การออกแบบและพัฒนากลไกการขึ้นรูปแป้งทอดโดยสำหรับการผลิตต่อเนื่อง

Design and Development of Dough Formig Mechanisms for Coutinuous Deep-Fried Dough Stick Production

นางสาวกรินทร ใช้เกิด
นางสาวโชติรส ไทย์สุทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

การออกแบบและพัฒนากลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง

Design and Development of Dough Forming Mechanisms for Continuous Deep-Fried Dough Stick Production

นางสาวจรินทร ใส้เสือ
นางสาวโชติรส โพธิ์สุทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF DOUGH FORMIMG MECHANISMS FOR CONTINUOUS DEEP FRIED DOUGH STICK PRODUCTION

Ms. JARINTORN SAISUA
Ms. CHOTIROS PHOSUTH

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนากลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง

นักศึกษาผู้ทำโครงงาน

นางสาวจรินทร	ใส้เสือ	รหัสนักศึกษา	52010136
นางสาวโชติรส	โพธิ์สุทธิ์	รหัสนักศึกษา	52010268

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	การออกแบบและพัฒนากลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง		
นักศึกษา	นางสาวจรินทร	ใส้เสือ	รหัสนักศึกษา 52010136
	นางสาวโชติรส	โพธิ์สุทธิ์	รหัสนักศึกษา 52010268
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เกียรติศักดิ์	รุ่นพระแสง	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ เพื่อออกแบบและทดสอบกลไกที่สามารถทำงานได้ โดยศึกษากระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋จริงโดยใช้คน พบว่าขนาดของชิ้นแป้งโดยเฉลี่ยมีขนาดความหนา 5 มม. ความกว้าง 20 มม. และความยาว 50 มม. ซึ่งใช้เป็นค่าเป้าหมายในการออกแบบ หลังจากนั้นทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์สรุปรูปแบบวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกลไกได้ ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ และทดสอบเครื่องต้นแบบซึ่งถูกแบ่งเป็น 4 ชุดกลไก คือ 1) ชุดกลไกการรีดแป้งด้วยลูกกลิ้ง 2) ชุดกลไกการตัดตามยาว 3) ชุดกลไกการตัดตามขวาง และ 4) ชุดกลไกลูกกลิ้งประกบ ผลที่ได้พบว่า ระยะความสูงของลูกกลิ้งรีดแป้ง ความเร็วรอบการหมุน รวมถึงขนาดของชิ้นแป้งขาเข้า มีผลต่อความกว้างและความหนาขาออกของชิ้นแป้งที่ออกมา โดยที่ทางเข้าความหนาของแป้ง 6 มม. และความกว้าง 30 มม. ซึ่งตั้งค่าความสูงลูกกลิ้ง 3 มม. ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ตามลำดับ จะได้ขนาดของชิ้นแป้งที่ทางออกตามต้องการ ชุดกลไกการตัดตามยาวจะต้องมีแรงกดที่ใบมีดมากกว่า 11.77 นิวตัน จึงจะสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ ส่วนกลไกตัดตามขวางสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ทั้งหมด โดยการตั้งระยะให้ใบมีดสัมผัสกับสายพานพอดีจะมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับชุดกลไกลูกกลิ้งประกบ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 10 มม. เป็นระยะที่มีประสิทธิภาพในการประกบที่ดีที่สุด จากการทดสอบอย่างต่อเนื่องพบว่าการลำเลียงแป้งจากสายพานจากส่วนตัดมายังส่วนประกบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อแยกชิ้นปาท่องโก๋ให้ห่างออกจากกันก่อนเพื่อประสิทธิภาพการประกบให้ดีขึ้น โดยผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปรับปรุงและสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ในอนาคต

คำสำคัญ การขึ้นรูปปาท่องโก๋ การตัดแป้ง การประกบแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title DESIGN AND DEVELOPMENT OF DOUGH FORMIMG MECHANISMS FOR CONTINUOUS DEEP FRIED DOUGH STICK PRODUCTION

Students Ms. Jarintorn Saisua Student ID. 52010268
Ms. Chotiros Phosuth Student ID. 52010268

Project Advisor Dr. Kiattisak Roonprasang
Degree Bachelor of Engineering
Program Food Engineering
Academic Year 2012

Abstract

This research is the design; development; prototyping and testing of workable dough forming mechanisms for continuous deep-fried dough stick production. From the study of the actual labor process, it was shown that an average size of dough stick is 20 mm width 50 mm length and 5 mm thick. These dimensions were used as an initial design parameters. After the design and prototyping, the experiment was performed in 4 testing cases 1) Testing of sheeting mechanism 2) Testing of lengthways cutting mechanism 3) Testing of perpendicular cutting mechanism and 4) Testing of meshing mechanism. The experimental results show that the roller height, speed and dimension of dough stick at the entrance affected to the outlet size. The machine can produce a dough stick of 6 mm thick, 30 mm width by setting up 3 mm roller height and speed of 50 rpm which is the required dough stick size. The minimum force required to press the lengthways cutting mechanism down is 11.74 N. The perpendicular cutting mechanisms, which able to separate the dough pieces, should be set up to contact with belt for good cutting efficiency. It found that the most efficient distance between 2 rollers is 10 mm for the meshing mechanism. The results of the research can be used for design and develop dough forming mechanisms for continuous deep-fried dough stick production in the future.

Keyword dough forming mechanisms, cutting dough, meshing dough

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ สำหรับท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษา เพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่าน นำมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือในการสร้างเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบ

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ ที่จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลองโครงงาน

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมอาหารและนอกภาควิชาที่ให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนากลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้รับเงินทุนสนับนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ผู้ที่มอบชีวิต การศึกษา และอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้จัดทำโครงงาน

นางสาวจรินทร ใส้เสือ
นางสาวโชติรส โพธิ์สุทธิ์

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	IX
สารบัญตาราง	XI
สัญลักษณ์และหน่วยต่างๆ	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงงาน	3
1.3 ขอบเขต	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	
2.1 วัตถุดิบที่ทำปาท่องโก๋	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดแป้ง	6
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	
3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	9
3.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส	10
3.1.2 การเปรียบเทียบมอเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ	12
3.1.3 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกต้อง	12
3.1.4การคำนวณหากำลังของมอเตอร์	13
3.2 อินเวอร์เตอร์	13
3.2.1 การควบคุมมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์	15
3.3 เฟือง	16
3.3.1 เฟืองตรง	16
3.3.2 ลักษณะเฉพาะของเฟืองตรง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.3 ส่วนประกอบของเฟืองตรง	17
3.4 สายพานและพูลเล่ย์	18
3.4.1 สายพาน	18
3.4.2 สายพานไทม์มิ่ง	19
3.5 เพลา	20
3.5.1 การออกแบบเพลาสำหรับภาระคงที่	20
3.6. แบริ่ง (Bearings)	21
3.6.1 แบริ่งกาบ	21
3.6.2 แบริ่งลูกปืน	21
3.7. วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องต้นแบบ	22
3.7.1 สแตนเลส	22
3.7.2 อะลูมิเนียม	23
3.7.3 พลาสติก PU	24
บทที่ 4 การคำนวณและออกแบบ	
4.1 การศึกษากลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋	26
4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติของแป้งและกลไกการรีดแป้ง	26
4.1.2 การศึกษารูปแบบกลไก การตัดตามยาว	26
4.1.3 การศึกษารูปแบบกลไกการตัดตามขวาง	27
4.1.4 การศึกษารูปแบบกลไกการประกบคู่	28
4.2 การออกแบบเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ	29
4.2.1 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ	29
4.2.2 โครงสร้าง	29
4.2.3 การออกแบบกลไก โครงสร้าง และอุปกรณ์ ในการวิจัย	33
4.3 หลักการทำงานของเครื่องรีดแป้ง	34
4.4 ส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง	35
บทที่ 5 การสร้างและการทดสอบเครื่องต้นแบบ	
5.1 การสร้างเครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง	39
5.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.2.1 การทดสอบกลไกการขับเคลื่อน	40
5.3 การทดลอง	41
5.3.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง	41
5.3.2 การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว	44
5.3.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของกลไกการตัดตามขวาง	45
5.3.4 การทดลองหาประสิทธิภาพการประกบ	46
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิจัย	49
6.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางการปรับปรุง	49
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก.	53
ภาคผนวก ข.	57
ภาคผนวก ค.	61

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตปาท่องโก๋	2
รูปที่ 1.2 แป้งปาท่องโก๋หลังการป้อนเข้าสู้เครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋	2
รูปที่ 1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
รูปที่ 2.1 แบบจำลองการตัดของมีดโค้งและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	7
รูปที่ 2.2 แบบจำลองการตัดชิ้นงานที่ทำจาก Polyurethane	8
รูปที่ 3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟสลับ	9
รูปที่ 3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟสลับสปลิทเฟสมอเตอร์	10
รูปที่ 3.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก	11
รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆของสเตเตอร์	11
รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบต่างๆของฝาครอบมอเตอร์	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.6 การทำงานของอินเวอร์เตอร์	14
รูปที่ 3.7 อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมมอเตอร์	14
รูปที่ 3.8 เฟืองตรง	16
รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบเฟืองตรง	18
รูปที่ 3.10 ลักษณะของสายพาน	19
รูปที่ 3.11 สายพานไทม์มิ่ง	19
รูปที่ 3.12 ลักษณะของพลูเลย์ไทม์มิ่ง	20
รูปที่ 3.13 แผ่นสแตนเลส	23
รูปที่ 3.14 อะลูมิเนียมโปรไฟล์	24
รูปที่ 3.15 โพลียูรีเทน	25
รูปที่ 4.1 แบบจำลองการตัดโดยใช้ใบมีดกลม	27
รูปที่ 4.2 แบบจำลองการตัดขวางด้วยใบมีดทรงกระบอก	28
รูปที่ 4.3 แบบจำลองกลไกลูกกลิ้งประกบ	28
รูปที่ 4.4 แผ่นรองสายพานและชุดกลไกขึ้นรูปแป้ง	30
รูปที่ 4.5 ฐานรองรับเครื่อง	31
รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมแรงที่กระทำต่อเพลา	32
รูปที่ 4.7 กราฟแรงและโมเมนต์ดัดในแนวดิ่ง	32
รูปที่ 4.8 แบบจำลองโครงสร้างและรูปแบบกลไกของเครื่องต้นแบบ	34
รูปที่ 4.9 แบบจำลองอุปกรณ์ กลไกเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบ	34
รูปที่ 4.10 โครงฐานรองเครื่อง	35
รูปที่ 4.11 แผ่นโครงสร้าง	35
รูปที่ 4.12 รูปลูกกลิ้งรีดแป้ง	36
รูปที่ 4.13 รูปใบมีดตัดตามขวาง	37
รูปที่ 4.14 แบบจำลองเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง	38
รูปที่ 5.1 กลไกการขับเคลื่อนชุดกลไกการขึ้นรูป	40
รูปที่ 5.2 เครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง	40
รูปที่ 5.3 คัปปิ้งต่อเพลาหมุนสายพาน	41
รูปที่ 5.4 ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับสายพาน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ **หน้า**

รูปที่ 5.5 ความหนาสุดท้ายของแป้ง 42
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความหนาขาออกที่ความหนาขาเข้า 6 mm 43
รูปที่ 5.7 การทดลองหาความกว้างที่ความหนาชิ้นแป้งขาเข้า 6 mm. ความเร็วรอบ 50 rpm 43
รูปที่ 5.8 การใช้ตัวถ่วงน้ำหนักกดลงบนใบมีดตัดตามขวางเพื่อจำลองแรงกด 44
รูปที่ 5.9 องศาของใบมีดที่เปลี่ยนไป 1 และ 2 องศา โดยเฉลี่ย 45
รูปที่ 5.10 ลักษณะแป้งหลังการตัด 45
รูปที่ 5.11 ขนาดของแป้งปาท่องโก๋หลังตัดตามยาวโดยมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 51 มิลลิเมตร 46
รูปที่ 5.12 แป้งหลังการประกบด้วยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 10 มิลลิเมตร 47
รูปที่ 5.13 ลักษณะแป้งหลังการประกบและหลังการทอด 47
รูปที่ 5.14 การปรับปรุงเครื่องต้นแบบในส่วนอุปกรณ์แยก 48
รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบ 57
รูปที่ ข.2 การควบคุมมอเตอร์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ 57
รูปที่ ข.3 ขึ้นรูปแป้งก่อนเข้าสู่กระบวนการรีด 58
รูปที่ ข.4 ป้อนแป้งเข้าสู่กระบวนต่างๆ 58
รูปที่ ข.5 แป้งหลังกระบวนการตัด 59
รูปที่ ข.6 แป้งหลังกระบวนการประกบ 59
รูปที่ ข.7 กลไกการประกบ 60

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองหาระยะความสูงของลูกกลิ้งและความหนาของชิ้นแป้ง 53
ตาราง ก.2 ผลการทดลองหาความกว้างของชิ้นแป้ง 54
ตาราง ก.3 การทดลองหาแรงกดที่ใช้ในการตัดของใบมีดตามยาว 55
ตาราง ก.4 ผลการทดลองหลังการตัด 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และหน่วยต่างๆ

Pw = กำลังมอเตอร์ หน่วย วัตต์ (Watt)

T = แรงบิด หน่วย นิวตันเมตร (N.m)

F = แรงที่กระทำ หน่วย นิวตัน (N)

ω = ความเร็วเชิงมุม หน่วย เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

V = ความเร็วลูกกลิ้ง หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

r,R = รัศมีลูกกลิ้ง หน่วย เมตร (m)

n = ความเร็วรอบมอเตอร์ หน่วย รอบต่อนาที (rpm)

σ = ความเค้น หน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

A = พื้นที่ หน่วย ตารางเมตร (m^2)

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง หน่วย เมตร (m)

t = ความหนา หน่วย เมตร (m)

M = โมเมนต์ นิวตันเมตร (N.m)

C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

τ_d = ความเค้นเฉือนใช้งานหน่วย ปาสคาล (Pa)

τ_y = ความเค้นเฉือน หน่วย ปาสคาล (Pa)

M_B = โมเมนต์ดัด นิวตันเมตร (N.m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

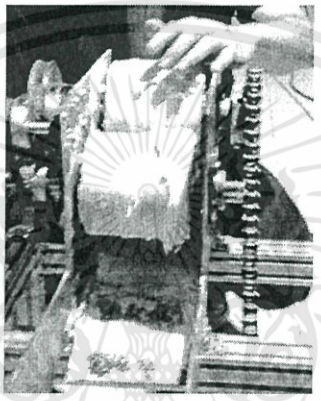
ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแหล่งอาหารอุดมสมบูรณ์แห่งหนึ่งของโลก เนื่องจากมีผลิตผลทางการเกษตรที่หลากหลาย สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ได้มากมาย ในปัจจุบันมีการแข่งขันทางการตลาดทางด้านอุตสาหกรรมอาหารสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการอาหารทั้งภายในและภายนอกประเทศที่มากขึ้น จึงทำให้เกิดธุรกิจอาหารขึ้นมากมาย ส่วนใหญ่จะเป็นไปในรูปแบบของธุรกิจอาหารขนาดเล็ก และมีจำนวนน้อยที่เป็นธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งหนึ่งในอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ธุรกิจอาหารขนาดเล็กเติบโตก้าวไปเป็นธุรกิจอุตสาหกรรมอาหารขนาดใหญ่ได้ นั้นคือการขาดเทคโนโลยีทางวิศวกรรมในการผลิตอาหาร ซึ่งในปัจจุบัน การผลิตอาหารเพื่อจำหน่ายส่วนใหญ่เป็นรูปแบบของการใช้คนในการผลิต ทำให้ได้ผลผลิตที่มีจำนวนน้อย ใช้ระยะเวลาในการผลิตนาน และคุณภาพของผลผลิตไม่สม่ำเสมอ

ปาท่องโก๋ เป็นอาหารว่างชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ซึ่งเป็นสินค้าที่อยู่คู่กับคนไทยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน นิยมรับประทานควบคู่กับ น้ำเต้าหู้ สังขยา กาแฟ หรือแม้กระทั่งโจ๊ก การขายปาท่องโก๋ก็เป็นไปในรูปแบบของธุรกิจขนาดเล็ก และผู้ประกอบการหลายรายต้องการจะขยายธุรกิจปาท่องโก๋ให้มีกำไรและคุณภาพมากขึ้นแต่ยังขาดเครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตที่ใช้ทดแทนแรงงานคน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต และลดระยะเวลาในกระบวนการ เนื่องจากกระบวนการผลิตปาท่องโก๋นั้นมีความยุ่งยาก และมีหลายขั้นตอน ดังรูปที่ 1.1 ในส่วนของกระบวนการรีดแป้ง ได้ทำการวิเคราะห์และทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง โดยในการทดลอง เมื่อใช้แป้งปาท่องโก๋ป้อนเข้าไปในเครื่องรีดแป้งอย่างต่อเนื่อง เพื่อรีดให้ได้แผ่นแป้งหลังรีดหนา 0.5 เซนติเมตร ผลปรากฏว่า ไม่สามารถรีดแป้งให้ได้ตามต้องการได้ เนื่องจาก แป้งปาท่องโก๋มีความเหนียว ทำให้แป้งติดไปกับลูกกลิ้งยาง ดังรูปที่ 1.2 และพบว่า การควบคุมความหนาของแผ่นแป้งที่ผ่านการรีดด้วยลูกกลิ้งจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งหลักและลูกกลิ้งปรับระยะ นอกจากนี้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งยังมีผลต่อความหนาของแผ่นแป้งด้วย ซึ่งความเร็วรอบที่สูงจะทำให้แผ่นแป้งหนาขึ้น (รชยา ลลิตา และวีระวุฒิ , 2554) จากงานวิจัยเบื้องต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องผลิตปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องได้ ในการปรับความเร็วของลูกกลิ้งรีดแป้งให้เหมาะสม แต่ละขั้นตอนทำให้กระบวนการผลิตแต่ละกระบวนการต้องใช้ระยะเวลานานในการผลิต รวมถึงผู้ผลิตต้องมีความสามารถ และความชำนาญในการผลิตด้วย ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการออกแบบและพัฒนากลไกเพื่อใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาท่องโก๋อย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นแนวคิดต้นแบบให้ผู้ที่สนใจนำไปพัฒนาและออกแบบเครื่องผลิตปาท่องโก๋เพื่อใช้ในการขยายธุรกิจขายปาท่องโก๋ขนาดเล็กไปเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ได้ต่อไปในอนาคต

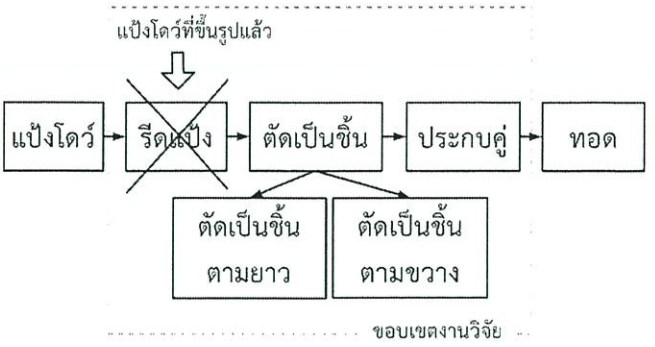
รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตปาท่องโก๋



รูปที่ 1.2 แป้งปาท่องโก๋หลังการป้อนเข้าสู่เครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋ (รชยา ลลิตา และวีระวุฒิ , 2554)

การวิจัยเพื่อการออกแบบและพัฒนากลไกการขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง ได้ออกแบบและพัฒนากลไกลในส่วนการตัดเป็นชิ้นตามยาว ตัดเป็นชิ้นตามขวางและการประกบคู่ ซึ่งเนื่องจากการรีดแป้งปาท่องโก๋ให้ได้ขนาดพร้อมก่อนตัดเป็นไปได้ยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้การขึ้นรูปแป้งโดยใช้คนแทนเพื่อขึ้นรูปแป้งก่อนเข้ากระบวนการตัด ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งจะเป็นการลดขั้นตอนการผลิตในส่วนของการรีดแป้งลง ซึ่งการใช้คนในการขึ้นรูปแป้งแทนการใช้เครื่องนั้น พบว่าแป้งจะมีลักษณะของผิวหน้าแป้งที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับผิวหน้าแป้งเพื่อให้แป้งก่อนเข้าไปในส่วนกลไกการตัดมีผิวหน้าที่รีบ และมีขนาดตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อออกแบบระบบกลไกสำหรับการตัดและประกบคู่สำหรับกระบวนการผลิตปาท่องโก๋
2. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบกลไกต้นแบบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ปาท่องโก๋ต้องผ่านกระบวนการรีดก่อน เพื่อผ่านกระบวนการตัดต่อไปได้
2. ปาท่องโก๋มีขนาดการตัดโดยเฉลี่ย 20 mm. x 50 mm. x 5 mm.
3. ปาท่องโก๋ที่ผ่านกระบวนการประกบแล้วต้องมีลักษณะเป็นคู่เท่านั้น
4. สูตรการทำปาท่องโก๋ที่ใช้ในการทดลองต้องเหมือนเดิม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้รูปแบบของกลไกที่สามารถขึ้นรูปปาท่องโก๋ได้ตามต้องการ

2. สามารถขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับป้อนสู่การทอดที่สะอาดและปลอดภัย

3. ช่วยลดแรงงานคนในกระบวนการผลิตปาท่องโก๋

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

การรีดแป้งโดว์ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนมากจะเป็นการรีดโดยใช้ลูกกลิ้งในการรีดโดยได้ศึกษาการรีดด้วยลูกกลิ้ง การศึกษาลักษณะพฤติกรรมของแป้งขณะรีด ศึกษาแบบจำลองพฤติกรรมการไหลของแผ่นแป้งเป็นการคาดการความหนาของแผ่นแป้งข้าวสาลีหลังจากการผ่านการกลิ้ง เพื่อให้สามารถออกแบบเครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องให้ทำงานตามที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม ปาท่องโก๋ในปัจจุบันมีส่วนประกอบในการทำแป้งโดว์หลายสูตรขึ้นอยู่กับผู้ผลิตในการคิดค้นเพื่อให้ได้ปาท่องโก๋ที่ดี งานวิจัยนี้ได้กำหนดสูตรในการทำแป้งโดว์ดังแสดงในบทที่ 1

2.1วัตถุดิบที่ทำปาท่องโก๋

จากการค้นคว้างานวิจัยของ อัญชลี และคณะ (2009) พบว่า ลักษณะของปาท่องโก๋ที่ดีจะต้องมีลักษณะเนื้อด้านนอกกรอบ เนื้อภายในนุ่ม ไม่เหนียวฟองอากาศไม่ใหญ่ พองตัวดี ไม่มีกลิ่นของแอมโมเนีย มีก้อนแป้งที่ติดอยู่ด้วยกัน และที่สำคัญคือ ต้องไม่อมน้ำมัน ส่วนประกอบในการทำปาท่องโก๋ประกอบด้วย

ก. แป้งสาลี (Wheat flour) แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรีทุกชนิด แป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ โปรตีน กลูเตนิน (glutein) และโปรตีนไกลอะดิน (gliadin) ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมและเมื่อได้รับแรงนวดผสมที่ดีจะเกิดการรวมตัวกันเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างพิเศษชนิดหนึ่ง เรียกว่า กลูเตน (gluten) ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนแป้งที่มีโครงสร้างสามารถแผ่เป็นแผ่นบางได้ และมีความ ยืดหยุ่น กลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงร่างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์และจะเป็นโครงร่างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบขณะทำให้สุก

ข. ยีสต์ (Yeast) เป็นรากลุ่มหนึ่งที่ดำรงชีวิตอยู่ในสภาพเซลล์เดียวเป็นส่วนใหญ่ มีการขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อหรือโดยการแบ่งตัวออกเป็นสองเซลล์คล้ายแบคทีเรีย มีขนาดเล็ก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ตั้งส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ยีสต์นี้มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดการหมักและยังเป็นอาหารที่มีคุณค่าอีกด้วย เพราะเป็นแหล่งวิตามินและเอนไซม์ที่สำคัญ ยีสต์เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้หมักด้วยยีสต์ เช่น ขนมปังชนิดต่างๆ โดนัท ปาท่องโก๋ ซาลาเปา ฯลฯ ยีสต์เป็นตัวที่ทำให้โดว์หมักที่มีความหนักเปลี่ยนเป็นเบาตัว มีความยืดหยุ่นและมีรูอากาศ ซึ่งเมื่อนำไปอบแล้วจะเป็นอาหารที่มีคุณค่าและย่อยง่าย สำหรับการทำขนมปังนั้นยีสต์จะทำหน้าที่เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ หรือจากแหล่งอื่นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ให้สุก ยีสต์ต้องการอาหารเช่นเดียวกับพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ น้ำตาลเป็นอาหารที่จำเป็นสำหรับยีสต์ในการทำให้ยีสต์เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงาน แร่ธาตุและสารประกอบไนโตรเจนก็เป็นอาหารที่สำคัญของยีสต์ด้วยเช่นกัน อาหารเหล่านี้จะได้มาจากแป้ง นม และส่วนผสมอื่นๆ

