำข้อดีข้อด้อยของการใช้ส่วนประกอบต่างๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบ พบว่ากลไกที่เหมาะสมที่สุดคือ กลไกการพลิกแบบยก ซึ่งส่งกำลังผ่านเฟืองดอกจอกโดยมอเตอร์ เนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยกว่าแบบอื่นๆ และมีความเป็นไปได้สูงสุดที่จะสามารถพลิกปาท่องโก๋ได้ โดยกลไกการพลิกดังกล่าวนี้เคยถูกใช้ในเครื่องทอดโดนัทแบบต่อเนื่องของบริษัท Inkomercsk รหัสเครื่อง PRF-11/900 หลักการของกลไกการพลิกดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ในตำแหน่ง A เป็นการรอผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตะแกรงพลิก จากนั้นจึงทำการส่งกำลังไปยังเพลาเพื่อยกปาท่องโก๋ขึ้นมาในตำแหน่ง B และเมื่อถึงมุมที่กำหนด ปาท่องโก๋จะร่วงลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกในตำแหน่ง C

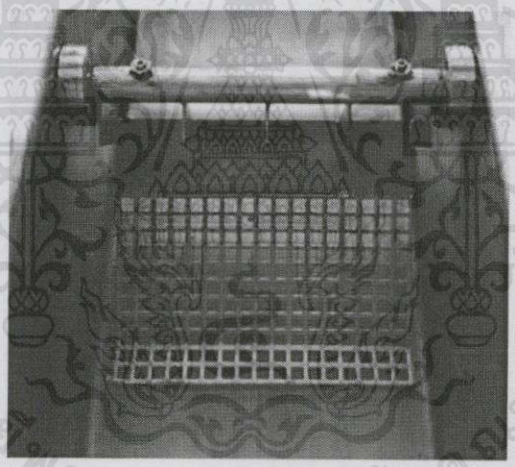


รูปที่ 4.5 รูปแบบโมเดลกลไกการพลิกแบบยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 การออกแบบตะแกรงพลิก

การออกแบบตะแกรงพลิกได้ออกแบบโดยคำนึงถึงลักษณะของการพลิก จากการวิเคราะห์แรง พบว่า การออกแบบตะแกรงให้มีลักษณะบ่าเพื่อป้องกันการไถลของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังคำนึงถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ซึ่งอ้างอิงจาก เมธินี สุกแดง และคณะ (2554) โดยขนาดของตะแกรงจะใหญ่กว่าขนาดของปาท่องโก๋เล็กน้อย ส่วนความกว้างของตะแกรงถูกกำหนดโดยความกว้างของปาท่องโก๋ โดยได้ออกแบบสำหรับการพลิกทีละ 2 ตัว ซึ่งขนาดของตะแกรงที่ออกแบบได้ มีความกว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร แผ่นพลิกนี้ห่างจากแกนหมุน 3 เซนติเมตร ซึ่งเชื่อมติดกันด้วยซี่ตะแกรง 4 ซี่ ห่างกัน 3 เซนติเมตร และเชื่อมติดกับท่อซึ่งจะสวมเพลาสแตนเลสขนาด 10 มิลลิเมตร ตรงกลางโดยเจาะรูและทำเกลียวขนาด M4 ไว้เพื่อใส่สกรูตัวหนอนสำหรับยึดเพลาสแตนเลส โดยจะเสริมการยึดจับของสกรูด้วยน็อตตัวเมีย ซึ่งจะถูกเชื่อมติดกับรูของตะแกรงพลิก ความหนาของแผ่นตะแกรงพลิกเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส AISI 304 หนัก 127.18 กรัม โดยคำนวณผ่านซอฟแวร์ Solidworks ตำแหน่งการติดตั้งของแผ่นพลิกนี้ต้องทำให้เกิดแรงหน่วงน้อยที่สุด

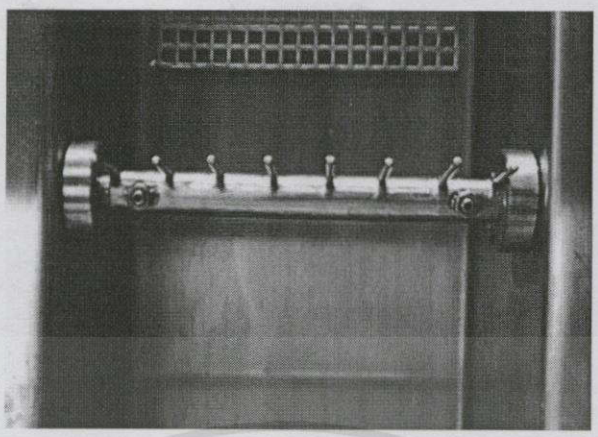


รูปที่ 4.6 แผ่นตะแกรงพลิกปาท่องโก๋

4.2.2.2 การออกแบบแผงกั้น

การออกแบบแผงกั้นปาท่องโก๋นั้นมีข้อสำคัญคือ ต้องทำให้แรงหน่วงของอัตราการไหลของน้ำมันมีค่าน้อยสุด โดยจะติดตั้งแผงกั้นไว้เหนือน้ำมัน 0.45 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.7 แผงกั้นมีลักษณะเป็นซี่ตะแกรงยาว 2.5 เซนติเมตร 5 ซี่ ระยะห่างระหว่างซี่ตะแกรง 1.5 เซนติเมตร จะวางแกนของซี่ตะแกรงบนผิวของน้ำมันเพื่อลดโอกาสการเกิดกระแสวน แผงกั้นปาท่องโก๋นี้ทำหน้าที่ป้องกันปาท่องโก๋ไหลเข้าไปด้านล่างของส่วนการพลิก ในขณะที่ส่วนดังกล่าวอยู่ในระหว่างการทำงาน

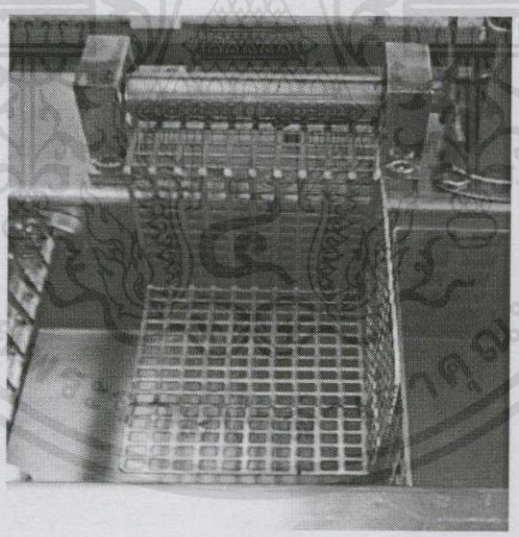
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แผงกั้นปาท่องโก๋

4.2.2.3 การออกแบบแผ่นตะแกรงนำออก

การออกแบบแผ่นตะแกรงเพื่อใช้ในการนำปาท่องโก๋ออกจากรางทอด มีลักษณะดังรูปที่ 4.8 ทำจากแผ่นสแตนเลสเจาะรูสี่เหลี่ยมขนาด 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร เพื่อลดการสูญเสียน้ำมันที่ติดไปกับแผ่นพลิก มีความยาว 10.5 เซนติเมตร กว้าง 7 เซนติเมตร และสูง 8 เซนติเมตร



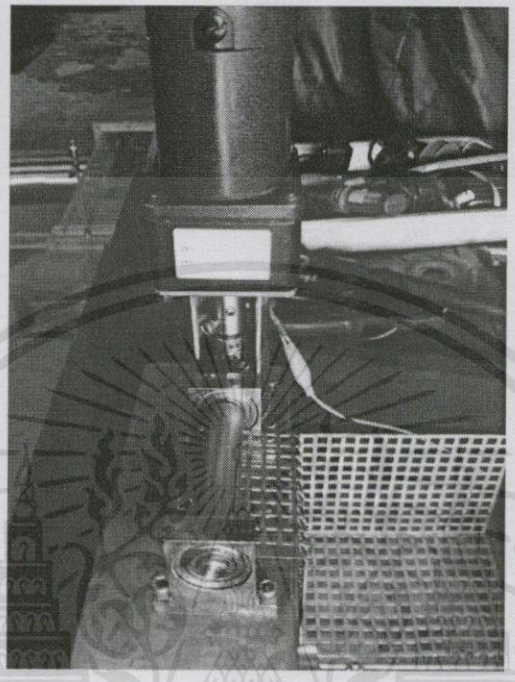
รูปที่ 4.8 แผ่นตะแกรงพลิกออก

4.2.3 การออกแบบระบบกลไกในการส่งกำลัง

ระบบกลไกการส่งกำลัง ดังรูปที่ 4.9 ประกอบด้วย (ก) มอเตอร์กระแสตรงขนาด 36 วัตต์ (ข) ชุดเฟืองดอกจอก และ (ค) เพลาส่งกำลัง มอเตอร์กระแสตรงนี้จะถูกควบคุมการทำงานด้วยวงจรรีเลย์ ซึ่งมอเตอร์จะส่งกำลังผ่านเฟืองดอกจอก 2 ชุด คือ ชุดเฟืองของตะแกรงพลิกออก และชุดเฟืองที่ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังให้เพลาหลัก โดยที่เพลาหลักจะส่งกำลังให้เฟืองดอกจอก 3 ชุด คือ ตัวกั้น 2 ชุด และตะแกรงพลิก 1 ชุด



