รายงานโครงการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์

การออกแบบและสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

DESIGN AND CONSTRUCTION OF SAMI AUTOMATIC BOILED EGG PEEL MACHINE

วรพงศ์ บุญช่วยแทน Worapong Boonchouytan

จักรนรินทร์ ฉัตรทอง Jaknarin Chatthong

064283

633.1046

ว 176

2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนโครงการพัฒนาโครงงาน/สิ่งประดิษฐ์

จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2555

การออกแบบและสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

วรพงค์ บุญช่วยแทน[1] และ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง[1]

บทคัดย่อ

โครงการสิ่งประดิษฐ์นี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อลดเวลาในการปอกไข่ต้ม และลดการใช้ปริมาณแรงงานคนในขั้นตอนการปอกเปลือกไข่ต้ม ซึ่งวัสดุที่ใช้จะเป็นสเตนเลสทั้งหมด โดยจะคำนึงถึงความสะอาด และความปลอดภัย ส่วนหลักการทำงานของเครื่องคือ จะใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า ความเร็ว 1450 รอบต่อนาที ในการขับเคลื่อนแผ่นกะเทาะเปลือกและลูกกลิ้งดึงเปลือกโดยส่งกำลังด้วยสายพาน มีมอเตอร์ปรับความเร็วรอบได้ เพื่อจะใช้เป็นต้นกำลังในการขับแผ่นลำเลียงไข่ต้มในห้องกะเทาะเปลือก โดยไข่เป็ดจะปรับความเร็วของแผ่นลำเลียงไข่ต้มที่ 4 รอบต่อนาที และไข่ไก่จะปรับความเร็วของแผ่นลำเลียงไข่ต้มที่ 10 รอบต่อนาทีในส่วนของฝาปิดจะมีช่องใส่ไข่ซึ่งใส่ได้ครั้งละ1ฟอง เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจะมีความสามารถในการปอกไข่เป็ดต้มประมาณ 834 ฟองต่อชั่วโมง และไข่ไก่ต้มประมาณ 1327 ฟองต่อชั่วโมง คิดเป็น 3 เท่า ของแรงงานคนที่มีความสามารถในการปอกไข่เป็ดต้มเพียง 278 ฟองต่อชั่วโมง และ 4.4 เท่า ของแรงงานคนที่มีความสามารถในการปอกไข่ไก่ต้มได้เพียง 307 ฟองต่อชั่วโมง และในการปอกไข่เป็ดต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัตินั้นยังมีของเสียอยู่ 6 เปอร์เซ็นต์ ในการปอกไข่ไก่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัตินั้นยังมีของเสียอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผิวของไข่ต้มที่ออกมามีผิวสวยกว่าไข่ต้มที่ปอกด้วยแรงงานคนอีกด้วย สำหรับในการปอกไข่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจะให้กำไรเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 309,000 บาทซึ่งยังใกล้เคียงกับการปอกไข่ต้มด้วยแรงงานคนที่ให้กำไรเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 320,000 บาท แต่ในการปอกด้วยเครื่องจะใช้เวลาน้อยกว่า และเวลาที่เหลือสามารถนำไปผลิตเพิ่มหรือทำอย่างอื่นได้อีก

คำสำคัญ: เครื่องปอกไข่ต้ม จานกะเทาะเปลือก ลูกกลิ้งดึงเปลือก

---

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา 90000

DESIGN AND CONSTRUCTION OF SAMI AUTOMATIC BOILED EGG PEEL MACHINE

Worapong Boonchouytan[1] and Jaknarin Chatthong[1]

Abstract

This project artifact purposed to design and build the semi-auto machine for peeling boiled eggs. Moreover, the thesis aim to save the time for peeling boiled eggs and lower human power in the peeling process. The material of machine was stainless steel because considering of clean and safety. The main work of machine was 1/4 horsepower motor, a speed of 1450 rounds per a minute For the process of driving the egg shell husking dish and the egg shell removing roller, the machine used engine belt. A controllable speed motor could be adjusted for a source power in driving boiled egg dish in an egg shell husking room. For the duck eggs, the speed of sending eggs on the husking disk was 4 rounds per a minute For the chicken eggs, the speed of sending eggs would be more speeder, 10 rounds per a minute For the cover, there was a hole for putting an egg inside. This hole could be put only an egg. The semi-auto machine for peeling boiled eggs could peel 834 boiled eggs per an hour The machine could boil 278 eggs per an hour which was 4.4 Percent of human power. In an hour, human power could peel 307 eggs. The disadvantage of the machine was still having 6 Percent of wasted peeling for boiled chicken eggs and 10 Percent of wasted peeling for boiled duck eggs. Nevertheless, the skin of peeled eggs from the machine was more beautiful than from the human power. For the peeling boiled eggs with the semi-auto machine, the owner earned 309,000 baht per a month. For the peeling boiled eggs with human power, the owner earned 320,000 baht per a month. If comparison, the profit was similar, but if comparison the time of working, the machine was shorter and the less of the time could be do the others.

Keywords: Boiled egg peel machine, Bark plates, the roller shell

[1] Faculty of Engineering Industrial Engineering. University of Technology Srivijaya. Muang Songkhla 90000.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยในชั้นเรียนนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือ ร่วมใจหลายฝ่าย และประการสำคัญ รายงานวิจัยในชั้นเรียนนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนโครงการพัฒนาโครงงาน/สิ่งประดิษฐ์นักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2555

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุที่ใช้ในการปฏิบัติและโรงงานปฏิบัติการพื้นฐานทางวิศวกรรม (โรงงานอาคาร 11)

ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่กำลังใจและแนะนำแนวทางจนรายงานวิจัยในชั้นเรียนนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วรพงค์ บุญช่วยแทน

จักรนรินทร์ ฉัตรทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขต	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ไข่	7
2.3 ชิ้นส่วนเครื่องจักร และการออกแบบ	10
2.4 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร	63
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	66
3.1 แผนการดำเนินงาน	66
3.2 การออกแบบเครื่องจักร	68
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	80
3.4 วิธีการทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	91
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน และการวิเคราะห์	99
4.1 ผลการทดลอง	99
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	106
4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	107
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	116
5.1 สรุปผลการทดลอง	116
5.2 ข้อเสนอแนะ	117

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก ก	121
ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ	121
ภาคผนวก ข	125
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	125
ภาคผนวก ค	126
วิธีการใช้เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	126
ภาคผนวก ง	129
แบบเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	128

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	มาตรฐานของไข่ไก่	9
2.2	มาตรฐานของไข่เป็ด	10
2.3	มาตรฐานของไข่นกกระทา	10
2.4	ค่าตัวประกอบความล้า	22
2.5	เปรียบเทียบแบริ่งลูกกลิ้ง และแบริ่งปลอก	29
2.6	เปรียบเทียบการใช้งาน และคุณภาพของสายพาน	45
3.1	แผนการดำเนินของโครงงาน	66
3.2	รายการวัสดุและชิ้นส่วนมาตรฐาน	80
4.1	ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบแบ่งการจับเวลา	99
4.2	ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบจับเวลาต่อเนื่อง	100
4.3	ผลการทดลองการปอกไข่ไก่ต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบแบ่งการจับเวลา	101
4.4	ผลการทดลองการปอกไข่ไก่ต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบจับเวลาต่อเนื่อง	101
4.5	ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 4 รอบต่อนาที แบบแบ่งการจับเวลา	102
4.5	ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 4 รอบต่อนาที แบบแบ่งการจับเวลา (ต่อ)	103

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การเปรียบเทียบขั้นตอนการปอกไข่ต้มระหว่างแบบเดิมกับแบบใหม่	2
2.1	ส่วนประกอบของไข่	7
2.2	โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ	12
2.3	หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	13
2.4	โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง	13
2.5	หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัส	14
2.6	หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์	15
2.7	การพิจารณาเพลา	18
2.8	ลักษณะเพลาที่ถูกกระทำด้วยโมเมนต์บิด	23
2.9	ระยะโก่งที่ Cantilever มี Load W ที่ปลายอิสระ	25
2.10	ระยะโก่งที่ Simply Supported Beam with Concentrated Load	26
2.11	รูปแบบของระบบรองลื่น	29
2.12	การหมุนของฟันเฟือง	30
2.13	ลักษณะเฟืองขบกันภายนอก และขบกันภายใน	30
2.14	ลักษณะของเฟืองตรง	31
2.15	ลักษณะของเฟืองเฉียง	31
2.16	ลักษณะของเฟืองดอกจอก	32
2.17	ลักษณะของเฟืองหนอน	32
2.18	ลักษณะของเฟืองสะพาน	33
2.19	ลักษณะของเฟืองวงแหวน	33
2.20	ลักษณะของเฟืองก้างปลา	34
2.21	ลักษณะของเฟืองเกลียวสกรู	34
2.22	การส่งของเฟืองตรงเพื่อเครื่องกลึงอัตโนมัติ	35
2.23	ชุดเฟืองตรงภาพในหัวเครื่องกลึง	35
2.24	ลักษณะการใช้งานของเฟืองเฉียง	36
2.25	หน้าที่การใช้เฟืองสะพานเครื่องกลึง	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.26	หน้าที่การใช้งานเฟืองสะพานของเครื่องเจาะ	37
2.27	ลักษณะการใช้งานของเฟืองวงแหวน	37
2.28	การทำงานของเฟืองท้ายรถยนต์	38
2.29	การทำงานชุดเฟืองหนอนในหัวแบ่งเครื่องกัด	38
2.30	ลักษณะการทำงานของเฟืองเกลียวสกรู	39
2.31	ชื่อส่วนต่าง ๆ ของฟันเฟือง	39
2.32	สายพานแบนแบบเปิด	41
2.33	สายพานแบนแบบเปิดมีล้อกดสายพาน	42
2.34	สายพานแบนแบบไขว้	42
2.35	สายพานแบนแบบกึ่งไขว้	43
2.36	สายพานแบนแบบไขว้มีล้อกดสายพาน	43
2.37	รูปหน้าตัดของสายพานลิ่มมาตรฐาน	44
2.38	รูปหน้าตัดของสายพานลิ่มหน้าแคบ	44
2.39	การส่งกำลังด้วยอัตราทดชั้นเดียว	46
2.40	การส่งกำลังด้วยอัตราทดหลายชั้น	47
2.41	การกระทำของแรงในระบบการส่งกำลังด้วยสายพานลิ่ม	48
2.42	ส่วนประกอบสายพานลิ่ม	48
2.43	ล้อสายพานลิ่มแบบต่าง ๆ	49
2.44	ส่วนประกอบที่ใช้คู่กับลิ่ม	51
2.45	การกำหนดขนาดของลิ่มส่งกำลัง	51
2.46	ลักษณะการใช้งานของลิ่มอัดปลายมนโค้ง	52
2.47	Natural Rubber	59
2.48	Polychloroprene	59
2.49	Nitrile Rubber	60
2.50	Styrene- Butadiene Co-Polymer	60
2.51	Ethylene Propylene Diene Rubbers	61
2.52	Chlorosulfonated Polyethylene	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.53	Fluorocarbon Rubber	62
2.54	Silicone Rubbers	62
2.55	Polyurethane Rubbers	63
3.1	ขั้นตอน และวิธีการดำเนินงาน	67
3.2	ขนาดของล้อสายพาน และความเร็วรอบของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม	68
3.3	แรงตึงที่เกิดขึ้นบนล้อสายพาน	69
3.4	ลักษณะระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา	71
3.5	SFD ระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา	72
3.6	ขนาดของล้อสายพาน และความเร็วรอบของชุดลำเลียงไข่ต้ม	74
3.7	แรงตึงที่เกิดขึ้นบนล้อสายพาน	75
3.8	ลักษณะระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา	77
3.9	SFD ระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา	77
3.10	ลักษณะของชุดโครงเครื่องด้านบน	81
3.11	ลักษณะของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม	81
3.12	ลักษณะของใบลำเลียงไข่ต้ม	82
3.13	ลักษณะลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้ม	82
3.14	ลักษณะของแผ่นยึดมอเตอร์เกียร์ทด	83
3.15	ลักษณะของเพลาของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม	83
3.16	ลักษณะของขายึดเพลาจานกะเทาะเปลือกของไข่ต้ม	84
3.17	ลักษณะของ Bearing JIS B 1521 – 6800	84
3.18	ลักษณะของ Bearing JIS B 1521 – 6800	85
3.19	ลักษณะของ External Circilps JIS B 2804	85
3.20	ลักษณะของพูลเลย์ที่ใช้ในการส่งกำลัง	86
3.21	ลักษณะของฝาปิดชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้ม	86
3.22	ลักษณะของปะเก็นฝาปิดชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้ม	87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.23	ลักษณะของอ่างน้ำ	87
3.24	ลักษณะของ ปั้มน้ำไดโว	88
3.25	ลักษณะของ Single Phase Induction Motor	88
3.26	ลักษณะของมอเตอร์เกียร์	89
3.27	ลักษณะของสายพานร่อง A ขนาดเส้นรอบวง 34 นิ้ว	89
3.28	ลักษณะของระบบส่งกำลังของสายพานด้านล่าง	90
3.29	ลักษณะของตะแกรงรองรับเปลือกของไข้ต้ม	90
3.30	ลักษณะของการ์ดป้องกัน	91
3.31	ลักษณะของเครื่องในการทดลองครั้งที่ 1	92
3.32	ลักษณะของไข่ต้มจากการทดลองครั้งที่ 1	92
3.33	ลักษณะของเครื่องที่ปรับปรุงในครั้งที่ 1	93
3.34	ลักษณะของไข่ที่ผ่านการกะเทาะเปลือก	93
3.35	ลักษณะของชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์	94
3.36	ลักษณะของไข่เป็ด และไข่ไก่ที่ผ่านชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์	94
3.37	ลักษณะของชุดลูกกลิ้งลำเลียงไข่ต้ม	95
3.38	ลักษณะของชุดลูกกลิ้งดึงเปลือกไข่ต้ม	95
3.39	ลักษณะของระบบส่งกำลังของลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้ม	96
3.40	ลักษณะของกระบวนการทำงานที่สมบูรณ์ของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	96
3.41	ลักษณะของไข่ต้มที่มีเปลือกหลุดออกหมด	97
3.42	ลักษณะของไข่ต้มที่มีเปลือกติดอยู่กับไข่ขาว	97
3.43	ลักษณะของไข่ต้มที่มีไข่แดงหลุดออกจากไข่ขาวและแตก	98
3.44	ลักษณะของเครื่องสำเร็จที่พร้อมสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ	98
4.1	กำลังการผลิตเปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	106
4.2	ลักษณะการเปรียบเทียบการปอกไข่ต้มด้วยเครื่องกับแรงงานคน	107