ค. ผงฟู (Baking powder) ผงฟูเป็นสิ่งที่ทำให้ขมขึ้นฟูด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ผลิตภัณฑ์เบาโปร่งมีลักษณะเนื้อในเป็นโพรงอากาศ โดยปกติแล้วผงฟูจะช่วยให้เค้กมีความเบาขึ้นฟู ลักษณะเนื้อในเค้กเป็นโพรงอากาศโปร่ง และทำให้เค้กมีความน่ารับประทาน ผงฟู ประกอบด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) และสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น ครีมทาร์ทาร์ (cream of tartar) เป็นผลึกผงสีขาวทำมาจากกรดในผลองุ่น โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (sodiumacid pyrophosphate) และส่วนที่เป็นแป้งข้าวโพดเพื่อป้องกันไม่ให้สารทั้งสองสัมผัสกันโดยตรง เมื่อผงฟูโดนน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ขนมฟู ซึ่งเป็นแบบกำลังหนึ่ง (single acting หรือ fast action) ส่วนแบบกำลังสอง (double action) จะมีกรด 2 ตัว และจะมีก๊าซเกิดขึ้น 2 ช่วงในช่วงการผสมและการอบ (อัญชลี, 2552)

ง. น้ำ เป็นส่วนผสมที่สำคัญ เนื่องจากน้ำมีหน้าที่รวมตัวกับโปรตีนในแป้งทำให้เกิดเป็นกลูเตน เมื่อผสมน้ำกับแป้งจะเกิดก้อนแป้งที่มีลักษณะแฉะ เหนียว และยืดหยุ่นได้เรียกว่า โดว์ โครงสร้างของโดว์ คือ กลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลาย ยิ่งในโดว์มีปริมาตรน้ำมากเท่าใด สตาร์ชซึ่งเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของแป้งก็จะยึดไว้มากเท่านั้น สตาร์ชจะดูดซับน้ำไว้บนผิวนอก เกิดขึ้นตอนแรกของการผสม เมื่อการผสมดำเนินต่อไป โดว์จะค่อยๆ หายแฉะ จนเมื่อดึงหรือจับดูจะไม่ติดมือหรือติดข้างๆ อ่างผสม ในสภาพเช่นนี้แสดงว่า โดว์ได้รับการผสมอย่างพอเพียงแล้ว ในขณะที่โปรตีนจะได้รับการผสมกับน้ำอย่างเต็มที่ และเซลล์ของสตาร์ชก็จะดูดซึมน้ำเข้าไปประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักแป้ง (อัญชลี, 2552)

จ. แอมโมเนีย (Ammonia) สารแอมโมเนียที่ใช้ในการทำปาท่องโก๋ได้แก่พวกแอมโมเนียคาร์บอเนต (ammonia carbonate) หรือแอมโมเนียไบคาร์บอเนต (ammonia bicarbonate) เป็นสารที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูอีกชนิดหนึ่ง แต่ใช้กันน้อย ส่วนมากใช้ในการทำคุกกี้หรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก นอกจากนั้นใช้ใส่ผสมในการทำครีมพัฟ ปาท่องโก๋ ฯลฯ โดยแอมโมเนียไบคาร์บอเนตมักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เมื่ออบแล้วมีความชื้นต่ำ เพราะถ้ามีน้ำอยู่ในผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อยก็จะเกิดกลิ่นแอมโมเนียซึ่งทำให้บริโภคไม่ได้ ข้อดีของการใช้แอมโมเนียก็คือ แอมโมเนียจะให้ก๊าซ 3 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซแอมโมเนียและไอน้ำ ซึ่งสารเหล่านี้จะระเหยออกไปไม่เหลือสารตกค้างที่เป็นของแข็งอยู่ในผลิตภัณฑ์ ข้อเสียของแอมโมเนียก็คือ มีการใช้ที่จำกัด เพราะอาจมีกลิ่นของแอมโมเนียตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่อบหรือทอดออกมาร้อนๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสไม่ดี (อัญชลี, 2552)

ฉ. เบคิงโซดา (Baking soda) เบคิงโซดาหรือโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) เป็นสารเคมีที่เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การใช้สารเคมีชนิดนี้ช่วยในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่เพียงตัวเดียว จะมีผลเสียคือมีสารตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้าใช้ในปริมาณมากจะมีสารตกค้างอยู่มาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสเฝื่อน และถ้าสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกค้างนี้ทำปฏิกิริยากับไขมันที่มีอยู่ในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นสบู่ นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ต้องการใช้ในการผลิตก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ของเบคิงโซดาจะสูง ดังนั้นก๊าซส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของการอบหรือการทอด (อัญชลี, 2552)

ช. เกลือป่น (Salt) ในการทำขนมปังหรือขนมอบต่างๆ เกลือที่ใส่ลงไปในสูตรจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีรสเค็ม เกลือจะเน้นรสชาติของส่วนผสมอื่นให้เด่นขึ้น และช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสและคุณลักษณะดีขึ้น เกลือเป็นตัวที่ทำให้โดว์แข็งขึ้น ถ้าไม่มีเกลือโดว์จะแฉะ เพราะฉะนั้นเกลือจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสและรูเซลล์ที่ดีจากการที่โดว์มีกำลังในการอุ้มก๊าซ เกลือจะทำให้การหมักคงตัว เกลือจะไม่ทำลายยีสต์ จะดึงน้ำออกจากยีสต์แต่ไม่ทำให้ยีสต์ตาย เกลือจะทำให้การทำงานของเอนไซม์ไซเมสช้าลงในการใช้น้ำตาลและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ (อัญชลี, 2552)

ซ. น้ำตาลทราย (Sugar) น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายได้ดีในน้ำและมีรสหวาน จัดเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลทำหน้าที่ต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี คือ ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์เป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก ช่วยให้เนื้อของผลิตภัณฑ์ที่ดี ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีที่ดีและเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์ (อัญชลี, 2552)

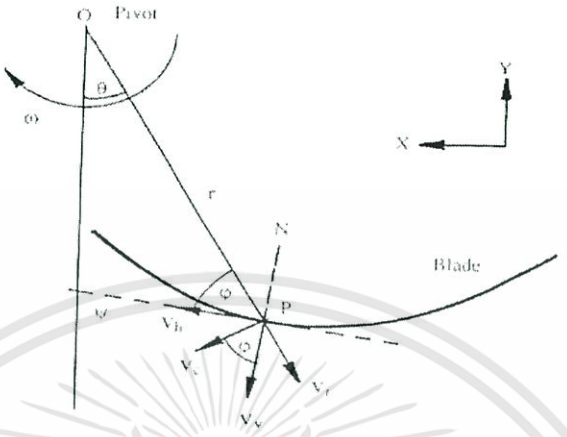
ฌ. น้ำมันพืช (Vegetable oil) น้ำมันที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มและให้กลิ่นรสที่ดี ช่วยในการเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ซึ่งทำให้ปริมาตรและเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและช่วยหล่อลื่นกลูเตนให้ยืดหดได้ดี โดยช่วยการขยายตัวของผนังเซลล์และจัดโครงสร้างของกลูเตน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาตรของผลิตภัณฑ์ (อัญชลี, 2552)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดแป้ง

มีงานวิจัยในหลายๆด้านที่มีประโยชน์และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้คือ Tim et al.(2005) ได้มีการศึกษาแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นอาหาร 3 ตัวอย่างคือ ชีส เบคอน และเนื้อวัว เพื่อหาความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิและความเร็วในการตัดมีผลต่อแรงที่ใช้ตัดอย่างไร โดยผลที่ได้คือเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัด และอาหารมีอุณหภูมิต่ำ แรงที่ใช้ในการตัดชิ้นตัวอย่าง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หรือสามารถตัดได้ง่ายขึ้นงานวิจัยของ Atkins et al.(2005) ได้ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการตัดของแข็งเหนียวนุ่มโดยใช้กรรไกร และใช้ใบมีดโค้ง ดังรูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองการตัดของมีดโค้งและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง พบว่ากรรไกรที่มีระยะการตัดที่มากจะให้แรงในการตัดมาก สำหรับใบมีดโค้ง ระยะรัศมีของใบมีดที่มากจะทำให้เกิดแรงในการตัดที่มาก โดยใช้อัตราส่วน slice/push เป็นตัวชี้วัด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tony Atkins (2006) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาตัวแปรที่บ่งบอกถึงการตัดที่ดี โดยศึกษากับใบมีหลายรูปแบบผลการศึกษาพบว่า ถ้าสัดส่วน slice/push มีค่ามาก จะแสดงถึงแรงลัพธ์ที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดที่น้อย ซึ่งแรงที่ใช้ในการตัดนั้นสำคัญกับรูปร่างของอาหารที่ถูกตัดเป็นอย่างมาก โดยการใช้แรงในการตัดที่น้อยจะหมายถึงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับกับชิ้นอาหารก็จะน้อยตามไปด้วยเช่นกัน

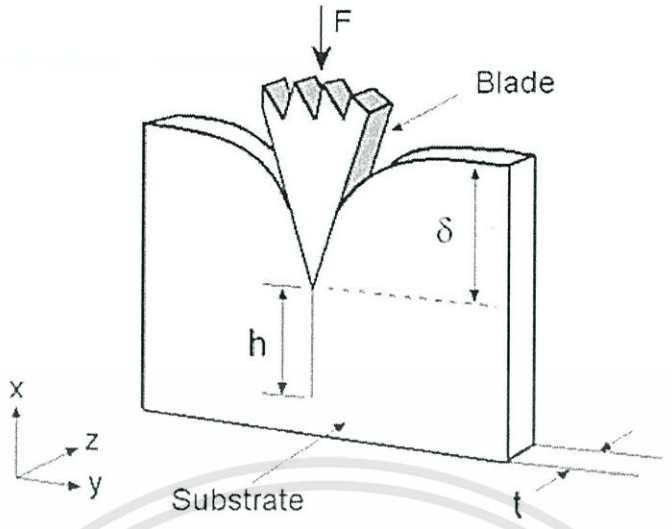


รูปที่ 2.1 แบบจำลองการตัดของมีดโค้งและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง (Atkins , 2006)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใบมีที่ใช้ในการตัดของ McCarthy et al.(2006) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาดัชนีที่สามารถบอกถึงความคมของใบมีด โดยใช้ใบมีดที่มีมุม 25 องศา และ 32 องศา ตัดลงไปในชิ้นงานที่ทำจาก Polyurethane ดังรูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองการตัดชิ้นงานที่ทำจาก Polyurethane พบว่าความคมของใบมีดไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัด และวัสดุที่ถูกตัดแต่ขึ้นอยู่กับลักษณะของความคมของใบมีดเท่านั้นเท่านั้น ซึ่งความคมจะเป็นตัวที่บอกถึงคุณภาพของพื้นผิวหน้าของชิ้นงานที่ถูกตัดและสามารถบอกถึงอายุการใช้งานของใบมีดได้อีกด้วย โดยยังมีงานวิจัยที่ต่อเนื่องกันของ McCarthy et al.(2006) เพื่อศึกษารูปร่างลักษณะของใบมีดมีผลต่อความคมของใบมีด ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าถ้าใบมีดที่ใช้ตัดมีค่ามุมใบมีด (Wedge angle) และรัศมีปลายใบมีด (Tip radius) น้อยๆ ใบมีดนั้นจะเป็นใบมีดที่คม แต่ถ้าใบมีดมีความคมมากจนเกินไป จะทำให้อายุการใช้งานของใบมีดต่ำลง

สิ่งที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้นำแนวคิดเกี่ยวกับ การตัดแป้งเพื่อใช้ออกแบบกลไกการตัดให้แป้งออกมาเป็นชิ้นตามต้องการโดยไม่เสียรูป และเนื่องจากกลไกการตัดเป็นการทำงานตัดบนสายพานจึงเลือกใช้ใบมีดที่ไม่คมจนเกินไปแต่สามารถตัดแป้งปาท่องโก๋ให้ขาดออกจากกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แบบจำลองการตัดชิ้นงานที่ทำจาก Polyurethane (McCarthy et al., 2006)

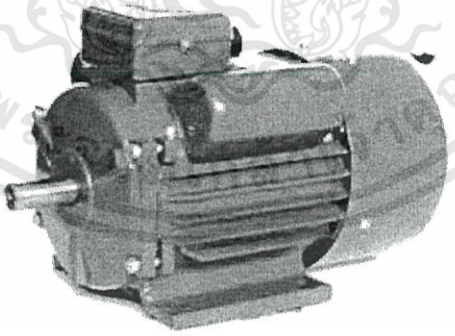
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบเครื่องผลิตปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องนั้น เพื่อให้เครื่องสามารถทำงานได้และตรงตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ จะต้องอาศัยหลักการออกแบบและกลไกพื้นฐานรวมถึงทฤษฎีต่างๆทางวิศวกรรมมาใช้ในการวิเคราะห์พิจารณาให้เหมาะกับเครื่องต้นแบบการผลิตปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง และการคำนวณแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนต่างๆ ด้วย

3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motors) ดังแสดงรูปที่ 3.1 จัดว่าเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอยู่แพร่หลายตามโรงงานต่างๆ ไม่น้อย มักจะประกอบด้วย เครื่องจักรมอเตอร์กระแสไฟสลับเป็นอุปกรณ์ช่วยอยู่ด้วย และมีส่วนดีอยู่ที่ว่ามอเตอร์กระแสไฟสลับ มักไม่ก่อให้เกิดอันตรายจากประกายของกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ง่ายมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีคือ มีความเร็วรอบคงที่และตัวหมุน (Rotor) ส่วนมากเป็นชนิดกรงกระรอก (Squirrel Cage) ไม่มีขดลวดพันอยู่จึงไม่มีอันตรายจากประกายไฟฟ้าที่แปรงถ่าน และคอมมิวเตเตอร์เหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง นำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในโรงงานที่มีแก๊สหรือน้ำมันที่ไวไฟ ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟสลับ (www.lakeudenkivikerho.net วันที่สืบค้น12/1/2013)

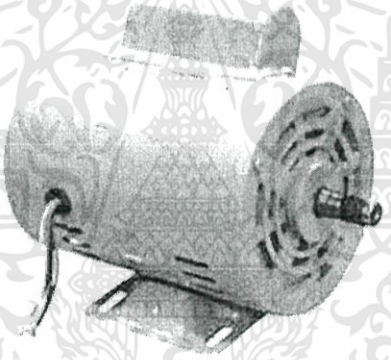
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสคือ มอเตอร์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 1 เฟส 220 โวลต์ 50 Hz หรือขนาดแรงดันต่ำกว่านี้ตามพิกัดของมอเตอร์ แบ่งออกได้ 5 แบบ คือ สปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase Motor) คาพาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor) รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion Motor) ยูนิเวอร์เซลมอเตอร์ (Universal or Series Motor) และ เชดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded-pole Motor)

ก.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสปลิทเฟสมอเตอร์ (Split-phase Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับชนิดเฟสเดียวแบบสปลิทเฟสมอเตอร์ มีขนาดแรงม้าขนาดตั้งแต่ 1/4 แรงม้า , 1/3 แรงม้า, 1/2 แรงม้า แต่จะมีขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า บางทีนิยมเรียกว่า อินดักชั่นมอเตอร์ (Induction motor) ดังรูปที่ 3.2 มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้งานมากในตู้เย็น เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องซักผ้า เป็นต้น

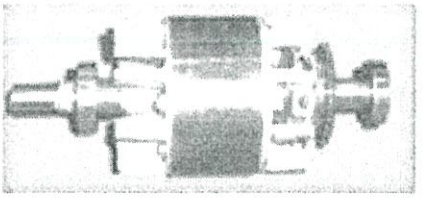


รูปที่ 3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟสลับสปลิทเฟสมอเตอร์
(www.lakeudenkivikerho.net วันที่สืบค้น12/1/2013)

ข.ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสปลิทเฟสมอเตอร์มีดังนี้

โรเตอร์ (Rotor)โรเตอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated) อัดซ้อนกันเป็นแกนและมีเพลาร้อยทะลุเหล็กบางๆเพื่อยึดให้แน่น รอบโรเตอร์นี้จะมีร่อง ซึ่งตามทางยาวในร่องนี้จะมีทองแดงหรืออลูมิเนียมเส้นโตๆ ฝังอยู่ โดยรอบปลายของทองแดงหรืออลูมิเนียมนี้จะเชื่อมติดอยู่กับวงแหวนทองแดงหรืออลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกรงกระรอก จึงเรียกชื่อว่า โรเตอร์กรงกระรอก (Squirrelcagerotor) ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



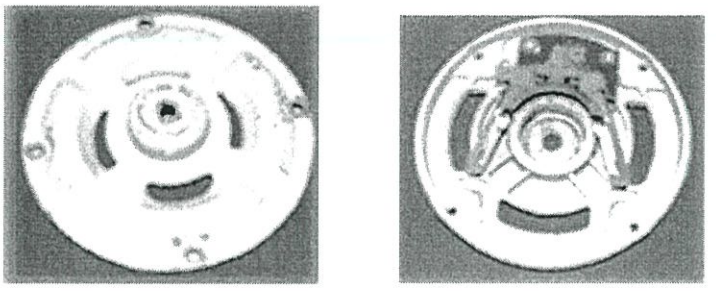
รูปที่ 3.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก (lakeudenkivikerho.net วันที่สืบค้น12/1/2013)

สเตเตอร์ (Stator) สเตเตอร์ หรือเรียกว่า โครงสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ มีร่องสำเร็จไว้ใส่ขดลวด เรียกว่า ช่องสลอต (Slot) ดังรูปที่ 3.4 อัดเป็นปึกแผ่นอยู่ภายในกรอบโครง (Frame) ซึ่งเฟรมนั้นจะทำมาจากเหล็กหล่อ (Cast Iron) หรือ เหล็กเหนียว (Steel) ที่สเตเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่ 2 ชุด คือ ขดรัน (Running Winding) พันด้วยลวดเส้นใหญ่จำนวนรอบมาก โดยขดลวดรันจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเริ่มสตาร์ทหรือทำงานปกติ ส่วนขดลวดชุดที่สองสำหรับเริ่มหมุนเรียกว่า ขดสตาร์ท (Starting Winding) พันด้วยลวดเส้นเล็กและจำนวนรอบน้อยกว่าขดรัน ขดลวดสตาร์ทจะต่ออนุกรมอยู่กับสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแล้วจึงนำไปต่อขนานกับขดรัน

รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆของสเตเตอร์ (www.lakeudenkivikerho.net วันที่สืบค้น12/1/2013)

ฝาครอบมอเตอร์ ฝาครอบของมอเตอร์ทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 3.5 ส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียว ฝาทั้งสองข้างจะถูกยึดด้วย สลักเกลียวให้แน่นและยังมีแบริ่งแบบตลับลูกปืน(Ball Bearing) สำหรับรองเพลาในการหมุนของโรเตอร์ให้ตรงแนวศูนย์กลาง ไม่เกิดการเสียดสีกับสเตเตอร์ และที่ฝาปิดอีกด้านหนึ่งจะมีส่วนประกอบของสวิทช์แรงเหวี่ยวหนีศูนย์กลางอยู่ในส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบต่างๆของฝาครอบมอเตอร์
(lakeudenkivikerho.net วันที่สืบค้น12/1/2013)

3.1.2 การเปรียบเทียบมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และกระแสสลับ (AC Motor)

มอเตอร์กระแสตรง ข้อดี การควบคุมบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมาก มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง ข้อเสีย ต้องบำรุงรักาบ่อยๆ เนื่องจากมีส่วนสึกหรอง่าย ราคาแพงและขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสสลับ ที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน หาแรงจ่ายไฟกระแสตรงได้ยาก ไม่สามารถนำไปใช้ในที่มีสารไวไฟได้

มอเตอร์กระแสสลับ ข้อดี ราคาถูกกว่ามอเตอร์กระแสตรง ที่มีขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน มีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาน้อยครั้ง แข็งแรงทนทาน ใช้ในสถานที่มีสารไวไฟหรือสารเคมีได้ มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรง ข้อเสีย การควบคุมความเร็วรอบทำได้ยาก ต้องใช้อุปกรณ์ทาง Power Electronics มาควบคุมคือ Inverter ซึ่งค่อนข้างมีราคาสูง

3.1.3 การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกต้อง

ก. แรงม้าที่ต้องการใช้ สามารถดูจากรายละเอียดของมอเตอร์ที่ป้ายบอกคุณสมบัติที่ติดอยู่บนตัวมอเตอร์โดยห้ามเลือกแรงม้าต่ำกว่าที่เครื่องจักรนั้นต้องการควรเลือกให้มีขนาดเกินไว้ก่อนเพื่อให้สามารเอาชนะภาระแรงเริ่มต้นได้

ข. ความต่างศักย์ไฟฟ้า ควรตรวจสอบจุดที่นำมอเตอร์ไปใช้งานว่ามีความต่างไฟฟ้าให้ตรงกับป้ายบอกคุณสมบัติบนตัวมอเตอร์ เช่น 380 โวลต์ 3 เฟส (สามสาย) หรือ 220 โวลต์ 1 เฟส (สองสาย) และในกรณี 3 เฟสควรตรวจสอบว่าเป็นชนิดแรงดัน 220/380V (แรงดันไฟต่ำ) หรือ 380/660V (แรงดันไฟสูง)

ค. รอบในการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไปมีค่า 1450 - 1500 รอบต่อนาที ที่ความถี่ 50 Hz สำหรับการใช้งานจำเป็นต้องมีอินเวอร์เตอร์ (inverter) ในปรับความถี่ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์

เมื่อต้องการจะคำนวณหากำลังของมอเตอร์จะเริ่มที่แรง F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลาทำให้เพลาหมุนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบสามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ การคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบ สามารถคำนวณหาได้ดังแสดงในสมการที่1

สมการที่ใช้คำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่

$$S = 2\pi r \tag{3.1}$$

การคำนวณหางานในการหมุนเพลา 1 รอบ คำนวณหาได้ดังแสดงในสมการที่ 1

สมการที่ใช้คำนวณหางาน

$$W_F = F \times 2\pi r \tag{3.2}$$

การคำนวณหางานในการที่เพลากระทำต่อวินาที ขณะที่เพลาหมุน n รอบต่อนาที สามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ 2

สมการที่ใช้ในการคำนวณหางานที่เพลากระทำต่อวินาที

$$W_F = F \times 2\pi r \times n \tag{3.3}$$

เพราะฉะนั้น การคำนวณหากำลังมอเตอร์สามารถคำนวณหาได้ ดังแสดงในสมการที่ 4

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \tag{3.4}$$

เมื่อ P คือ กำลังที่เพลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็น วัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW)

T คือ โมเมนต์แรงบิด มีหน่วยเป็น N.m

N คือ ความเร็วรอบของเพลา มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที rpm (1 รอบ = 2π เรเดียน)

r คือ รัศมีของเพลามีหน่วยเป็นเมตร

คำนวณกำลังมอเตอร์ที่เป็นกำลังที่เกิดจากการหมุน ทราบความต่างศักย์ที่คร่อมมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังมอเตอร์ก็จะหากำลังได้จากจะหากำลังได้จาก

$$P = IVCOS\theta \tag{3.5}$$

P คือ กำลังมอเตอร์ที่เกิดจากการหมุน

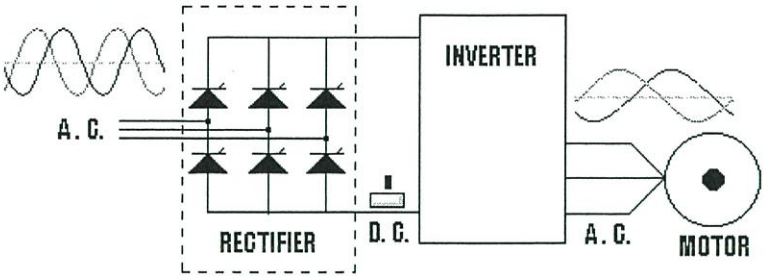
I คือ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังมอเตอร์

V คือ ความต่างศักย์ที่คร่อมมอเตอร์

3.2 อินเวอร์เตอร์

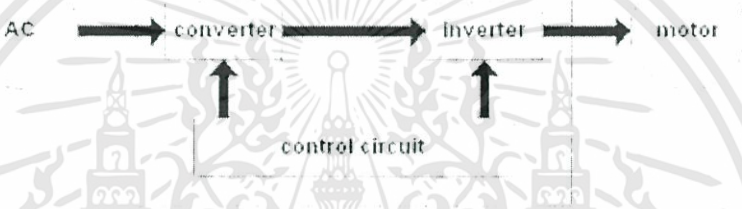
อินเวอร์เตอร์ (inverter) หรือเรียกว่า เอซีไดร์ฟ (AC drives) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือเอซีมอเตอร์ (ซึ่งบางครั้งก็ถูกเรียกว่า "อะซิงโครนัส หรือมอเตอร์แบบกรงกระรอก") มีการทำงานดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การทำงานของอินเวอร์เตอร์

(วันที่สืบค้น http://www.ap-machinery.com 12/01/2013)



รูปที่ 3.7 อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมมอเตอร์

(วันที่สืบค้น http://www.ap-machinery.com 12/01/2013)

การทำงานของอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมมอเตอร์ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปทำ การขับเคลื่อนเครื่องจักรอื่นๆต่อไป ความเร็วของมอเตอร์ สามารถกำหนดได้โดย

ก. แรงบิดของโหลด

ข. จำนวนขั้วของมอเตอร์

ค. ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับมอเตอร์

ง. แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$N = \{[120 * f(Hz)] / P\} * (1-S) \quad (3.6)$$