(ก)

(ข)

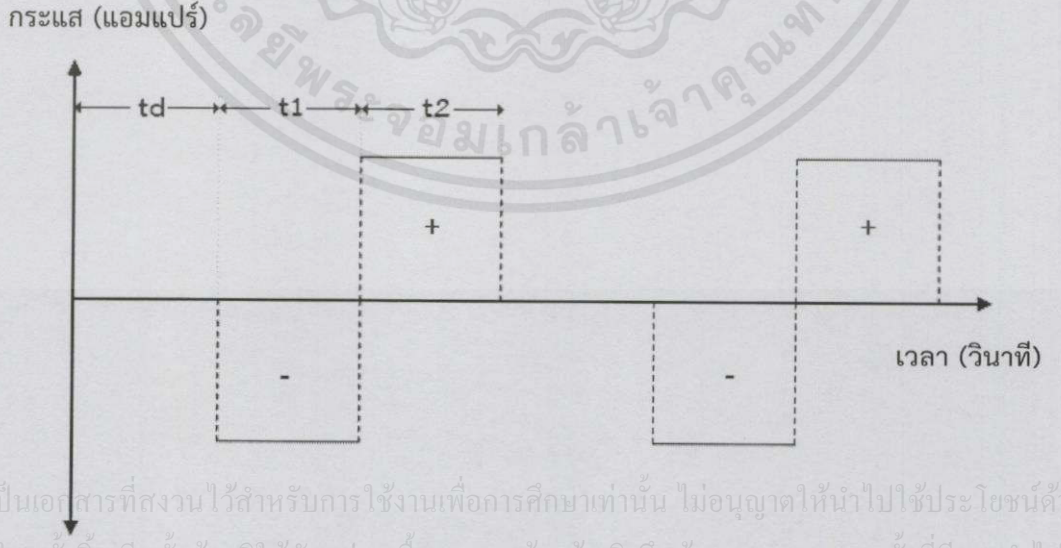
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)

รูปที่ 4.9 กลไกการส่งกำลัง

4.2.4 การออกแบบระบบที่ใช้ในการควบคุม

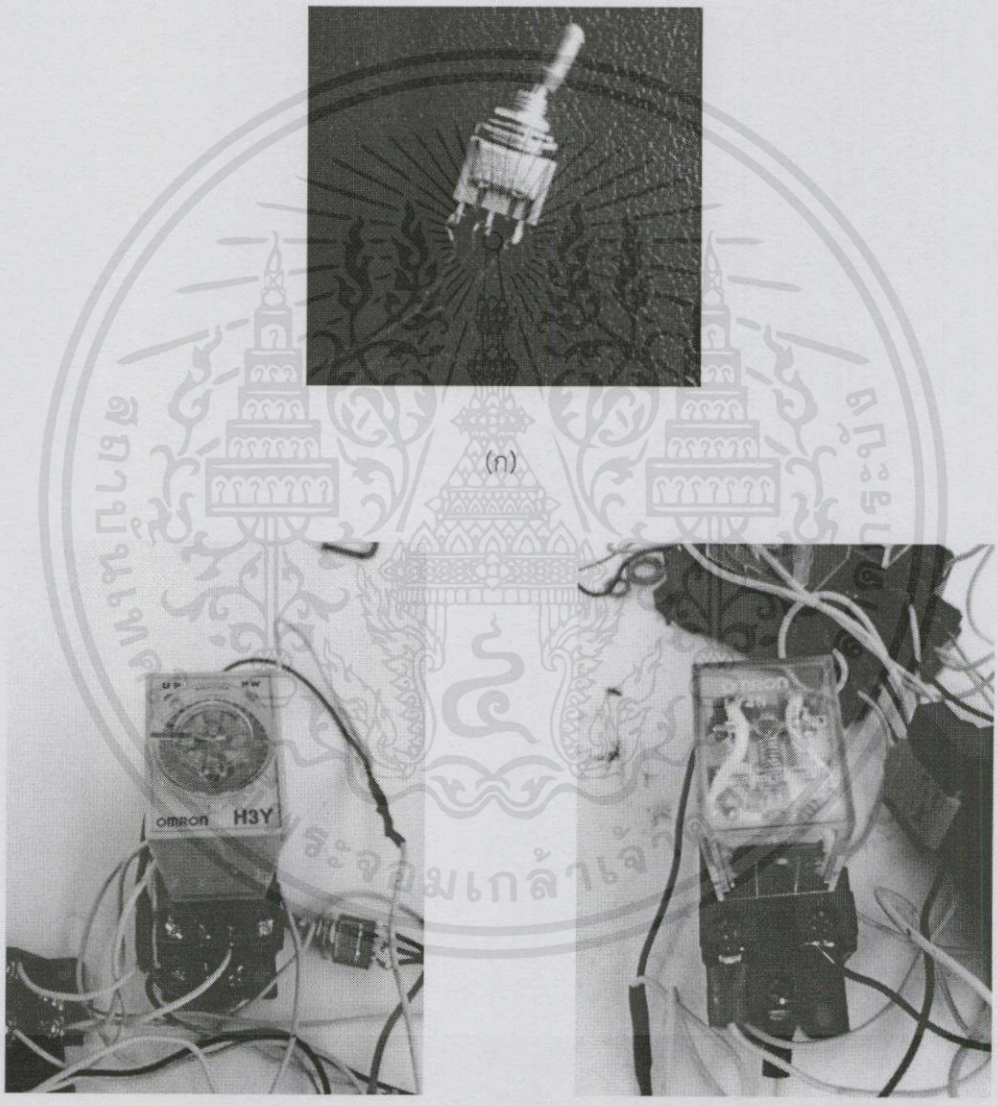
ระบบควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในการพลิก ถูกออกแบบเพื่อให้แหล่งต้นกำลังมอเตอร์สามารถพลิกผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์ ลำดับแรกจะทำการหยุดเพื่อให้ปาท่องโก๋เข้าสู่ตะแกรงพลิก โดยที่ตัวกั้นจะเปิดและหยุดตามเวลาที่ตั้งค่าไว้ (td) เมื่อหน่วงเวลาครบรอบตามที่ตั้งค่า มอเตอร์จะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (t1) เพื่อยกผลิตภัณฑ์ขึ้นตามมุมที่กำหนด จากนั้นมอเตอร์จะหมุนกลับในทิศตามเข็มนาฬิกา (t2) เพื่อหมุนให้เพลาหลักส่งกำลังไปสู่ระบบส่งกำลังของกลไกการพลิกกลับอยู่ในตำแหน่งเดิม ซึ่งสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ออกมาเป็นลำดับพัลส์ได้ ดังรูปที่ 4.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 พัลส์ลำดับการทำงานของมอเตอร์

ในการควบคุมทิศทางการหมุนได้ออกแบบระบบควบคุมประกอบด้วย (ก) สวิตช์สองทางชนิดเอสพีดีที (SPDT: Single-Pole Double-Throw) (ข) รีเลย์หน่วงเวลา (Timer relay) 12 โวลต์ Omron รุ่น H3Y และ (ค) รีเลย์กำลังขนาดเล็ก (Miniature power relay) 12 โวลต์ Omron รุ่น MY2N จำนวน 2 ตัว รีเลย์กำลัง (Power relay) 12 โวลต์ Omron รุ่น G2A ดังรูปที่ 4.11 อุปกรณ์ดังกล่าวจะประกอบอยู่ในวงจรควบคุม ซึ่งใช้รีเลย์หน่วงเวลาและรีเลย์กำลังในการปล่อยให้กระแสเข้ามอเตอร์



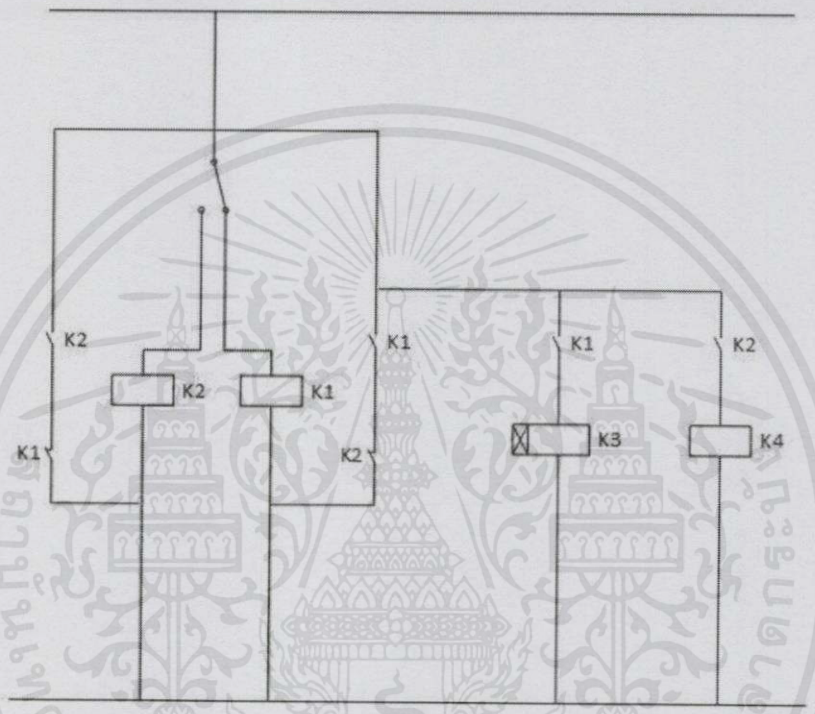
(ก)