บทที่ 1

บทนำ

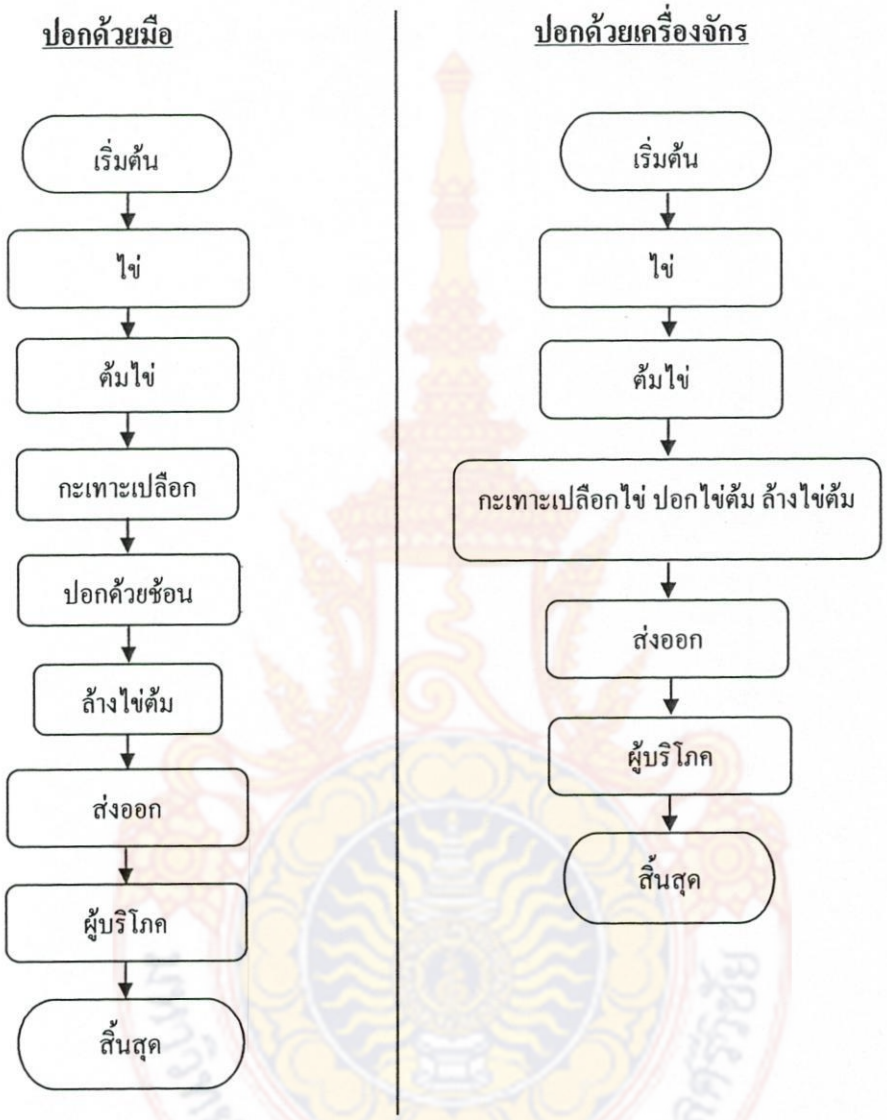
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันไข่เป็นอาหารดีมีประโยชน์ที่หาง่าย ปรุงง่ายที่สุด และราคาไม่แพงซึ่งทุกๆ คนก็สามารถหากินได้แถมย่อยง่าย อุดมด้วยโปรตีน วิตามิน A B C และธาตุเหล็ก รวมทั้งแคลเซียม รับประทานได้ทั้งเด็ก และผู้ใหญ่ ทำได้ทั้งคาวและหวานคนจีนถือว่าไข่เป็นของนำโชค ที่ต้องมีการต้มแจกเมื่อได้สมาชิกใหม่ในครอบครัว (สมาคมผู้เลี้ยงไก่ไข่, 2546)

จากการได้ศึกษาถึงกระบวนการปอกไข่ต้มของกลุ่มแม่ค้าในตลาด พบว่ามีความต้องการของตลาดรองรับเป็นจำนวนมาก และยังมีแนวโน้มว่ามีความต้องการของตลาดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่สภาพการปอกยังช้า ขณะที่จำนวนแม่ไก่ไข่มีการนำเข้าในปี 2554 (สมาคมผู้ผลิต ผู้ค้าและส่งออกไข่ไก่, 2546) ปริมาณการนำเข้าภายในต้นเดือนมกราคม ปริมาณไข่ไก่ที่จะออกสู่ตลาด ได้ประมาณการผลิตไก่ไข่ปี 2554 จากฐานข้อมูลการนำเข้าไก่ไข่พันธุ์ P.S.ปี 2553 โดยมีบริษัทผลิตลูกไก่ไข่พันธุ์โดยเบื้องต้นในปี 2554 คาดว่าจะมีการนำเข้าไก่ไข่พันธุ์จำนวน 522382 ตัว ได้จำนวนลูกไก่ไข่ 44494380 ตัว ได้ผลผลิตไข่ไก่ประมาณ 33 - 34 ล้านฟองต่อวัน และการบริโภคไข่ไก่ของคนไทยจากเดิมเฉลี่ย 165 ฟองต่อคนต่อปี ให้ถึง 200 ฟองต่อคนต่อปี สำหรับทางด้านการตลาด พบว่า ราคาพันธุ์สัตว์และไข่ไก่ทรงตัวปริมาณการบริโภคไข่ไก่โดยราคาไข่ไก่คละเฉลี่ยฟองละ 2.6 บาท ลูกไก่ไข่ตัวละ 25 บาท ไก่ไข่สาวตัวละ 144 บาท ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่เอ้กบอร์ด ส่วนในเรื่องสถานการณ์การส่งออกไข่ไก่ พบว่าปริมาณการส่งออกไข่ไก่ที่ผ่านมามีการส่งออกทั้งสิ้น 133 ล้านฟองคิดเป็นมูลค่า 337 ล้านบาท จากการผลิตที่อาศัยแรงคนงานเป็นหลักโดยเฉพาะในการปอกไข่ซึ่งขั้นตอนที่ช้าเสียเวลาใช้เวลานานในการปอก

จากการสอบถามข้อมูลจากแม่ค้าปอกไข่ต้มในตลาดรถไฟ (ป้าประพิศ ชูศรี สัมภาษณ์, 2554) ในจังหวัดสงขลาพบว่าการปอกไข่ต้มต่อวันได้ประมาณ 1000 ฟองโดยไข่ที่นำมาต้มส่วนมากจะเป็นไข่เป็ด เพราะไข่เป็ดมีเปลือกที่เหนียวปอกง่าย ก่อนการต้มจะต้องนำไข่ไปตากแดดก่อนเพื่อให้เปลือกแห้ง เมื่อต้มเสร็จเปลือกไข่จะปอกง่าย วิธีการปอกแม่ค้าจะใช้ช้อนในการแคะเปลือกของไข่ แต่ยังมีข้อเสียคือ ผิวของไข่ขาวที่ออกมา มีรอยขรุขระเนื่องจากโดนช้อนที่ใช้ในการปอกในการต้มจะต้มครั้งละประมาณ 200 - 400 ฟอง ใช้เวลาในการต้มประมาณ 12 นาทีเวลาที่ใช้ในการปอกเฉลี่ย

เท่ากับ 6 ฟองต่อนาที ซึ่งใน 1 วันจะใช้เวลาในการปอกเท่ากับ 166.66 นาที หรือประมาณ 1 ชั่วโมง 42 นาที ต้นทุนในการผลิตประมาณ 8000 บาทต่อวันได้กำไรประมาณวันละ 300 บาท



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบขั้นตอนการปอกไข่ต้มระหว่างปอกด้วยมือกับปอกด้วยเครื่องจักร

จากรูปที่ 1.1 เห็นได้ว่าการปอกด้วยมือโดยใช้แรงงานคน ซึ่งขั้นตอนการกะเทาะเปลือกไข่ ปอกด้วยช้อน และล้างไข่ต้มนั้นจะอยู่คนละขั้นตอนกัน จึงต้องใช้เวลานานทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จึงควรมีการปรับปรุงด้วยวิธีปอกด้วยเครื่องจักร โดยรวมขั้นตอนการกะเทาะเปลือกไข่ ปอกไข่ต้ม และล้างไข่ต้มให้อยู่ในขั้นตอนเดียวกัน เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน และลดเวลาในการผลิต

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ มาทำงานแทนแรงงานคนที่มีจำกัด เพื่อลดเวลาในการผลิตลง เป็นการเพิ่มผลผลิตให้กับผู้ประกอบการ และเพิ่มปริมาณการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยคำนึงถึงความสะอาด ความปลอดภัยทั้งผู้ปฏิบัติงาน และผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อลดเวลาในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพของการปอกไข่ต้ม

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ออกแบบ และสร้างเครื่องปอกเปลือกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจำนวน 1 เครื่อง

1.3.2 สามารถปอกไข่ไก่ต้มสุก และไข่เป็ดต้มสุก ได้ไม่น้อยกว่า 8 ฟองต่อนาที

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 สามารถนำเครื่องปอกไข่ไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อม

1.4.2 สามารถลดปัญหาวิธีการทำงานด้วยแรงงานคน มาเป็นการทำงานโดยใช้ เครื่องจักรทดแทน

1.4.3 สามารถเพิ่มผลผลิตในกระบวนการทำอาหารที่จะต้องใช้ไข่ต้มเป็นวัตถุดิบ

1.4.4 สามารถนำความรู้ที่เรียนมานำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบเครื่องจักรได้