N คือ ความเร็วรอบ

f คือ ความถี่

P คือ จำนวนขั้ว

โดยเทอม 1-S กำหนดโดยโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตรข้างต้นจะพบว่า ถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ เปลี่ยนแปลงไปก็มีผลทำให้มอเตอร์มีความเร็วเปลี่ยนแปลงได้ด้วย แต่เมื่อทำการเปลี่ยนความถี่ โดยให้แรงดันคงที่ จะมีผลทำให้เกิดฟลักส์แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ ร้อนจนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยน แรงดันควบคู่ไปกับความถี่ด้วย และการที่จะเปลี่ยนแปลง ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ สามารถทำได้โดย การใช้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีหลักในการทำงานดังรูป ที่ 3.7

จากรูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ไปยังคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ ต่อเป็นอินพุตเข้าไปในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงนี้ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเลือก ความถี่ได้ เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ให้มีความเร็วตามต้องการได้

การเปลี่ยนขนาดแรงดันของอินเวอร์เตอร์ตามความถี่ โดยวิธีการแปรรูปคลื่นของแรงดันสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. วิธีแปรขนาดแรงดันของไฟตรง (PAM : Pulae Amplitute Modulation)
2. วิธีแปรความกว้างของพัลส์ที่ใช้เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์ (PWM : Pulae Width Modulation)
   - เป็น Square Wave
   - เป็น Sine Wave

3.2.1 การควบคุมมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์

1. การสตาร์ท

ทำได้โดยให้สัญญาณตั้งความถี่แก่อินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์ก็จะผลิตแรงบิด จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์จึงเริ่มหมุน

2. การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่

หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขา ออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือเวลาการเร่งความเร็ว และเมื่อความ ถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ การเร่งความเร็วก็จบ อินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่อง ด้วยความเร็วคงที่

3. การลดความเร็ว

ทำได้โดยตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อย ๆ ตามช่วงเวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะลดความถี่ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะทำงาน เหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตไฟจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ (regeneration) ทำให้แรงดันไฟตรง (แรงดัน คร่อมคอนเดนเซอร์) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการ regeneration ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเบรคมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่า วงจรเบรคคืนพลังงานในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลาย ๆ ครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย (แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการลด ความเร็วมีขนาดเล็ก) อัตราการใช้งานวงจรเบรคก็จะต่ำ บางครั้งอาจจะไม่ทำงานเลยก็มีอัตราการใช้งานวงจรเบรคนี้ ได้รับการออกแบบโดยการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนไว้ที่ 2-3 % เท่านั้น ถ้ามีการใช้เบรคบ่อย หรือใช้เบรคนานเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาการระบายความร้อนของตัวต้านทาน และอาจทำให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิทช์เสื่อมได้

4. การหยุดการทำงาน

อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงจนถึงระดับหนึ่ง และจะผลิตไฟตรงเข้าไปในมอเตอร์เพื่อทำงานเป็นเบรค จนมอเตอร์หยุด เรียกว่า การเบรกด้วยไฟตรง

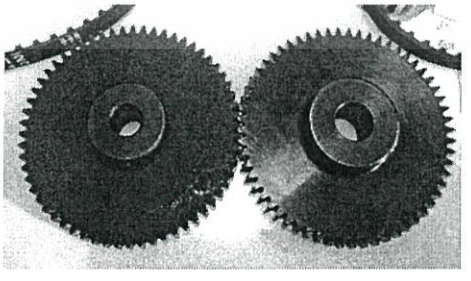
3.3 เฟือง

เฟืองหรือที่เราเรียกทับศัพท์ว่า “เกียร์ (Gear)” ตามภาษาต้นฉบับนั้นเป็นที่รู้จักและใช้ประโยชน์กันมานานแล้ว โดยเฉพาะยุคปัจจุบัน ในงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเครื่องจักรและกลไกคงจะหลีกหนีการใช้เฟืองไปไม่พ้น เราอาจจะรู้จักรูปร่างภายนอกของเฟืองกันเป็นอย่างดี แต่สำหรับรายละเอียดที่ลึกลงไปกว่านั้นแล้ว น้อยคนที่จะรู้จักอย่างถ่องแท้

เฟือง (Gear) เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว คาดว่าตั้งแต่ยุคที่มนุษย์เริ่มมีอารยะธรรมและคิดประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมา เฟืองก็เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ถูกมนุษย์ทำขึ้นมา โดยเริ่มต้นที่เฟืองไม้ในยุคโบราณ แต่สำหรับเฟืองสมัยใหม่นั้นเพิ่งมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงลักษณะดังที่เราเห็นเมื่อไม่กี่ร้อยกว่าปีที่ผ่านมา เฟืองทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการ ใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี โดยการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

3.3.1 เฟืองตรง (Spur Gears)

เฟืองตรง (Spur gear) ดังรูปที่ 3.8 เป็นเฟืองที่มีใช้งานกันมากที่สุดในบรรดาเฟืองชนิดต่าง ๆ จะมีลักษณะเฉพาะคือฟันของเฟืองจะเป็นแนวขนานไปกับรูเพลา โดยเฟืองตรงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เฟืองขนานกับเพลา (Parallel–shaft Gear)



รูปที่ 3.8 เฟืองตรง (Spur Gear)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.3.2 ลักษณะเฉพาะของเฟืองตรง

* มีความง่ายในการผลิตเนื่องจากรูปแบบฟันเฟืองไม่สลับซับซ้อน ส่งผลให้ราคาต่ำกว่าเฟืองชนิดอื่น
* ไม่มีแรงรุน (Trust) ที่เกิดขึ้นในแนวแกน (No Axial Force) ในขณะที่ทำงาน
* มีความง่ายในการผลิตให้มีคุณภาพสูง
* เนื่องจากเป็นเฟืองแบบธรรมดาจึงมีความง่ายในการหาซื้อ

เฟืองที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรจะมีทำหน้าที่ส่งกำลังให้กับชิ้นส่วนอื่นๆของเครื่องจักรกลต่อไปการใช้งานของเฟืองตรงเป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกันเฟืองตรงเหมาะสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ หรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 รอบต่อนาที ข้อดีของเฟืองตรงขณะใช้งานจะไม่เกินแรงในแนวแกน ประสิทธิภาพในการทำงานสูง หน้ากว้างของเฟืองตรงสามารถเพิ่มได้เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสที่มากขึ้น เพื่อลดการสึกหรอให้น้อยลง

3.3.3 ส่วนประกอบของเฟืองตรง

ก. วงกลมพิทช์ (Pitch circle) ขนาดของวงกลมที่ใช้ในการคำนวณ วงกลมพิทช์ของเฟืองขับและตามจะมีการสัมผัสกันตลอดเวลา

ข. เฟืองขับ (Pinion) เฟืองตัวที่เล็กที่สุดของชุดเฟืองคู่

ค. Circular pitch (p_c) ระยะห่างที่วัดได้บนวงกลมพิทช์จากจุดหนึ่งบนฟันหนึ่ง ไปยังจุดในตำแหน่งเดียวกันของฟันถัดไป

ง. Diametral pitch (P) จำนวนฟันของเฟืองต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมพิทช์ หน่วยของมันจะมีค่าเป็น ส่วนกลับของนิ้ว (1/นิ้ว)

จ. แอดเดนดัม (Addendum) (a) ระยะในแนวรัศมีที่วัดจาก วงกลมพิทช์ไปยังระยะสูงสุดของฟัน

ฉ. ดีเดนดัม (Dedendum) (d) ระยะในแนวรัศมีที่วัดจาก ระยะต่ำสุดของฟันไปยังวงกลมพิทช์

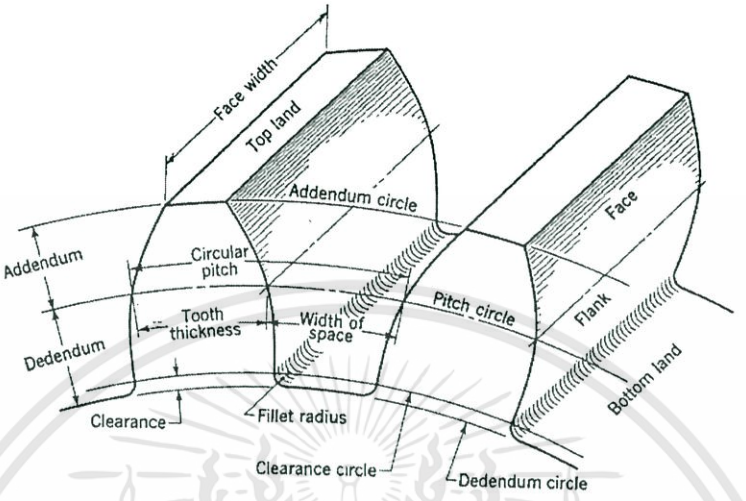
ช. Whole depth (h_t) ผลบวกของแอดเดนดัมและดีเดนดัม (ความสูงของฟัน)

ซ. Clearance circle วงกลมที่สัมผัสกับวงกลมแอดเดนดัมของคู่เฟืองขับ

ฌ. Clearance (c) ระยะความแตกต่างของดีเดนดัมของเฟืองตัวหนึ่งกับระยะแอดเดนดัมของเฟืองที่มาขบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญ. Backlash ขนาดของช่องว่างระหว่างฟันลบด้วยความหนาของฟันที่มาขบ ด้วย โดยค่า นี้จะวัดที่วงกลมพิทช์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบเฟืองตรง (G. Budynas, 2011)

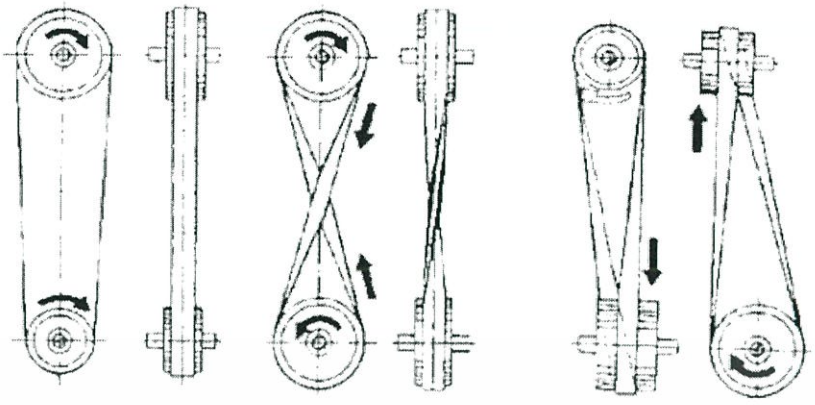
3.4 สายพานและพูลเลย์

สายพานจะประกอบไปด้วยสายพานที่มีลักษณะเชื่อมต่อกันเป็นวงและพูลเลย์แสดงดังรูปที่ 3.10 สายพานหมุนรอบพูลเลย์ 2 ตัวหรือมากกว่า 2 ตัว โดยที่พลูเลย์ตัวที่ 1 หรือตัวที่ 2 เป็นตัวขับเคลื่อน ทำหน้าที่ขับเคลื่อนสายพาน สายพานและพลูเลย์ที่ใช้งานกับเครื่องจักรกลทั่วไปมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน

3.4.1 สายพาน

สายพานแต่ละชนิดมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกัน คือ ส่งกำลังจากเพลาตัวหนึ่งไปยังเพลาอีกตัวหนึ่งด้วยความเร็วสายพานจะได้รับกำลังขับมาจากมอเตอร์ผ่านพูลเลย์ และส่งกำลังต่อไปยังพูลเลย์ตัวต่อไป ดังรูปที่ 3.10 สำหรับการนำไปใช้งานของสายพานชนิด Belt Conveyor นี้ จะนำไปใช้กับวัสดุที่ต้องการเคลื่อนที่ในแนบราบ และ เรียบ จากนั้นทำการเคลื่อนย้าย ทำมุมไม่เกิน 30 องศา ในแนวระดับ สามารถประยุกต์ได้ในอุตสาหกรรมอาหาร สารพานลำเลียงอาหาร เหมาะสำหรับงานที่สะอาด และไม่มีเชื้อโรค ง่ายต่อการบำรุงรักษาและใช้งาน สายพานลักษณะนี้ ส่วนมากจะเป็นสีขาว ซึ่งการออกแบบและสร้างสายพานลำเลียงนั้น จะดูลักษณะการใช้งานของสายพานลำเลียงเป็นหลักเพื่อการออกแบบ และสร้างสายพานให้เป็นไปตาม ความเหมาะสมของการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ลักษณะของสายพาน (http://www.ie.psu.ac.thวันที่สืบค้น11/04/2012)

3.4.2 สายพานไทม์มิ่ง (Timing Belt)

1. สายพานไทม์มิ่ง

สายพานไทม์มิ่ง ทำมาจากผ้าทอชุบยางเคลือบด้วยไนล่อนถัก และมีเส้นลวดเหล็กกล้าอยู่ภายในเพื่อรับแรงโหลดดึง สายพานประเภทนี้จะมีฟันสำหรับยึดเข้ากับล่องที่ตัดบนพูลเลย์ สายพานไทม์มิ่งจะไม่เกิดการยืดตัวและไม่เกิดการลื่นไถลจึงทำให้สามารถส่งกำลังด้วยอัตราการทดรอบคงที และไม่จะเป็นต้องมีแรงดึงเบื้องต้นในสายพาน สายพานประเภทนี้จึงใช้ได้ไม่มีข้อจำกัดด้านความเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง คืออยู่ในช่วงระหว่าง 97% - 99% ไม่ต้องการหล่อลื่น และมีเสียงเบากว่าการใช้โซ่ขับ เส้นลวดในสายพานไทม์มิ่งจะวางตัวในแนวพิทช์ของสายพาน ดังนั้นความยาวพิทช์จึงเป็นค่าเดียวกับความยาวของสายพานโดยไม่ต้องคำนึงถึงความหนาแสดงดังรูปที่ 3.11 (วริทธ์, 2548)

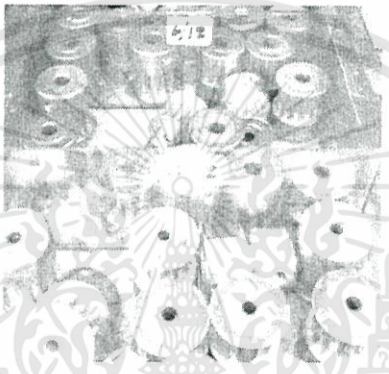
รูปที่ 3.11 สายพานไทม์มิ่ง (Timing Belt)
(http://www.cnctak.com สืบค้นวันที่ 13/02/2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พูลเลย์

พูลเลย์เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ใช้งานร่วมกับสายพาน ลักษณะรูปร่างของพูลเลย์ที่ใช้ก็จะขึ้นกับลักษณะของสายพานชนิดนั้นๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

พลูเลย์สายพานแบน เป็นพลูเลย์ที่ใช้คู่กับสายพานแบนทำจากหล่อ เหล็ก กล้า โลหะเบา พลาสติก หรือไม้ บนผิวล้อที่สัมผัสกับสายพานจะต้องลื่นมิเช่นนั้นจะทำให้สายพานสึกหรอเร็วมาก โดยให้มีความหยาบของผิวอยู่ระหว่าง 4 ถึง 10 ไมโครเมตร พลูเลย์แบบรูปโค้งและพูลเพย์แบบถอดแยกได้เป็น 2 ชิ้นได้ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ลักษณะของพลูเลย์ไทม์มิง

3.5 เพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องมือกล ที่มีความสำคัญของระบบส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลาอยู่ในรูปของ โมเมนต์แรงบิด (Torque) ในการส่งกำลังผ่านระหว่างเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งจำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น เฟือง โซ่ สายพาน ฯลฯ ดังนั้นจึงเกิดแรงซึ่งเกิดจากการขบกันของเฟือง แรงเนื่องจากการฉุดของโซ่ หรือแรงดึงของสายพานมากระทำต่อเพลาอันเป็นผลให้เกิดโมเมนต์ดัด (Bending moments) ขึ้นบนเพลาด้วย ดังนั้นขณะที่เพลาทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังเพลาจะรับทั้งโมเมนต์บิดและโมเมนต์ดัดพร้อมๆกัน

3.5.1 การออกแบบเพลาสำหรับภาระคงที่ (Static Load)

ในการคำนวณกำลังงานและภาระของเพลา สามารถคำนวณได้จากสูตร

สูตรหากำลัง $P = \dfrac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{60 \times 1000}$

เมื่อ P = กำลัง (kW)

n = ความเร็วรอบ (rpm)

T = โมเมนต์บิด (N.m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แบริ่ง (Bearings)

ตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball bearing) คือ แบริ่ง (bearing) ชนิดหนึ่ง ชิ้นส่วนเครื่องจักร ที่เป็นวงแหวน ภายในมีลูกปืนโลหะเม็ดกลม ใช้รองรับชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีการหมุน ตลับลูกปืนที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันตามรูปร่างของลูกปืนหรือลูกกลิ้งที่อยู่ภายใน โดยที่ทั่วไปลูกปืนหนึ่งตัวจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ

ตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball bearing) เป็นตลับที่มีลูกกลิ้งซึ่งภายในแบบแถวเดียวหรือสองแถวก็ได้แล้วแต่การใช้งานตลับลูกปืนชนิดนี้เหมาะสำหรับภาระปานกลางตามแนวรัศมีและรับภาระต่ำตามแนวแกน และสำหรับความเร็วรอบสูง ตลับลูกปืนนี้มีลักษณะรูปร่างดังรูป Ball bearing คือ ใช้ลูกปืนควบคุมการเคลื่อนที่ของโทนอาร์มในแนวตั้ง (Vertical Axis) และแนวนอน (Horizontal Axis)

แบริ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของเครื่องจักรที่ต้องการ การหล่อลื่นและแทบจะกล่าวได้ว่าเครื่องจักรเกือบทุกเครื่องจะต้องมีแบริ่ง "แบริ่ง"คือสิ่งที่ช่วยรองรับหรือช่วยยึดชิ้นส่วนต่าง ๆของเครื่องจักรที่มีการหมุนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง แบริ่ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แบริ่งกาบ (Plain bearings) และ แบริ่งลูกปืน (Rolling Bearing)

3.6.1 แบริ่งกาบ (Plain bearings)

แบริ่งกาบ (Plain bearings) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงโดยมีแกนหมุนอยู่ภายในส่วนของแกนหมุนหรือเพลาที่หมุนอยู่ภายในส่วนของแกนหมุนหรือเพลาที่หมุนอยุในแบริ่งเร่ยกว่าเจอร์นอล (Journal) ส่วนรูปทรงกระบอกกลวงเรียกว่า เจอร์นอลแบริ่ง (Journal bearing) ซึ่งมักทำด้วยโลหะหรือส่วนผสมของโลหะที่มีเนื้ออ่อนกว่าเจอร์นอลแบริ่งกาบ ยังสามารถแบ่งออกเป็น ทรัสต์แบริ่ง (Trust Bearing) ซึ่งตัวเจอร์นอลได้รับแรงกดและหมุนอยู่ภายใน เจอร์นอลแบริ่ง กับ ไกด์แบริ่ง (Guide Bearing) ซึ่งตัวเจอร์นอลเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตามแนวยาวของเจอร์นอลแบริ่งแบริ่งกาบโดยทั่วไปจะใช้ น้ำมัน เป็นตัวหล่อลื่นมากกว่า จาระบีและมักใช้ จาระบี ในกรณีที่แบริ่งไม่มีระบบป้องกันหรือซีลที่เพียงพอสำหรับ น้ำมันในขณะที่ตัวเจอร์นอลหมุนอยู่ภายใน แบริ่งน้ำมันจะถูกเหวี่ยงเข้ามาเป็นฟิล์มป้องกันไม่ให้ผิวของเจอร์นอลและแบริ่งมาสัมผัสกันความหนืดของ น้ำมัน ไม่ควรจะต่ำเกินไปจนฟิล์ม น้ำมันไม่สามารถแยกผิวสัมผัสทั้งสองออกจากกันได้ ความหนืดของ น้ำมันหล่อลื่น สูงขนาดน้ำมันหล่อลื่น ลูกสูบ การเลือกความหนืดของ น้ำมัน ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ แรงกดและอุณหภูมิในขณะที่ใช้งาน

3.6.2 แบริ่งลูกปืน (Rolling Bearing)

การเคลื่อนไหวของ แบริ่งกาบจะเกิดในลักษณะเลื่อนสัมผัส (Sliding) ของผิวสัมผัสทั้งสองซึ่งจะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น แรงเสียดทานนี้สามารถลดลงได้โดยการเปลี่ยนการเคลื่อนไหวแบบเลื่อนสัมผัส (Rolling) โดยการติดตั้งวงแหวนซึ่งประกอบด้วย ลูกปืน ที่ทำด้วยโลหะแข็งอาจจะมีลักษณะกลมเหมือนลูกบอลล์หรือเป็นแบบลูกกลิ้งเคลื่อนที่อยู่ระหว่างวงแหวนชั้นในและชั้นนอกในทางทฤษฎีการหมุนสัมผัสนั้นไม่จะเป็นต้องอาศัย น้ำมันหล่อลื่นแต่ในทางปฏิบัติแล้วแบริ่งลูกปืนยังมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนไหวแบบเลื่อนสัมผัสอยู่บ้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบริ่งลูกปืนบางชนิดจะเกิดการบิดเมื่อได้รับแรงกดนอกจากนี้ยังเกิดการเลื่อนสัมผัสระหว่างตัวลูกปืนกับตัววัสดุที่ยึดลูกปืนนั้นดังนั้นการหล่อลื่นจึงยังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดจากการเลื่อนสัมผัสเป็นเกราะหรือซีล ป้องกันความชื้น การกัดกร่อน ตลอดจนสิ่งสกปรกต่าง ๆที่จะเข้าไปในแบริ่ง แบริ่งลูกปืนส่วนใหญ่จะใช้ จาระบี เป็นตัวหล่อลื่นจาระบียังทำหน้าที่เป็นซีลป้องกันไม่ให้ความชื้นหรือสิ่งสกปรกต่างๆเข้าไปทำความเสียหายแก่ลูกปืน การเลือกชนิดของ จาระบี ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบแรงกดและอุณหภูมิของแบริ่งในขณะใช้งาน โดยทั่วไปมักใช้ จาระบี เอนกประสงค์ที่ทำด้ายสบู่ลิเทียมในงานบางประเภทอาจมีความต้องการจาระบีที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำคือไม่เหลวและไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในขณะที่ใช้งานภายใต้อุณหภูมิต่ำเช่น จาระบีสำหรับเครื่องบิน เป็นต้น ในบางสภาวะ จาระบียังต้องมีคุณสมบัติทนต่อการถูกชะล้างโดยน้ำ และ น้ำมัน จะต้องไม่แยกตัวออกจาระบีเป็นต้นแบริ่งลูกปืนหมุนรอบจัดซึ่งมีความร้อนเกิดขึ้นสูง จำเป็นต้องใช้น้ำมัน ในการหล่อลื่น ขณะเดียวกันช่วยระบายความร้อนอีกด้วยแบริ่งเหล่านี้มักเป็นแบบปิดแช่อยู่ในอ่างน้ำมันหรือใช้วิธีฉีดพ่นหรือหยดน้ำมันก็ได้

3.7 วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องต้นแบบ

การเลือกใช้วัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนเครื่องจักรจะเลือกตามความเหมาะสมของการใช้งานในลักษณะต่างๆ สำหรับเครื่องจักรอาหารจะต้องคำนึกถึงวัสดุที่สัมผัสกับอาหาร ซึ่งวัสดุที่ใช้สำหรับสร้างเครื่อง ประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด คือ สแตนเลสและอลูมิเนียม

3.7.1 สแตนเลส (Curiel et al, 1996)

เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส นั้น ในทางโลหะกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็ก ที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5% เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมอันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง ออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อสแตนเลส เกิดเป็นฟิล์มบางๆเคลือบผิวไว้ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสแตนเลสได้เป็นอย่างดี ปกป้องการเกิด Corrosion และไม่ชำรุดหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป ซึ่งเราสามารถจำแนกประเภทของสแตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304 304L 316 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสแตนเลส ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สแตนเลสกับการเกิดสนิม ปกติ Stainless steel จะไม่เป็นสนิมเพราะที่ผิวของมันจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์บางๆเคลือบผิวอยู่อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง Cr ใน Stainless steel กับ ออกซิเจนในอากาศ การทำให้ Stainless steel เป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ที่เคลือบผิวออกไปในสภาวะที่ Stainless steel สามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้งเช่น ถ้าสแตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วน แล้วบริเวณรอยนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้ แสดงดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของสแตนเลสมักถูกนำมาใช้เป็นวัสดุที่นิยมนำมาทำเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับอาหาร คุณสมบัติของสแตนเลสมีดังต่อไปนี้

ก. ใช้ในสิ่งแวดล้อมที่กัดกร่อน (Corrosive Environment)

ข. งานอุณหภูมิเย็นจัด ป้องกันการแตกเปราะ

ค. ใช้งานอุณหภูมิสูง (High temperature) เมื่อเทียบกับเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศา มีค่านำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้สเตนเลสเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อน (คอนเทนเนอร์) หรือต้องการคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี (เครื่องถ่ายความร้อน) ป้องกันการเกิดคราบออกไซด์ (scale) และยังคงความแข็งแรง

ง. มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับมวล (High strength vs. mass)