(ข) (ค)

รูปที่ 4.11 ชุดอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เกิดการหมุนในลักษณะที่ได้กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากกระแสไหลเข้าขั้วบวก (+) ของมอเตอร์และไหลออกทางขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และกรณีกระแสไหลเข้าขั้วลบจะทำให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ 36 วัตต์ ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที มีอัตราการทดเกียร์เท่ากับ 1:40 โดยวงจรควบคุมจะแสดงดังรูปที่ 4.12

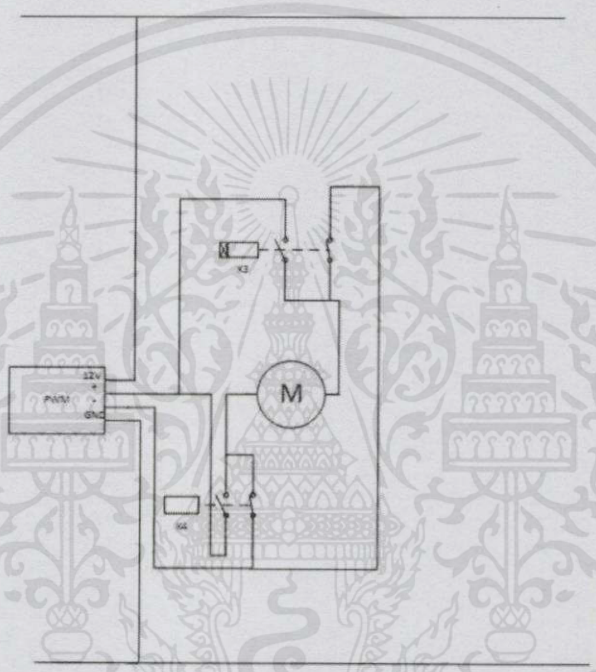


รูปที่ 4.12 วงจรควบคุม

วงจรเริ่มทำงานจากสวิตช์ SPDT ซึ่งทำการเลือกข้างปล่อยไฟผ่านจากแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply 12V) ผ่านทางขั้วบวกและต่อกับขากลางของสวิตช์เพื่อเลือกช่องทางการไหล ในเริ่มต้นระบบจะทำการจ่ายไฟเข้ารีเลย์กำลังขนาดเล็ก (K1) ซึ่งมีหน้าสัมผัสปกติเปิดต่อเข้ากับหน้าสัมผัสปกติปิดของรีเลย์กำลังขนาดเล็ก (K2) เพื่อเป็นการสร้างวงจรอินเตอร์ล็อกของรีเลย์ K1 เมื่อสวิตช์ SPDT ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์เชิงกลกำลังเปลี่ยนหน้าสัมผัสจากการให้ไฟฟ้าที่ K1 ไปยัง K2 เนื่องจากระหว่างการปรับเปลี่ยนสายการส่งกำลังไฟฟ้าจะมีช่วงสั้นๆ ซึ่งหน้าสัมผัสที่ต่อไฟขั้วบวกจะไม่สัมผัสหน้าสัมผัสใดเลย จึงทำให้รีเลย์ K1 หยุดการทำงานชั่วขณะและทำให้มอเตอร์หยุดหมุนซึ่งจะหยุดการทำงานของเครื่องจักร อีกหน้าสัมผัสของรีเลย์ K1 ต่อเข้ากับรีเลย์หน่วงเวลา (K3) ซึ่งเป็นแบบ On time relay เพื่อสร้างจังหวะหน่วงเวลาให้แก่เครื่องจักร ในระหว่างที่ตะแกรงพลิกกำลังรอผลิตภัณฑ์เมื่อเวลาหน่วงครบตามที่กำหนดไว้ในรีเลย์ รีเลย์จะทำงานโดยปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรีเลย์ K3 ซึ่งมีหน้าสัมผัสปกติเปิดต่อเข้ากับมอเตอร์ ดังรูปที่ 4.13 ทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางทวนเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาฬิกา และเมื่อถึงมุมที่กำหนดจะมีท่อปรับมุม ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งถูกยึดติดกับเพลาด้วยสกรูตัวหนอน โดยมีสกรูหัวจมหกเหลี่ยมทำหน้าที่ผลักสวิตช์ SPDT ทำให้หน้าสัมผัสของสวิตช์เปลี่ยนไปจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับรีเลย์ K2 ซึ่งต่ออินเตอร์ล็อกเข้ากับหน้าสัมผัสปกติปิดของรีเลย์ K1 โดยทำการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่รีเลย์ K4 ซึ่งเป็นรีเลย์กำลังที่มีหน้าสัมผัสกับมอเตอร์ภายในวงจรกำลังและเข้าขั้วลบ จนทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง เนื่องจากการป้อนกระแสบวกเข้าไปยังสายลบของมอเตอร์ และเมื่อสกรูหัวจมผลักสวิตช์ SPDT มายังตำแหน่งเดิม จะทำให้การทำงานครบรอบ และหน้าสัมผัสกลับมายังรีเลย์ K1 อีกครั้ง



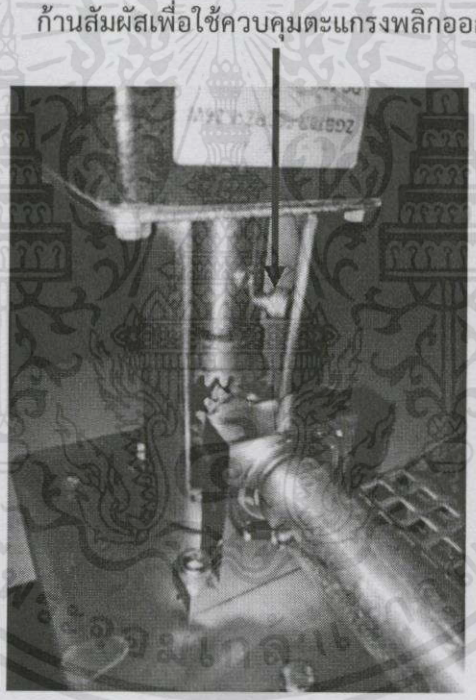
รูปที่ 4.13 วงจรกำลัง

วงจรกำลัง ดังรูปที่ 4.13 ทำหน้าที่ส่งกำลัง โดยมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบผ่านอุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ 5 แอมป์ (60 วัตต์) ซึ่งสามารถใช้ขับกลไกผ่านมอเตอร์ได้ ในขั้นตอนแรกเมื่อรีเลย์หน่วงเวลา K3 ได้รับสัญญาณไฟฟ้าจากวงจรควบคุมจะทำการเปลี่ยนหน้าสัมผัสหลังจากที่ครบเวลาซึ่งตั้งไว้ในการหน่วง โดยหน้าสัมผัสปกติเปิดของรีเลย์ K3 จะต่อเข้ากับขั้วลบของมอเตอร์ และหน้าสัมผัสปกติปิดซึ่งถูกต่อเข้ากับขั้วลบของมอเตอร์จะเปลี่ยนสถานะกลับกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วลบและออกทางขั้วบวกของมอเตอร์ จากนั้นจึงไหลผ่านหน้าสัมผัสปกติปิดของรีเลย์กำลัง K4 เข้าไปยังวงจรปรับความเร็วรอบ PWM ซึ่งทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ผ่านการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยค่าความเร็วสามารถเลือกปรับได้ตามความต้องการ และเมื่อวงจรควบคุมส่งสัญญาณเข้าที่รีเลย์กำลัง K4 หน้าสัมผัสของรีเลย์จะทำการสลับ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าจาก

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ลอกเลียนแบบ ดัดแปลง หรือนำไปใช้

ขั้วบวกจากวงจรปรับความเร็วรอบ PWM ไหลเข้าสู่มอเตอร์ผ่านหน้าสัมผัสปกติเปิดและออกทางหน้าสัมผัสปกติปิดของรีเลย์ K3 ทำให้มอเตอร์หมุนกลับด้านทำให้ตะแกรงกลับเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

ท่อปรับมุม ซึ่งทำหน้าที่เป็นลูกเบี้ยวในการบังคับทิศทางการหมุนของวงจรที่ใช้ในระบบการพลิกนั้น สามารถปรับมุมการพลิกได้อย่างไม่จำกัด โดยท่อปรับมุมที่ใช้ในระบบการพลิกนั้น ได้ถูกตั้งค่าไว้ที่ 180 องศา ซึ่งเป็นตัวแปรของการออกแบบ โดยมุมการพลิกที่น้อยเกินไป ทำให้ปาท่องโก๋ไม่เกิดการล้มตามแรงโน้มถ่วง และหากมีองศาที่มากเกินไปจะทำให้ความเร็วในการผลิตตกลง ซึ่งต้องแก้ด้วยวิธีการปรับความเร็วรอบที่เหมาะสมของการพลิก โดยการปรับท่อปรับมุมสามารถปรับได้ที่การเจาะรูซึ่งใส่สกรูหกเหลี่ยมหัวจมที่ทำหน้าที่ในการผลักสวิตช์เพื่อเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ซึ่งใช้ในการพลิกกลับ ดังรูปที่ 4.14