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบ และสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยเบื้องต้นจะต้องทราบถึงกรรมวิธีในขั้นตอนการผลิต เพื่อจะนำมาประยุกต์และออกแบบการทำงานของเครื่องจักรให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในการออกแบบและสร้างเครื่องจักรนั้นจำเป็นต้องให้ความสำคัญในเรื่องของความสะอาด ความปลอดภัยต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคเป็นสำคัญ รวมทั้งการออกแบบรูปร่าง และชิ้นส่วนต่างๆ จะต้องคำนึงต้นทุนในการผลิต การบำรุงรักษาที่เหมาะสม เพื่อให้เครื่องจักรนั้นสามารถทำงานในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ทำโครงการได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องปอกเปลือกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ (จีรนันท์อิศรางกูร ณ อยุธยา และ สลิลลา คุปต์พงศกร, 2541) เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกไข่ต้มแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการปอกเปลือกไข่ต้มที่สามารถปอกไข่ไก่ได้ทุกขนาด โดยใช้หลักการของลูกกลิ้ง 2 ตัว แต่ละตัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร และยาว 72 เซนติเมตร หุ้มด้วยผิวยางที่คัดเลือกแล้ว หนา 0.1 เซนติเมตร วางขนานกัน และหมุนเข้าหากัน เป็นตัวสะกิดเปลือกไข่ ส่วนไข่ต้มที่ถูกนำมาเข้าเครื่องปอกเปลือกนั้น จะต้องผ่านกรรมวิธีในการต้มไข่ที่ถูกต้อง ตามที่ได้ทดลองหาวิธีต้มไข่ที่เหมาะสมที่สุดแล้ว และทำให้ได้ไข่ต้มที่สามารถปอกเปลือกได้ง่าย ในการออกแบบเครื่องนั้น ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ การหาผิวหุ้มลูกกลิ้งที่เหมาะสม สำหรับสะกิดเปลือกไข่ การออกแบบขนาด ความยาว และความชันของลูกกลิ้งที่เหมาะสมการออกแบบส่วนสำหรับกะเทาะเปลือกไข่ และระบบการเดินเครื่องทั้งหมด เครื่องปอกเปลือกไข่ต้มเครื่องนี้ เมื่อนำมาทดสอบหาประสิทธิผลของเครื่องจะได้ว่าเครื่องปอกเปลือกไข่ต้มนี้สามารถปอกเปลือกไข่ต้มประมาณ 7 ฟองต่อนาที คิดประสิทธิผลได้ 79.33 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ใช้ในการปอกเฉลี่ยต่อฟอง คือ 8.6 วินาที เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้คนปอก ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ยฟองละ 10.4 วินาที ในทำนองเดียวกันกับ (สักวกูณฐ์ สายวงษ์ใย, 2549) ได้สร้างเครื่องปลอกเปลือกไข่ต้มอัตโนมัติ โดยเครื่องที่สร้างขึ้นจะมีหลักการทำงานที่เริ่มต้นที่ชุดกะเทาะเปลือก โดยจะทำการหมุนเพื่อทำการกะเทาะเปลือกของไข่ที่ต้มเกิดการแตกร้าวแล้วจึงไหลผ่านไปยังชุดลำเลียงของรางรับไปยังชุดปลอกเปลือกไข่ต้ม และ

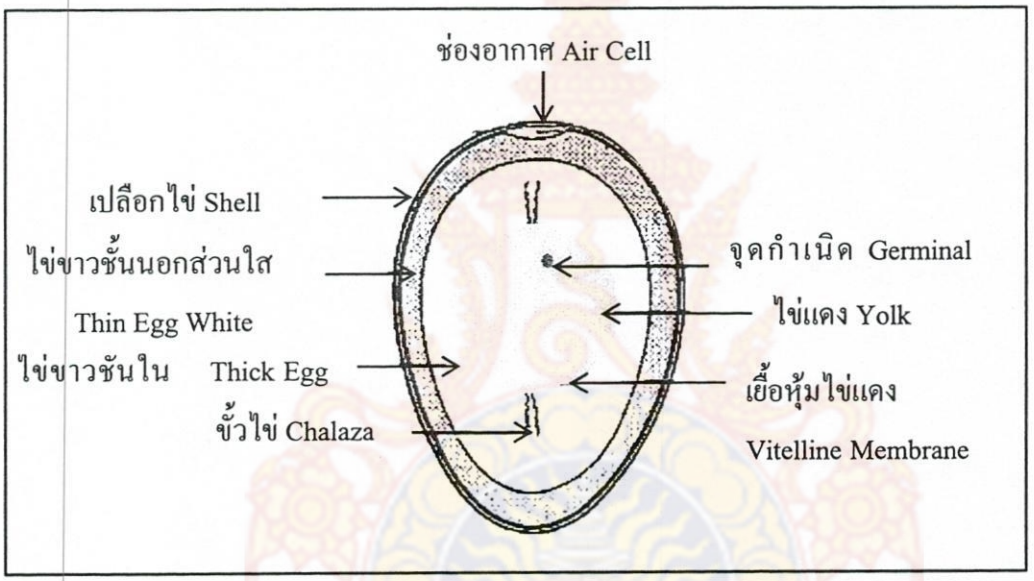
ชุดกด ซึ่งชุดปลอก และชุดกดนั้นจะทำงานไปพร้อมกันโดยที่ชุดปลอกเปลือกจะหมุนเข้าหากันเพื่อให้ผิวสัมผัสของเปลือกไข่ที่แตกร้าวติดกับชุดยางปลอกเปลือกเพื่อให้ดึงเยื่อของเปลือกไข่ออกโดยรับแรงกด และแรงดันในการเคลื่อนที่จากชุดกดไข่จะไหลออกมายังถาดรองรับที่อยู่ภายนอกที่คอยรองรับไข่ต้มที่ปลอกเปลือกเสร็จแล้วทั้งนี้การทำงานสามารถปรับระยะของเครื่องปลอกเปลือกไข่ไก่ได้ทั้งเบอร์ 0 1 2 และ3 โดยที่ระยะของการบีบจะต้องมีการปรับให้สัมพันธ์กันกับขนาดของไข่ไก่ที่กำหนด จากผลที่ออกมาจากการปอกไข่ด้วยเครื่องปอกไข่ต้มปรากฏว่าสามารถปอกได้เท่ากับ 6 ฟองต่อนาที เช่นเดียวกันกับ (ธีรวัฒน์ แกล้วกล้า, 2548) สร้าง และหาประสิทธิภาพเครื่องปอกไข่ต้ม การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง และหาประสิทธิภาพเครื่องปอกไข่ต้มโดยหวังว่าจะสามารถนำไปช่วยผู้ประกอบกิจการด้านอาหารเพื่อพัฒนาคุณภาพและเพิ่มผลผลิต ทั้งนี้ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานในการวิจัยคือเครื่องปอกไข่ต้มที่สร้างขึ้นสามารถปอกเปลือกไข่ต้มได้ประมาณ 10-15 ฟองต่อนาที ได้ไข่ที่มีคุณภาพสมบูรณ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องในด้านคุณภาพเครื่องปอกไข่ต้ม สำหรับเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบสอบถาม โดยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คนที่มีประสบการณ์ด้านการควบคุมระบบไฟฟ้าและมีความรู้ทางด้านออกแบบเครื่องจักรกลเป็นผู้ประเมิน และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย ทั้งนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลโดยการนำค่าต่างๆที่ได้มาหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (Item Objective Congruency Index) รวมทั้งมีการทดลองใช้เครื่องปอกไข่เปรียบเทียบกับการปอกไข่ต้มโดยแรงงานคน ซึ่งผลที่ได้ในการวิจัยครั้งนี้ปรากฏว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องในคุณภาพโดยแยกเป็นด้านวัตถุประสงค์ในการสร้างเครื่องปอกไข่ต้มได้ค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถามเท่ากับ 0.87 ด้านประสิทธิภาพได้ค่า ค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม เท่ากับ 0.93 และจากการทดลองใช้เครื่องพบว่าเครื่องสามารถปอกไข่ต้มได้เฉลี่ย 14 ฟองต่อนาที ได้ไข่ที่มีคุณภาพสมบูรณ์คิดเป็นร้อยละ 96 สรุปผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ และผลการทดลอง ใช้เครื่องที่สร้างขึ้นในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ มีผลในทำนองเดียวกันกับ (Jerome Frechou and Gilles Isambert, 1991) การประดิษฐ์นี้เกี่ยวข้องกับเครื่องปอกเปลือกไข่ต้มอัตโนมัติสำหรับเครื่องประกอบด้วยเฟรม ขาตั้ง และเพลาที่หมุนหมุนอยู่ในแบริ่งที่ส่วนท้าย และมีถ้วยที่ส่วนหัวเพื่อรองรับไข่ต้มไปยังรางลำเลียงไข่ต้มมายังช่อง และมีแขนส่งไข่ไปยัง จานที่อยู่รอบนอกผ่านชุดของตัวปลดเปลือกไข่ออก โดยใช้สปริงกดให้เปลือกไข่หลุดออกจากช่องด้านล่างเครื่องปอกไข่ต้มนี้อาจจะนำไป ประยุกต์ใช้ในการปอกเปลือกไข่ต้มในระดับอุตสาหกรรมได้ อีกทั้งมี (Radu Sion., Mikhail Atallah and Sunil Prabhakar) ใช้เครื่องมือวัดไข่แดงต้มเพื่อหาปริมาณระดับของกรด Linoleic Conjugated ที่อยู่ในไข่แดงงานวิจัยนี้มีการศึกษาการเสริมสร้างกรด ไขมันให้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อ

สุขภาพที่อาจรวมกับ เป็นกรดไขมันในอาหารของไก่ไข่นำไปสู่การรวมตัวกันของเป็นกรดไขมันลงในไข่ การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในไข่แดง (Fatty Acids) ซึ่งเป็นองค์ประกอบทำให้ไข่แดงมีความหนาแน่นลดลง การศึกษาครั้งนี้ ถูกออกแบบมาเพื่อการพัฒนาเครื่องมือการทดสอบเพื่อกำหนดลักษณะพื้นผิวของไข่ต้มสุกที่ได้รับ จากแม่ไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมที่มีระดับแตกต่างกันของเป็นกรดไขมัน และแหล่งไขมันอื่น ๆ การทดสอบที่สองมีการรวม ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ FA เพิ่มให้กับอาหาร และความแน่นของไข่แดงต้ม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในพารามิเตอร์ความหนาแน่นของไข่แดงจากไข่แม่ไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริม เป็นกรดไขมัน1 กรัม ต่อ FA 3 และ 5 กิโลกรัม (ไม่รวมไขมันในอาหารอื่น ๆ) และไข่แดงในเชิงพาณิชย์ เป็นกรดไขมัน 30 และ 35 กรัม ต่อ FA 3 และ 5 กิโลกรัม จากน้ำมันดอกทานตะวันโอเลอิคสูง (HOSO) ในอาหาร 3 กิโลกรัม ซึ่งรวมถึงเป็นกรดไขมัน 1 กรัม ซึ่งจะทำให้พารามิเตอร์ความหนาแน่นลดลง เพื่อให้ได้ระดับใกล้เคียงกับไข่ในเชิงพาณิชย์ มีผลคล้ายกันกับ (Perng Kwei Lei, 2010) ไข่ต้มมีบทบาทสำคัญกับตลาดภายในประเทศ 10000 – 20000 ฟองที่ใช้ในกระบวนการผลิตแต่ละวัน ผู้ออกแบบจึงทดลองและออกแบบพัฒนาเครื่องจักรที่ช่วยในกระบวนการต้มไข่ เป้าหมายหลักของโครงการนี้คือศึกษาผลกระทบบางส่วนจากไข่แดงที่ส่งผลต่อคุณภาพอาหารจึงออกแบบ และสร้างเครื่องต้มไข่ให้มีปริมาณการต้ม 5000 ฟองต่อชั่วโมง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทางกลุ่มได้นำเอาบางส่วนของแต่ละงานวิจัยมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบ และสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ ในส่วนของลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้มทางกลุ่มได้แนวคิดมาจากเครื่องปอกเปลือกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจัดทำโดย จีรนันท์ อิศรางกูร ณ อยุธยาและสลิลลา คุปต์พงศกร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร ซึ่งเป็นการปอกเปลือกไข่ต้มที่สามารถปอกไข่ไก่ได้ทุกขนาด โดยใช้หลักการของลูกกลิ้ง 2 ตัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร และยาว 72 เซนติเมตร หุ้มด้วยผิวยางที่คัดเลือกแล้ว หนา 0.1 เซนติเมตร วางขนานกัน และหมุนเข้าหากัน เป็นตัวสะกิดเปลือกไข่ ส่วนไข่ต้มที่ถูกนำมาเข้าเครื่องปอกเปลือกนั้น ส่วนห้องกะเทาะเปลือกไข่ ได้นำแนวคิดมาจากเครื่องปลอกเปลือกไข่ต้มอัตโนมัติ ซึ่งจัดทำขึ้นโดย สักวกูณฐ์ สายวงษ์ใย สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จะมีหลักการทำงานที่เริ่มต้นที่ชุดกะเทาะเปลือก โดยจะทำการหมุนเพื่อทำการกะเทาะเปลือกของไข่ที่ต้มเกิดการแตกร้าวแล้วจึงไหลผ่านไปยังชุดลำเลียงของรางรับไปยังชุดปลอกเปลือกไข่ต้มและชุดกด

2.2 ไข่

ไข่นับว่าเป็นอาหารที่ราคาถูก ประกอบอาหารได้หลายชนิดและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารอาหารหลายชนิด ไข่ขาวมีโปรตีนสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ส่วนไข่แดงมีสารอาหารหลายชนิด ทั้งโปรตีน ไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไขมันไม่อิ่มตัว จึงช่วยลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจขาดเลือด ไข่มีมีวิตามินแทบทุกชนิด ยกเว้นวิตามิน C นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุสูง เช่นกรดโฟลิก ธาตุเหล็ก ที่ป้องกันโลหิตจาง และมีคุณค่าเทียบเท่าธาตุเหล็กในเนื้อสัตว์แต่เคี้ยวและย่อยง่ายกว่า นอกจากนี้ยังมีโคลีนซึ่งช่วยเสริมสร้างความจำโดยส่วนประกอบหลักจะแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของไข่ (ส่วนประกอบของไข่, 2546)