จ. ใช้ในงานที่ต้องการสุขอนามัย (Hygienic condition) ต้องการความสะอาดสูง

ฉ. งานด้านสถาปัตยกรรม (Aesthetic appearance) ไม่เป็นสนิม ไม่ต้องทาสี

ช. ไม่ปนเปื้อน (No contamination) ป้องกันการทำ ปฏิกิริยากับสารเร่งปฏิกิริยา เช่น สารประกอบพวกคลอไรด์ซึ่งมีคุณสมบัติการกัดกร่อน

ซ. ต้านทานการขัดถูแบบเปียก (Wet abrasion resistance)

การเลือกนำมาใช้งานในด้านอาหารแต่ละประเภทนั้น จำต้องดูคุณสมบัติการกัดกร่อนของอาหาร ยาฆ่าเชื้อโรค น้ำยาทำความสะอาด ว่ามีผลกระทบต่ออุปกรณ์ เครื่องมือ หรือไม่ โดยสารประกอบพวกคลอไรด์จะมีคุณสมบัติการกัดกร่อน ทำให้อุปกรณ์ เครื่องมือ เกิดรอยทะลอก และยังมีผลต่อรอยเชื่อม ตัวอย่างการใช้ เช่น สายพานลำเลียงสแตนเลส สกรูลำเลียง โครงสร้างเครื่องจักร เป็นต้น

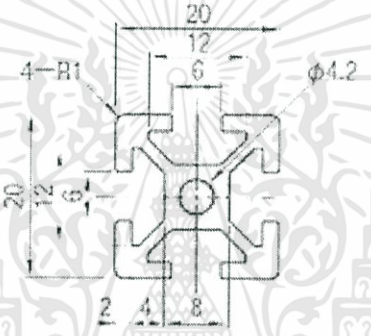
รูปที่ 3.13 แผ่นสแตนเลส (http://phrapradaeng.olxthailand.com วันที่สืบค้น 27/02/2012)

3.7.2 อะลูมิเนียม (Curiel et al, 1996)

จุดหลอมเหลว 658 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกลายเป็นไอ 1800 องศาเซลเซียส มักไม่ค่อยมีความคงทนต่อการกัดกร่อน โดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่สัมผัสกับอาหารโดยตรง อะลูมิเนียมที่ใช้ควรผสมหรือชุบด้วยโลหะอื่นๆ ได้แก่ นิกเกิลหรือโครเมียม ซึ่งนิยมนำมาใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมอาหารมากกว่า แต่จะต้องเชื่อถือได้ และจะต้องมีการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานในสภาวะนั้นๆไม่ทำให้แผ่นโลหะหลุดลอกออก มิฉะนั้นจะเกิดการปนเปื้อนสู่อาหารได้เครื่องมือที่ชุบด้วยสารเคมีหรือชุบด้วยกระบวนการทางเคมีนั้น จะมีความทนทาน และความหนาแน่นสูง ทนต่อการกัดกร่อน ถึงอย่างไรก็ตามการใช้งานนั้นต้องมีความต้านทานการกัดกร่อนของอาหาร ยาฆ่าเชื้อ และน้ำยาทำความสะอาดได้ดี ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ใช้ทำโครงสร้างและชิ้นส่วนเครื่องจักร อะลูมิเนียมโปรไฟล์โครงสร้างอลูมิเนียมโปรไฟล์ เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีความสามารถในการรับแรงกดได้สูง สามารถถอดประกอบ และต่อเติมภายหลังได้สะดวก เหมาะสำหรับงานโครงสร้าง ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร สายการผลิต โครงห้องคลีนรูม โต๊ะทำงาน ชั้นวางของ ในโรงงานอุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 อะลูมิเนียมโปรไฟล์

(http:// http://in.misumi-ec.com/ วันที่สืบค้น 20/03/2012)

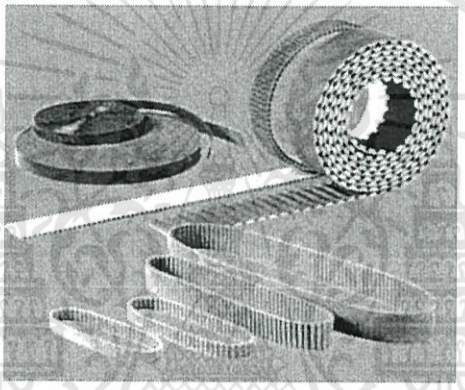
3.7.3 พลาสติก PU

เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษ คือ ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (cross linking among polymer chains) เหตุนี้หลังจาก พลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้ว จะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับ การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และโดยมากต้องการแรงอัดด้วย เทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่ เมลามีน ฟอร์มาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde) ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (phenol-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

formaldehyde) อีพ็อกซี (epoxy) พอลิเอสเตอร์ (polyester) ยูรีเทน (urethane) และ พอลิยูรีเทน (polyurethane)

โพลิยูรีเทน (polyurethane) พอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน (–NH•CO•O-) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซยาเนต (di-isocyanates) กับไดออล (diols) หรือไทรออล (triols) ที่เหมาะสม ใช้เป็นกาว และน้ำมันชักเงาพลาสติกและยาง ชื่อย่อคือ PU โพลียูรีเทน (Polyurethane, PU) ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งผลิตขึ้นครั้งแรกในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อใช้ทดแทนยางธรรมชาติ และยังใช้ในการผลิตกระดาษ การผลิตก๊าซมัสตาร์ด ผ้าที่มีความทนทาน เคลือบผิวเครื่องบิน เคลือบโลหะ ไม้ และอิฐ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและสารเคมี โพลียูรีเทนผลิตจากปฏิกิริยาของโพลีออลกับไดไอโซไซยาเนตหรือโพลีเมอริก ไอโซไซยาเนต โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่



รูปที่ 3.15 โพลียูรีเทน (http://www.thailandpages.com วันที่สืบค้น 27/02/2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การคำนวณและการออกแบบ

การออกแบบเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของแป้ง รูปแบบกลไกการขึ้นรูปแป้งได้แก่ กลไกการรีดแป้ง กลไกการตัดตามยาว กลไกการตัดตามขวาง และ กลไกการประกบคู่ รูปแบบขับเคลื่อนกลไก และวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ โดยการนำทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องมาเป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบ

4.1 การศึกษากลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋

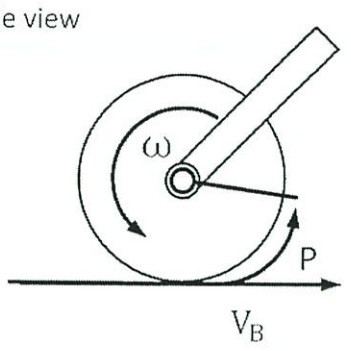
4.1.1 การศึกษาคุณสมบัติของแป้งและกลไกการรีดแป้ง

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งปาท่องโก๋ที่ได้ทำการสำรวจจากกระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋จริงในท้องตลาด พบว่าขนาดของชิ้นแป้งปาท่องโก๋จากหลายร้านค้ามีความกว้าง 2 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร และความหนา 0.5 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นแป้งประกบคู่ และพบว่าการรีดแป้งปาท่องโก๋ไม่สามารถรีดแป้งโดยใช้ลูกกลิ้งรีดแป้งได้ เนื่องจากแป้งปาท่องโก๋มีลักษณะเหนียวหนืด ดังนั้นการขึ้นรูปแป้งก่อนกระบวนการตัดแป้งนั้นจึงใช้กำลังคนในการขึ้นรูปแป้งแทนซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับผิวหน้าก่อนเข้าสู่กระบวนการตัดเพื่อให้แป้งมีผิวหน้าที่เรียบ โดยศึกษาการปรับผิวหน้าแป้งโดยใช้ลูกกลิ้งรีดแป้ง เนื่องจากวิธีที่ไม่ซับซ้อนและมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลูกกลิ้งกับเนื้อแป้งน้อย จึงสามารถลดโอกาสที่เนื้อแป้งจะติดไปกับลูกกลิ้งได้

4.1.2 การศึกษารูปแบบกลไก การตัดตามยาว

ได้ศึกษารูปแบบการตัดตามยาวโดยใช้แรงเฉือน จากการหมุนสวนทางกันของลูกกลิ้งทรงกระบอก แป้งปาท่องโก๋จะถูกตัดขาดออกจากกันและติดไปกับลูกกลิ้งทรงกระบอก ทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการที่แป้งปาท่องโก๋จะติดกับลูกกลิ้ง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแป้งกับลูกกลิ้งมากเกินไป จึงเลือกเปลี่ยนมาใช้รูปแบบของใบมีดกลม กดลงไปบนแป้งปาท่องโก๋ แป้งปาท่องโก๋จะติดขึ้นมากับใบมีดกลมดังนั้นจึงต้องมี.ใบมีดปาดแป้ง (Doctor Blade) เพื่อให้แป้งไม่ติดกับใบมีดกลม ดังรูปที่ 4.1 สิ่งสำคัญคือต้องให้ใบมีดแนบกับสายพานเพื่อให้แน่ใจว่าปาท่องโก๋ขาดออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

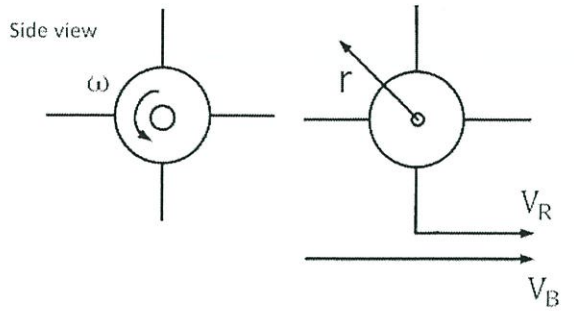


รูปที่ 4.1 แบบจำลองการตัดโดยใช้ใบมีดกลม

4.1.3 การศึกษารูปแบบกลไกการตัดตามขวาง

มีการศึกษากลไกหลายรูปแบบที่นำมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบกลไกการตัดตามขวาง รูปแบบแรกคือ slider-crank เป็นกลไกการตัดที่ไม่ซับซ้อน แต่มีความลำบากในการออกแบบสายพานลำเลียงให้มีความเร็วสอดคล้องกันกับกลไกการตัดแบบ slider-crank เนื่องจากจำเป็นต้องออกแบบสายพานลำเลียงให้หยุดในจังหวะที่ใบมีดตัด ตัดลงมาที่แป้งปาท่องโก๋ เพื่อลดการเสียดสีที่จะเกิดขึ้นระหว่างใบมีดและสายพานลำเลียง รูปแบบที่ 2 คือการตัดแบบรูปตัวดี เป็นกลไกที่สามารถขับเคลื่อนใบมีดให้ตัดไปตามความเร็วของสายพานเป็นรูปตัวดี เพื่อแก้ปัญหาการเสียดสีระหว่างใบมีดกับสายพาน แต่กลไกนี้เป็นการออกแบบเพื่อให้สามารถตัดแป้งปาท่องโก๋ให้ได้ขนาดตามที่กำหนดเท่านั้น ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของแป้งปาท่องโก๋ได้ รูปแบบสุดท้าย การตัดด้วยใบมีดตัดทรงกระบอก เป็นกลไกที่ไม่ยุ่งยาก สามารถลดโอกาสที่จะเกิดการสึกหรอระหว่างสายพานกับใบมีดได้ โดยการออกแบบรัศมีของลูกกลิ้งหมุน เพื่อให้ความเร็วที่ปลายใบมีด (V_R) เท่ากับความเร็วสายพานลำเลียง (V_B) ดังรูปที่ 4.2 และสามารถตัดแป้งปาท่องโก๋ให้มีขนาดที่หลากหลายตามความต้องการได้ด้วยการปรับความเร็วรอบของการหมุน งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้รูปแบบของการตัดโดยใช้ใบมีดทรงกระบอกมาใช้ในกระบวนการตัดขวาง

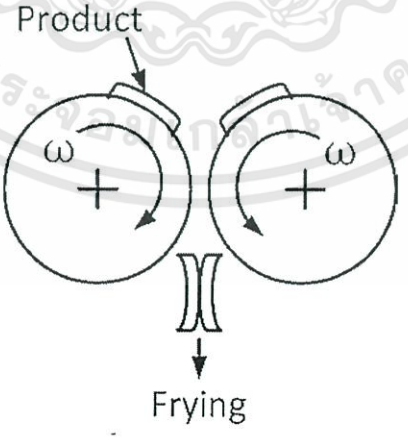
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แบบจำลองการตัดขวางด้วยใบมีดทรงกระบอก

4.1.4 การศึกษารูปแบบกลไกการประกบคู่

ศึกษากลไกการประกบคู่ โดยศึกษากลไกการประกบคู่จากรูปแบบการประกบโดยใช้คนและวิธีการทำงานเชิงกล เพื่อนำมาออกแบบกลไกที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการประกบคู่แป้งปาท่องโก๋ได้ ได้แก่ กลไกการประกบด้วยอุปกรณ์ตัวดัน เป็นกลไกการพลิกแป้งโดยใช้อุปกรณ์ตัวดันตักแป้งและดันให้แป้งพลิกตกลงไปทับแป้งปาท่องโก๋อีกฝั่ง ซึ่งเป็นการยากที่จะสามารถออกแบบให้กลไกนี้ทำงานสัมพันธ์กับสายพานที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ได้ ซึ่งการหยุดการเคลื่อนที่ของสายพานจะมีผลต่อกลไกลอื่นๆก่อนหน้านี้ กลไกที่สองคือกลไกการประกบคู่ที่จะสามารถประกบคู่ปาท่องโก๋ได้โดยไม่ต้องหยุดการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง โดยใช้วิธีการประกบแบบการปล่อยให้แป้งตกลงมาทับกัน ซึ่งต้องอาศัยการปรับความเร็วของสายพานด้านบนและความเร็วสายพานด้านล้างให้สัมพันธ์กัน แต่ข้อเสียของกลไกนี้คือมีความยุ่งยากในการสร้างกลไกต้นแบบ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษารูปแบบกลไกการประกบคู่โดยใช้ลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนสวนทางกันดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แบบจำลองกลไกลูกกลิ้งประกบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ

ส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ประกอบไปด้วยส่วนต้นกำลัง แผ่นรองรับลูกกลิ้ง โครงอลูมิเนียม เพลา ชุดลูกปืน ชุดควบคุมความเร็วรอบ ชุดส่งกำลัง ชุดกลไกการรีดแป้ง ชุดกลการการตัดตามยาว และชุดกลไกการตัดตามขวาง โดยส่วยประกอบแต่ละชิ้นส่วนนั้นมีการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการใช้งาน

4.2.1 การเลือกวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ

ก. สแตนเลส

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเลือกใช้สแตนเลส มาใช้ในส่วนของ แกนลูกกลิ้ง ใบมีดตัดตามขวาง ใบมีดตัดตามยาว เพลา ชุดลูกปืน น็อตตัวผู้และตัวเมีย ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้งานเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความทนทานแข็งแรง ทนต่อสภาวะการกัดกร่อน ทนความร้อนและเย็นได้ดี มีลักษณะผิวที่สวยงาม ไม่เป็นสนิม ง่ายต่อการสร้างและประกอบ มีคุณสมบัติด้านสุขศาสตร์เหมาะสำหรับการสัมผัสกับอาหาร และนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเคมี

ข. อลูมิเนียม

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเลือกใช้อลูมิเนียมในส่วนที่เป็นโครงสร้างรองรับชุดกลไกลการขึ้นรูปแป้งเนื่องจากมีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ดี ราคาถูก ทำความสะอาดง่าย ทนต่อการกัดกร่อนได้ในสภาวะบรรยากาศ ไม่เป็นสนิม ง่ายต่อการประกอบเป็นโครสร้าง

ค. เรซิ่น

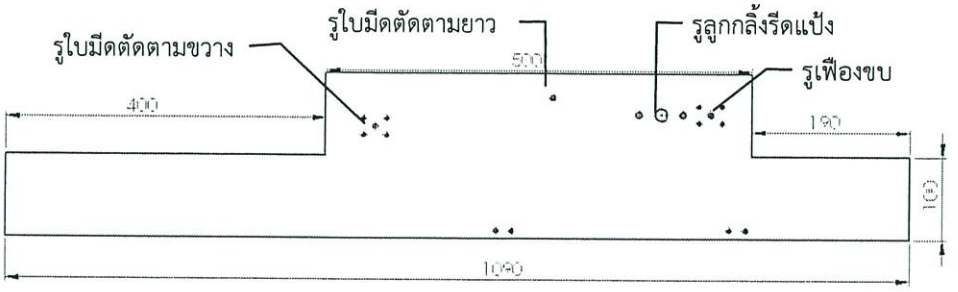
งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเลือกเรซิ่นหรือโพลีเอสเตอร์เรซิ่นมาใช้ในส่วนที่เป็นตัวลูกกลิ้ง เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติ แข็ง สามารถนำไปใช้ในงานที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีและไม่เป็นสนิม ไม่นำไฟฟ้า จากคุณสมบัติที่กล่าวมาจึงมีการเลือกใช้เรซิ่นมาทำเป็นตัวลูกกลิ้ง

4.4.2 โครงสร้าง

ก. ส่วนแผ่นรองรับลูกกลิ้งและชุดขับเคลื่อน

ส่วนรองรับกลไกการขึ้นรูปและชุดขับเคลื่อนทำมาจากสแตนเลสที่มีขนาดและรูปร่าง ดังรูปที่ 4.4 มีการเจาะรูเพื่อประกอบเพลาลูกกลิ้ง เพลาพลูเลย์ เพลาใบมีดตัดตามยาว และเพลาใบมีตัดตามขวาง เข้ากับแผ่นสแตนเลสและใช้เป็นส่วนรับแรงที่เกิดจากน้ำหนักและจากการเคลื่อนที่ของกลไกขึ้นรูปแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แผ่นรองสายพานและชุดกลไกขึ้นรูปแป้ง

<u>การคำนวณหาความหนาของแผ่นสแตนเลส</u>

แผ่นสแตนเลสต้องรับแรงเนื่องจากน้ำหนักของอุปกรณ์ต่างๆ และแรงตึงในโซ่ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จึงมีความจำเป็นต้องมีการคำนวณแรงเพื่อหาความหนาของแผ่นที่ทำให้เกิดความเสียหาย โดยการคำนวณมีดังนี้

<u>สมดุลแรงแกน y</u> : แรงเนื่องจากน้ำหนัก

$$\Sigma F_y = \Sigma mg$$

$$\Sigma F = (m_{ตุ๊กตา1} + m_{ตุ๊กตา2} + m_{ลูกกลิ้ง} + m_{พุลเลย์1} + m_{พุลเลย์2} + m_{เฟืองขบ} + m_{ใบมีดตัดตามยาว} + m_{ใบมีดตัดตามขวาง} + m_{น้ำหนักลูกกลิ้งขับสายพา} + m_{น้ำหนักสายพาน}) \times g$$

$$\Sigma F = ((0.8) + (0.22) + (1) + (0.0245 \times 3) + (0.1457) + (1.6169x2) + (1.2) + (0.3240) + (0.365 \times 2) + (0.274)+) \times 9.81$$

$$\Sigma F_y = 78.489 \text{ N}$$

หาความหนาของแผ่นสแตนเลส โดยคำนวณน็อตขนาด M5 อัดกับแผ่นสแตนเลส (SUS304Yield strength 241.33 MPa) จากการคำนวณสามารถเลือกความหนาของแผ่นสแตนเลส 3 มิลลิเมตร

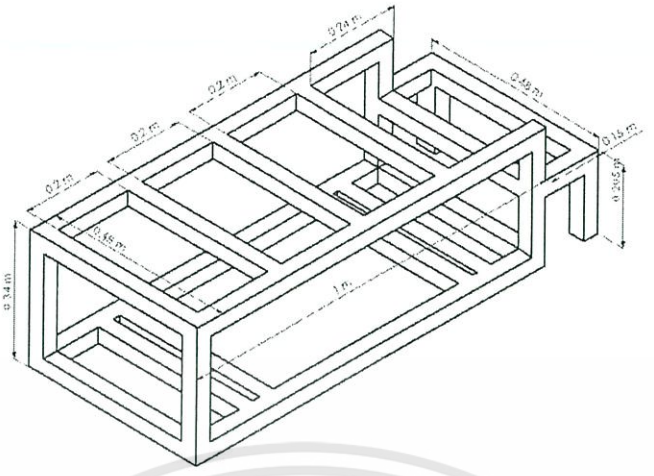
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \times t}$$

$$t = \frac{78.489}{0.005 \times 120.67 \times 10^6} = 0.13 \text{ mm}$$

ข. ฐานรองรับเครื่อง

ฐานรองรับเครื่องทำจากวัสดุที่เป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ประกอบกันเป็นโครงมีความกว้าง 48 เซนติเมตร ยาว 115 เซนติเมตร และสูง 34 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.5 เพื่อเป็นฐานในการรับน้ำหนักของลูกกลิ้งชุดขับเคลื่อน มอเตอร์และชุดควบคุมความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ฐานรองรับเครื่อง

ค. ใบมีดตัดตามขวาง

การออกแบบกลไกตัดตามขวางนั้นต้องออกแบบให้กลไกสามารถทำงานไปพร้อมกับสายพานลำเลียงได้โดยการออกแบบนั้นต้องคำนึงถึง จำนวนใบมีดตัด รัศมีการตัดของใบมีด เพื่อให้ได้ความเร็วในการตัดเท่ากับความเร็วของสายพาน โดยในการออกแบบขนานเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาทรงกระบอกตัดตามขวางนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่ใหญ่จนเกินไป เนื่องจากมีผลต่อรูปร่างรอยตัดของแป้ง

โดยมีหลักการคำนวณหาขนาดของใบมีดและจำนวนใบมีดดังนี้

$$\frac{\text{เส้นรอบวงของวงกลม}}{\text{จำนวนใบมีด}} = \text{ความยาวของแป้ง}$$

$$\frac{2\pi r}{n} = \text{ความยาวของแป้ง}$$

ต้องการตัดให้แป้งมีขนาดความยาวเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และออกแบบให้ใบมีดตัดตามขวางมีจำนวน 4 ใบเพื่อความสมดุล

$$\frac{2\pi r}{4} = 5$$

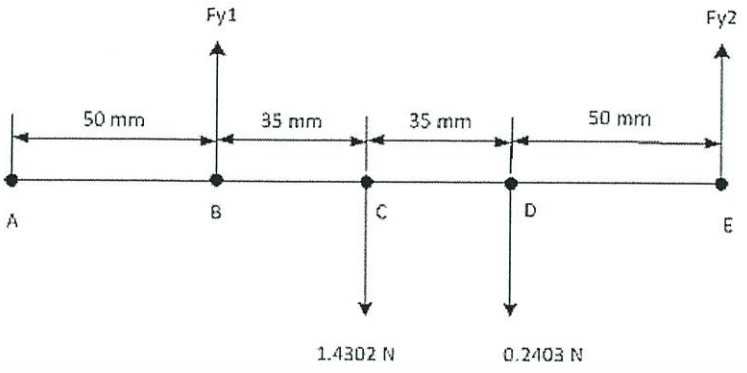
$$r = 37.4 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากการคำนวณ จึงใช้ใบมีดตัดตามขวางที่มีรัศมีเท่ากัน 37.4 มิลลิเมตร จำนวน 4 ใบมีด

ง. การคำนวณหาขนาดของเพลา

การคำนวณหาขนาดเพลาต้องใช้หลักการความเค้นผสมและความล้า เพื่อให้เพลาที่นำมาใช้งานมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับรับแรงที่กระทำทั้งแนวดิ่งและแรงระดับ โดยได้ออกแบบตามมาตรฐานของ ASME โดยเลือกวัสดุที่ใช้ทำเพลาคือสแตนเลสและเพลาติดกับลูกกลิ้ง การคำนวณแรงและออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมแรงที่กระทำต่อเพลา

<u>แรงในแนวดิ่ง</u> : การคำนวณหาแรง Fy1 และ Fy2 โดยการหาโมเมนต์ตัด

$$M_{ทวน} = M_{ตาม}$$

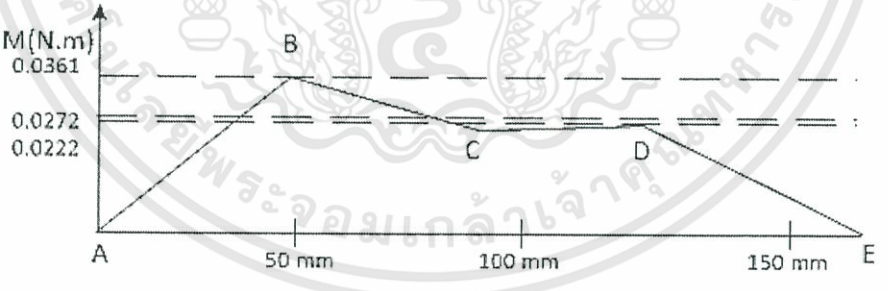
$$(Fy2 \times 0.12) = (1.4302 \times 0.035)+(0.2403 \times 0.07)$$

$$0.12Fy2 = 0.0643 \text{ N}$$

$$Fy2 = 0.6369 \text{ N}$$

$$Fy1 = 1.0335 \text{ N}$$

จากการคำนวณหาแรง Fy1 และ Fy2 โดยการหาโมเมนต์ทำให้ได้ Fy1 เท่ากับ 15.9 นิวตัน และ Fy2 เท่ากับ 15.5 นิวตัน ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.7 กราฟแรงและโมเมนต์ดัดในแนวดิ่ง