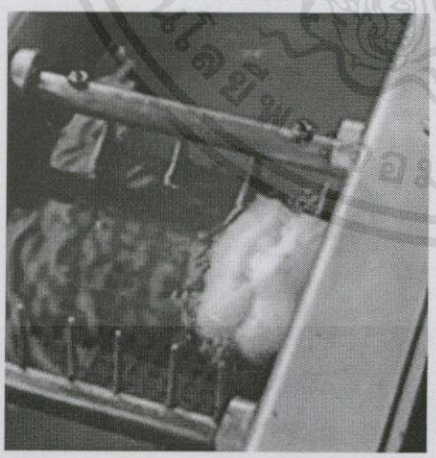
รูปที่ 4.14 ท่อปรับมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดสอบและผลการทดสอบ

5.1 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น

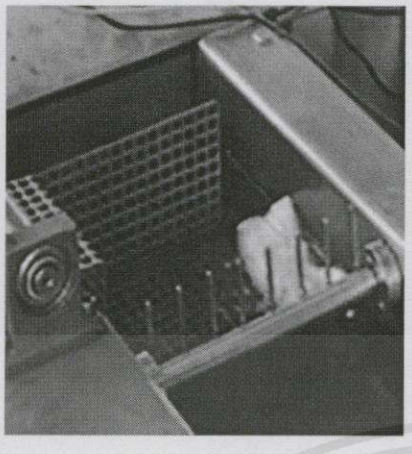
หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบกลไกการพลิก ดังรูปที่ 5.1 (ก) เมื่อปาท่องโก๋เคลื่อนที่เข้ามายังส่วนของการพลิก ซึ่งปาท่องโก๋จะเคลื่อนที่ตามทิศทางกระแสการไหลของน้ำมัน (ข) จากนั้นระบบกลไกในการส่งกำลังจะทำงาน โดยมีมอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลัง จะส่งกำลังผ่านเพลาเพื่อให้เพลาส่งถ่ายแรงไปสู่เฟืองดอกจอกที่ติดตั้งอยู่บนเพลาหลักและเพลาของตะแกรงพลิก ทำให้ตะแกรงพลิกหมุนเพื่อพลิกกลับด้านปาท่องโก๋ และตะแกรงกั้นปาท่องโก๋ก็จะกั้นปาท่องโก๋ตัวต่อไปไม่ให้เข้ามาด้านล่างของตะแกรงพลิก ซึ่งกลไกการพลิกเหล่านี้จะทำงานพร้อมกัน เวลาที่ใช้ในการพลิกนั้นจะถูกควบคุมโดยวงจรรีเลย์ เมื่อปาท่องโก๋หลุดจากตะแกรงพลิกแล้ว ตัวพลิกก็จะกลับไปอยู่ในตำแหน่งเดิม พร้อมๆ กับที่ตัวกั้นปล่อยปาท่องโก๋ตัวต่อมาเข้าสู่ตะแกรงพลิก และทำการพลิกอีกครั้ง (ค) จากนั้นปาท่องโก๋จะถูกพาโดยน้ำมันไปยังตะแกรงนำออก (ง) เมื่อตะแกรงนำออกทำงานปาท่องโก๋จะถูกนำออกจากรางทอดด้านเพลาขับ (จ) ซึ่งการติดตั้งระบบนำออกด้านเพลาขับเนื่องจากการติดตั้งในตำแหน่งดังกล่าวสามารถนำปาท่องโก๋ออกจากระบบได้ทันที หากทำการพลิกออกไปด้านหน้า ผลิตภัณฑ์จะอยู่เหนือบริเวณใบพัดซึ่งยากต่อการติดตั้งระบบสายพาน หรือภาชนะที่ทำการรับผลิตภัณฑ์ และหากนำออกด้านตรงข้าม เพลาขับต้องเพิ่มกลไกการส่งกำลังเนื่องจากไม่สามารถทดผ่านเพลาในลักษณะดังกล่าวได้



(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

(ง)

(จ)

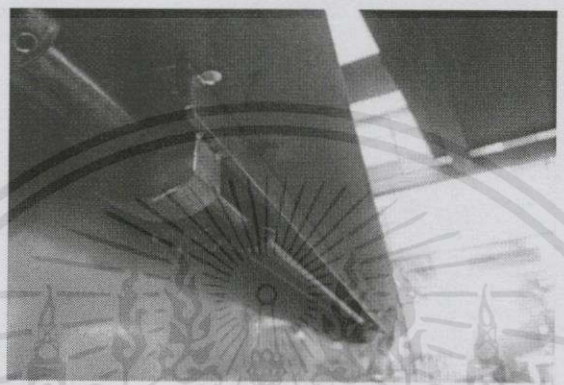
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานของกลไกต่างๆ

5.2 ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้น

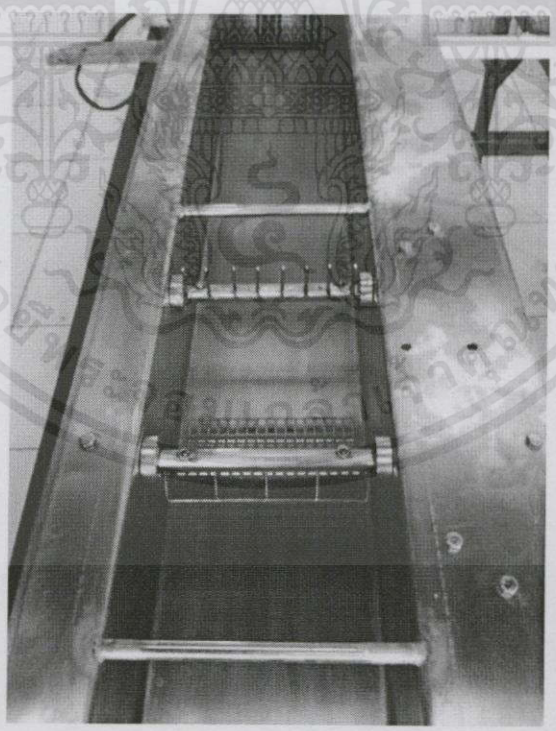
การทดสอบการทำงานเบื้องต้นหลังจากระบบกลไกการพลิกสร้างสำเร็จ มีการทดสอบกลไกโดยไม่ใช้น้ำมัน จุดประสงค์เพื่อปรับแต่งและทดสอบจังหวะการทำงาน พบว่ากลไกสามารถทำงานได้ดีตรงตามที่ออกแบบไว้ แต่เมื่อทดสอบกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงจึงพบปัญหาว่า เมื่อน้ำมันทอดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้รางทอดสแตนเลสเกิดการโก่งตัว เป็นผลให้กลไกการพลิกไม่ทำงานคือ เพลาหลักเกิดการบิด เฟืองเกิดการเลื่อน ดังนั้นจึงแก้ไขโดยการใช้สแตนเลสรูปตัวซี ขนาด 3 มิลลิเมตร ดามไว้ที่ใต้ปีกของรางทอดด้านที่มีการติดตั้งกับกลไกการพลิก ดังรูปที่ 5.2 (ก) เมื่อทำการทดสอบอีกครั้งพบว่า ในขณะที่น้ำมันมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น รางทอดสแตนเลสทั้งสอง (รางใหญ่และรางเล็ก) เกิดการโก่งตัว การโก่งตัวที่เกิดขึ้นคือ ด้านที่ติดกับฮีทเตอร์มีขนาดรางทอดกว้าง 14.1 เซนติเมตร ตรงกลาง 13.9 เซนติเมตร ด้านที่ติดกับมอเตอร์ 14.0 เซนติเมตร ทำให้เพลาที่ยึดกับตะแกรงพลิกกลับและตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กั้นยึดติดกันแน่น จึงทำให้เฟืองดอกจอกเกิดการอัดกัน เป็นเหตุให้กลไกการพลิกไม่ทำงาน จึงแก้ไขโดยการใช้เพลาสแตนเลสยาว 14.1 เซนติเมตร ดามไว้ที่รางทอด 3 ตำแหน่ง คือ หน้าตัวกั้นก่อนตะแกรงพลิกกลับ หลังตะแกรงพลิกกลับ และหน้าตัวกั้นตะแกรงพลิกออก ดังรูปที่ 5.2 (ข) ในการยึดเพลาของตะแกรงพลิกกลับและตัวกั้นเข้ากับเพลาส่งกำลังนั้น ขอบเพลาของตะแกรงและตัวกั้นต้องมีช่องว่างเล็กน้อยห่างจากบูชทองเหลือง เพื่อให้เกิดระยะฟรีในการหมุน



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.2 การแก้ไขด้วยวิธีการต่างๆ (ก) สแตนเลสรูปตัวซีดามใต้ปีกของรางทอด
(ข) เพลาสแตนเลสดามที่รางทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดสอบอีกครั้งพบว่า กลไกการพลิกสามารถทำงานได้ การทดสอบนี้ใช้ระดับความลึกของน้ำมันที่ 9 เซนติเมตร แต่เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้น้ำมันเกิดการขยายตัว ที่อุณหภูมิ 180°C มีระดับน้ำมันที่ระยะ 11 เซนติเมตร เมื่อป้อนแป้งปาท่องโก๋เข้าสู่เครื่องทอด พบว่าปาท่องโก๋สามารถพลิกกลับได้ตามที่กำหนด