2.2.1 ส่วนประกอบของไข่ประกอบด้วย 5 ส่วนคือ

1) เปลือกไข่ อาจมีสีน้ำตาลหรือสีขาว ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์แม่ไก่ สีไข่ไม่มีผลใดๆ ต่อคุณค่าทางโภชนาการแต่อย่างใด เช่น ไข่ไก่พันธุ์เล็กฮอร์นมีเปลือกสีขาว ส่วนไข่ไก่พันธุ์โรดไอร์แลนด์มีเปลือกสีน้ำตาลในเปลือกไข่จะมีคอลลาเจน (Collagen) สานเป็นตัวตาข่าย และมีหินปูนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เปลือกแข็ง เปลือกไข่จะมีรูขนาดเล็กมาก มองด้วยตาเปล่าจะไม่เห็น อากาศและความชื้นสามารถแรกผ่านรูเล็กๆที่อยู่ในไข่ได้ อากาศจำเป็นสำหรับตัวอ่อนหายใจ เมื่อไข่ออกมาใหม่ๆ จะมีเมือกเคลือบที่เปลือกไข่ด้านบน เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศ และน้ำผ่านเข้าไปได้

เปลือกไข่ในช่วงแรกๆจึงมีลักษณะเป็นนวล เมื่อเก็บไว้นานๆ เมือกเหล่านี้จะแห้งไป เปลือกไข่จึงมีอากาศถ่ายเทเข้าออกได้มากขึ้นทำให้ไข่เสียเร็ว

2) เยื่อหุ้มไข่ ประกอบไปด้วย ชั้นนอกที่ติดเปลือกมีชื่อเรียกว่า Shell Membrane ชั้นในที่ติดกับไข่ขาวเรียกว่า Egg Membrane เยื่อชั้นนอก และชั้นในจะชิดกันตลอด แต่แยกกันที่ด้านป้านของไข่ซึ่งมีโพรงอากาศ

3) โพรงอากาศ เป็นช่องว่างที่อยู่บริเวณด้านป้านของไข่ อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นใน เมื่อไข่ออกมาใหม่ๆ อุณหภูมิของไข่ยังสูง จึงไม่มีช่องว่าง ต่อเมื่อเมื่อไข่เย็นลง ของเหลวภายในไข่หดตัว ทำให้เกิดเป็นโพรงอากาศขึ้น และถ้าหากมีน้ำระเหยออกไปมาก ก็จะทำให้โพรงอากาศใหญ่ขึ้นด้วย

4) ไข่ขาวประกอบไปด้วย ไข่ขาวชั้นนอกสุด จะค่อนข้างเหลว อยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ ถัดมาเป็นไข่ขาวข้น มีปริมาณมากกว่าครึ่งของไข่ขาวทั้งหมด ส่วนชั้นในสุดเป็นไข่ขาวอย่างเหลว ในไข่ขาวประกอบด้วยน้ำ และโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ มีไขมันบ้างเล็กน้อย ลักษณะที่เป็นเมือกของไข่ขาวข้น เกิดจากคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่

5) เยื่อหุ้มไข่แดง มีประโยชน์คือ ช่วยหุ้มไข่แดงเอาไว้โดยรอบไข่แดง (Yolk) ไข่แดงจะอยู่กลางฟองโดยการยึดของเยื่อ ที่เป็นเกลียวแข็ง อยู่ด้านหัวและท้ายของไข่แดง และยื่นเข้าไปในไข่ขาวไข่แดงมีความเข้มข้นมากกว่าไข่ขาว เพราะมีน้ำน้อยกว่า มีไขมัน และโปรตีนมากกว่า ในไข่แดงบางฟองอาจมีจุดเลือด มีสาเหตุมาจากเส้นเลือดฝอยในรังไข่ของแม่ไก่แตก ต่อมาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้จุดเลือดดังกล่าวกลายเป็นชิ้นเนื้อเล็กๆ ไม่ได้ให้โทษแต่อย่างใด

2.2.2 คุณประโยชน์ของไข่

ไข่มีโปรตีน เลซิธิน (Lecithin) วิตามิน A B1 B2 D แคลเซียม และธาตุเหล็ก ล้วนเป็นสารโภชนาการที่ร่างกายต้องการอย่างเช่น เลซิธินมีคุณประโยชน์ในการบำรุงสมองเพราะส่วนประกอบสำคัญของสมองคือเลซิธินถ้ารู้สึกสมองไม่สดใสจะต้องเสริมเลซิธินโดยเฉพาะไข่แดงอุดมด้วยเลซิธินสามารถช่วยบำรุงสมอง ทำให้สมองฟื้นฟูความสดใสได้ วิตามิน B มีประโยชน์คลายความเครียดช่วยทำให้น้ำตาลกลายเป็นพลังงาน ในไข่แดงทุก 100 กรัม มีธาตุเหล็กถึง150 มิลลิกรัมสามารถช่วยให้ร่างกายสร้างเซลล์เม็ดเลือดได้มากขึ้นสำหรับผู้ที่ต้องทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์ทั้งวัน ไข่ไก่เป็นอาหารที่ดีในการช่วยคลายความเครียดบรรเทาความเมื่อยล้า และฟื้นฟูกำลังวังชา

2.2.3 การเก็บรักษาไข่ (เคล็ดลับการเก็บรักาไข่, 2552)

เราไม่สามารถเก็บไข่เพื่อให้ไข่มีคุณค่าที่ดีกว่าเดิมได้ แต่สามารถเก็บไข่เพื่อให้คงไว้ซึ่งคุณภาพเดิมของไข่เท่าที่ทำได้ การเก็บไข่ได้ให้ถูกวิธีจะช่วยให้มีไข่บริโภคในราคาที่ใกล้เคียงกัน

ตลอดทั้งปีการเก็บไข่ระหว่างรอขาย ต้องเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีการควบคุมความชื้น และอุณหภูมิไข่จะแข็งตัวที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส และต้องป้องกันการสูญเสียน้ำโดยการปรับความชื้นของห้องให้สูง ให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 1.7 ถึง 0.6 องศาเซลเซียส วิธีนี้อาจจะมีไข่เสียบ้าง แต่ก็เป็นไปอย่างช้าๆเพื่อยืดระยะเวลาการเก็บไข่ หรืออาจจะจุ่มไข่ลงในน้ำหรือน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ความร้อนขณะนี้ทำให้ไข่ขาวข้นคงตัว ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีในไข่ และทำลายตัวอ่อนในไข่ที่มีเชื้อตัวผู้ แต่วิธีนี้จำทำให้ไข่แดงติดเปลือกไข่ และต้องใช้เวลาในการตีไข่ขาวให้ฟูนานขึ้นการแช่แข็งไข่มักจะใช้วิธีนี้กับไข่ที่ เปลือกร้าว เปลือกสกปรก รูปร่างไม่ดี ฟองเล็ก อาจทำไข่แช่แข็งทั้งฟอง หรือเฉพาะไข่ขาวหรือไข่แดงเท่านั้น ไข่ขาวแช่แข็งได้โดยไม่ต้องเติมอะไร ส่วนไข่แดงก่อนแช่แข็งควรเติมน้ำตาล เกลือ หรือกลีเซอรีน ลงไปเล็กน้อย เพื่อให้ไข่แดงละลายได้ดีโดยไม่เป็นก้อนหรือเป็นยางเหนียว

2.2.4 มาตรฐานของไข่

ไข่เป็นสินค้าเกษตรด้านปศุสัตว์ที่ผลิตเพียงพอกับการบริโภคประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อให้ไข่เป็นที่ยอมรับในระดับชาติและระดับสากล เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค และส่งเสริมการส่งออก กระทรวงเกษตร และสหกรณ์จึงเห็นสมควรจัดทำมาตรฐานไข่ไก่ ไข่เป็ด และไข่นกกระทา ดังแสดงในตารางที่ 2.1 2.2 และ2.3

ตาราง 2.1 มาตรฐานของไข่ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551)

เบอร์	ขนาด	น้ำหนักขั้นต่ำต่อฟอง (กรัม)	น้ำหนักขั้นต่ำต่อจำนวนโหล (กรัม)
0	Jumbo	>70	>840
1	Extra Large	>65-70	>780
2	Large	>60-65	>720
3	Medium	>55-60	>660
4	Small	>50-55	>600
5	Pewee	>45-50	>540

ตาราง 2.2 มาตรฐานของไข่เป็ด (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551)

เบอร์	ขนาด	น้ำหนักขั้นต่ำต่อฟอง (กรัม)	น้ำหนักขั้นต่ำต่อจำนวนโหล (กรัม)
0	Jumbo	>75	>900
1	Extra Large	>70-75	>840
2	Large	>65-70	>780
3	Medium	>60-65	>720
4	Small	>55-60	>660
5	Pewee	>50-55	>600

ตาราง 2.3 มาตรฐานของไข่นกกระทา (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551)

รหัสขนาด	น้ำหนักเฉลี่ยต่อฟอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยต่อ 100 ฟอง (กรัม)
1	>9	>900
2	>8-9	>800-900

2.3 ชิ้นส่วนเครื่องจักร และการออกแบบ

การออกแบบรูปร่าง และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรกล จะต้องคำนึงถึงความสะดวก ต้นทุนในการผลิต การบำรุงรักษา และองค์ประกอบต่างๆ จะมีผลทำให้เครื่องจักรนั้นสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีหลักการออกแบบดังนี้

2.3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบ

การออกแบบเป็นกระบวนการที่น่าสนใจมากกว่าควรจะเริ่มต้นทำอย่างไร และควรจะเริ่มต้นจากการนำกระดาษเปล่าแผ่นหนึ่งมาแล้วเริ่มลงมือแสดงความคิดเห็นต่างลงไป ต่อไปจะเกิดอะไรขึ้น มีอะไรบ้างที่เป็นตัวควบคุมหรือมีผลต่อการตัดสินใจนั้น และสุดท้ายงานออกแบบจะสิ้นสุดลงที่ใด ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบทั่วไปดังต่อไปนี้

1) รับรู้ความต้องการในการออกแบบ นั้นเริ่มต้นขึ้นจากวิศวกรได้รับรู้ความต้องการหรืออาจได้รับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2) ลักษณะจำเพาะรวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งอาจประกอบไปด้วย คุณลักษณะ ขนาด ราคา จำนวนที่ต้องการผลิต อายุการใช้งาน อุณหภูมิขนาดใช้งาน ความเชื่อถือได้ และสิ่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้าง

3) ศึกษารายละเอียดต่างๆ เพื่อแยกแยะถึงสิ่งที่จะก่อให้เกิดความเสียหายหรือความล้มเหลว ทั้งทางด้านเทคนิค และทางเศรษฐศาสตร์

4) สังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ลงไปในการออกแบบ ซึ่งจะเป็นขั้นตอนที่ท้าทายและน่าสนใจที่สุดในการออกแบบ เพราะถ้าไม่มีขีดจำกัดอันใดแล้ว ผู้ออกแบบจะทำหน้าที่เป็นวิศวกร นักประดิษฐ์ และจิตกรในเวลาเดียวกัน ซึ่งในขณะนี้เขาจะเป็นนักสร้างสรรค์

5) ออกแบบเบื้องต้น และปรับปรุงเป็นการออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะจำเพาะและความต้องการหลายวิธี ที่จะต้องตัดสินใจเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่ง เป็นแบบเบื้องต้น และปรับปรุงต่อไป

6) ออกแบบรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ และขนาดของส่วนประกอบอื่นๆทั้งหมดทั้งที่จะผลิตขึ้นเอง หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จที่จะซื้อมาใช้ ซึ่งประกอบเข้าด้วยกันเป็นระบบ ดังนั้นจึงต้องมีแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนทุกชิ้นแสดงรูปด้านต่างๆ เท่าที่จำเป็น

7) สร้างต้นแบบ และทดสอบ

8) ออกแบบสำหรับผลิตในขั้นนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเพื่อความเหมาะสมของวิธีการผลิตที่ดีที่สุด