เมื่อนำแรงมาเขียนเป็นกราฟโมเมนต์ตัดดังรูปที่ 7 จากการทดลองวัดกำลังของมอเตอร์ พบว่า มีค่าที่ 80 W ที่ความเวรอบ 50 rpm จากนั้นจึงคำนวณหาโมเมนต์บิดดังสมการ

$$Pw = T \times \omega$$

$$80 = T \times 2\pi/60 \times 50$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T = 15.278 N.m

ค่าโมเมนต์บิดที่ได้มีค่าเท่ากับ 15.278 N.m จากชนิดของแรงที่กระทำเป็นแบบเพลาหมุนอย่างสม่ำเสมอ C_m = 1.5 และ C_t = 1.0

กำหนด เพลาสแตนเลสมีความเค้นเฉือนใช้งาน $\tau_d = 0.225\tau_y$

$$\tau_d = 0.22(276 \times 10^6) = 62.1 \times 10^6 \text{ Pa}$$

การคำนวณขนาดเพลาคำนวณดังสมการ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau_d}[(C_t \times T)^2 + (C_m \times M_B)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^3 = \frac{16}{62.1x10^6\pi}[(1 \times 15.27)^2 + (1.5 \times 0.03617)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^3 = 1.25233 \times 10^{-6}\,\text{mm}$$

$$\therefore d = 0.010778\,\text{m}$$

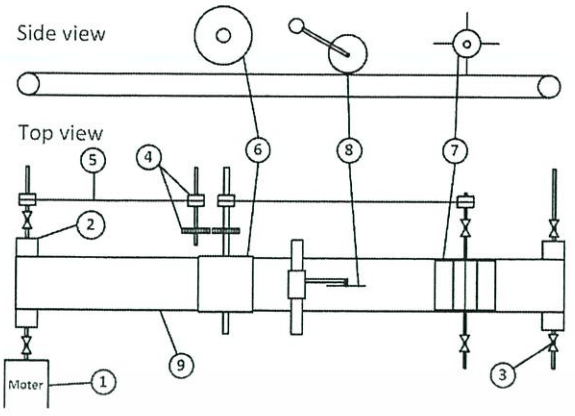
$$= 10.778\,\text{mm}$$

จากการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาที่ได้ เท่ากับ 10.8 มิลลิเมตร แต่ในงานจริงจำเป็นต้องใช้ขนาดเพลาให้ใหญ่กว่าที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและรองรับน้ำหนักในส่วนที่จะต่อเติมขึ้นภายหลังดังนั้นจึงเลือกใช้เพลาขนาด 12 มิลลิเมตร

4.2.3 การออกแบบกลไก โครงสร้าง และอุปกรณ์ ในการวิจัย

เนื่องจากเครื่องผลิตปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง มีขั้นตอนกระบวนการหลายอย่างดังรูปที่ 4.8 โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ หลายส่วน ส่วนที่ 1 คือ มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลในรูปแบบแรงที่ส่งไปยังเพลาส่วนที่ 2 คือเพลา รับแรงบิดจากมอเตอร์ เพื่อขับเคลื่อนสายพานลำเลียง โดยมีส่วนที่ 3 ตลับลูกปืนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับการหมุนของเพลาเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสและลดการสึกหรอของเพลา ส่วนที่ 4 พลูเล่ย์และเฟืองเป็นอุปกรณ์ส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งโดยสามารถกำหนดอัตราทดเพื่อให้ความเร็วรอบในการหมุนของเพลาต่างกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในส่วนที่ 5 สายพานส่งกำลังเพื่อส่งต่อแรงจากพลูเล่ย์ของเพลาหนึ่งไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ส่วนที่ 6 โรลรีดแป้ง และส่วนที่ 7 ใบมีดตัดขวาง ซึ่งในส่วน 8 ใบมีดตัดตามยาวเป็นการกดใบมีดให้แนบกับสายพานเพื่อตัดแป้งปาท่องโก๋ขาดออกจากกัน และในส่วนสุดท้ายส่วนที่ 9 สายพานลำเลียงทำหน้าที่ในการลำเลียงแป้งปาท่องโก๋เข้าสู่กระบวนการรีด กระบวนการตัด และกระบวนการประกบคู่ของเครื่องต้นแบบ

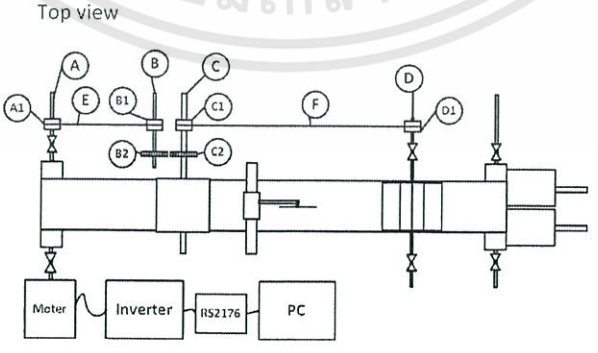
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แบบจำลองโครงสร้างและรูปแบบกลไกของเครื่องต้นแบบ

4.3 หลักการทำงานของเครื่องรีดแป้ง

ความเร็วที่ใช้ในการขับเคลื่อนกลไกเกิดจากการใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งหลักการสำคัญในการขับเคลื่อนกลไกคือต้องให้ความเร็วรอบในการหมุนของสายพานลำเลียง ลูกกลิ้งรีดแป้งและใบมีดตัดตามขวางมีความเร็วรอบที่เท่ากัน โดยการใช้พูลเล่ย์และเฟืองเพื่อลดแรงในการหมุนและเป็นตัวส่งต่อกำลัง ดังรูปที่ 4.9 เริ่มจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านเครื่องแปลงสัญญาณ RS485 ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ เพื่อง่ายต่อการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนสายพานโดยการขับเพลา A เพื่อขับลูกกลิ้งขับสายพานขนาด 50 มิลลิเมตร มีพลูเล่ย์ A1 ในการส่งกำลังไปยังพลูเล่ย์ B2 ด้วยสายพานลำเลียง E มีอัตราทดเท่ากับ 3 ต่อ 2 เพลา B เมื่อได้รับแรงบิดจะส่งต่อแรงไปยังเพลา C ด้วยเฟืองตรง B2 และ C2 ที่มีอัตราทด 1 ต่อ 1 เพื่อให้ลูกกลิ้งรีดแป้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร หมุนในทิศทางเดียวกับสายพานและมีความเร็วรอบเท่ากัน เมื่อเพลา C หมุนพลูเล่ย์ C1 จะส่งกำลังไปยังพลูเล่ย์ D1 อัตราทด 1 ต่อ 1 ด้วยสายพานส่งกำลัง F เพื่อทำให้ใบมีดตัดตามขวางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 74.8 มิลลิเมตร เพื่อทำให้ใบมีดตัดตามขวางหมุนไปพร้อมกับกับสายพาน



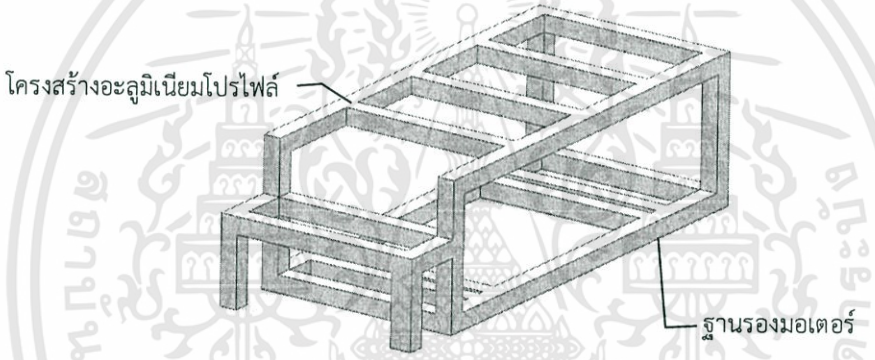
รูปที่ 4.9 แบบจำลองอุปกรณ์ กลไกเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง

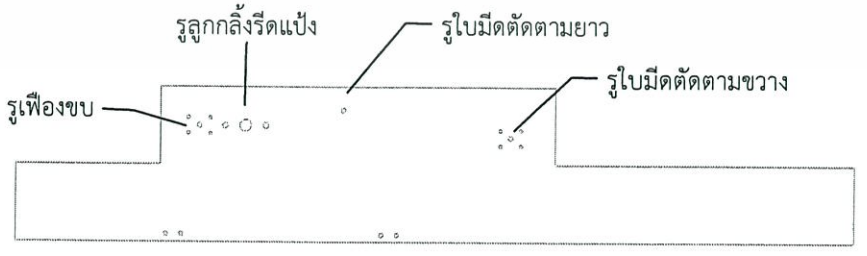
จากการออกแบบและการคำนวณค่าต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบนำมาออกแบบในส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ เพื่อสามารถนำไปใช้อย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ ได้แก่ โครงฐานรองเครื่อง แผ่นโครงสร้าง ชุดกลไกการรีดแป้ง ชุดกลการตัดตามยาว ชุดกลไกการตัดตามขวาง และชุดกลไกประกบ

ก.โครงฐานรองเครื่องโครงฐานรองเครื่องนี้จะใช้วัสดุ คือ อลูมิเนียมโปรไฟล์ เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีความสามารถในการรับแรงกดได้สูง สามารถถอดประกอบ และต่อเติมภายหลังได้สะดวก จึงเหมาะสำหรับเป็นฐานรองเครื่อง สร้างในลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.10 หน้าที่เพื่อเป็นที่ตั้งและยึดของเครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋



รูปที่ 4.10 โครงฐานรองเครื่อง

ข. แผ่นโครงสร้างเป็นตัวยึดลูกกลิ้งไว้ จะมีแผ่นอยู่ 2 แผ่นเป็นตัวประกบยึด โดยจะต้องออกแบบการเจาะรูโดยคำนวณจากการวางตำแหน่งของลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยวัสดุที่ใช้เครื่องสแตนเลสเพราะชิ้นส่วนนี้สัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์

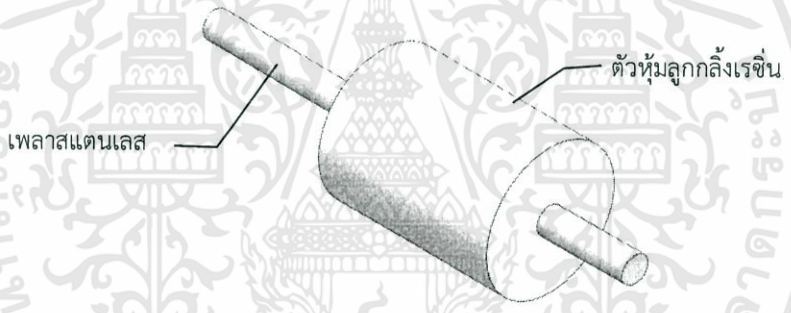


รูปที่ 4.11 แผ่นโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ชุดกลไกการรีดแป้ง

เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ก่อนกระบวนการตัดนั้นใช้กำลังคนในการขึ้นรูปแป้ง จึงจำเป็นต้องมีการปรับผิวหน้าแป้งปาท่องโก๋ เพื่อให้ได้แป้งปาท่องโก๋ก่อนกระบวนการตัดที่มีผิวหน้าเรียบ มีความหนาสม่ำเสมอ ดังนั้นในการออกแบบกลไกรีดแป้งจึงเลือกใช้ลูกกลิ้งที่ทำจากวัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่น มาใช้เป็นวัสดุที่เป็นตัวลูกกลิ้งเนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติ แข็ง เรียบ สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง และทนต่อการกัดกร่อนทางเคมี โดยค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งที่ใช้ต้องไม่เล็กจนเกินไป เนื่องจากการใช้ลูกกลิ้งขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลูกกลิ้งกับแป้งมากเกินไป ทำให้แป้งมีโอกาสติดลูกกลิ้งสูงขึ้น ดังนั้นการออกแบบจึงต้องออกแบบให้โอกาสที่แป้งปาท่องโก๋จะติดไปกับลูกกลิ้งน้อยที่สุด โดยเลือกใช้ลูกกลิ้งปรับผิวหน้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 75 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.12 นอกจากนั้นการรีดแป้งยังต้องคำนึงถึงระยะความสูงระหว่างผิวลูกกลิ้งกับผิวของสายพานลำเลียง และความเร็วระหว่างผิวลูกกลิ้งกับความเร็วที่ผิวของสายพานลำเลียงให้มีความเร็วที่เท่ากัน เพื่อให้แป้งหลังการรีดมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ 4.12 รูปลูกกลิ้งรีดแป้ง

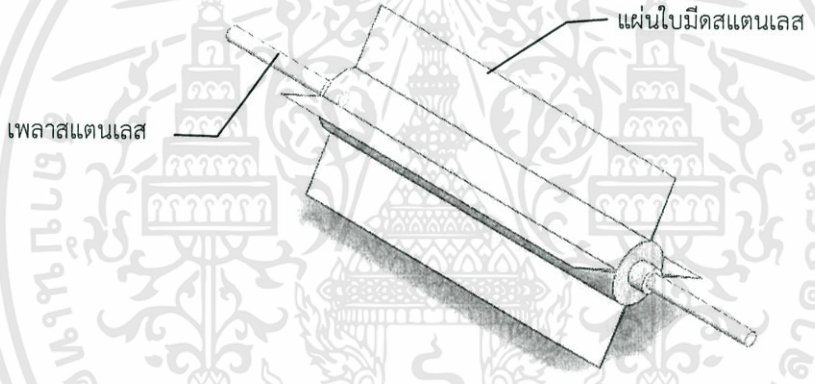
ง. การออกแบบกลไกตัดตามยาว

เลือกใช้รูปแบบของใบมีดกลม กดลงไปบนแป้งปาท่องโก๋ เพราะเป็นกลไกลที่ไม่ยุ่งยากโดยหลักการสำคัญของการตัดแป้งตามยาวนั้น ต้องคำนึงถึงน้ำหนักที่กดลงบนแป้งเพื่อให้สามารถตัดขาดออกจากกันได้ จากการศึกษาคุณสมบัติของแป้งปาท่องโก๋จากเครื่อง Texture analysis พบว่าต้องใช้แรงกดสูงสุดเท่ากับ 2.93 นิวตัน หรือเท่ากับ 298 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการกดสูงสุดเท่ากับ 2.74 วินาที แต่เนื่องจากแป้งปาท่องโก๋มีความเร็วในการลำเลียง ดังนั้นน้ำหนักที่ใช้ตัดจึงต้องมีค่ามากกว่า 289 กรัม เป็นอย่างน้อย โดยใช้ใบมีดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ทำจากแสตนแลส 304 เนื่องจากทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. การออกแบบเพลาตัดตามขวาง

การออกแบบกลไกตัดตามขวางนั้นต้องออกแบบให้กลไกสามารถทำงานไปพร้อมกับสายพานลำเลียงได้ ดังนั้นจึงออกแบบให้ใช้กลไกการตัดใบมีดทรงกระบอกตัดตามยาว เพราะเป็นกลไกที่ไม่ยุ่งยาก สามารถลดโอกาสที่จะเกิดการสึกหรอระหว่างสายพานกับใบมีดได้ โดยการออกแบบนั้นต้องคำนึงถึง จำนวนใบมีดตัด รัศมีการตัดของใบมีด เพื่อให้ได้ความเร็วในการตัดเท่ากับความเร็วของสายพาน โดยในการออกแบบขนานเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาทรงกระบอกตัดตามขวางนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่ใหญ่จนเกินไป เนื่องจากมีผลต่อรูปร่างรอยตัดของแป้ง จากการคำนวณเพื่อให้ได้แป้งหลังตัดมีขนาดความยาว 5 เซนติเมตร จึงออกแบบเพลาทรงกระบอกตัดตามยาวให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 74.8 มิลลิเมตร ความยาว 12 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.13 เพื่อรองรับความกว้างของแป้งที่เพิ่มขึ้นหลังการปรับผิวหน้าแป้ง และออกแบบใบมีดจำนวนใบมีดเท่ากับ 4 ใบมีด เพื่อความสมดุลในการตัด



รูปที่ 4.13 รูปใบมีดตัดตามขวาง

ฉ. การออกแบบสายพานลำเลียง

สายพานลำเลียงทำหน้าที่ในการลำเลียงแป้งปาท่องโก๋ เพื่อนำแป้งไปผ่านกระบวนการรีดแป้ง ตัดตามยาว และกระบวนการตัดตามขวาง วัสดุที่ใช้จึงเลือกใช้สายพานที่ทำจากโพลียูรีเทน เนื่องจากสามารถ ทนการเสียดสี ทนความร้อน ทนสารเคมี ได้ดี จากการศึกษาการออกแบบสายพานไม่ควรใช้ลูกกลิ้งขับสายพานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการขับเคลื่อนที่น้อยเกินไป จึงออกแบบให้ลูกกลิ้งขับสายพานมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มิลลิเมตร โดยออกแบบให้ความยาวของสายพานลำเลียงมีความยาว 1 เมตร เพื่อรองรับกลไกขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ทั้ง 3 ขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช ชุดกลไกประกบคู่

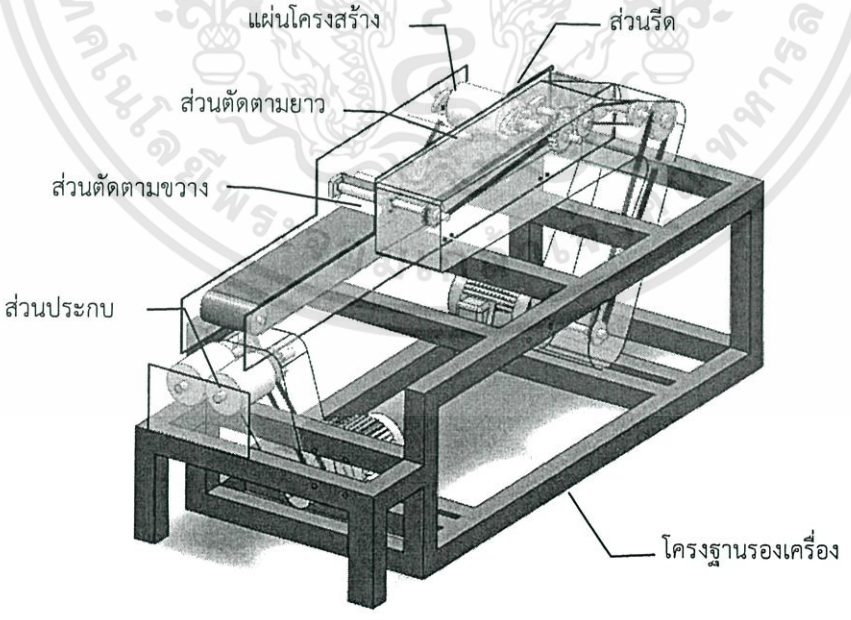
จากการศึกษากรรมวิธีการประกบแป้งปาท่องโก๋โดยใช้คน พบว่าหลังจากการตัดแป้งให้เป็นชิ้นแป้งตามขนาดที่ต้องการแล้ว มีการใส่น้ำที่ตัวแป้ง และมีการกดตรงกลางตัวแป้งเล็กน้อยให้แป้งติดกัน เพื่อให้แป้งมีลักษณะเป็นคู่ตามที่ต้องการ ดังนั้นกลไกการประกบจึงออกแบบให้ใช้ลูกกลิ้งยางซึ่งทำด้วยวัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่นเช่นเดียวกับลูกกลิ้งปรับผิวหน้า 2 ลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูกจะหมุนเข้าหากัน ดังรูปที่ 4.3 โดยต้องคำนึกถึงระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ต้องออกแบบให้มีระยะห่างที่ไม่กว้างจนเกินไปและไม่แคบจนทำให้รูปร่างแป้งเสียหาย

ซ. สายพานและพลูเล่ย์

สายพานเป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ช่วยในการขับเคลื่อนเพลา ลูกกลิ้ง และอุปกรณ์กลไกการขึ้นรูปทั้งหมดให้เคลื่อนไปพร้อมกันโดยมีพลูเล่ย์ช่วยในการขับเคลื่อนและทดรอบโดยมีตลับลูกปืนเป็นจุดหมุน จากการคำนวณเบื้องต้นพบว่ากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานมีค่าเท่ากับ 80 W ซึ่งมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้สายพานที่มีขนาดเล็กขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร มีระยะพิชต์เท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร และความยาว 50 เซนติเมตร และ70 เซนติเมตร ส่วนพลูเล่ย์เลือกใช้ขนาดตามจำนวนฟันได้แก่ 15 และ 45 ฟัน ส่วนเฟืองเลือกใช้เป็นเฟืองตรงจำนวน 60 ฟัน

ฌ.เครื่องต้นแบบเมื่อเสร็จสมบูรณ์

เมื่อทำการออกแบบเป็นส่วนประกอบทุกส่วนของเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง นำส่วนที่ได้มาประกอบเป็นเครื่องต้นแบบเมื่อเสร็จสมบูรณ์ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แบบจำลองเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

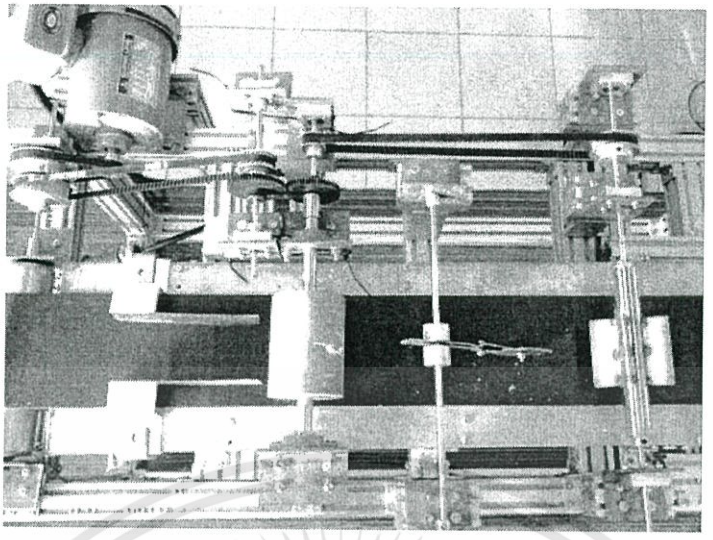
บทที่ 5
การสร้างและการทดสอบเครื่องต้นแบบ

การทดลองการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสามารถนำค่าที่ได้มาสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบได้ โดยการทดสอบการทำงานของเครื่อง การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว การทดลองหาประสิทธิภาพของกลไกการตัดตามขวางด้วยใบมีดทรงกระบอกและการทดลองหาประสิทธิภาพการประกบ ผลการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปรับปรุงและสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ในอนาคต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

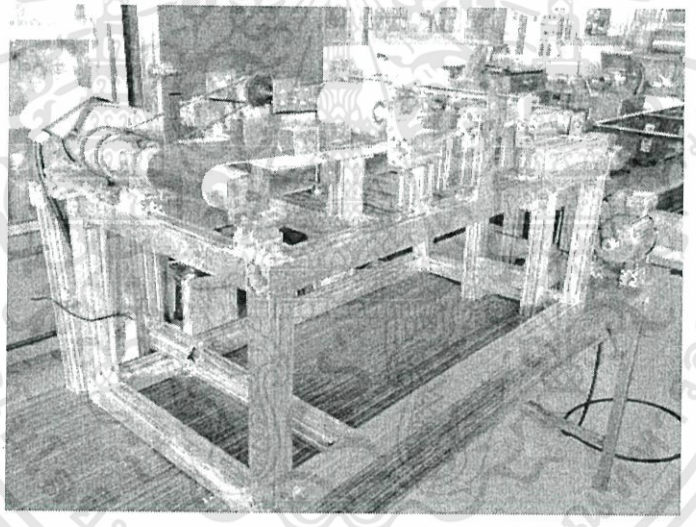
5.1 การสร้างเครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง

การสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบมีขั้นตอนและวิธีการสร้างเครื่องต้นแบบโดยการแบ่งออกเป็นส่วนๆ ในการพิจารณา โครงรองฐานเครื่อง ชุดสายพานลำเลียง ลูกกลิ้งรีดแป้ง ใบมีดตัดตามยาว ใบมีดตัดตามขวาง และส่วนประกบ เริ่มต้นโดยการสร้างโครงสร้างฐานรองตัวเครื่องซึ่งใช้เป็นที่รองรับเครื่อง โครงฐานรองเครื่องนี้ทำจากวัสดุที่เป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ จากนั้นทำส่วนโครงสร้างรองรับอุปกรณ์และชุดกลไกการขึ้นรูป จากนั้นทำการติดตั้งชุดสายพานลำเลียงที่มีขนาดความยาว 2 เมตร เพื่อรองรับกลไกแรก คือกลไกลูกกลิ้งรีดแป้งโดยการประกอบลูกกลิ้งเข้ากับโครงรองรับอุปกรณ์โดยติดตั้งให้สามารถปรับระยะความสูงระหว่างผิวลูกกลิ้งกับผิวสายพานได้ กลไกต่อไปคือใบมีดตัดตามขวาง โดยการประกอบใบมีดติดกับเพลาวางในแนวทำมุมกับแนวดิ่ง 60 องศา จากนั้นติดตั้งใบมีดตัดตามขวาง ซึ่งติดตั้งให้แนวใบมีดแนบกับสายพานเพื่อเพิ่มประสิทธภาพในการตัด ในส่วนสุดท้ายการติดตั้งลูกกลิ้งประกบ ติดตั้งโดยให้ลูกกลิ้งประกบอยู่ในระนาบเดียวกันและวางตัวในแนวขนานกัน โดยให้สามารถปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งได้ หลังจากติดตั้งชุดกลไกเรียบร้อย ขั้นต่อไปจึงเป็นการติดตั้งชุดส่งกำลังเริ่มจากการติดตั้งมอเตอร์ พลูเล่ย์จำนวน 4 ตัว และเฟืองตรงจำนวน 2 ตัว โดยมีสายพานส่งกำลังเป็นตัวส่งแรงบิดจากมอเตอร์มายังอุปกรณ์กลไกการขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 5.1 เครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบแสดงดังรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กลไกการขับเคลื่อนชุดกลไกการขึ้นรูป