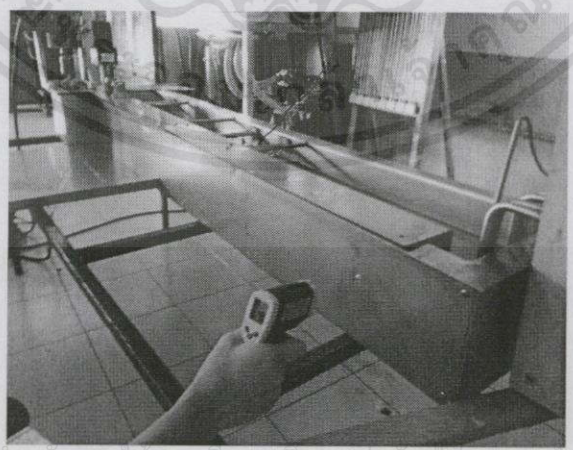
5.3 การทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทอดแบบต่อเนื่อง

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อชี้วัดความสามารถของเครื่องจักรในกระบวนการ แบ่งเป็น 2 การทดสอบย่อยประกอบไปด้วย การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์ และการทดสอบปริมาณน้ำมันของเครื่องทอด

5.3.1 การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์

การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์ เริ่มจากการเปิดระบบทำความร้อนแก่น้ำมัน ระบบการไหลเวียนน้ำมัน และระบบการพลิก วัดค่าพลังงานทางไฟฟ้า โดยทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 10 นาที เพื่อหาค่าพลังงานเฉลี่ยที่ใช้ในกระบวนการ จากนั้นจึงป้อนผลิตภัณฑ์ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 10 นาที ด้วยอัตราการป้อนผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน

ในระหว่างการทดลองได้มีการวัดอุณหภูมิที่ด้านต่างๆ ของเครื่องทอด ดังรูปที่ 5.3 เพื่อหาปริมาณพลังงานที่สูญเสียออกจากระบบ โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านล่างของเครื่องทอดคำนวณจากสมการการพาความร้อนแผ่นราบวางในแนวระดับ อุณหภูมิคงที่และอากาศไหลแบบราบเรียบ ดังสมการที่ (1), (2), (3) และ (4) (J.P. Holman, 2010) ตามลำดับ ส่วนด้านข้างของเครื่องทอดใช้สมการการพาความร้อนแบบแผ่นราบในแนวดิ่ง อุณหภูมิคงที่และอากาศไหลแบบราบเรียบ โดยเปลี่ยนสมการ (2) เป็น (5) ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ (4) จะถูกคำนวณเพิ่มเติมเพื่อหาอัตราการสูญเสียความร้อน



รูปที่ 5.3 การวัดอุณหภูมิด้านต่างๆ ของรางทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบ

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_w - T_\alpha)L^3 Pr}{\nu^2} \quad (1)$$

$$\overline{Nu} = 0.68 + 0.67(Ra_L \varphi(Pr))^{0.25} \quad (2)$$

$$\varphi(Pr) = \left[1 + \left(\frac{0.5}{Pr}\right)^{0.563}\right]^{-1.78} \quad (3)$$

$$h = \frac{\overline{Nu}k}{L} \quad (4)$$

$$\overline{Nu} = 0.27Ra_L^{0.25} \quad (5)$$

โดยที่

Ra_L	คือ	ตัวเลขเรโนลด์ *(Reynolds number)*	
$\overline{Nu}$	คือ	ตัวเลขนัสเซลส์ *(Nusselt number)*	
Pr	คือ	ตัวเลขพรันด์เทิล *(Prandtl number)*	
T_w	คือ	อุณหภูมิผนัง	(K)
T_∞	คือ	อุณหภูมิอากาศ	(K)
h	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	$(W/m^2.K)$
k	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	$(W/m.K)$
β	คือ	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ	
g	คือ	แรงโน้มถ่วงของโลก	(m/s^2)
L	คือ	ความยาวของวัตถุ	(m)
ν	คือ	ความเร็วเฉลี่ยของการไหล	(m/s)
φ	คือ	ฟังก์ชันกระแส *(Stream function)*	

เมื่อทำการทดลองและคำนวณดังกล่าวแล้ว จึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการชั่งน้ำหนักสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาปริมาณความร้อนซึ่งใช้ไปในการทอดปาท่องโก๋ ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์ได้ โดยมีค่าเท่ากับ 20.77% (เมธินี สุกแดง และคณะ, 2554)

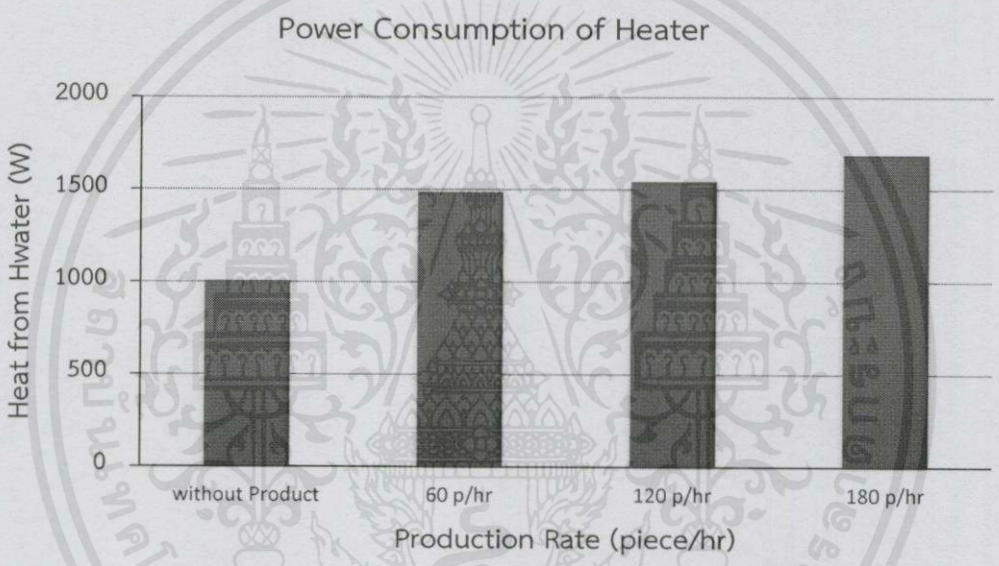
5.3.2 ผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์

จากการคำนวณปริมาณพลังงานที่สูญเสียออกจากระบบของเครื่องทอดพบว่า อัตราการสูญเสียความร้อนที่ผนังซ้าย 54.5 วัตต์ ผนังขวา 54.7 วัตต์ ผนังฝั่งมอเตอร์ 14.1 วัตต์ ผนังฝั่งฮีทเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.36 วัตต์ และผนังใต้รางทอด 1.23 วัตต์ ซึ่งมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับการจ่ายพลังงานให้แก่ระบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,184.6 วัตต์

จากการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนผ่านผลิตภัณฑ์ ค่าพลังงานที่ได้ ดังรูปที่ 5.4 โดยผลต่างของการใช้พลังงานรวมในขณะยังไม่มีภาระและการใช้พลังงานรวมขณะที่มีภาระ สามารถแปลงเป็นพลังงานที่ใช้ในการทอดปาท่องโก๋และจากการคำนวณ พบว่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการทอดเพิ่มขึ้นที่ 60 ชิ้นต่อชั่วโมง 565.7 วัตต์ ที่ 120 ชิ้นต่อชั่วโมง 631.4 วัตต์ ที่ 180 ชิ้นต่อชั่วโมง 804.4 วัตต์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณการผลิตเครื่องจักรจะใช้กำลังไฟมากขึ้น เพราะมีผลิตภัณฑ์ภายในเครื่องจักรเป็นจำนวนที่ต่างกัน

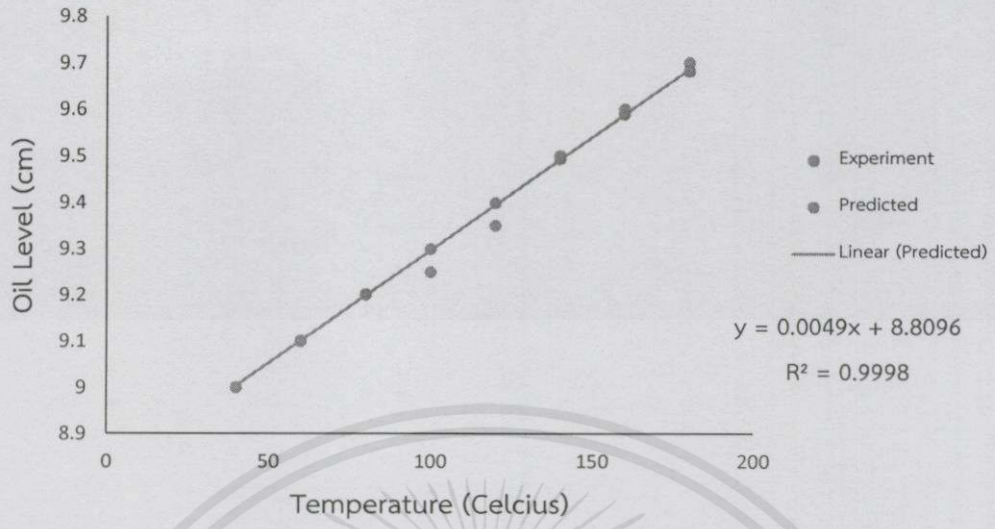


รูปที่ 5.4 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในเครื่องจักรเมื่อใช้อัตราการผลิตที่ต่างกัน