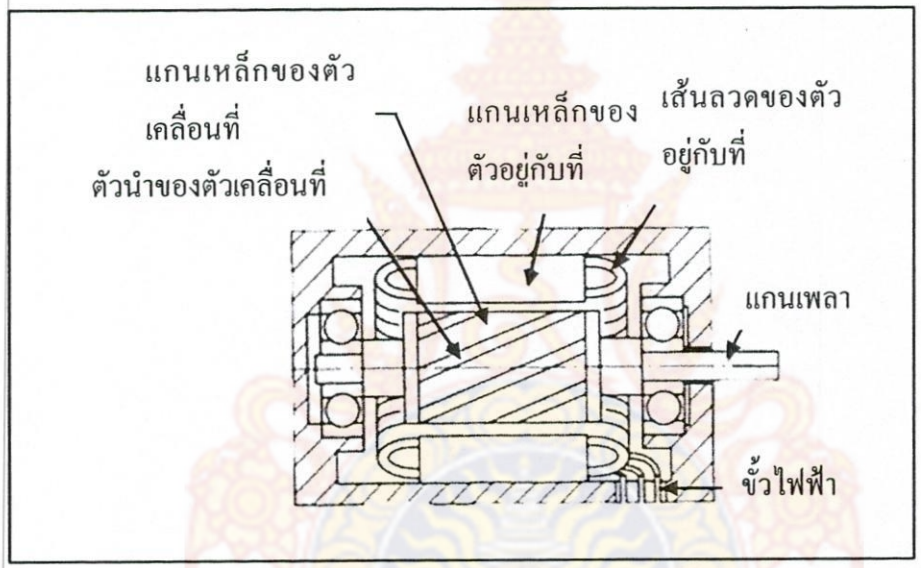
9) ส่งผลิตภัณฑ์ออกโดยปกติมักจะผลิตชิ้นงานต้นแบบ และทดสอบถ้ามีปัญหาที่แก้ไขไม่ได้ก็จะส่งกลับไปยังแผนกออกแบบเบื้องต้นเพื่อที่จะหาวิธีแก้ไขปรับปรุงหรืออาจเสนอแนะ

2.3.2 มอเตอร์

มอเตอร์หมายถึงเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อไปขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น พัดลม ปั๊ม เครื่องปรับอากาศหรือใช้ในโรงงานเพื่อควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ ในโรงงาน มอเตอร์ไฟฟ้ามีทั้งใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ และพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงมอเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1) มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานของเครื่องจักรกล โครงสร้างของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากการไหลผ่านของไฟฟ้า

กระแสสลับรอบแกนที่อยู่นิ่งติดกับตัวโครงของมอเตอร์ (Stator) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวนเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กหมุนวนที่เกิดขึ้นนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในแกนเหล็กของตัวเคลื่อนที่ (Rotor) ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนวนตามสนามแม่เหล็ก การทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวนจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส ส่วนใหญ่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องซักผ้า โดยทั่วไปจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส ดังนั้นมอเตอร์ที่ใช้จึงเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว ในกรณีนี้จะติดตั้งขดลวดชุดที่ 2 ที่ตัวอยู่กับที่ เพื่อทำให้เฟสของไฟฟ้ากระแสสลับที่ผ่านขดลวดชุดที่ 2 นี้ไหลช้าลง จึงเกิดการหมุนเหมือนการใช้สนามแม่เหล็กหมุนวนแบบ 2 เฟส (มอเตอร์เหนี่ยวนำ, 2553)

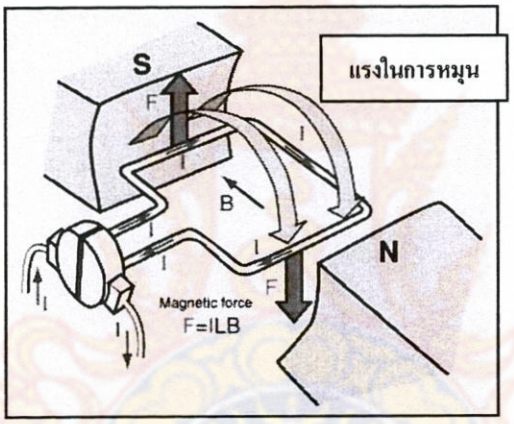


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (มอเตอร์เหนี่ยวนำ, 2553)

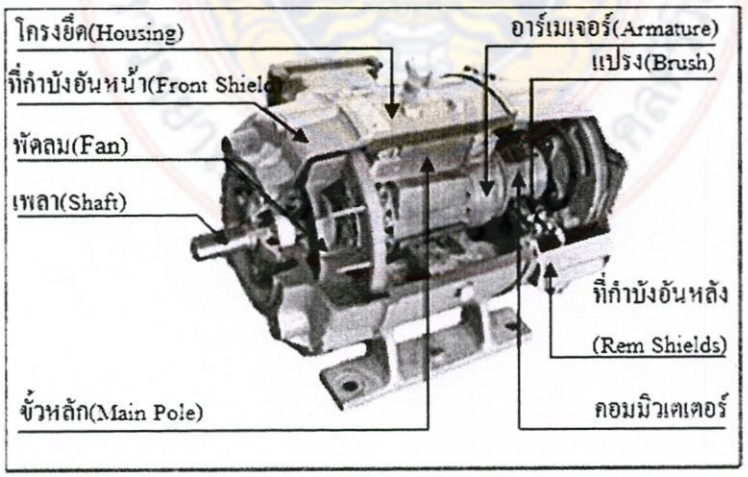
2) มอเตอร์ชิงโครนัสกระแสสลับ ตัวเคลื่อนที่ของมอเตอร์ชิงโครนัสไฟฟ้ากระแสสลับจะทำจากแม่เหล็กถาวรเมื่อมีแรงดันระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนวน และแม่เหล็กถาวรบนตัวเคลื่อนที่ทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ หากเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแล้วจะมีการลื่นไถลน้อยกว่า จุดเด่นของมอเตอร์ชิงโครนัสกระแสสลับ คือ ความเร็วรอบของการหมุนจะเท่ากับความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนวน

3) มอเตอร์กระแสตรง หลักการของมอเตอร์กระแสตรง ตัวอยู่กับที่ซึ่งอยู่ภายนอกจะเป็นแม่เหล็กถาวร การหมุนเกิดจากการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวบังคับทิศทางของกระแส (Commutator) แล้วส่งเข้าสู่ขดลวดของตัวเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การทำงานจะเป็นไปตามกฎ

ของเฟรมมิ่ง คือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงกระทำที่ตัวนำไฟฟ้า เมื่อขดลวดของตัวเคลื่อนที่หมุนจะก่อให้เกิดปริมาณกำลังไฟฟ้าแปรผันกับความเร็วรอบของการหมุน วงจรของมอเตอร์กระแสตรงเทียบเท่ากับการต่อแหล่งกำเนิดไฟตรงเข้ากับตัวต้านทาน และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โครงสร้างพื้นฐานมอเตอร์กระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ความเร็วรอบของมอเตอร์ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟมีความต่างศักย์คงที่นั้น ความเร็วรอบจะแปรผกผันกับแรงบิด หากภาระแรงบิดสูงขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบลดลง แต่หากภาระแรงบิดต่ำลงความเร็วรอบจะสูงขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสร้างแรงบิดสูงได้ที่ความเร็วรอบต่ำๆ เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า จะส่งผลทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในสภาวะที่ภาระแรงไม่คงที่จะสามารถควบคุมได้ด้วยการปรับเปลี่ยน [13]

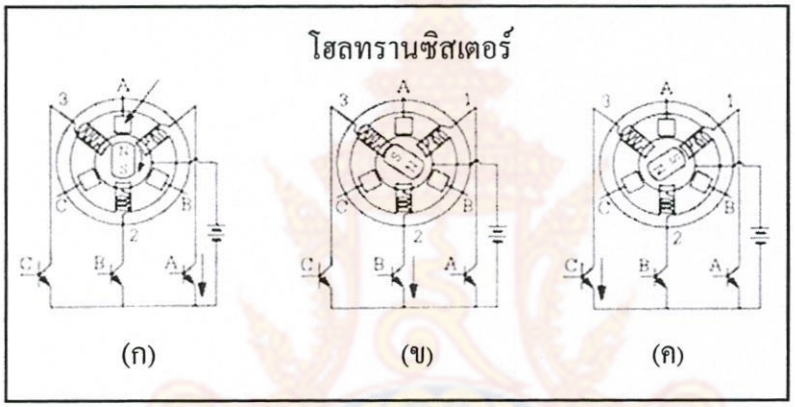


รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง (มอเตอร์เหนี่ยวนำ, 2553)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง (มอเตอร์เหนี่ยวนำ, 2553)

4) มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัส มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัสจะใช้ระบบการควบคุมสวิตซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแก้ปัญหาการสัมผัสกันระหว่างตัวควบคุมกระแส และแปรงสัมผัสของมอเตอร์กระแสตรง หลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.4 ตัวเคลื่อนที่จะเป็นแม่เหล็กถาวร และจะปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวอยู่กับที่ โครงสร้างจะมีลักษณะคล้ายมอเตอร์ชิงโครนัสกระแสสลับ ต่างกันที่จะป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ตัวอยู่กับที่ และจะใช้โฮลทรานซิสเตอร์หรือโฟโตทรานซิสเตอร์วัดตำแหน่งของตัวเคลื่อนที่แล้วเปิดและ ปิดกระแสที่เข้าสู่ตัวเคลื่อนที่



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัส (มอเตอร์เหนี่ยวนำ, 2553)

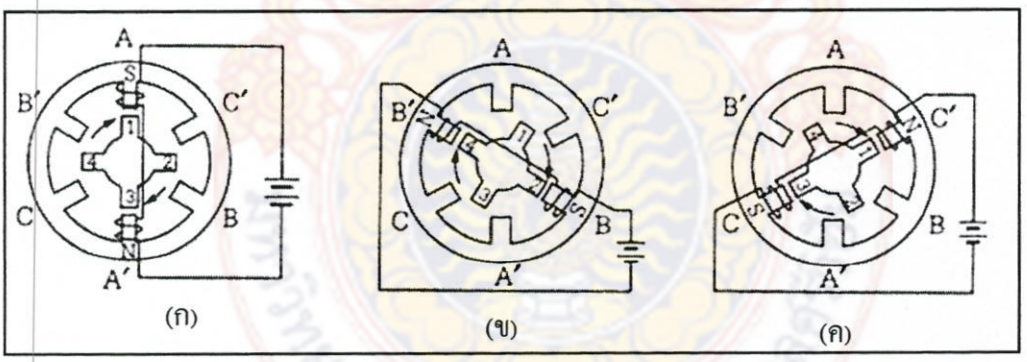
จากรูปที่ 2.5 สามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้

- รูปที่ 2.5 (ก)โฮลทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง A ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับที่จะให้กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเมื่อมีสนามแม่เหล็กเข้ามาใกล้ ตรวจจับสนามแม่เหล็ก ทำให้ทรานซิสเตอร์ A ปล่อยกระแสไฟผ่านเข้าขั้วที่ 1 ของตัวอยู่กับที่ เป็นผลให้ขั้วเหนือ (N) ของตัวเคลื่อนที่ถูกดูดให้หมุนเข้ามาที่ขั้ว 1 ของตัวเคลื่อนที่
- รูปที่ 2.5 (ข)โฮลทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง B จะตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ และทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง B ของตัวอยู่กับที่ ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนต่อไปอีก
- รูปที่ 2.5 (ค)โฮลทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง C จะตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ และทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง C จะปล่อยกระแสไฟผ่านเข้าขั้วที่ 3 ของตัวอยู่กับที่ ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนต่อเนื่องไป

จุดเด่นของมอเตอร์ชนิดไม่มีแปรงสัมผัสคือ ยังคงมีคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของการหมุนโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นตัวขับฟลอปปีดิสก์ของคอมพิวเตอร์เครื่องเล่นวีซีดี และเครื่องเล่นซีดี เป็นต้น

5) สเตปปิงมอเตอร์ สเตปปิงมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าในขดลวดของตัวอยู่กับที่ให้เกิดสนามไฟฟ้าต่อกันไปเป็นลำดับ ก่อให้เกิดแรงดึงกับขั้วของตัวเคลื่อนที่ทำให้เกิดการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะเกิดสนามไฟฟ้าตามลำดับจาก (ก) (ข) (ค) ทำให้เกิดแรงดึงระหว่างตำแหน่ง A กับขั้วที่ 2 และตำแหน่ง C กับขั้วที่ 3 ทำให้ตัวเลื่อนที่หมุนเป็นมุมครั้งละ 30 การปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านขดลวดของตัวเคลื่อนที่เป็นลำดับจะใช้วงจรพัลส์ จึงสามารถกำหนดการหมุนของตัวเคลื่อนที่ได้ตามจำนวนพัลส์ จำนวนรวมของพัลส์จะกำหนดมุมทั้งหมดที่หมุนไป ส่วนความถี่ของพัลส์จะใช้กำหนดความเร็วในการหมุน เนื่องจากสามารถควบคุมได้โดยใช้พัลส์ร่วมกับอุปกรณ์ดิจิตอลได้ง่าย สามารถบังคับมุมของการหมุน ความเร็ว ทิศทางการหมุน ไป และกลับ เคลื่อนที่หรือหยุดได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วหรืออุปกรณ์ตรวจจับอื่นๆ และไม่ใช้การป้อนกลับแบบที่ใช้ในเซอร์โวมอเตอร์ วงจรสำหรับควบคุมจึงง่าย ถ้าหากปล่อยกระแสไฟเข้าไปตลอดเวลาจะสามารถหยุดตัวเคลื่อนที่ไว้ ณ ตำแหน่งนั้นได้