รูปที่ 5.2 เครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบสำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง

5.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

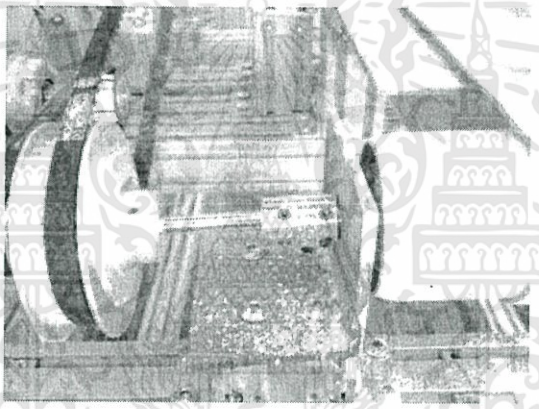
5.2.1 การทดสอบกลไกการขับเคลื่อน

การทดสอบเครื่องต้นแบบการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องในขณะที่ไม่มีการป้อนแป้งปาท่องโก๋ การทดสอบเครื่องต้นแบบโดยใช้ชุดควบคุมจาก Computer PC ไปยังอินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ไปยังชุดกลไกการขึ้นรูปโดยอาศัยชุดส่งกำลัง ซึ่งประกอบด้วย ข้อต่อเพลา เพลา พูเล่ย์ และเฟืองตรง ซึ่งทำการทดสอบเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบโดยการเดินมอเตอร์เพื่อดูความเร็วรอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบต่ำสุดเท่ากับ 50 รอบต่อนาที จากนั้นจึงปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เพิ่มเป็น 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที เพื่อทดสอบและตรวจสอบการทำงานของกลไกขึ้นรูปแป้ง รวมถึงชุดส่งกำลังด้วย

ปัญหาเบื้องต้นพบว่า เพลาที่มีการยึดกับลูกกลิ้งขับสายพานดังรูปที่ 5.3 มีการหมุนที่ไม่ได้ศูนย์กลาง เมื่อเกิดแรงดึงเพลาจึงเกิดการโก่งตัว มีผลทำให้เพลาส่ายและทำให้ชุดเชื่อมต่อระหว่างเพลากับลูกกลิ้งขับสายพานหลวม ดังนั้นวิธีการแก้ไขจึงต้องเลือกใช้ข้อต่อสายพานที่มีมาตรฐาน และใช้เพลาขับที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากแรงกระทำที่จะเกิดขึ้นกับเพลา



รูปที่ 5.3 คัปปิ้งต่อเพลาหมุนสายพาน

5.3 การทดลอง

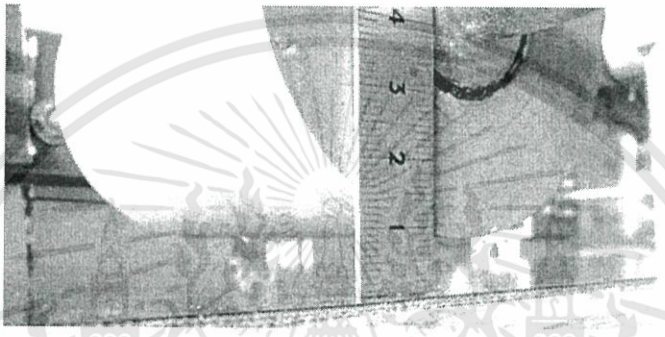
การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ ในส่วนของชุดกลไกการรีดแป้ง ชุดกลไกการตัดตามยาว ชุดกลไกการตัดตามขวาง และชุดกลไกประกบคู่ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการ สร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้

5.3.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดของแป้งหลังรีด ได้แก่ระยะความสูงของลูกกลิ้ง ความหนาและ ความกว้างของแป้งขาเข้า รวมถึงความเร็วรอบในการรีด ทำการทดลองโดยปรับระยะความสูงระหว่างลูกกลิ้งรีดแป้งเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวสายพาน เป็น 3 ระยะ คือ 3 มิลลิเมตร 4 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับดังรูปที่ 5.4 และ ความเร็วรอบที่ 3 ความเร็วคือ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที ตามลำดับ การทดลองเริ่มจากการป้อนแป้งที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร 8 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.5 ความกว้างของแป้งขาเข้าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร 30 มิลลิเมตร และ 40 มิลลิเมตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้แป้งหลังรีด ออกมามีความกว้าง 40 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร แล้วทำการบันทึกผลความหนาแป้งขาเข้า ความกว้างแป้งขาเข้า และความสูงลูกกลิ้งสุดท้ายด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ บันทึกผลการทดลอง ดังตาราง.ก.1



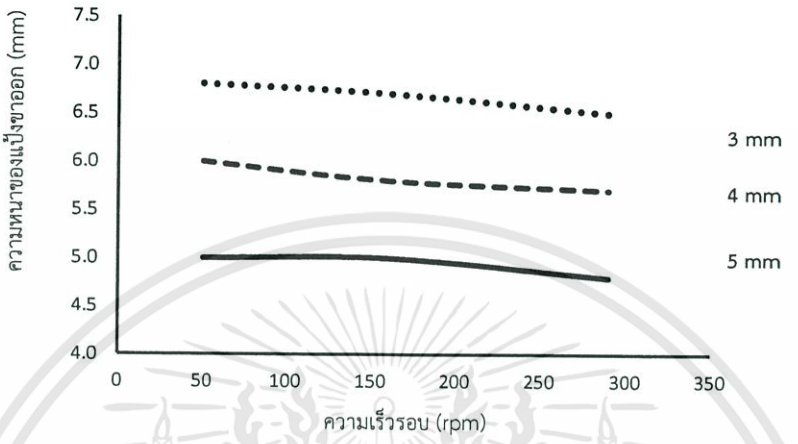
รูปที่ 5.4 ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับสายพาน

รูปที่ 5.5 ความหนาสุดท้ายของแป้ง

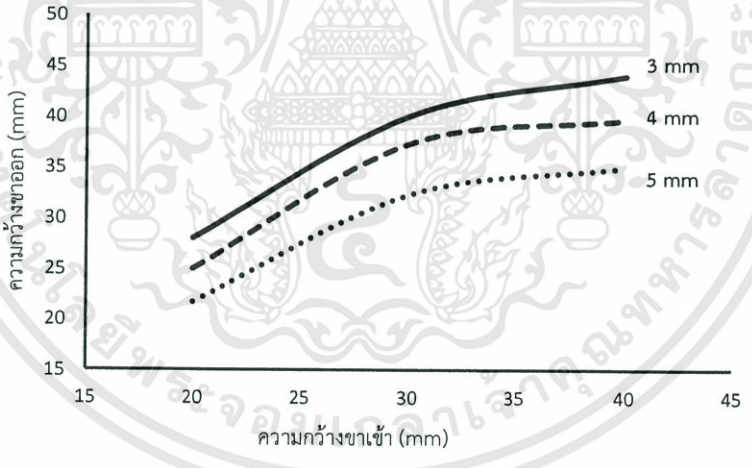
ผลการทดลองส่วนของการรีดแป้งให้ได้แป้งหลังรีดมีขนาดความกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตรนั้น จำเป็นต้องขึ้นรูปแป้งให้แป้งก่อนเข้ามีขนาดความหนาก่อนเข้า 0.6 มิลลิเมตร ความกว้างก่อนเข้า 30 มิลลิเมตร โดยใช้ระยะความห่างระหว่างลูกกลิ้งกับสายพานเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบหมุนของลูกกลิ้งเท่ากับ 50 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 5.6 แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความหนาขาออกที่ความหนาขาเข้า 6 mm และ รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างขาเข้าและความกว้างขาออก ที่ความหนาชิ้นแป้งขาเข้า 6 mm. และความเร็วรอบ 50 rpm



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความหนาขาออกที่ความหนาขาเข้า 6 mm



รูปที่ 5.7 การทดลองหาความกว้างที่ความหนาชิ้นแป้งขาเข้า 6 mm. ความเร็วรอบ 50 rpm

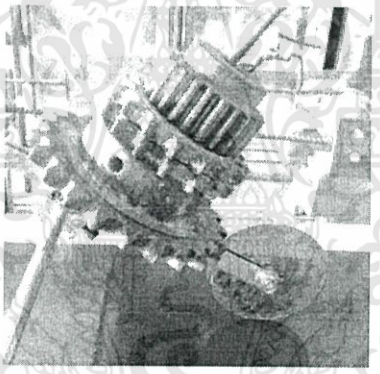
วิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าขนาดของแป้งที่ออกมาหลังการรีดขึ้นอยู่กับ การตั้งระยะความสูงของลูกกลิ้งรีดแป้ง ความเร็วรอบการหมุน ความหนาของชิ้นแป้งขาเข้า และความหนาของชิ้นแป้งขาเข้าด้วย ซึ่งพบว่า เมื่อปรับระยะความสูงของลูกกลิ้งมากขึ้น ความหนาของแป้งหลังรีดที่ออกมามีแนวโน้มมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มความเร็วของลูกกลิ้งมากขึ้นจะทำให้แป้งหลังรีดมีความหนาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง และพบว่าหากป้อนแป้งที่มีความหนามากเกินไป ลูกกลิ้งรีดแป้งเกิดการหน่วง ทำให้ลูกกลิ้งรีดแป้งหมุนช้าลง กลไกทั้งระบบจึงช้าลงด้วย โดยการป้อนแป้งขาเข้าจำเป็นต้องมีการโรยแป้งเพื่อป้องกันไม่ให้แป้งปาท่องโก๋ติดกับอุปกรณ์กลไกการขึ้นรูปในส่วนอื่นด้วย

5.3.2 การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว

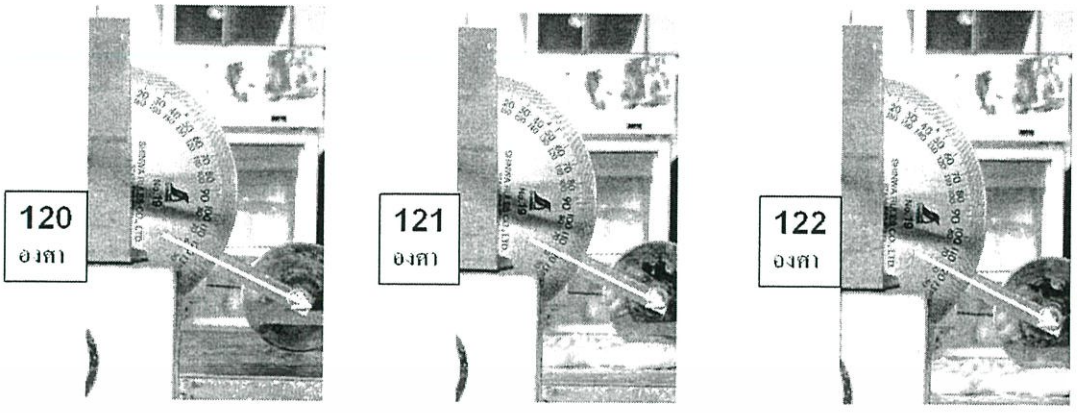
การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้กดกับความเร็วรอบ โดยวัดค่าเป็นองศาที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับองศาเดิม ซึ่งทำมุมกับแนวระดับ 30 องศา ในการทดลองใช้ตัวถ่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 5.8 เพื่อเทียบเป็นแรงที่ใช้กด 4 แรงกด เท่ากับ 5.49 นิวตัน 7.60 นิวตัน 11.77 นิวตัน และ 13.73 นิวตัน และทดลองปรับความเร็วรอบที่ 3 ความเร็วคือ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที เพื่อวิเคราะห์ความเร็ว และองศาที่เพิ่มขึ้นของใบมีดซึ่งมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการตัดแป้ง ทดลองด้วยการวัดมุมที่ลอยขึ้นด้วยไม้วัดองศา บันทึกผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังตาราง ก.4



รูปที่ 5.8 การใช้ตัวถ่วงน้ำหนักกดลงบนใบมีดตัดตามขวางเพื่อจำลองแรงกด

ผลการทดลอง พบว่าที่แรงกดเท่ากับ 5.49 นิวตัน 7.60 นิวตัน องศาของใบมีดเพิ่มขึ้นจากแนวเดิมเฉลี่ย 2 องศา และ 1 องศาตามลำดับ ดังรูปที่ 5.9 และไม่สามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ ในทุกๆความเร็วรอบ และที่แรงกดเท่ากับ 11.77 นิวตัน และ 13.73 นิวตัน พบว่าไม่มีการเพิ่มองศาของใบมีด ในทุกๆความเร็วรอบและสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้สมบูรณ์ตลอดช่วงความยาวของตัวแป้งดังรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 องศาของใบมีดที่เปลี่ยนไป 1 และ 2 องศา โดยเฉลี่ย

รูปที่ 5.10 ลักษณะแป้งหลังการตัด

วิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าใบมีดตัดตามยาวต้องใช้แรงกดที่เหมาะสม เนื่องจากเมื่อเครื่องทำงานเกิดความเร็วจะทำให้ใบมีดลอยทั้งจากแรงต้านของชิ้นแป้งและแรงต้านจากความเร็วของสายพาน เมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการตัดจะดีขึ้นตามลำดับ ถ้าน้ำหนักน้อยเกินไปจะไม่สามารถตัดแป้งให้ขาดได้ แต่ถ้าน้ำหนักมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อสายพานคือเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

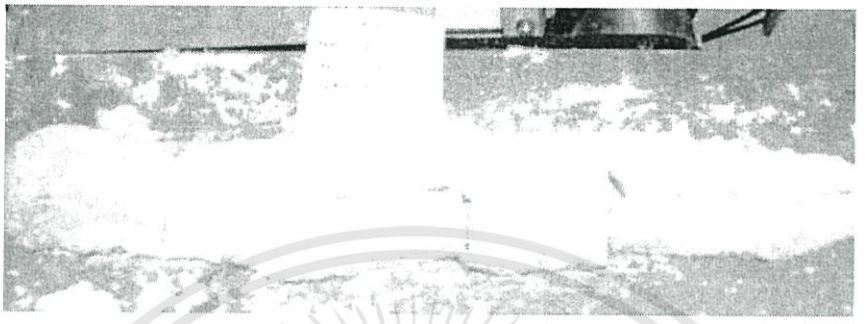
5.3.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของกลไกการตัดตามขวางด้วยใบมีดทรงกระบอก

การทดลองหาประสิทธิภาพใบมีดทรงกระบอกตัดตามขวาง เพื่อศึกษาลักษณะการตัดของใบมีดทรงกระบอก ประสิทธิภาพและขนาดของชิ้นแป้งหลังการตัดตามขวาง โดยการวัดระยะความยาวของชิ้นแป้ง ทดสอบโดยการป้อนแป้งขนาดความกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาระยะความยาวเฉลี่ยของชิ้นแป้งหลังการตัดทั้งหมด ที่ความเร็วรอบ 3 ความเร็วคือ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที ตามลำดับ

ผลการทดลอง พบว่าการตัดแป้งปาท่องโก๋โดยใช้ลูกกลิ้งทรงกระบอกตัดตามขวางสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้โดยมีขนาดความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 51 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.11 มีอัตราการป้อนแป้ง 50 รอบต่อนาที ความหนาแป้ง 6 มิลลิเมตร ความกว้างแป้ง 30 มิลลิเมตร ความยาวแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260 มิลลิเมตร และความสูงของลูกกลิ้ง 3 มิลลิเมตร โดยพบว่าทุกๆชุดแป้งที่ทำการทดลองจะมีส่วนของแป้งส่วนหัวท้ายที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการอยู่ คิดเป็นร้อยละของแป้งที่เสียไปเท่ากับ 5 ตัวต่อ 1 ชุด



รูปที่ 5.11 ขนาดของแป้งปาท่องโก๋หลังตัดตามยาวโดยมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 51 มิลลิเมตร

วิเคราะห์ผลการทดลองความเร็วไม่มีผลต่อการตัด และขนาดของแป้งหลังการตัดตามขวางและพบว่าใบมีดต้นแบบที่สร้างขึ้นไม่สามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ทุกใบ เนื่องจากใบมีดตัดตามขวางมีขนาดของใบมีดทั้ง 4 ใบไม่เท่ากัน มีเพียง 2 ใบเท่านั้นที่สัมผัสกับสายพานพอดีและสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้

5.3.4 การทดลองหาประสิทธิภาพการประกบ

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบกับขนาดของแป้งหลังประกบ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของลูกกลิ้งประกบและขนาดของแป้งหลังการประกบ โดยปรับระยะห่างลูกกลิ้ง 3 ระยะ คือ 6 มิลลิเมตร 8 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตร และ 12 มิลลิเมตร ตามลำดับ เพื่อหาระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เหมาะสม สามารถทำให้แป้งหลังการประกบมีขนาดตามที่กำหนดและมีลักษณะติดกันเป็นคู่

ผลการทดลอง พบว่าการใช้ระยะระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 6 และ 8 มิลลิเมตร สามารถทำให้แป้งประกบคู่ติดกันได้ แต่มีผลทำให้แป้งหลังการประกบคู่เสียรูป โดยมีความกว้างของแป้งเพิ่มมากขึ้นและมีความหนาที่ลดลง แต่เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบเท่ากับ 10 มิลลิเมตร พบว่าเป็นระยะที่สามารถประกบคู่แป้งปาท่องโก๋ให้ติดกันได้ โดยไม่ทำให้แป้งเสียรูปดังรูปที่ 5.12 และที่ระยะมากกว่า 10 มิลลิเมตร ไม่สามารถประกบแป้งให้ติดกันได้ โดยเมื่อทำการทดลองทอดแล้วจะได้ลักษณะแป้งปาท่องโก๋ติดกันเป็นคู่ตามที่ต้องการดังรูปที่ 5.13

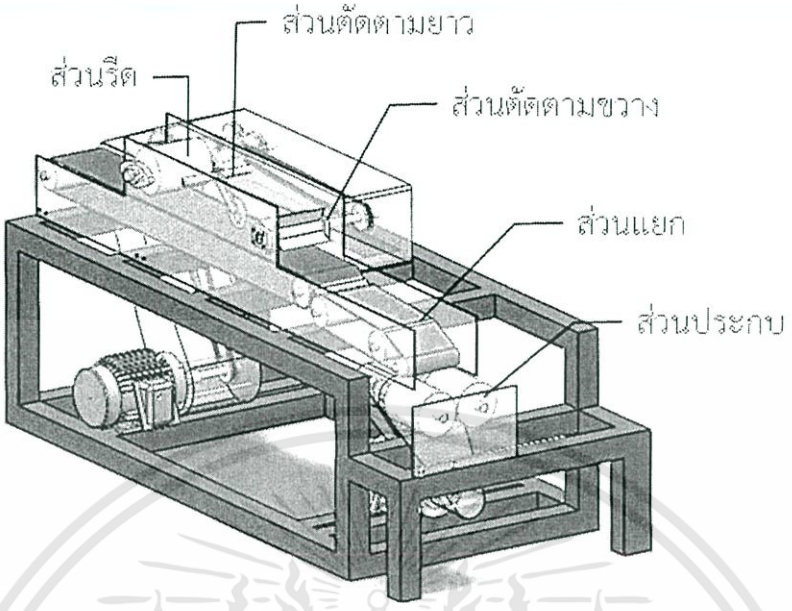
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.12 แป้งหลังการประกบด้วยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 10 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.13 ลักษณะแป้งหลังการประกบและหลังการทอด

วิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบที่เหมาะสมนั้นขึ้นรูปกับขนาดและรูปร่างของชิ้นแป้งก่อนประกบด้วย ถ้าชิ้นแป้งก่อนเข้าส่วนประกบมีความหนามากก็จำเป็นต้องเพิ่มระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้กว้างขึ้นด้วย โดยพบว่าระยะเวลาที่แป้งสัมผัสกับอากาศมีผลต่อความฟูและเนื้อสัมผัสของแป้งหลังทอด และพบว่าการประกบแป้งด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนสวนทางกัน เป็นวิธีที่สามารถประกบแป้งให้ติดกันเป็นคู่ได้ แต่เกิดปัญหาในส่วนของการลำเลียงแป้งจากในส่วนกลไกการตัดตามยังลูกกลิ้งประกบไม่สามารถทำได้ เนื่องจากแป้งแต่ละคู่มีระยะที่ชิดเกินไป จึงต้องมีอุปกรณ์แยกแป้งให้มีระยะห่างออกจากกันก่อนลงไปสู่ส่วนประกบดังรูปที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 การปรับปรุงเครื่องต้นแบบในส่วนอุปกรณ์แยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบเครื่องต้นแบบผลิตปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง เริ่มจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของแป้งปาท่องโก๋ กระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋โดยใช้คน และวิธีการขึ้นรูปเชิงกลในหลายรูปแบบ และนำข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามารวบรวม วิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนากลไกต้นแบบการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง

จากการวิเคราะห์ข้อมูล และออกแบบตามหลักพื้นฐานเชิงวิศวกรรม สามารถออกแบบและพัฒนากลไกต้นแบบการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง นำทฤษฎีต่างๆ มาใช้ในการออกแบบวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อ กลไกการรีดแป้ง กลไกการตัดตามยาว กลไกการตัดตามขวาง และกลไกการประกบ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่าเป้าหมายคือ ขนาดหลังกระบวนการตัด ที่ความกว้าง 40 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร และความหนา 5 มิลลิเมตรตามลำดับ สามารถนำมาออกแบบส่วนประกอบย่อยซึ่งแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนรีดแป้ง ส่วนตัดตามยาว ส่วนตัดตามขวาง และ ส่วนประกบ ส่วนประกอบทั้งหมดสามารถทำงานต่อเนื่องกัน และได้ผลเป็นเครื่องต้นแบบที่ทำงานได้

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าระยะความสูงของลูกกลิ้งรีดแป้ง ความเร็วรอบการหมุน รวมถึงขนาดของชิ้นแป้งที่ป้อนเข้า มีผลต่อความกว้างและความหนาของชิ้นแป้งปาท่องโก๋ที่ออกมา ซึ่งพบว่าที่ระยะความสูงของลูกกลิ้งรีดแป้ง 3 มิลลิเมตร ความหนาขาเข้าของชิ้นแป้ง 6 มิลลิเมตร ความกว้างขาเข้าของชิ้นแป้ง 30 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งรีดแป้ง 50 รอบต่อนาที สามารถรีดแป้งเพื่อให้ได้ความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ความกว้างเฉลี่ย 40 มิลลิเมตร ส่วนกลไกการตัดตามยาวจะต้องมีแรงกดที่ใบมีดที่มีค่ามากกว่า 11.77 นิวตัน จึงจะสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ ในส่วนกลไกทรงกระบอกตัดตามขวางสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ทั้งหมด และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เป็นระยะที่มีประสิทธิภาพในการประกบที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่าการลำเลียงแป้งจากสายพานส่วนตัดมายังส่วนประกบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อแยกชิ้นปาท่องโก๋ให้ห่างออกจากกันก่อนเพื่อประสิทธิภาพการประกบที่ดีที่สุด จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบพบว่าอัตราการผลิตเท่ากับ 30 ตัวต่อนาที สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปรับปรุงและสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ในอนาคต

6.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางการปรับปรุง

การออกแบบและพัฒนากลไกการตัดและการประกบ ได้ทำการออกแบบเบื้องต้นไว้แล้วแต่ยังพบปัญหาในส่วนการลำเลียงแป้งปาท่องโก๋จากส่วนการตัดขึ้นรูปมายังส่วนประกบคู่ไม่สามารถทำได้ ซึ่งจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า การลำเลียงแป้งจากสายพานส่วนกลไกการตัดมายังส่วนประกบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อแยกชิ้นปาท่องโก๋ให้ห่างออกจากกันก่อนเพื่อประสิทธิภาพในการประกบ แต่เนื่องจากกลไกนี้มีความซับซ้อน ต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก รวมถึงเวลาในการทำโครงงานวิศวกรรมมีจำกัด ส่วนนี้จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต ชิ้นส่วน และกลไกที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นชิ้นส่วนที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก เพื่อจุดประสงค์ในการทดสอบ และปรับแต่งเพื่อสังเกตการทำงาน และทดสอบการทำงานรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสำหรับเครื่องจักรที่สามารถใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดย่อม จะต้องใช้วัสดุที่มีมาตรฐานและมีความแข็งแรงมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

C.T. McCarthy., M. Hussey., M.D. Gilchrist. (2006). On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part I – indentation experiments. Engineering Fracture Mechanics, 74, 2205–2224.

C.T. McCarthy., M. Hussey., M.D. Gilchrist. (2006). On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part II –Analysis of blade geometry. Engineering Fracture Mechanics, 74, 2205–2224.