5.3.3 การทดสอบปริมาณน้ำมันของเครื่องทอด

การทดสอบปริมาณน้ำมันของเครื่องทอด มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการทอดให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในระหว่างกระบวนการทอดมีปริมาณน้ำมันซึ่งระเหยออกไปเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเกินความจำเป็น จากการศึกษาการขยายตัวของน้ำมันสามารถทำนายได้จากตารางความหนาแน่นของน้ำมันซึ่งขยายตัวเนื่องจากความร้อน โดยได้ทำการสร้างชุดข้อมูลจากตารางดังกล่าวเพื่อทำนายระดับน้ำมันที่อุณหภูมิต่างกัน ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อหาปริมาณน้ำมันที่ต้องใช้ในช่วงเริ่มกระบวนการในรูปของระดับของน้ำมัน ดังรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



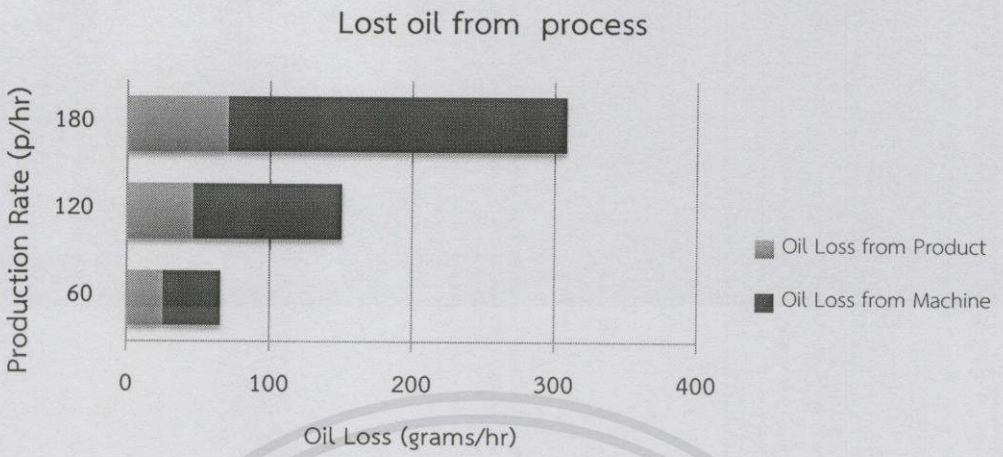
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของระดับอุณหภูมิและน้ำมัน

จากนั้นนำปาท่องโก๋ที่ได้ไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำมันที่ผลิตภัณฑ์ดูดซึมและปริมาณน้ำมันที่อยู่ในภาชนะบรรจุปาท่องโก๋ ซึ่งถูกนำออกเนื่องจากตะแกรงนำออกเพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำมันที่สูญเสียออกจากระบบ ซึ่งมีผลต่อระดับน้ำมันภายในรางทอดจนอาจทำให้ระบบการพลิกไม่สามารถพลิกได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจุดของตะแกรงนำออก ผลที่ได้จากการทดลองจะถูกเฉลี่ยเป็นปริมาณกรัมต่อวินาที ซึ่งผลการทดสอบจะแบ่งความเร็วเป็นสามช่วงคือ 60 ชิ้นต่อชั่วโมง 120 ชิ้นต่อชั่วโมง และ 180 ชิ้นต่อชั่วโมง โดยผลการทดลองคือ 10.91 กรัมต่อชั่วโมง 12.54 กรัมต่อชั่วโมง และ 17.11 กรัมต่อชั่วโมง

5.3.4 ผลการทดสอบปริมาณน้ำมันของเครื่องทอด

การสิ้นเปลืองน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอดที่ 60 ตัวต่อชั่วโมง มีค่า 1.09 กรัมต่อตัว โดยแบ่งเป็นน้ำมันในปาท่องโก๋ 0.422 กรัม และน้ำมันที่ออกจากระบบ 0.669 กรัม ที่ 120 ตัวต่อชั่วโมง สูญเสียน้ำมัน 1.5 กรัมต่อตัว ซึ่งแบ่งเป็นจากปาท่องโก๋ 3.86 กรัม และจากกระบวนการพลิก 0.86 กรัม และที่180 ตัวต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำมันที่ออกไปกับปาท่องโก๋ 0.39 กรัมต่อตัว และที่ออกไปกับกระบวนการพลิก 1.32 กรัมต่อตัว เพราะเนื่องจากว่าเมื่อปริมาณการผลิตสูงขึ้นทำให้เกิดการพลิกบ่อยขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำมันที่ออกไปจากระบบผ่านตะแกรงนำออกมีปริมาณมากขึ้น โดยที่ปริมาณเฉลี่ยของน้ำมันของปาท่องโก๋แต่ละตัวมีปริมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานดังกล่าวและอัตราการสูญเสียน้ำมันต่อชั่วโมง ที่ 60 ตัวต่อชั่วโมง มีค่า 1.09 กรัมต่อตัว โดยแบ่งเป็นน้ำมันในปาท่องโก๋ 0.422 กรัม และน้ำมันที่ออกจากระบบ 0.669 กรัม ที่ 120 ตัวต่อชั่วโมง สูญเสียน้ำมัน 1.5 กรัมต่อตัว ซึ่งแบ่งเป็นจากปาท่องโก๋ 3.86 กรัม และจากกระบวนการพลิก 0.86 กรัม และที่ 180 ตัวต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ปริมาณน้ำมันที่เสียไปในกระบวนการ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการออกแบบและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการออกแบบ

การออกแบบระบบกลไกการพลิกปาท่องโก๋ต้นแบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ระบบกลไกการพลิก ระบบกลไกการส่งกำลัง และระบบควบคุมการทำงาน ซึ่งใช้หลักการการพลิกแบบยกประกอบด้วยแผ่นตะแกรงพลิกกลับ แผ่นตะแกรงนำออก และแผงกั้นปาท่องโก๋ใช้การขับแบบเฟืองดอกจอกในการส่งกำลัง มีมอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลัง ซึ่งถูกควบคุมการทำงานด้วยวงจรรีเลย์ สามารถพลิกปาท่องโก๋ได้อย่างสมบูรณ์ และมีจังหวะการทำงานที่สอดคล้องกันตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบไว้ โดยได้ทดสอบที่อัตราการผลิตเท่ากับ 60, 120 และ 180 ชิ้นต่อชั่วโมง และสามารถปรับอัตราการผลิตเพิ่มได้จากรีเลย์หน่วงเวลาในวงจร

ในการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องทอดพบว่า การใช้พลังงานขณะที่ยังไม่ได้ป้อนผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในกระบวนการทอดเพิ่มขึ้น ที่ 60 ชิ้นต่อชั่วโมง 565.7 วัตต์ ที่ 120 ชิ้นต่อชั่วโมง 631.4 วัตต์ ที่ 180 ชิ้นต่อชั่วโมง 804.4 วัตต์ เนื่องจากปริมาณปาท่องโก๋ภายในเครื่องจักรมีปริมาณมากขึ้นจึงถือเป็นภาระเชิงความร้อน (Load) แก่เครื่องจักร และปริมาณน้ำมันต่อชิ้นที่ออกจากระบบ ที่ระดับการผลิต 60 ตัวต่อชั่วโมง มีค่า 1.09 กรัมต่อตัว โดยแบ่งเป็นน้ำมันในปาท่องโก๋ 0.422 กรัม และน้ำมันที่ออกจากระบบ 0.669 กรัม ที่ 120 ตัวต่อชั่วโมง สูญเสียน้ำมัน 1.5 กรัมต่อตัว ซึ่งแบ่งเป็นจากปาท่องโก๋ 3.86 กรัม และจากกระบวนการพลิก 0.86 กรัม และที่ 180 ตัวต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำมันที่ออกไปกับปาท่องโก๋ 0.39 กรัมต่อตัว และที่ออกไปกับกระบวนการพลิก 1.32 กรัมต่อตัว เนื่องจากการพลิกที่มากขึ้นจึงทำให้น้ำมันออกจากกระบวนการเป็นจำนวนมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