064283



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ (มอเตอร์เหนี่ยวนำ, 2553)

วิธีการเลือกขนาดมอเตอร์การเลือกขนาดมอเตอร์ในเบื้องต้นต้องทำความเข้าใจก่อนว่าต้องการคุณสมบัติใดของมอเตอร์เพื่อใช้ในเครื่องจักรกลที่กำลังออกแบบ เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการเลือกมอเตอร์คือ ขนาดของภาระแรง เพื่อใช้ในการเลือกขนาดของมอเตอร์ และเงื่อนไขในการควบคุม เริ่มแรกจะต้องพิจารณาว่าต้องการกำลังขาออกของมอเตอร์เท่าใด ดังนั้นจึงต้องพิจารณาจากภาระแรงบิดในสภาพการทำงานปกติ และแรงบิดที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดความเร็ว

2.3.3 การออกแบบเพลา

หมายถึงการออกแบบ และการวิเคราะห์เกี่ยวกับเพลาในการพิจารณาถึงความเค้น และระยะโก่งที่เกิดขึ้นในเพลา

1) การพิจารณาถึงการออกแบบเพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้

- เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนหมุน และใช้ในการส่งกำลัง
- แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน แต่ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพานเป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม
- สพินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head Stock Spindle) เป็นต้น
- สตับชาฟต์ (Stub Shaft) บางครั้งเรียกว่าเฮดชาฟต์ (Head Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์หรือเครื่องกำลังอื่น ๆ ที่มีขนาดรูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ
- เพลาแนว (Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลาเมน (Main Shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อกับเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่น ๆ
- เจ็คชาฟต์ (Jack Shaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (Count Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมน หรือเครื่องจักรกล
- เพลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริง หรือลวดเกลียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลายังต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่เหมาะสมระยะโก่ง (Deflection) ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะเวลาโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุนทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่

รองรับเพลา เช่น บอลแบริ่ง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเยื้องแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่เหมาะสมกับเพลาด้วย

2) วัสดุเพลา วัสดุเพลาที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียว และมีความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะชนิดอื่นทำเพลาเช่น AISI 1347 3140 4150 และ4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

3) ขนาดของเพลาเพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ใน ISO/R 775 – 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบจะเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อสามารถซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R 775 – 1969 ระบุดังนี้ 6 7 8 9 10 12 14 18 20 25 และ380 หน่วยเป็นมิลลิเมตร (มนูกิจ พานิชกุล, 2548)

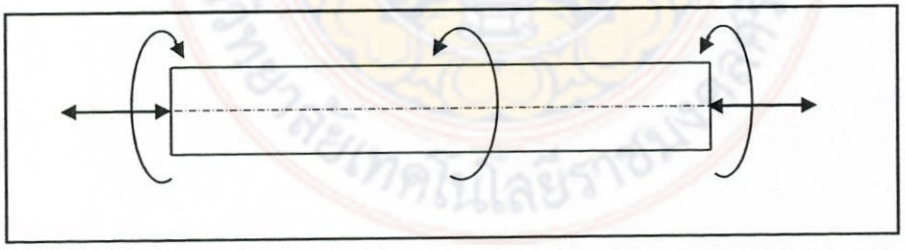
4) การพิจารณาในการออกแบบการคำนวณหาขนาดของเพลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลาเพื่อให้เพลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว (Cam Shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในลักษณะใช้งานต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้เป็นต้น นั่นคือ เพลาจะต้องมีความแข็งแกร่งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้นอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1 องศา ต่อความยาวเพลา 20 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยวสำหรับ เครื่องยนต์สันดาปภายในแล้ว จะให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.5 องศา ตลอดความยาวของเพลา

ความแข็งแกร่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแกร่งทางด้านระยะโก่งเพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญ ในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพานเฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบริ่งสำหรับรองรับเพลาให้เหมาะสม การเลือกแบริ่งมารองรับเพลาก็เช่นกัน จำเป็นจะต้องเลือกแบริ่งชนิดที่อนุญาตให้มีการเยื้องแบบธรรมดาหรือแบริ่งแบบปรับแนวโน้มได้เอง (Self-Aligning Bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญระยะโก่งดังที่กล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้โดย ทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแกร่งทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้ คือ

- สำหรับเพลาเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบริ่งควรจะไม่เกิน 0.08 มิลลิเมตรต่อเมตร
- สำหรับเพลาที่มีเฟืองตรง คุณภาพดีอยู่ด้วย ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 มิลลิเมตร และความลาดเอียงของเพลา ณ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286 องศา
- สำหรับเพลาที่มีเฟืองดอกจอก คุณภาพดีติดอยู่ ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่เฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 มิลลิเมตร

จากเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าขนาดของเพลาอาจจะหาได้โดยใช้ความแข็งแกร่งที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกก็ได้ การหาระยะโก่งของเพลาที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้มาในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินติเกรทสองครั้ง (Double Integration) วิธีพื้นที่โมเมนต์ดัด (Moment Area) เป็นต้นสำหรับเพลาที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped Shaft) การใช้วิธีดังที่กล่าวมาแล้วอาจจะล่าช้าและเสียเวลาโดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (Boundary Condition)ใหม่ทุกครั้งที่เพลาเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน คือ วิธี Graphical Integration และNumerical Integration

5) การออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นรหัส (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวก และง่ายต่อการใช้งาน วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Design Method) การหาสมการสำหรับออกแบบเพลาให้พิจารณาเพลาดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การพิจารณาเพลา (มนูกิจ พานิชกุล, 2548)

เพลาเป็นแบบกลมตันโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ d ความเค้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลามีดังต่อไปนี้ คือ

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi d^2} \tag{2.1}$$

$$\sigma_b = \frac{MC}{I} = \frac{32M}{\pi d^3} \tag{2.2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16T}{\pi d^3} \tag{2.3}$$

เมื่อ $C = \frac{D}{2}$

$I = \frac{\pi d^4}{64}$

$r = \frac{d}{2}$

ในกรณีที่เป็นเพลาแบบกลมกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ D และภายในเท่ากับ d ตามลำดับ ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลามีดังต่อไปนี้ คือ

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(D^2 - d^2)} \tag{2.4}$$

$$\sigma_b = \frac{MC}{I} = \frac{32MD}{\pi(D^4 - d^4)} \tag{2.5}$$

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16TD}{\pi(D^4 - d^4)} \quad (2.6)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกดอาจมีผลจากการโก่งงอ (Buckling) ได้ดังนี้ สมการจะกลายเป็น

เพลาตัน $\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi d^2}$ (2.7)

เพลากลวง $\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(D^2 - d^2)}$ (2.8)

ค่าความเค้นเฉือนของเพลาตัน และเพลากลวงมีดังนี้คือ

เพลาตัน $\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$ (2.9)

เพลากลวง $\tau = \frac{16TD}{\pi(D^4 - d^4)}$ (2.10)

เมื่อ

σ_a	คือ	ความเค้นดึงหรือกด (นิวตันต่อตารางเมตร)
σ_b	คือ	ความเค้นดัด (นิวตันต่อตารางเมตร)
τ_{xy}	คือ	ความเค้นเฉือน (นิวตันต่อารางเมตร)
C	คือ	ระยะจากแกนสะเทิน (N.A) ถึงผิวนอก (มิลลิเมตร)
D	คือ	ความโตผ่านศูนย์กลางภายในของเพลา (มิลลิเมตร)
r	คือ	รัศมีของหน้าตัดวงกลม (มิลลิเมตร)
F	คือ	แรงในแนวแกน (นิวตัน)
I	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด (มิลลิเมตรกำลังสี่)
M	คือ	โมเมนต์ดัดที่หน้าตัดวิกฤต (นิวตันเมตร)
T	คือ	โมเมนต์บิด (นิวตันเมตร)
J	คือ	โมเมนต์เฉื่อยเชิงมุมของพื้นที่หน้าตัด (เมตรกำลังสี่)
C_m	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
C_t	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักรทั้งนี้ เพราะเพลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่จะกระทำอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วยได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{32C_m M}{\pi d^3} \tag{2.11}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t T}{\pi d^3} \tag{2.12}$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวม คือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \tag{2.13}$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau_{max} = [(\sigma/2)^2 + \tau_{xy}^2]^{1/2} \tag{2.14}$$

ในกรณีเพลาตัน K = d / D = 0 การคำนวณหาขนาดความโตของเพลาเมื่อแทนค่าก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไป คือ

$$d^3 = \frac{5.1}{\tau_p}[(C_m M)^2 + (C_t T)^2]^{1/2} \tag{2.15}$$

ในกรณีที่เป็นเพลากลวงให้ K = d / D ดังนั้นสูตรในการหาขนาดความโตของเพลา คือ

$$d^3 = \frac{5.1}{\tau_p(1 - k^4)}[(C_m M)^2 + (C_t T)^2]^{1/2} \tag{2.16}$$

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่า เพลาซึ่งมีใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไปควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานได้ดังนี้

τ_d = 55 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม

τ_d = 41 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับเพลาที่มีร่องลิ่ม

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณ คือ

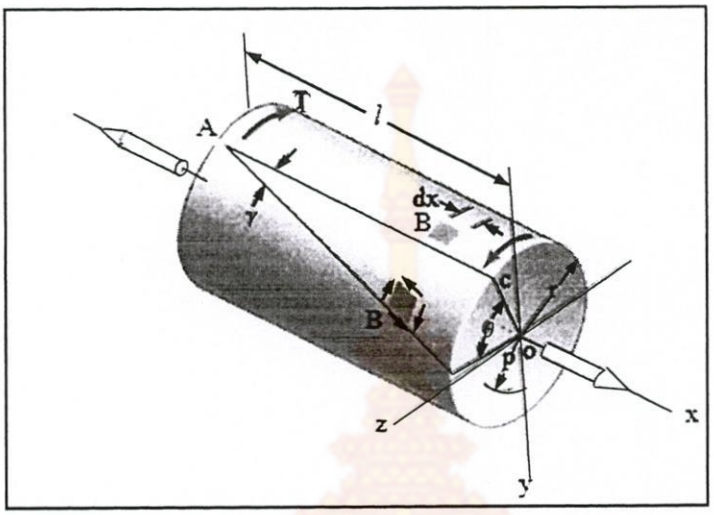
$$\tau_p = 0.3\,\sigma_y = 0.18\,\sigma_U \qquad (2.17)$$

ถ้ามีร่องลิ่มให้ลดความเค้นเฉือนใช้งานใช้เพียง 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหาดูได้จากตารางที่ 2.4

ตาราง 2.4 ค่าตัวประกอบความล้า (มนูกิจ พานิชกุล, 2548)

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลาอยู่นิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 - 2.0	1.5 - 2.0
เพลาหมุน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 –2.0	1.0 – 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 – 3.0	1.5 – 3.0

6) ความแข็งแกร่งด้านการบิดของเพลา สำหรับเพลาที่มีขนาดสม่ำเสมอมุมบิดเป็นองศาดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะเพลาที่ถูกกระทำด้วยโมเมนต์บิด (มนูกิจ พานิชกุล, 2548)

สำหรับการออกแบบเพลาได้มีการกำหนดเกณฑ์สำหรับค่าชองของมุมบิดไว้ดังนี้

- เพลาเครื่องกลทั่วไป ให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.27 องศา ต่อความยาว 1 เมตร
- เพลาส่งกำลังทั่วไป ให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 1 องศา ต่อความยาว 300 มิลลิเมตร หรือความยาว 20 เท่าของความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา

การตรวจสอบมุมบิดที่จะเกิดขึ้นของเพลาขณะใช้งานสามารถคำนวณ ได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \qquad (2.18)$$

เมื่อ θ คือ มุมบิด (องศา)

G คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการเฉือน (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

L คือ ความยาวของเพลาที่ถูกบิด (เมตร)

สำหรับเพลาตัน

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (2.19)$$

ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดของเพลาตันเป็นองศา ได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \quad (2.20)$$

ถ้าเป็นเพลากลมกลวง

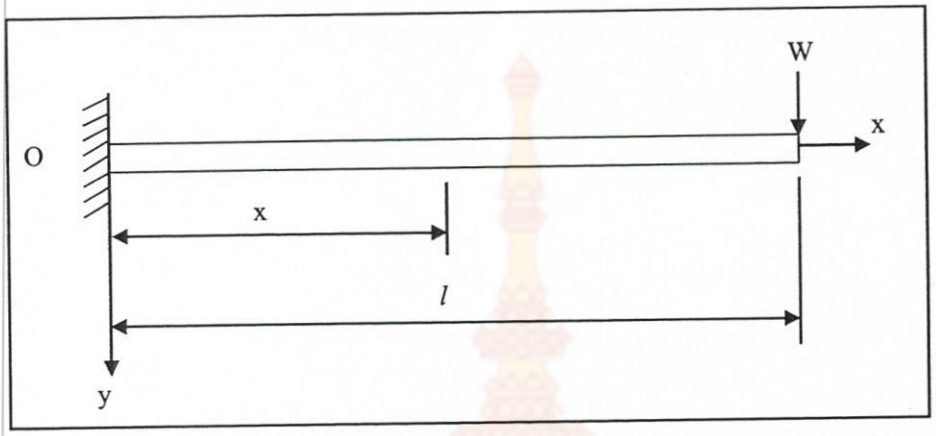
$$J = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4) \quad (2.21)$$

ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดของเพลากลวงเป็น องศา ได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{(1 - k^4)\,Gd^4} \quad (2.22)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งแรงแกร่งตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรที่จะใช้สมการข้างบนนี้ตรวจสอบดูมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

7) การหาระยะโก่งของเพลา ในการหาระยะโก่งที่ Cantilever มี Load W ที่ปลายอิสระดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะได้สมการดังนี้



รูปที่ 2.9 ระยะโก่งที่ Cantilever มี Load W ที่ปลายอิสระ (มนูกิจ พานิชกุล, 2548)

จากรูปที่ 2.9 ให้ Origin O อยู่ที่ปลายซ้ายมือพิจารณาจากระยะแกน x จาก O ดังนั้น

$$M = -W(l - x)$$

$$EI\frac{d^2y}{dx^2} = -M = W(l - x)$$

$$\therefore \quad EI\frac{dy}{dx} = W\left(lx - \frac{x^2}{2}\right) + A \tag{2.23}$$

เมื่อ $x = 0$, Slop $\frac{dy}{dx} = 0$, ดังนั้น $A = 0$

$$\therefore \quad EI\frac{dy}{dx} = W\left(lx - \frac{x^2}{2}\right) \tag{2.24}$$

$$\therefore \quad EIy = W\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) + B \tag{2.25}$$

เมื่อ $x = 0, y = 0, \therefore B = 0$

$$\therefore \quad EIy = W\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) \tag{2.26}$$

จากรูปที่ 2.9 Maximam Slope และ Maximum Deflection เกิดขึ้นที่ปลายอิสระเมื่อx = l,นั่นคือ $\left(\frac{dy}{dx}\right)_{max}$ (เขียนแทนด้วย θ_{max})

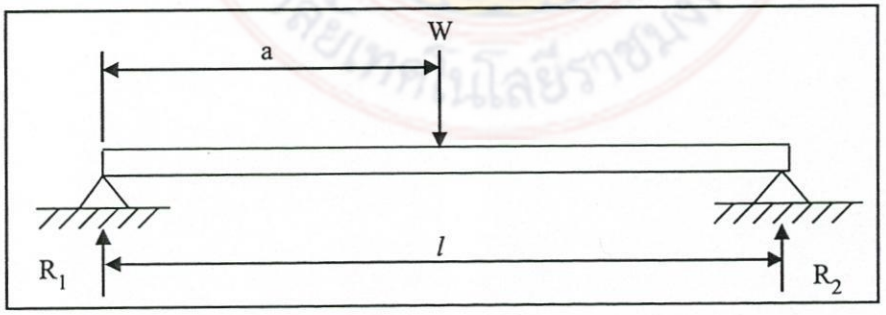
$$\theta_{max} = \frac{Wl^2}{2EI} \tag{2.27}$$

$$Y_{max} = \frac{Wl^3}{3EI} \tag{2.28}$$

เมื่อ

Y	คือ	ระยะโก่งของเพลา (มิลลิเมตร)
A	คือ	ความยาวที่ตำแหน่งใดๆ ของเพลา (มิลลิเมตร)
M	คือ	ค่าของโมเมนดัด (นิวตันเมตร)
E	คือ	ค่าYoung's Modulus ของวัสดุ (จิกกะปาสคาล)
I	คือ	ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (มิลลิเมตรกำลังสี่)
W	คือ	แรง (นิวตัน)

8) การหาระยะโก่งของเพลา ในการหาระยะโก่งที่ Simply Supported Beam with Concentrated Load ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะได้สมการดังนี้



รูปที่ 2.10 ระยะโก่งที่ Simply Supported Beam With Concentrated Load (มนูกิจ พานิชกุล, 2548)

จากรูปที่ 2.10 $R_1 = W\frac{l-a}{l}$

$$R_2 = \frac{Wa}{l}$$

$$M = R_1x - W[x-a]$$

$$EI\frac{d^2y}{dx^2} = -R_1x + W[x-a]$$

$$\therefore \quad EI\frac{dy}{dx} = -\frac{R_1x^2}{2} + \frac{w}{2}[x-a]^2 + C \qquad (2.29)$$

$$\therefore \quad EIy = -\frac{R_1x^3}{6} + \frac{w}{6}[x-a]^3 + Cx + C_1 \qquad (2.30)$$

ตัด $[x-a]$ ทิ้งเมื่อเป็นลบ (คือ $x < a$)

เมื่อ $x = 0, y = 0$, และตัด $[\,]$ ทิ้งได้ $C_1 = 0$,

$$x = l, y = 0, \therefore \quad 0 = -\frac{R_1l^3}{6} + \frac{W}{6}(l-a)^3 + Cl \qquad (2.31)$$

$$C = \frac{R_1l^2}{6} + \frac{W}{6l}(l-a)^3$$

$$= \frac{W(l-a)l}{6} - \frac{W}{6l}(l-a)^3$$

$$= \frac{Wa}{6l}(l-a)(2l-a)$$

$$\therefore \quad Y = \frac{Wx}{6EI}\frac{l-a}{l}(2al - a^2 - x^2) + \frac{W}{6EI}[x-a]^3 \qquad (2.32)$$

ซึ่งให้ค่า Deflection ตามจุดต่างๆ อย่าลืมตัดเทอมหลังทิ้งเมื่อเป็นลบ

$$\text{ที่ } x = a, \qquad Y_{\text{under load}} = \frac{Wa^2(l-a)^2}{3EIl} \tag{2.33}$$

ถ้า W อยู่ตรงกลาง $a = \frac{l}{2}$ จะใช้สมการ ดังนี้ [14]

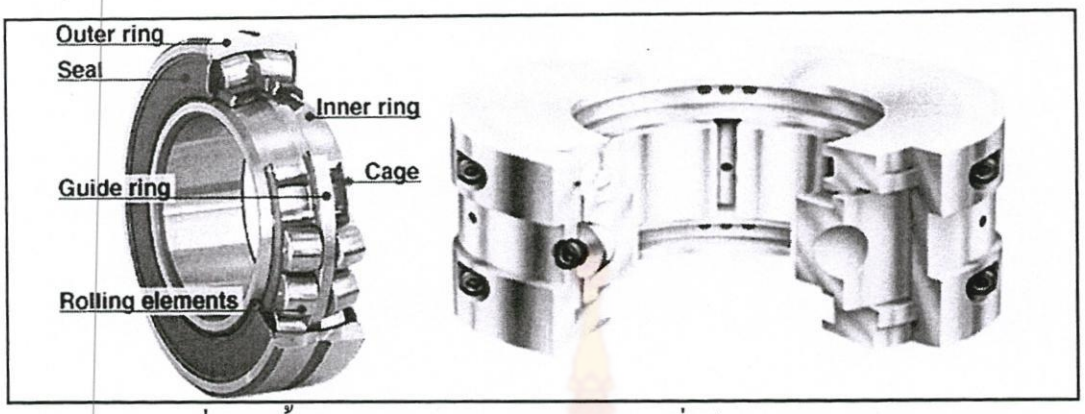
$$Y_{\text{under load}} = \frac{Wl^3}{48EI} \tag{2.34}$$

2.3.4 แบริ่ง

แบริ่งเป็นระบบรองลื่นจัดเป็นชิ้นส่วนทางกล สำหรับทำหน้าที่รองรับชิ้นส่วนที่มีการหมุนเคลื่อนที่เพื่อให้เกิดการหมุนอย่างเที่ยงตรงอยู่ในทิศทางที่กำหนด และให้มีแรงเสียดทานน้อยที่สุด ตลอดจนทำหน้าที่รองรับ หรือถ่ายถอดแรงที่กระทำ เช่น จากเพลาหรือแกนเข้าสู่ตัวโครงเครื่องรูปแบบของระบบรองลื่น แบ่งออกเป็นลักษณะหลักๆ ดังนี้

1) แบริ่งลูกกลิ้ง (Rolling Bearing) ลักษณะแบริ่งแบ่งออกแบบเป็นเม็ดลูกกลิ้งรูปทรงต่าง ๆ เช่น เม็ดกลม เม็ดทรงกระบอก เม็ดเรียว เม็ดโค้ง เป็นต้น เพื่อลดแรงเสียดทานให้น้อยลง ความเสียดทานที่เกิดขึ้นเป็นแบบ ความเสียดทานหมุนแบริ่งลูกกลิ้งเหมาะสำหรับรองรับโหลดไม่มากนัก ในช่วงเริ่มหมุนจะมีความฝืดน้อยถ้าใช้งานในความเร็วต่ำ อายุการใช้งานของแบริ่งลูกกลิ้งจะสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก)

2) แบริ่งปลอก (Journal Bearing) เป็นลักษณะปลอกบูชสวมอัดเข้ากับตัวเรือน ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวเพลา และแบริ่งเป็นแบบ ความเสียดทานเลื่อน (Sliding Friction) ลักษณะสร้างเป็นปลอกรูปวงแหวน สวมเข้ากับตัวเรือน และหากมีการหล่อลื่นเพียงพอสามารถใช้งานที่ความเร็วรอบสูงๆ ได้ดี โดยไม่จำกัดอายุการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ข)



(ก) แบริ่งลูกกลิ้ง (Rolling Bearing) (ข) แบริ่งปลอก (Journal Bearing)

รูปที่ 2.11 รูปแบบของระบบรองลื่น (Webb, 2010)

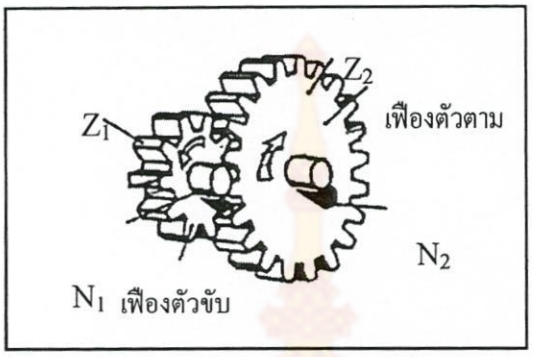
ตาราง 2.5 เปรียบเทียบแบริ่งลูกกลิ้งและแบริ่งปลอก (อำพล ซื่อตรง, 2536)

แบริ่งลูกกลิ้ง	แบริ่งปลอก
- แรงเสียดทานขณะเริ่มต้นและขณะทำงานแตกต่างกันเล็กน้อย	- แรงเสียดทานขณะเริ่มต้นสูงมากและขณะทำงานโดยทั่วไปจะสูงกว่าแบริ่งลูกกลิ้ง
- สารหล่อลื่นที่กักไว้ภายในด้วยกันรั่วตลอดอายุการใช้งาน	- สารหล่อลื่นเติมจากภายนอกเป็นครั้งคราว
- ความหนืดของสารหล่อลื่นที่ใช้ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด	- ความหนืดของสารหล่อลื่นที่ใช้จะขึ้นอยู่กับโหลด
- อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับโหลดและความเร็วรอบการหมุน	- ไม่จำกัดอายุการใช้งานหากได้รับการหล่อลื่นที่ถูกต้องขณะใช้งาน

2.3.5 เฟือง

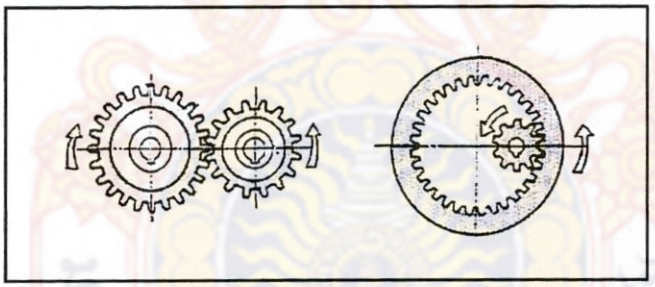
การถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใช้สายพาน โซ่ล้อ ความฝืด เป็นต้น ล้อความฝืดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุนหรือเป็นล้อขับก็จะทำให้อีกล้อหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืดเนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาระมากๆ เช่น มีการส่งกำลังสูงๆจะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แม่นยำเพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาติดไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบล้อจึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่งต่อๆมาเราจึงเรียกว่า เฟือง ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำ

เที่ยงตรง และไม่มีการลื่นไถลการส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น ต้องมีการขบกัน ของเฟืองแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การหมุนของฟันเฟือง (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วย และการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13