Tim Brown., A. Ní Annaidh b., M.D. Gilchrist. 2004. Cutting forces in foods: experimental measurements. Journal of Food Engineering, 70, 165–170

Tony Atkins. 2005. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. Engineering Fracture Mechanics, 73, 2523–2531

A.G. Atkins_., Xianzhong Xu. 2004. Slicing of soft flexible solids with industrial applications International. Journal of Mechanical Science, 47, 479–492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองหาระยะความสูงของลูกกลิ้งและความหนาของชิ้นแป้ง

ความสูงลูกกลิ้ง (mm)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความหนาขาเข้า (mm)	ความหนาขาออก (mm)			ความหนาเฉลี่ย (mm)
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
3	50	6	5.0	5.0	5.0	5.0
	160		5.0	5.0	5.0	5.0
	290		4.8	4.8	5.0	4.8
	50	8	5.5	5.0	6.0	5.5
	160		5.5	5.5	5.0	5.3
	290		5.0	5.0	5.0	5.0
	50	10	8.0	7.0	6.0	7.0
	160		7.0	6.5	6.5	6.7
	290		6.0	6.0	6.0	6.0
4	50	6	6.0	7.0	6.5	6.0
	160		6.0	6.0	5.0	5.8
	290		6.0	5.5	6.0	5.7
	50	8	7.0	6.0	7.0	6.7
	160		6.0	6.5	7.0	6.5
	290		6.0	6.5	6.0	6.2
	50	10	7.5	7.0	8.0	7.5
	160		6.5	7.0	8.0	7.2
	290		6.0	7.0	8.0	7.0
5	50	6	6.0	7.0	7.5	6.8
	160		7.0	7.0	6.0	6.7
	290		6.0	6.0	5.0	6.5
	50	8	7.5	8.0	8.5	7.8
	160		7.0	7.5	7.0	7.2
	290		7.0	7.0	6.0	6.7
	50	10	8.0	9.0	8.5	8.5
	160		8.5	8.0	7.0	8.2
	290		8.0	8.0	7.0	7.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองหาความกว้างของชิ้นแป้ง

ความสูงลูกกลิ้ง (mm)	ความหนาชิ้นแป้งขาเข้า (mm)	ความกว้างขาเข้า (mm)	ความกว้างขาออก (mm)			ความกว้างเฉลี่ย (mm)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
3	6	20	23	23	23	23.0
		30	41	40	39	40.0
		40	45	47	40	44.0
	8	20	25	24	25	24.7
		30	36	35	35	35.3
		40	40	48	43	43.7
	10	20	25	27	25	25.7
		30	40	40	40	40.0
		40	55	55	52	54.0
4	6	20	23	22	21	22.0
		30	40	37	35	37.3
		40	40	40	39	39.7
	8	20	23	22	22	22.3
		30	34	33	33	33.3
		40	53	50	45	49.3
	10	20	22	22	19	21.0
		30	40	42	35	39.0
		40	48	53	48	49.7
5	6	20	22	21	22	21.7
		30	32	34	31	32.3
		40	40	43	44	42.3
	8	20	25	25	22	24.0
		30	33	36	35	34.7
		40	41	46	40	42.3
	10	20	25	25	35	28.3
		30	43	43	40	42.0
		40	50	55	50	51.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 การทดลองหาแรงกดที่ใช้ในการตัดของใบมีดตามยาว

น้ำหนักกด (g)	ความเร็ว (rpm)	องศา			องศาเฉลี่ย	หมายเหตุ
		1	2	3		
560	50	0.0	0.5	0.5	0.33	ไม่ขาด
	160	1.0	1.0	1.0	1.00	ไม่ขาด
	290	2.0	1.5	2.0	1.83	ไม่ขาด
775	50	0.5	0.5	0.0	0.33	ไม่ขาด
	160	1.0	1.0	1.5	1.17	ไม่ขาด
	290	1.5	2.0	1.5	1.90	ไม่ขาด
1200	50	0.0	0.0	0.0	0.00	ขาด
	160	0.0	0.0	0.0	0.00	ขาด
	290	0.0	0.0	0.0	0.00	ขาด
1400	50	0.0	0.0	0.0	0.00	ขาด
	160	0.0	0.0	0.0	0.00	ขาด
	290	0.0	0.0	0.0	0.00	ขาด

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหลังการตัด

ครั้งที่	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)
1	23	45	6
2	21	47	6
3	20	45	5
4	20	52	5
5	21	55	6
6	25	53	6
7	23	55	5
8	23	50	6
9	20	52	5
10	20	55	5
11	20	40	8
12	23	38	4
13	18	50	5
14	24	45	5
15	23	50	5
16	26	48	6

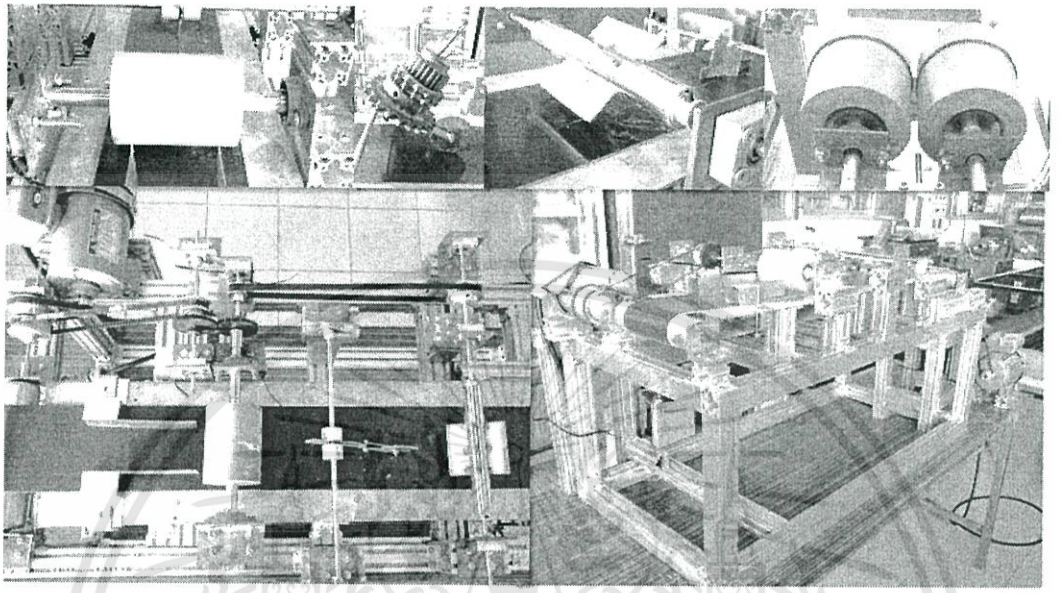
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหลังการตัด (ต่อ)

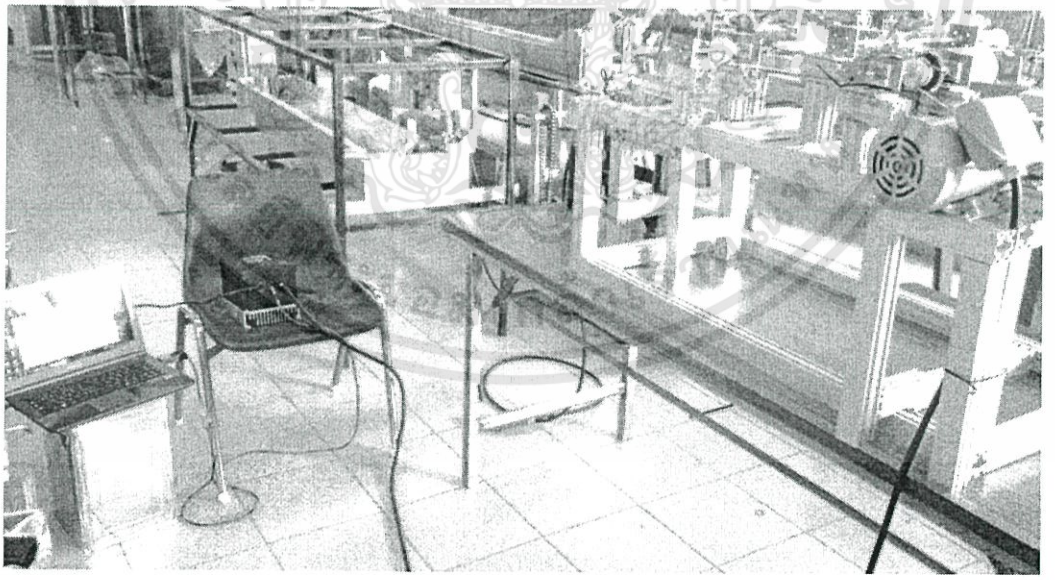
ครั้งที่	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)
17	18	53	5
18	20	60	5
19	22	54	5
20	20	50	5
21	20	45	7
22	25	45	5
23	18	48	6
24	21	47	6
25	15	50	5
26	20	50	5
27	24	60	5
28	15	55	5
29	24	60	5
30	22	60	4
31	21	60	6
32	24	55	5
33	17	56	6
34	25	60	7
35	20	52	5
36	22	52	6
37	19	53	5
38	23	55	5
39	19	60	5
40	24	55	6
41	21	45	6
42	22	43	6
43	20	45	5
44	22	48	6
45	21	47	7
46	25	48	7
47	23	50	6
48	18	50	6
เฉลี่ย	**21**	**51**	**6**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

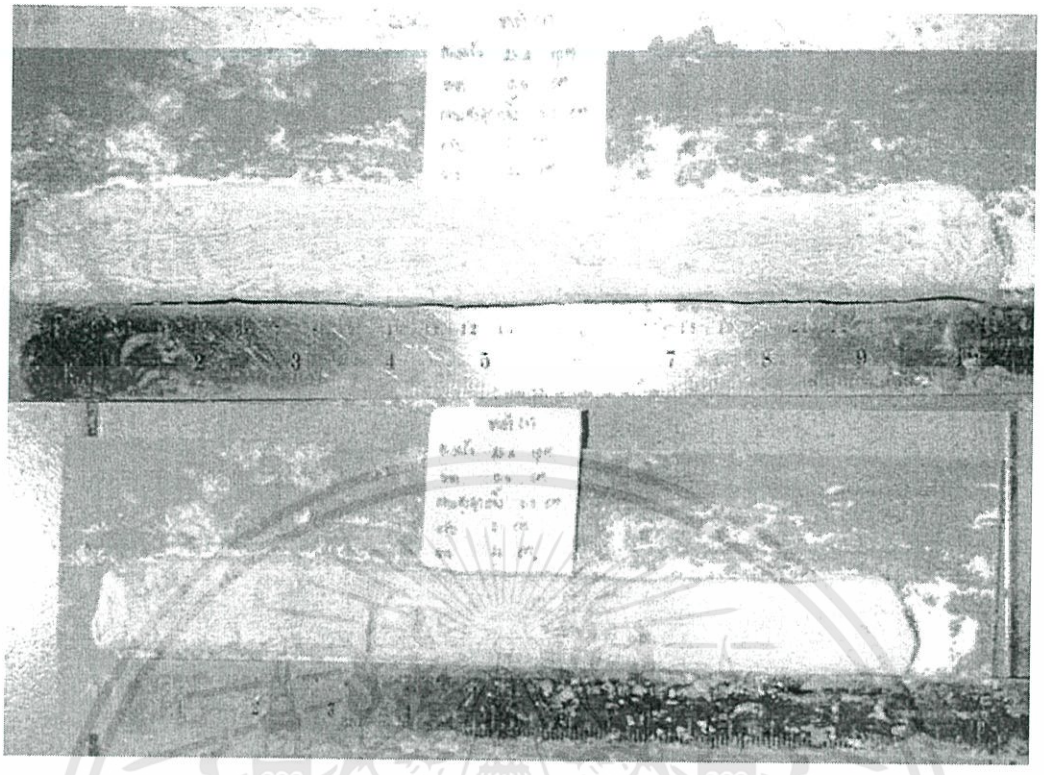


รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบ

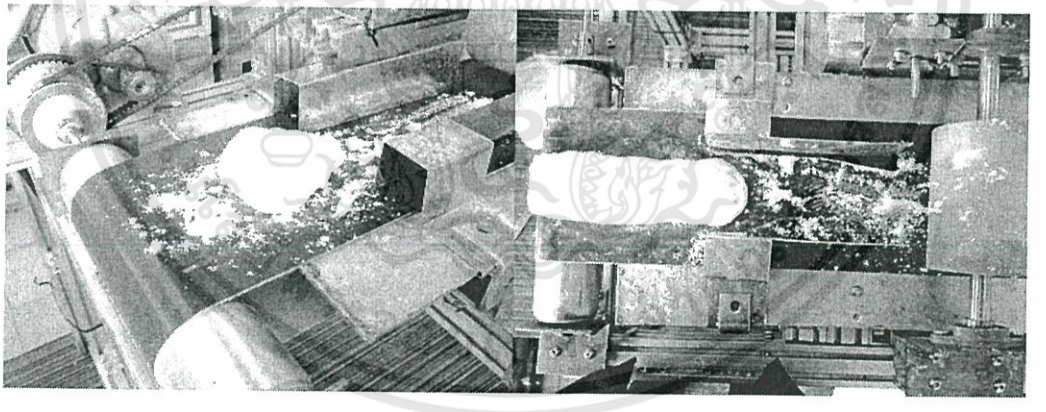


รูปที่ ข.2 การควบคุมมอเตอร์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ขึ้นรูปแป้งก่อนเข้าสู่กระบวนการรีด



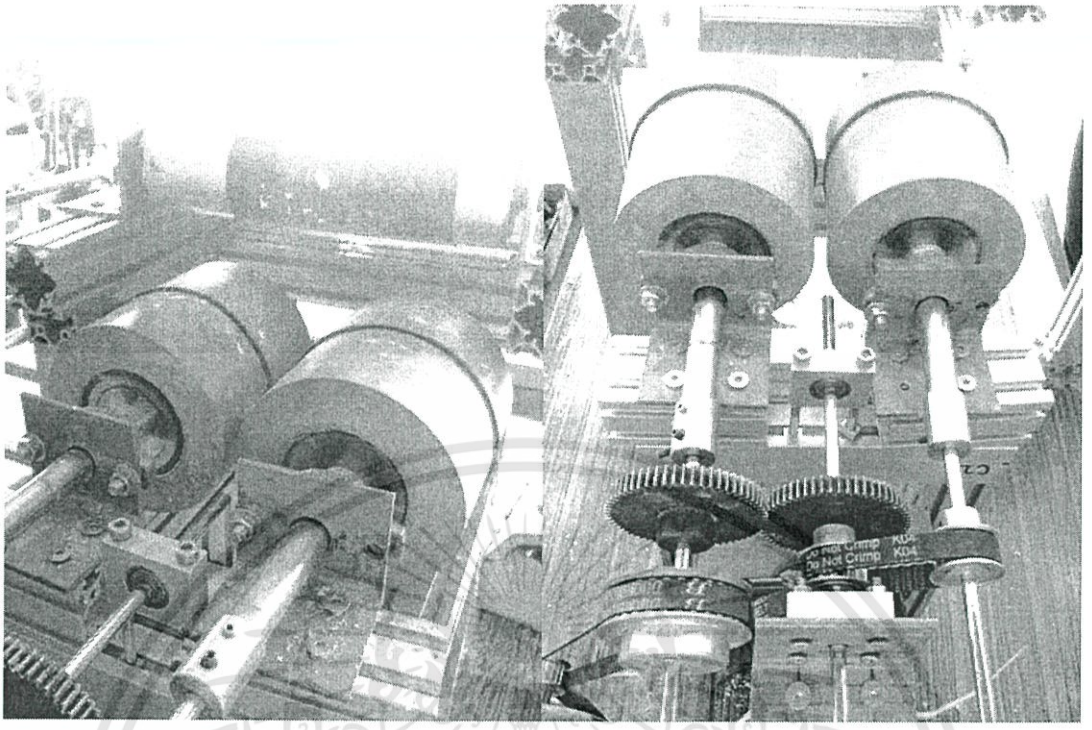
รูปที่ ข.4 ป้อนแป้งเข้าสู่กระบวนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.5 แป้งหลังกระบวนการตัด

รูปที่ ข.6 แป้งหลังกระบวนการประกบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 กลไกการประกบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การออกแบบและพัฒนากลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง
Design and Development of Dough Forming Mechanisms for Continuous Deep-Fried Dough Stick Production

นางสาวจรินทร ใส้เสือ และนางสาวโชติรส โพธิ์สุทธิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบ เพื่อออกแบบและทดสอบกลไกที่สามารถทำงานได้ โดยศึกษากระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋จริงโดยใช้คน พบว่าขนาดของชิ้นแป้งโดยเฉลี่ยมีขนาดความหนา 5 มม. ความกว้าง 20 มม. และความยาว 50 มม. ซึ่งใช้เป็นค่าเป้าหมายในการออกแบบ และทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์สรุปรูปแบบวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกลไกได้ หลังจากนั้นดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ และทดสอบเครื่องต้นแบบซึ่งถูกแบ่งเป็น 4 ชุดกลไก คือ 1) ชุดกลไกการรีดแป้งด้วยลูกกลิ้ง 2) ชุดกลไกการตัดตามยาว 3) ชุดกลไกการตัดตามขวาง และ 4) ชุดกลไกลูกกลิ้งประกบ ผลที่ได้พบว่า ระยะความสูงของลูกกลิ้งรีดแป้ง ความเร็วรอบการหมุน รวมถึงขนาดของชิ้นแป้งขาเข้า มีผลต่อความกว้างและความหนาขาออกของชิ้นแป้งที่ออกมา โดยที่ทางเข้าความหนาของแป้ง 6 มม. และความกว้าง 3 มม. ความสูงลูกกลิ้ง 3 มม. ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ตามลำดับ จะได้ขนาดของชิ้นแป้งทางออกตามที่ต้องการ ชุดกลไกการตัดตามยาวจะต้องมีแรงกดที่ใบมีดมากกว่า 11.77 นิวตัน จึงจะสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ ส่วนกลไกตัดตามขวางสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ทั้งหมด โดยการตั้งระยะให้ใบมีดสัมผัสกับสายพานพอดีจะมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับชุดกลไกลูกกลิ้งประกบ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 10 มม. เป็นระยะที่มีประสิทธิภาพในการประกบที่ดีที่สุด จากการทดสอบอย่างต่อเนื่องพบว่าการลำเลียงแป้งจากสายพานจากส่วนตัดมายังส่วนประกบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อแยกชิ้นปาท่องโก๋ให้ห่างออกจากกันก่อนเพื่อประสิทธิภาพการประกบให้ดีขึ้น โดยผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปรับปรุงและสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ในอนาคต

คำสำคัญ การขึ้นรูปปาท่องโก๋ การตัดแป้ง การประกบแป้ง

1.บทนำ

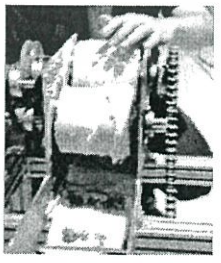
ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแหล่งอาหารอุดมสมบูรณ์แห่งหนึ่งของโลก เนื่องจากมีผลิตผลทางการเกษตรที่หลากหลาย สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ได้มากมาย ในปัจจุบันมีการแข่งขันทางการตลาดทางด้านอุตสาหกรรมอาหารสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการอาหารทั้งภายในและภายนอกประเทศที่มากขึ้น จึงทำให้เกิดธุรกิจอาหารขึ้นมากมาย ส่วนใหญ่จะเป็นไปในรูปแบบของธุรกิจอาหารขนาดเล็ก และมีจำนวนน้อยที่เป็นธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งหนึ่งในอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ธุรกิจอาหารขนาดเล็กเติบโตก้าวไปเป็นธุรกิจอุตสาหกรรมอาหารขนาดใหญ่ได้ นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือการขาดเทคโนโลยีทางวิศวกรรมในการผลิตอาหาร ซึ่งในปัจจุบัน การผลิตอาหารเพื่อจำหน่ายส่วนใหญ่เป็นรูปแบบของการใช้คนในการผลิตทำให้ได้ผลผลิตที่มีจำนวนน้อยใช้ระยะเวลาในการผลิตนาน และคุณภาพของผลผลิตไม่สม่ำเสมอ

รูปที่ 1 กระบวนการผลิตปาท่องโก๋ด้วยแรงงานคน

ปาท่องโก๋ เป็นอาหารว่างชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ซึ่งเป็นสินค้าที่อยู่คู่กับคนไทยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน นิยมรับประทานควบคู่กับ น้ำเต้าหู้ สังขยา กาแฟ หรือแม้กระทั่งโจ๊ก การขายปาท่องโก๋ก็เป็นไปในรูปแบบของธุรกิจขนาดเล็ก และผู้ประกอบการหลายรายต้องการจะขยายธุรกิจปาท่องโก๋ให้มีกำไรและคุณภาพมากขึ้นแต่ยังขาดเครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตที่ใช้ทดแทนแรงงานคนเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต และลดระยะเวลาในกระบวนการ เนื่องจากกระบวนการผลิตปาท่องโก๋นั้นมีความยุ่งยาก และมีหลายขั้นตอน ดังรูปที่ 1 ในส่วนของกระบวนการรีดแป้ง ได้ทำการวิเคราะห์และทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2 โดยในการทดลอง เมื่อใช้แป้งปาท่องโก๋ป้อนเข้าไปในเครื่องรีดแป้งอย่างต่อเนื่อง เพื่อรีดให้ได้แผ่นแป้งหลังรีดหนา 0.5 เซนติเมตร ผลปรากฏว่า ไม่สารถรีบแป้งให้ได้ตามต้องการได้เนื่องจาก แป้งปาท่องโก๋มีความเหนียว ทำให้แป้งติดไปกับ



รูปที่ 2 แป้งปาท่องโก๋หลังการป้อนเข้าสู่เครื่องรีดแป้งปาท่องโก๋ (รชยา ลลิตา และวีระวุฒิ , 2554)

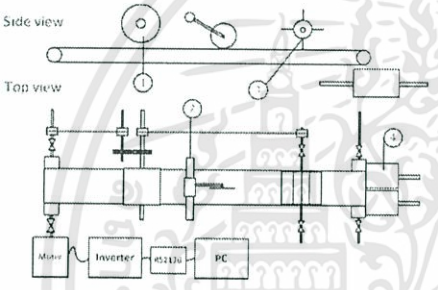
ลูกกลิ้งยาง ดังรูปที่ 2 และพบว่า การควบคุมความหนาของแผ่นแป้งที่ผ่านการรีดด้วยลูกกลิ้งจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งหลักและลูกกลิ้งปรับระยะ นอกจากนี้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งยังมีผลต่อความหนาของแผ่นแป้งด้วย ซึ่งความเร็วรอบที่สูงจะทำให้แผ่นแป้งหนาขึ้น (รชยา ลลิตา และวีระวุฒิ , 2554) Atkins et al.,2005 ได้ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการตัดของแข็งเหนียวนุ่มโดยใช้กรรไกร และใช้ใบมีดโค้ง พบว่ากรรไกรที่มีระยะการตัดที่มากจะให้แรงในการตัดมาก สำหรับใบมีดโค้ง ระยะรัศมีของใบมีดที่มากจะทำให้เกิดแรงในการตัดที่มาก โดยใช้อัตราส่วน slice/push เป็นตัวชี้วัด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับใบมีที่ใช้ในการตัดของ McCarthy et al.(2006) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาดัชนีที่สามารถบอกถึงความคมของใบมีด โดยใช้ใบมีดที่มีมุม 25 องศา และ 32 องศา ตัดลงไปในชิ้นงานที่ทำจาก Polyurethane พบว่าความคมของใบมีดไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัด และวัสดุที่ถูกตัดแต่ขึ้นอยู่กับลักษณะของความคมของใบมีดเท่านั้นเท่านั้น ซึ่งความคมจะเป็นตัวที่บอกถึงคุณภาพของพื้นผิวหน้าของชิ้นงานที่ถูกตัดและสามารถบอกถึงอายุการใช้งานของใบมีดได้อีกด้วย จากงานวิจัยเบื้องต้นสามารถนำมาวิเคราะห์และพัฒนาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ เพื่อเป็นแนวคิดต้นแบบให้ผู้ที่สนใจนำไปพัฒนาและออกแบบเครื่องผลิตปาท่องโก๋เพื่อใช้ในการขยายธุรกิจขายปาท่องโก๋ขนาดเล็กไปเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ได้ต่อไปในอนาคต

2. การออกแบบและทฤษฎีที่ใช้

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งปาท่องโก๋ที่ได้ทำการสำรวจจากกระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋จริงในท้องตลาด พบว่าขนาดของชิ้นแป้งปาท่องโก๋จากหลายร้านค้ามีความกว้าง 2 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร และความหนา 0.5 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นแป้งประกบคู่ และพบว่าการรีดแป้งปาท่องโก๋ไม่สามารถรีดแป้งโดยใช้ลูกกลิ้งรีดแป้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การขึ้นรูปแป้งก่อนกระบวนการตัดแป้งนั้นจึงใช้กำลังคนในการขึ้นรูปแป้งแทน จากข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำมาเป็นค่าเบื้องต้นสำหรับการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของกลไกการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้โดยมีส่วนประกอบดังนี้ได้แก่ 1) ชุดกลไกการรีดแป้ง 2) ชุดกลไกการตัดตามยาว 3) ชุดกลไกการตัดตามขวาง และ 4) ชุดกลไกการประกบ เพื่อให้แป้งหลังผ่านกระบวนการมีลักษณะเป็นคู่และมีขนาดตามต้องการด้วยการควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์โดยต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านเครื่องแปลงสัญญาณ RS2176 เพื่อง่ายต่อการปรับค่า ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบ

2.1 การออกแบบกลไกการรีดแป้ง

เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ก่อนกระบวนการตัดนั้นใช้กำลังคนในการขึ้นรูปแป้ง จึงจำเป็นต้องมีการปรับผิวหน้าแป้งปาท่องโก๋ เพื่อให้ได้แป้งปาท่องโก๋ก่อนกระบวนการตัดที่มีผิวหน้าเรียบ มีความหนาสม่ำเสมอ ดังนั้นในการออกแบบกลไกรีดแป้งจึงเลือกใช้ลูกกลิ้งที่ทำจากวัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่มมาใช้เป็นวัสดุที่เป็นตัวลูกกลิ้งเนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติ แข็ง เรียบ สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง และทนต่อการกัดกร่อนทางเคมี โดยค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งที่ใช้ต้องไม่เล็กจนเกินไป เนื่องจากการใช้ลูกกลิ้งขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลูกกลิ้งกับแป้งมากเกินไป ทำให้แป้งมีโอกาสติดลูกกลิ้งสูงขึ้น ดังนั้นการออกแบบจึงต้องออกแบบให้โอกาสที่แป้งปาท่องโก๋จะติดไปกับลูกกลิ้งน้อยที่สุด โดยเลือกใช้ลูกกลิ้งปรับผิวหน้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 75 มิลลิเมตร นอกจากนั้นการรีดแป้งยังต้องคำนึงถึงระยะความสูงระหว่างผิวลูกกลิ้งกับผิวของสายพานลำเลียง และความเร็วระหว่างผิวลูกกลิ้งกับความเร็วที่ผิวของสายพานลำเลียงให้มีความเร็วที่เท่ากัน เพื่อให้แป้งหลังการรีดมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร

2.2 การออกแบบกลไกตัดตามยาว

เลือกใช้รูปแบบของใบมีดกลม กดลงไปบนแป้งปาท่องโก๋ เพราะเป็นกลไกที่ไม่ยุ่งยากโดยหลักการสำคัญของการตัดแป้งตามยาวนั้น ต้องคำนึงถึงน้ำหนักที่กดลงบนแป้งเพื่อให้สามารถตัดขาดออกจากกันได้ จากการศึกษาคุณสมบัติของแป้งปาท่องโก๋จากเครื่อง Texture analysis พบว่าต้องใช้แรงกดสูงสุดเท่ากับ 2.93 นิวตัน หรือเท่ากับ 298 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการกดสูงสุดเท่ากับ 2.74 วินาที แต่เนื่องจากแป้งปาท่องโก๋มีความเร็วในการลำเลียง ดังนั้นน้ำหนักที่ใช้ตัดจึงต้องมีค่ามากกว่า 289 กรัม เป็นอย่างน้อย โดยใช้ใบมีดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ทำจากแสตนเลส 304 เนื่องจากทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นสนิม

2.3 การออกแบบเพลาตัดตามขวาง

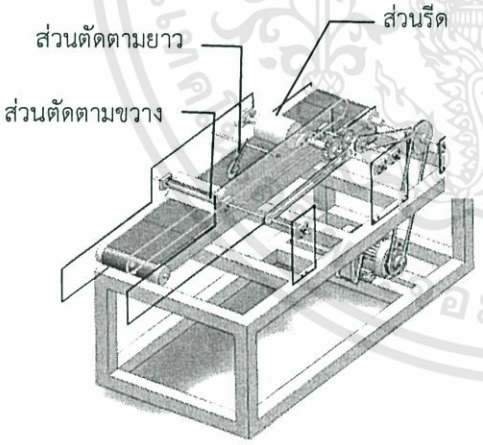
การออกแบบกลไกตัดตามขวางนั้นต้องออกแบบให้กลไกสามารถทำงานไปพร้อมกับสายพานลำเลียงได้ ดังนั้นจึงออกแบบให้ใช้กลไกการตัดใบมีดทรงกระบอกตัดตามยาว เพราะเป็นกลไกที่ไม่ยุ่งยาก สามารถลดโอกาสที่จะเกิดการสึกหรอระหว่างสายพานกับใบมีดได้ โดยการออกแบบนั้นต้องคำนึงถึง จำนวนใบมีดตัดรัศมีการตัดของใบมีด เพื่อให้ได้ความเร็วในการตัดเท่ากับความเร็วของสายพาน โดยในการออกแบบขนานเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาทรงกระบอกตัดตามขวางนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่ใหญ่จนเกินไป เนื่องจากมีผลต่อรูปร่างรอยตัดของแป้ง จากการคำนวณเพื่อให้ได้แป้งหลังตัดมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดความยาว 5 เซนติเมตร จึงออกแบบเพลาทรงกระบอกตัดตามยาวให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 74.8 มิลลิเมตร ความยาว 12 มิลลิเมตร เพื่อรองรับความกว้างของแป้งที่เพิ่มขึ้นหลังการปรับผิวหน้าแป้ง และออกแบบใบมีดจำนวนใบมีดเท่ากับ 4 ใบมีด เพื่อความสมดุลในการตัด

2.4 การออกแบบสายพานลำเลียง

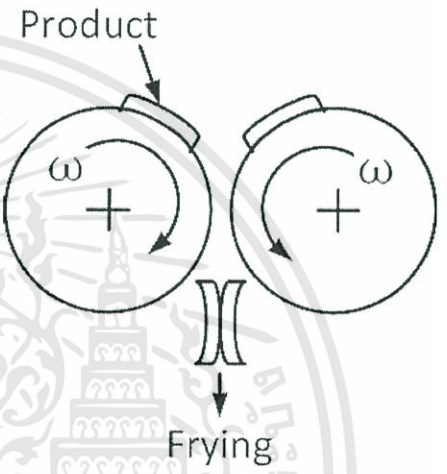
สายพานลำเลียงทำหน้าที่ในการลำเลียงแป้งปาท่องโก๋ เพื่อนำแป้งไปผ่านกระบวนการรีดแป้ง ตัดตามยาว และกระบวนการตัดตามขวาง วัสดุที่ใช้จึงเลือกใช้สายพานที่ทำจากโพลียูรีเทน เนื่องจากสามารถทนการเสียดสี ทนความร้อน ทนสารเคมี ได้ดี จากการศึกษาการออกแบบสายพานไม่ควรใช้ลูกกลิ้งขับสายพานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการขับเคลื่อนที่น้อยเกินไป จึงออกแบบให้ลูกกลิ้งขับสายพานมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มิลลิเมตร โดยออกแบบให้ความยาวของสายพานลำเลียงมีความยาว 1 เมตร เพื่อรองรับกลไกขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ทั้ง 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การออกแบบกลไกและเครื่องต้นแบบในการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่อง

2.5 การออกแบบกลไกประกบ

จากการศึกษากรรมวิธีการประกบแป้งปาท่องโก๋โดยใช้คน พบว่าหลังจากการตัดแป้งให้เป็นชิ้นแป้งตามขนาดที่ต้องการแล้ว มีการใส่น้ำที่ตัวแป้ง และมีการกดตรงกลางตัวแป้งเล็กน้อยให้แป้งติดกัน เพื่อให้แป้งมีลักษณะเป็นคู่ตามที่ต้องการ ดังนั้นกลไกการประกบจึงออกแบบให้ใช้ลูกกลิ้งยางซึ่งทำด้วยวัสดุโพลีเอสเตอร์เรซิ่มเช่นเดียวกับลูกกลิ้งปรับผิวหน้า 2 ลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูกจะหมุนเข้าหากัน ดังรูปที่ 5 โดยต้องคำนึกถึงระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ต้องออกแบบให้มีระยะห่างที่ไม่กว้างจนเกินไปและไม่แคบจนทำให้รูปร่างแป้งเสียหาย



รูปที่ 5 รูปแบบของการออกแบบกลไกประกบ

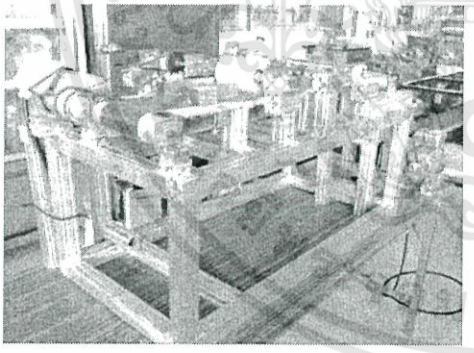
3. การสร้างและการทดสอบเครื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องต้นแบบขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องได้ทำการออกแบบโดยใช้พื้นฐานทางวิศวกรรมเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ การออกแบบส่วนประกอบเบื้องต้นมาจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการคำนวณแรงกระทำต่างๆโดยคำนึงถึงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนนั้น หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง เริ่มจากการขึ้นรูปแป้ง แป้งจะถูกลำเลียงมาตามสายพาน ผ่านลูกกลิ้งรีดแป้ง เพื่อให้แป้งมีขนาดหลังปรับผิวหน้าที่ความกว้าง 4 เซนติเมตร และความหนา 0.5 เซนติเมตร จากนั้นจะถูกลำเลียงผ่านใบมีดกลมเพื่อตัดตามยาว แป้งจะถูกแบ่งออกมาเป็น 2 ส่วน หลังจากนั้นจะถูกลำเลียงมายังใบมีดตัดตามขวาง เพื่อตัดให้แป้งปาท่องมีขนาดหลังตัดต่อ 1 ตัวมีความกว้างเท่ากับ 2 เซนติเมตร ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวเท่ากับ 5 เซนติเมตร และความหนาเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร เมื่อผ่านการตัดแป้งเรียบร้อยแล้ว แป้งจะมีลักษณะเป็นคู่ และจะถูกลำเลียงตามสายพานมาถึงส่วนของลูกกลิ้งประกบ แป้งจะตกลงไปบนลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก และหมุนเข้าหากันทำให้แป้งประกบติดกันเป็นคู่ๆ การทำงานของเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋ต้นแบบนั้นจะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์สามารถปรับความเร็วได้ เครื่องต้นแบบขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 6 จากการออกแบบพบว่าความเร็วต่ำสุดที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่องต้นแบบเท่ากับ 50 รอบต่อนาที

การออกแบบการทดลองในส่วนต่างๆนำมาซึ่งการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้กับเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง ได้แก่ ขนาดของแป้งขาเข้า ระยะความสูงของลูกกลิ้งปรับผิวหน้าแป้ง ความเร็วของลูกกลิ้งปรับผิวหน้าแป้ง น้ำหนักที่ใช้กดเพื่อตัดแป้งตามยาว ขนาดแป้งหลังกลไกการตัด ขนาดแป้งหลังประกบ อัตราการผลิต เป็นต้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้



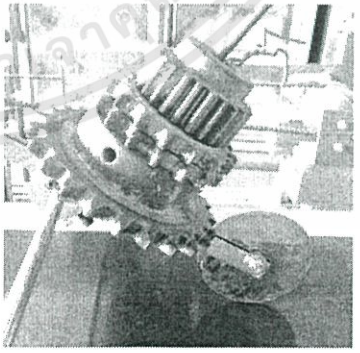
รูปที่ 6 เครื่องต้นแบบขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง

3.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อขนาดของแป้งหลังรีด ได้แก่ระยะความสูงของลูกกลิ้ง ความหนาของแป้งขาเข้า ความกว้างของแป้งขาเข้า รวมถึงความเร็วรอบในการรีด ทำการทดลองโดยปรับระยะความสูงระหว่างลูกกลิ้งรีดแป้งเทียบกับพื้นผิวสายพานเป็น 3 ระยะคือ ระยะ 0.3 เซนติเมตร 0.4 เซนติเมตร และ 0.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และความเร็วรอบที่ 3 ความเร็วคือ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที ตามลำดับ การทดลองเริ่มจากการป้อนแป้งที่มีความหนา 0.6 เซนติเมตร 0.8 เซนติเมตร และ 1 เซนติเมตรตามลำดับ ความกว้างของแป้งขาเข้าเท่ากับ 2 เซนติเมตร 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้แป้งหลังรีด ออกมามีความกว้าง 4 เซนติเมตร ความหนาเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร

3.2 การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว

การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้กดกับความเร็วรอบ โดยวัดค่าเป็นองศาที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับองศาเดิม ซึ่งทำมุมกับแนวระดับ 60 องศา ซึ่งในการทดลองใช้ตัวถ่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 7 เพื่อเทียบเป็นแรงที่ใช้กด 4 แรงกด เท่ากับ 5.49 นิวตัน 7.60 นิวตัน 11.77 นิวตัน และ 13.73 นิวตัน และทดลองปรับความเร็วรอบที่ 3 ความเร็วคือ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที เพื่อวิเคราะห์ความเร็ว และองศาที่เพิ่มขึ้นของใบมีดซึ่งมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการตัดแป้ง



รูปที่ 7 การใช้ตัวถ่วงน้ำหนักกดลงบนใบมีดตัดตามขวางเพื่อจำลองแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของกลไกการตัดตามขวางด้วยใบมีดทรงกระบอก

การทดลองหาประสิทธิภาพใบมีดทรงกระบอกตัดตามขวาง เพื่อศึกษาลักษณะการตัดของใบมีดทรงกระบอก ประสิทธิภาพและขนาดของชิ้นแป้งหลังการตัดตามขวาง โดยการวัดระยะความยาวของชิ้นแป้งทดสอบโดยการป้อนแป้งขนาดความกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร ทำซ้ำกัน 3 ครั้ง เพื่อหาระยะความยาวเฉลี่ยของชิ้นแป้งหลังการตัดทั้งหมด ที่ความเร็วรอบ 3 ความเร็วคือ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที ตามลำดับ

3.4 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบกับขนาดของแป้งหลังประกบ

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบกับขนาดของแป้งหลังประกบ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของลูกกลิ้งประกบและขนาดของแป้งหลังการประกบ โดยปรับระยะห่างลูกกลิ้ง 3 ระยะ คือ 0.6 เซนติเมตร 0.8 เซนติเมตร 1.0 เซนติเมตร 12 มิลลิเมตร เพื่อหาระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เหมาะสม สามารถทำให้แป้งหลังการประกบมีขนาดตามที่กำหนดและมีลักษณะติดกันเป็นคู่

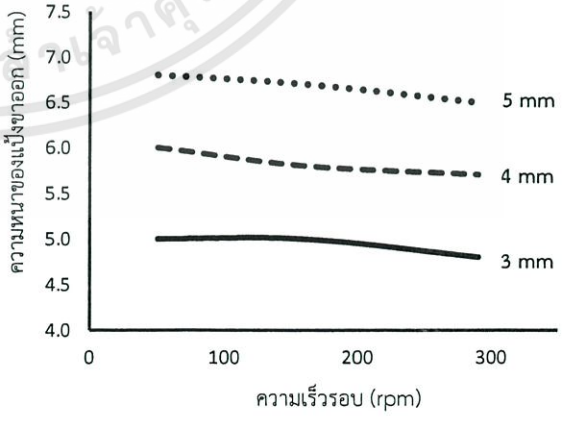
4.การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดลองที่ได้พบว่ามีนัยสำคัญหลายประการที่จะนำมาศึกษา จึงมีการทดลองที่ปรับค่าตัวแปรที่มีผลต่อรูปร่างแป้งปาท่องโก๋ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

4.1 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง

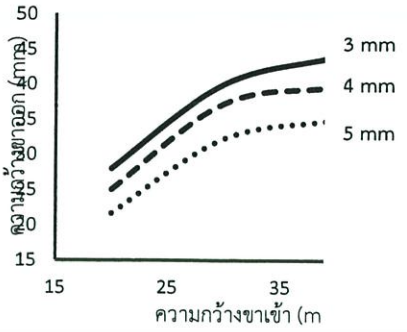
จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับลูกกลิ้งรีดแป้ง ได้แก่ ระยะความสูงของลูกกลิ้ง ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ความหนาและความกว้างของแป้งขาเข้าซึ่งมีผลต่อความหนาและความกว้างของแป้งขาออก เพื่อให้ได้แป้งหลังการรีดแป้งมีขนาดความหนา 0.5 เซนติเมตร และความกว้าง 4 เซนติเมตร พบว่า เมื่อปรับระยะความสูงของลูกกลิ้งมากขึ้น ความหนาของแป้งหลังรีดที่ออกมามีแนวโน้มมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มความเร็วของลูกกลิ้งมากขึ้นจะทำให้แป้งหลังรีดมีความหนาที่ลดลง ซึ่งจากการทดลองพบว่าขนาดความหนาและความกว้างของแป้งขาเข้ามีผลต่อโดยตรงต่อขนาดของแป้งหลังรีดที่ออกมา รวมถึงความเร็วรอบและระยะความสูงของลูกกลิ้งรีดแป้ง ซึ่งเมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบความหนาขาเข้า ระยะความสูงของลูกกลิ้งและความเร็วรอบ พบว่าเมื่อป้อนแป้งที่มีความหนาขาเข้าเท่ากับ 0.6 เซนติเมตร ที่ระยะความสูงของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.3 เซนติเมตร และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที สามารถรีดแป้งออกมาให้มีความหนาขนาด 0.5 เซนติเมตร แสดงดังกราฟรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความหนาของแป้งขาออกที่ความหนาขาเข้าเท่ากับ 0.6 เซนติเมตร

เมื่อศึกษาตัวแปรของความกว้างของแป้งขาเข้า ระยะความสูงของลูกกลิ้ง และความเร็วรอบพบว่าเมื่อป้อนแป้งที่มีความกว้างขาเข้าเท่ากับ 3 เซนติเมตร ระยะความสูงของลูกกลิ้ง เท่ากับ 0.3 เซนติเมตร และความเร็วรอบเท่ากับ 50 รอบต่อนาที สามารถรีดแป้งมีขนาดความกว้างเท่ากับ 4 เซนติเมตร แสดงดังกราฟรูปที่ 9



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความหนาขาออกที่ความหนาขาเข้า 6 mm

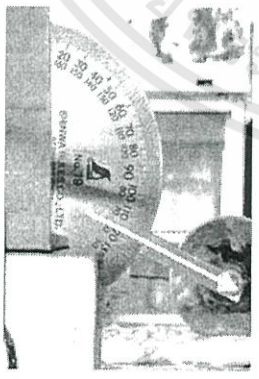
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 การทดลองหาความกว้างที่ความหนาชิ้นแป้งขาเข้า 6 mm. ความเร็วรอบ 50 rpm

4.2 การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว

การทดลองหาแรงกดที่เหมาะสมในการตัดตามยาว โดยการปรับความเร็วรอบ 3 ระดับได้แก่ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที เทียบกับการใช้แรงกดลงบนใบมีดตัดตามยาว พบว่าที่แรงกดเท่ากับ 5.49 นิวตัน 7.60 นิวตัน องศาของใบมีดเพิ่มขึ้นจากแนวเดิมเฉลี่ย 2 องศา และ 1 องศา ตามลำดับ ดังรูปที่ 10 และไม่สามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ ในทุกๆความเร็วรอบ และที่แรงกดเท่ากับ 11.77 นิวตัน และ 13.73 นิวตัน พบว่าไม่มีการเพิ่มองศาของใบมีด ในทุกๆความเร็วรอบและสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้สมบูรณ์ตลอดช่วงความยาวของตัวแป้ง



รูปที่ 10 องศาของใบมีดตัดตามขวางเพิ่มขึ้น 2 องศา

4.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของกลไกการตัดตามขวางด้วยใบมีดทรงกระบอก

การทดลองหาประสิทธิภาพของกลไกการตัดตามขวางด้วยใบมีดทรงกระบอกที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ ได้แก่ 50 รอบต่อนาที 160 รอบต่อนาที และ 290 รอบต่อนาที พบว่า ความเร็วไม่มีผลต่อการตัด และขนาดของแป้งหลังการตัดตามขวาง และพบว่าการตัดแป้งปาท่องโก๋โดยใช้ลูกกลิ้งทรงกระบอกตัดตามขวางสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้โดยมีขนาดความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 51 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 11 โดยพบว่าทุกๆชุดแป้งที่ทำการทดลองจะมี ส่วนของแป้งส่วนหัวท้ายที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการอยู่ คิดเป็นร้อยละของแป้งที่เสียไปเท่ากับ 5 ตัดต่อ 1 ชุด

รูปที่ 11 ขนาดของแป้งปาท่องโก๋หลังตัดตามยาวโดยมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 51 มิลลิเมตร

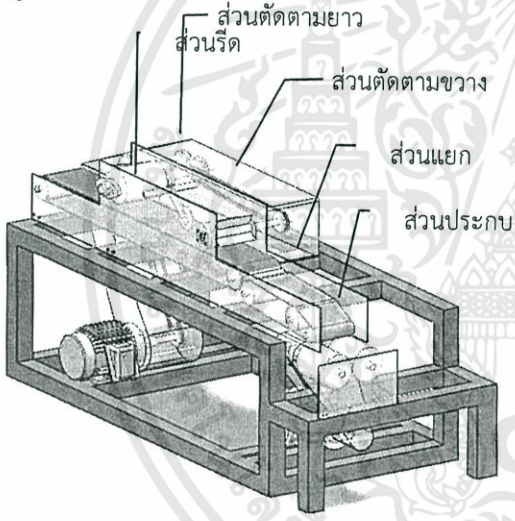
4.4 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบกับขนาดของแป้งหลังประกบ

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบกับขนาดของแป้งหลังประกบ ที่ระยะประกบเท่ากับ 6 มิลลิเมตร 8 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตร และ 12 มิลลิเมตร พบว่าการใช้ระยะระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 6 และ 8 มิลลิเมตรสามารถทำให้แป้งประกบคู่ติดกันได้ แต่มีผลทำให้แป้งหลังการประกบคู่เสียรูป โดยมีความกว้างของแป้งเพิ่มมากขึ้นและมีความหนาที่ลดลง แต่เมื่อใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบเท่ากับ 1 เซนติเมตร พบว่าเป็นระยะที่สามารถประกบคู่แป้งปาท่องโก๋ให้ติดกันได้ โดยไม่ทำให้แป้งเสียรูป และพบว่าที่ระยะมากกว่า 1 ไม่สามารถประกบแป้งให้ติดกันได้ โดยเมื่อทำการทดลองทอดแล้วจะได้ลักษณะแป้งปาท่องโก๋ติดกันเป็นคู่ตามที่ต้องการดังรูปที่ 12 ซึ่งพบว่าการลำเลียงแป้งจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายพานส่วนตัดมายังส่วนประกบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อแยกชิ้นปาท่องโก๋ให้ห่างออกจากกันก่อนเพื่อประสิทธิภาพการประกบที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 13

รูปที่ 12 แป้งหลังการประกบด้วยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 13 การปรับปรุงเครื่องต้นแบบในส่วนอุปกรณ์แยก

5. สรุปผลการวิจัย

การออกแบบเครื่องต้นแบบผลิตปาท่องโก๋แบบต่อเนื่อง เริ่มจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของแป้งปาท่องโก๋ กระบวนการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋โดยใช้คน และวิธีการขึ้นรูปเชิงกลในหลายรูปแบบ และนำข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามารวบรวมวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนากลไกต้นแบบการขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องโดยใช้พื้นฐานเชิงวิศวกรรม เพื่อสร้างเป็นเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบเพื่อมาทำการทดสอบการทำงานของกลไกต่างๆ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าระยะความสูงของลูกกลิ้งรีดแป้ง ความเร็วรอบการหมุน รวมถึงขนาดของชิ้นแป้งขาเข้า มีผลต่อความกว้างและความหนาขาออกของชิ้นแป้งปาท่องโก๋ที่ออกมา ซึ่งพบว่าที่ระยะความสูงและความเร็วรอบของลูกกลิ้งรีดแป้งที่สามารถรีดแป้งเพื่อให้ได้ความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 5 มม. คือระยะ 3 มม. และที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ส่วนกลไกการตัดตามยาวจะต้องมีแรงกดที่ใบมีที่มีค่ามากกว่า 11.77 นิวตัน จึงจะสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ ในส่วนกลไกทรงกระบอกตัดตามขวางสามารถตัดแป้งให้ขาดออกจากกันได้ทั้งหมด และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประกบเท่ากับ 10 มม. เป็นระยะที่มีประสิทธิภาพในการประกบที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่าการลำเลียงแป้งจากสายพานส่วนตัดมายังส่วนประกบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อแยกชิ้นปาท่องโก๋ให้ห่างออกจากกันก่อนเพื่อประสิทธิภาพการประกบที่ดีที่สุด จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องขึ้นรูปปาท่องโก๋ต้นแบบพบว่าอัตราการผลิตเท่ากับ 30 ตัวต่อนาที สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปรับปรุงและสร้างเครื่องขึ้นรูปแป้งปาท่องโก๋สำหรับการผลิตอย่างต่อเนื่องได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

C.T. McCarthy., M. Hussey., M.D. Gilchrist. (2006). On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part I – indentation experiments. Engineering Fracture Mechanics, 74, 2205–2224.

C.T. McCarthy., M. Hussey., M.D. Gilchrist. (2006). On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part II – Analysis of blade geometry. Engineering Fracture Mechanics, 74, 2205–2224.

Tim Brown., A. Ní Annaidh b., M.D. Gilchrist. 2004. Cutting forces in foods:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

experimental measurements. Journal of Food Engineering, 70, 165–170

Tony Atkins. 2005. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. Engineering Fracture Mechanics, 73, 2523–2531

A.G. Atkins_., Xianzhong Xu. 2004. Slicing of soft flexible solids with industrial applications International. Journal of Mechanical Science, 47, 479–492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้