จากการทดสอบพบว่า ยังมีส่วนที่ควรปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกลไกการทำงานในส่วนของระบบควบคุม และระบบการไหลเวียนของน้ำมัน โดยระบบควบคุมพบว่า เมื่อมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ปลายส่วนสัมผัสของสวิตช์ที่ทำหน้าที่ในการปรับเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์มีการบิดงอเนื่องจากความล้าของวัสดุ ดังนั้นในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมควรเปลี่ยนจากสวิตช์ดังกล่าวเป็นสวิตช์ประเภทลิมิตสวิตช์ หรือพร็อกซิมิตี้สวิตช์แบบเหนี่ยวนำ เพื่อลดปัญหาเนื่องจากการล้าของวัสดุ เนื่องจากลิมิตสวิตช์จะมีสปริงช่วยดูดซับแรง ทำให้ไม่เกิดการปะทะโดยตรงระหว่างสวิตช์และท่อปรับมุม ส่วนพร็อกซิมิตี้สวิตช์ทำให้ไม่มีการสัมผัสกันระหว่างท่อปรับมุมและตัวสวิตช์ในส่วนของระบบไหลเวียนน้ำมัน เนื่องจากความเร็วรอบของใบพัดที่ใช้ต่ำ ทำให้ความถี่ที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์มีค่าต่ำ ซึ่งส่งผลให้มอเตอร์เกิดอาการกระตุกและทำให้เครื่องจักรสั่นสามารถแก้ได้โดยการปรับอัตราทดเกียร์จากมอเตอร์ไปยังใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ชาญ ถนัดงาน และวริทธิ์ อึ้งภากรณ์, 2522. "การออกแบบเครื่องจักรกล 1." กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น

ชาญ ถนัดงาน และวริทธิ์ อึ้งภากรณ์, 2522. "การออกแบบเครื่องจักรกล 2." กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น

ถาวร อริยภูชัย, 2550. "แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้วยหอมที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นภา จันทรภัทรานุกูล และภัทรชรินทร์ วรหาญ, 2555. "การออกแบบระบบการไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เนื้อทอง วนานุวัธ, สมภพ คชชา และพูลศักดิ์ พัฒนไพรสณฑ์, 2547. "ทอดปาท่องโก๋อย่างไรให้ปลอดภัย." [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.rdi.ku.ac.th/Techno_ku60/res-48/index48.html

เมธินี สุกแดง, วรุฒม์ นิยติวัฒชาญชัย และอภิญญา พุ่มมูล, 2554. "การศึกษาค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบเครื่องทอดปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รชายา ธารากุลทิพย์, ลลิตา เหล่าคนค้า และวีระวุฒิ อินทร์โก, 2554. "การวิเคราะห์และทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2554. "ปาท่องโก๋"[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1144_49.pdf

อาจหาญ ณ ณรงค์, 2554. "รายละเอียดของเฟืองและวัสดุเฟือง." [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=13479&section=9

J.P. Holman, 2010. "Heat Transfer 10th." New York: McGraw-hill Publishing.

Harold Corke and Y.H. Hui, 2006."Bakery products science and technology." Iowa: Blackwell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1 ผลการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องวัดสีที่ตำแหน่งก่อนกึ่งกลางของรางทอด

Position	Side	L*	a*	b*
Lead	A	38.62	-2.45	8.41
Lead	A	47.63	-1.22	12.06
Lead	A	43.85	1.95	11.87
Lead	A	39.76	2.29	10.59
Lead	A	40.42	3.28	11.44
Lead	B	39.55	2.5	11.19
Lead	B	40.35	1.98	11.84
Lead	B	38.12	2.23	9.89
Lead	B	32.92	-1.65	6.85
Lead	B	35.9	-1.17	7.39
Lead	A	37.74	-3.44	2.34
Lead	A	37.1	0.11	9.48
Lead	A	39.73	3.11	11.52
Lead	A	42.2	-1.09	8.37
Lead	A	35.15	-0.51	8.25
Lead	B	34.82	0.14	7.89
Lead	B	31.81	-2.73	5.69
Lead	B	39.42	2.09	9.65
Lead	B	41.95	3.69	12.3
Lead	B	29.6	-4.53	4.17
Lead	A	41.91	-0.6	10.33
Lead	A	40.81	-0.35	10.03
Lead	A	40.22	1.25	9.42
Lead	A	34.12	-1.23	7.64
Lead	A	41.91	-0.6	10.33
Lead	B	38.4	2.37	10.49
Lead	B	39.15	1.79	6.73
Lead	B	37.23	0.51	8.88
Lead	B	35.08	-1.31	8.09
Lead	B	38.4	2.37	10.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.2 ผลการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องวัดสีที่ตำแหน่งกึ่งกลางของรางทอด

Position	Side	L*	a*	b*
Middle	A	38.54	1.76	9.4
Middle	A	44.55	2.77	11.91
Middle	A	38.44	1.03	8.87
Middle	A	45.97	0.95	10.57
Middle	A	38.55	1.87	9.54
Middle	B	40.82	2.91	10.32
Middle	B	44.04	20.78	12.04
Middle	B	43.72	4.05	12.37
Middle	B	33.34	-3.31	5.96
Middle	B	45.16	3.84	12.51
Middle	A	35.02	-1.05	8.81
Middle	A	37.53	0.52	10.5
Middle	A	36.97	3.8	10.02
Middle	A	44.23	5.04	14.73
Middle	A	38.36	-0.48	9.8
Middle	B	37.92	0.12	9.88
Middle	B	34.32	-1.53	8.13
Middle	B	41.78	4.33	13.31
Middle	B	38.4	0.52	10.56
Middle	B	42	1.28	12.77
Middle	A	38.12	2.23	9.8
Middle	A	32.92	-1.65	6.85
Middle	A	35.9	-1.17	7.39
Middle	A	40.62	-0.8	9.07
Middle	A	45.31	0.27	10.05
Middle	B	39.76	2.29	10.59
Middle	B	40.42	3.28	11.44
Middle	B	31.61	-3.09	4.69
Middle	B	39.8	1.28	10.17
Middle	B	39.41	1.49	9.52

เอกสารนี้มีไว้เพื่อการใช้งานสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.3 ผลการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องวัดสีที่ตำแหน่งหลังกึ่งกลางของรางทอด

Position	Side	L*	a*	b*
Lag	A	40.88	1.72	10.89
Lag	A	40.82	2.91	10.32
Lag	A	44.01	2.78	12.04
Lag	A	39.8	1.28	10.17
Lag	A	39.41	1.49	9.52
Lag	B	38.54	1.76	9.4
Lag	B	44.55	2.77	11.91
Lag	B	38.44	1.03	8.87
Lag	B	45.31	0.27	10.85
Lag	B	40.88	1.72	10.89
Lag	A	42	2.68	12.91
Lag	A	39.54	-1.21	10.22
Lag	A	35.06	-0.2	8.56
Lag	A	31.86	-2.68	7.18
Lag	A	41.95	0.29	10.9
Lag	B	46.05	1.07	12.33
Lag	B	38.6	1.98	10.66
Lag	B	38.22	-1.24	9.62
Lag	B	38.57	0.74	10.63
Lag	B	43.62	0.08	10.16
Lag	A	38.32	2.08	10.47
Lag	A	48.24	-0.66	10.82
Lag	A	36.36	1.21	9.49
Lag	A	37.17	-1.27	8.08
Lag	A	42	-1.69	4.41
Lag	B	42.01	4.71	12.46
Lag	B	33.48	-2.11	7.68
Lag	B	36.11	1.79	9.43
Lag	B	42.94	0.66	12.18
Lag	B	39.06	-1.79	8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.4 Paired Samples Statistics

Position			Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Lag	Pair 1	L*.a	39.8280	15	3.89255	1.00505
		L*.b	40.4253	15	3.58184	0.92483
	Pair 2	a*.a	0.5820	15	1.78447	0.46075
		a*.b	0.8960	15	1.76184	0.45491
	Pair 3	b*.a	9.7320	15	2.06464	0.53309
		b*.b	10.3713	15	1.46199	0.37749
Lead	Pair 1	L*.a	40.0780	15	3.37654	0.87182
		L*.b	36.8467	15	3.43898	0.88794
	Pair 2	a*.a	0.0333	15	1.96693	0.50786
		a*.b	0.5520	15	2.34606	0.60575
	Pair 3	b*.a	9.4720	15	2.41438	0.62339
		b*.b	8.7693	15	2.35031	0.60685
Middle	Pair 1	L*.a	39.4020	15	3.94030	1.01738
		L*.b	39.5000	15	3.92242	1.01276
	Pair 2	a*.a	1.0060	15	1.93229	0.49891
		a*.b	1.3493	15	2.44091	0.63024
	Pair 3	b*.a	9.8207	15	1.83343	0.47339
		b*.b	10.2840	15	2.45857	0.63480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.5 Paired Samples Test

Position			Paired Differences				
			Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference	
						Lower	Upper
Lag	Pair1	L*.a- L*.b	-0.59733	5.51711	1.42451	-3.65261	2.45794
	Pair 2	a*.a- a*.b	-0.31400	1.71878	0.44379	-1.26583	0.63783
	Pair 3	b*.a- b*.b	-0.63933	2.27518	0.58745	-1.89929	0.62062
Lead	Pair 1	L*.a- L*.b	3.23133	2.69945	0.69700	1.73643	4.72624
	Pair 2	a*.a- a*.b	-0.51867	3.27129	0.84464	-2.33024	1.29291
	Pair 3	b*.a- b*.b	0.70267	3.01035	0.77727	-0.96441	2.36975
Middle	Pair 1	L*.a- L*.b	-0.09800	5.59538	1.44472	-3.19662	3.00062
	Pair 2	a*.a- a*.b	-0.34333	2.58972	0.66866	-1.77747	1.09081
	Pair 3	b*.a- b*.b	-0.04633	2.85651	0.73755	-2.04521	1.11855

ตารางที่ ผ.6 Paired Samples Test

Position			t	df	Sig. (2-tailed)
Lag	Pair 1	L*.a-L*.b	-0.419	14	0.681
	Pair 2	a*.a-a*.b	-0.708	14	0.491
	Pair 3	b*.a-b*.b	-1.088	14	0.295
Lead	Pair 1	L*.a-L*.b	4.636	14	0.000
	Pair 2	a*.a-a*.b	-0.614	14	0.549
	Pair 3	b*.a-b*.b	-0.904	14	0.381
Middle	Pair 1	L*.a-L*.b	-0.068	14	0.947
	Pair 2	a*.a-a*.b	-0.513	14	0.616
	Pair 3	b*.a-b*.b	-0.628	14	0.540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.7 ค่าน้ำหนักของปาท่องโก๋ก่อนและหลังการทอด สำหรับการป้อนทุก 60 วินาที

วิธีการที่ 1 (ป้อนทุก 60 วินาที)			
ตัวที่	**ก่อนทอด**	**หลังทอด**	**ปริมาณน้ำมัน**
1	21.61	19.71	4.093767
2	21.97	19.32	4.012764
3	24.97	22.49	4.671173
4	23.27	21.18	4.399086
5	24.53	22.64	4.702328
6	28.24	26.12	5.425124
7	22.08	19.74	4.099998
8	21.15	18.86	3.917222
9	18.96	16.68	3.464436
10	18.84	16.38	3.402126
	Average		4.2188024

ตารางที่ ผ.8 ค่าน้ำหนักของปาท่องโก๋ก่อนและหลังการทอด สำหรับการป้อนทุก 30 วินาที

วิธีการที่ 2 (ป้อนทุก 30 วินาที)			
ตัวที่	**ก่อนทอด**	**หลังทอด**	**ปริมาณน้ำมัน**
1	15.66	14.16	2.941032
2	16.66	14.61	3.034497
3	20.96	19.73	4.097921
4	15.93	13.92	2.891184
5	21.63	19.87	4.126999
6	24.18	22.41	4.654557
7	25.5	23.05	4.787485
8	22.24	19.93	4.139461
9	24.7	24.33	5.053341
10	15.28	13.71	2.847567
	Average		3.8574044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.9 ค่าน้ำหนักของปาท่องโก๋ก่อนและหลังการทอด สำหรับการป้อนทุก 20 วินาที

วิธีการที่ 3 (ป้อนทุก 20 วินาที)			
ตัวที่	**ก่อนทอด**	**หลังทอด**	**ปริมาณน้ำมัน**
1	14.66	12.91	2.681407
2	17.54	15.04	3.123808
3	15.83	13.27	2.756179
4	25	22.72	4.718944
5	19.95	16.1	3.34397
6	18.67	17.01	3.532977
7	20.52	18.43	3.827911
8	24.75	22.91	4.758407
9	28.45	25.17	5.227809
10	26.43	25.19	5.231963
	Average		3.920338

ตารางที่ ผ.10 การวัดระดับน้ำมันที่อุณหภูมิต่างๆ

Temperature (℃)	Oil Level (Experiment)
40	9
60	9.1
80	9.2
100	9.25
120	9.35
140	9.5
160	9.6
180	9.7

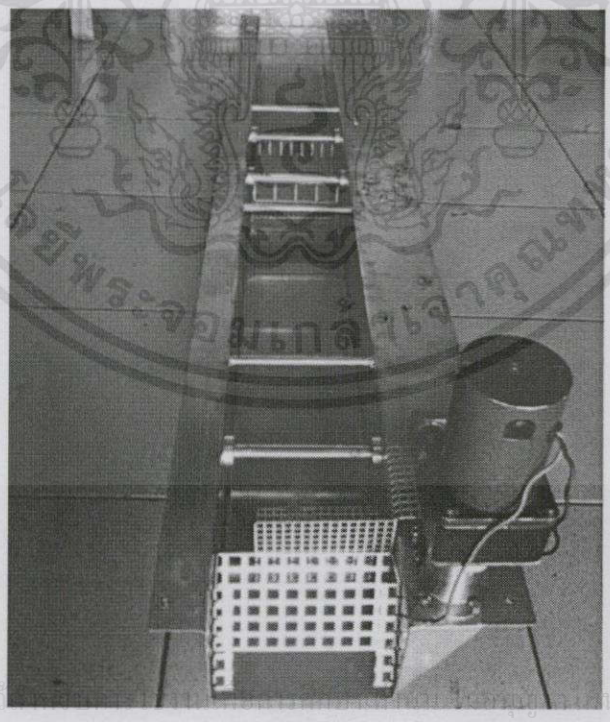
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.11 การวัดอุณหภูมิพื้นผิวที่ตำแหน่งต่างๆ ของรางทอด

ตำแหน่งที่วัด	อุณหภูมิ (°C)				
	ผนังซ้าย	ผนังขวา	ผนังฝั่งมอเตอร์	ผนังฝั่งฮีทเตอร์	ใต้รางทอด
ฝั่งป้อน	39.8	41.6	37.5	41.5	49.4
ตรงกลาง	41.7	44.9	39.2	46.4	48.7
ฝั่งออก	45.1	39.6	39	39.8	45.3
เฉลี่ย	42.2	42.0	38.6	42.6	47.8

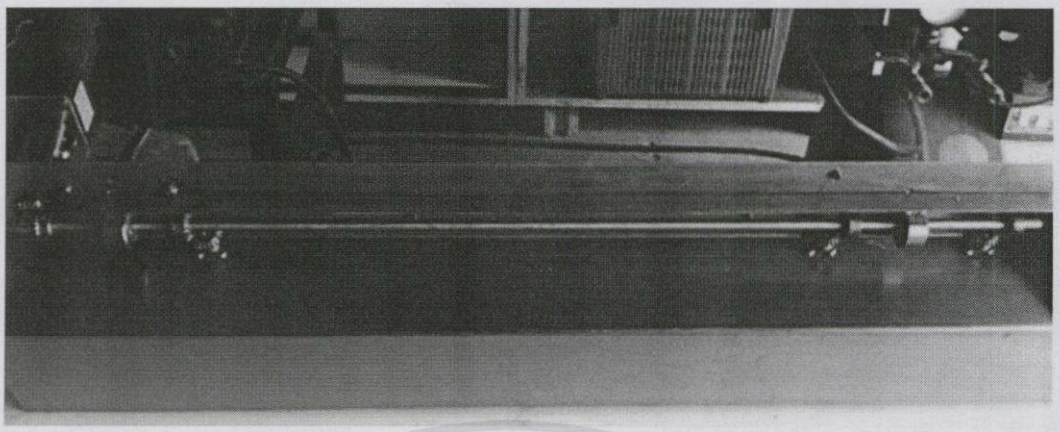
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ผ.1 โครงสร้างของรางทอด

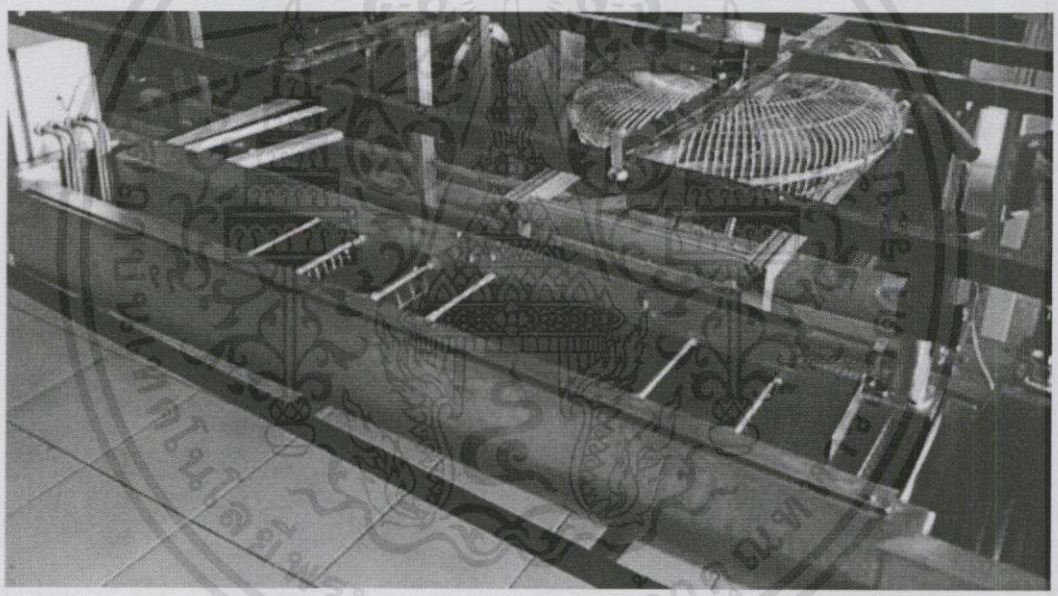


ภาพที่ ผ.2 กลไกการพลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ผ.3 กลไกการส่งกำลัง



ภาพที่ ผ.4 ส่วนประกอบของรางทอดแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้