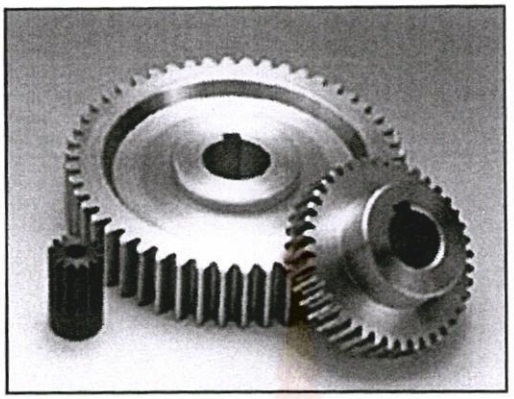


(ก)เฟือง (ข) เฟืองขบกัน

รูปที่ 2.13 ลักษณะเฟืองขบกันภายนอกและขบกันภายใน (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

1) ชนิดของเฟือง เฟืองเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งกำลังในระยะสั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีความแข็งแรงสูงเฟืองที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีหลายชนิดชนิดของเฟืองมีดังนี้

- เฟืองตรง (Spur Gear) เป็นเฟืองที่มีฟันขนานกับแกนหมุน และใช้ในการส่งกำลังการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.14

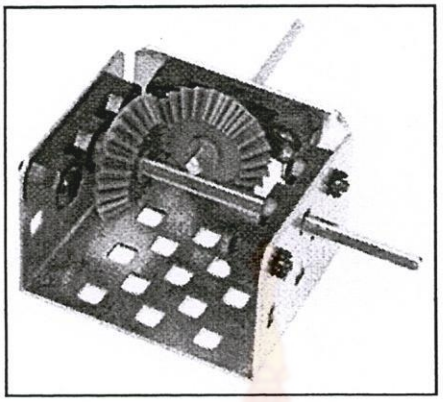


รูปที่ 2.14 ลักษณะของเฟืองตรง (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- เฟืองเฉียง (Helical Gear) เป็นเฟืองส่งกำลังที่มีฟันเฉียงทำมุมกับแกนหมุนมีลักษณะคล้ายเฟืองฟันตรง แต่มีเสียงที่เกิดจากการทำงานเบากว่าเฟืองฟันตรง นอกจากนั้นเฟืองเฉียงยังใช้ในการส่งกำลังให้กับเพลาที่ไม่ขนานกันได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.15

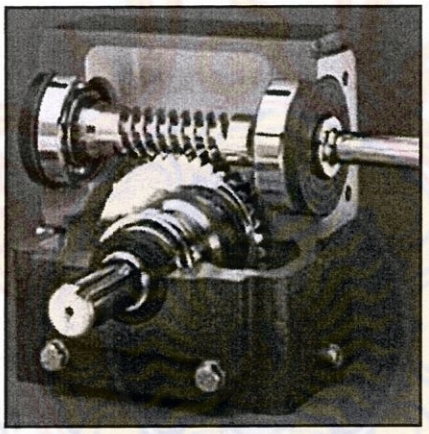
รูปที่ 2.15 ลักษณะของเฟืองเฉียง (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) เป็นเฟืองที่มีการตัดฟันเฟืองใช้สำหรับส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่ตัดกันมุมระหว่างเพลาทั้งสองเป็นมุมระหว่างเส้นศูนย์กลางร่วมที่ตัดกันของฟันเฟือง มุมระหว่างเพลาประมาณ 90 องศาแต่ในหลายๆ การใช้งานของเฟืองชนิดนี้อาจจะต้องการมุมระหว่างเพลาที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่ามุม 90 องศาได้ดังแสดงในรูปที่ 2.16



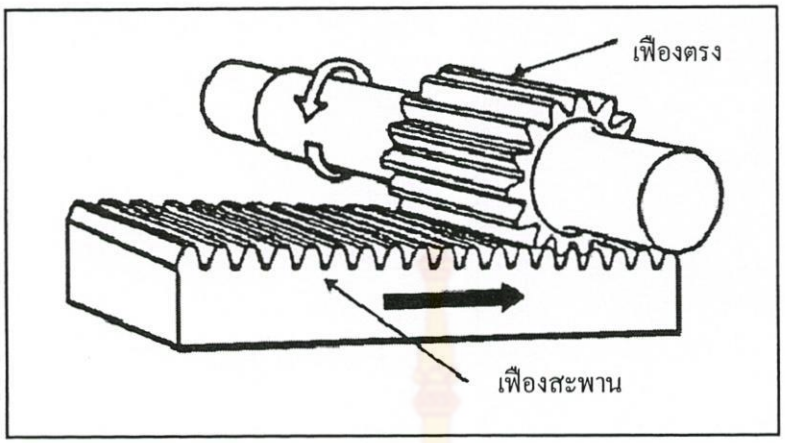
รูปที่ 2.16 ลักษณะของเฟืองดอกจอก (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- เฟืองตัวหนอน (Worm Gear) ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) และเฟืองตัวหนอนประกอบเป็นชุดกันใช้ส่งกำลังที่แกนเพลาที่ตั้งฉากกันดังแสดงในรูปที่ 2.17

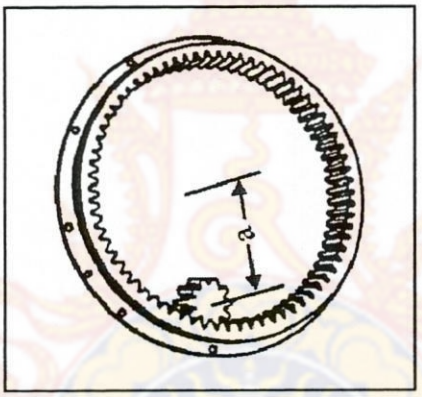


รูปที่ 2.17 ลักษณะของเฟืองหนอน (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- เฟืองสะพาน (Rack Gear) เป็นเฟืองตรงชนิดนี้ มีลักษณะรูปร่างยาวเป็นเส้นตรงเหมือนสะพานฟันเฟืองทำมุมกับลำตัว 90 องศา โดยประมาณ และต้องใช้คู่กับเฟืองตรงเฟืองสะพานที่ใช้งานกันทั่วไปมีรูปร่างลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.18

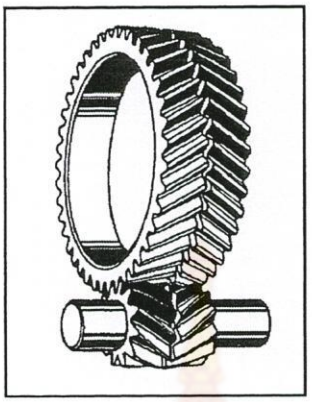


รูปที่ 2.18 ลักษณะของเฟืองสะพาน (นพรัตน์ มโนรา, 2553)



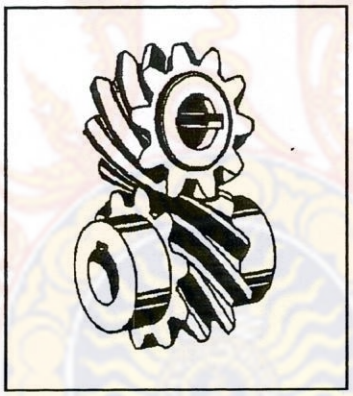
รูปที่ 2.19 ลักษณะของเฟืองวงแหวน (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- เฟืองวงแหวน (Internal Gear) เป็นเฟืองตรงชนิดหนึ่งมีรูปร่างลักษณะกลมเช่นเดียวกับเฟืองตรงแต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านบนของวงกลมและต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่มีขนาดเล็กกว่าขบอยู่ภายในเฟืองวงแหวนจะมีรูปร่างลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.19
- เฟืองเฉียงก้างปลา (Herringbone Gear) เป็นเฟืองที่มีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรงแต่ของเฟืองจะเอียงสลับกันเป็นฟันปลาเฟืองชนิดนี้จะมีรูปร่างลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ลักษณะของเฟืองก้างปลา (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- เฟืองเกลียวสกรู (Spiral Gear) เป็นเฟืองเกลียวที่ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุม 90 องศา เฟืองเกลียวชนิดนี้มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.21

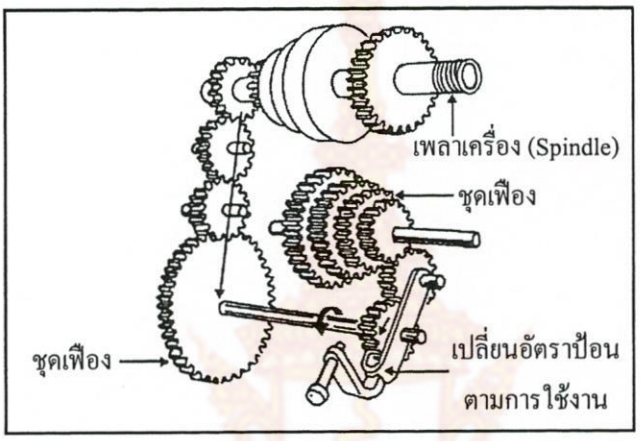


รูปที่ 2.21 ลักษณะของเฟืองเกลียวสกรู (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

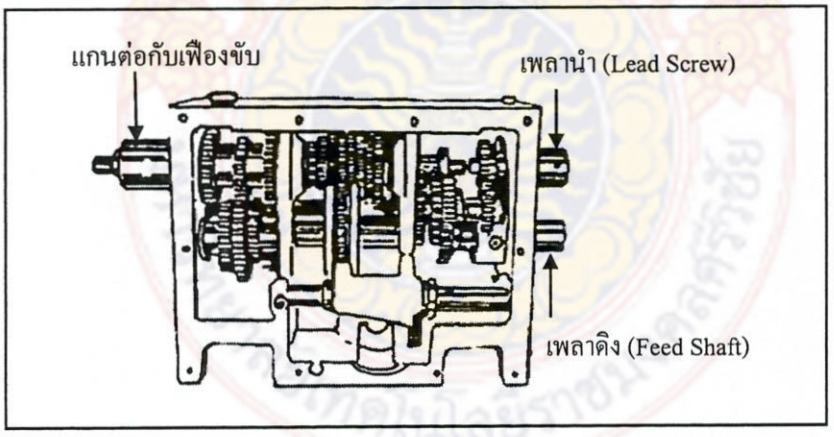
2) หน้าที่ใช้งานของเฟืองเฟืองแต่ละชนิดมีหน้าที่หลักที่เหมือนกัน คือใช้ในการส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งแล้วแต่ลักษณะการใช้งานแต่การใช้งานของเฟืองแต่ละชนิดจะมีหน้าที่รองต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

- หน้าที่การใช้งานของเฟืองตรงเป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกันเฟืองตรงเหมาะสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ หรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตรต่อนาที เช่น ชุดเฟืองทดลองของเครื่องกลึงเพื่อเดินกลึงอัตโนมัติหรือชุดเฟืองทดลองของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ

- ข้อดีของเฟืองตรงขณะใช้งานจะไม่เกินแรงในแนวแกนประสิทธิภาพในการทำงานสูงหน้ากว้างของเฟืองตรงสามารถเพิ่มได้เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสที่มากขึ้นเพื่อลดการสึกหรอให้น้อยลง
- ข้อเสียของเฟืองตรงขณะใช้งานคือขณะที่เฟืองหมุนตัวอย่างการใช้งานของเฟือง ดังแสดงในรูปที่ 2.22

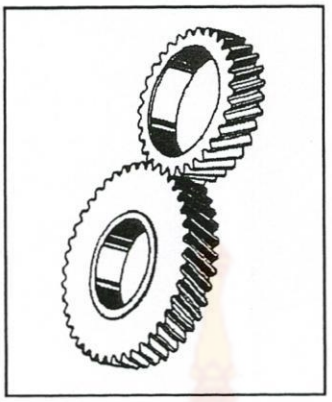


รูปที่ 2.22 การส่งของเฟืองตรงเพื่อเครื่องกลึงอัตโนมัติ (นพรัตน์ มโนรา, 2553)



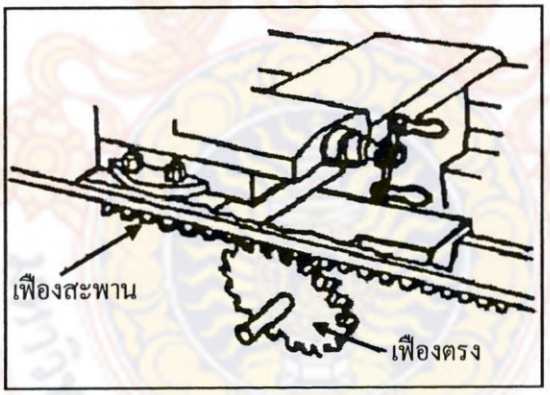
รูปที่ 2.23 ชุดเฟืองตรงภาพในหัวเครื่องกลึง (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- หน้าที่การใช้งานเฟืองเฉียงเฟืองเฉียงมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกับเฟืองตรงทุกอย่างแต่มีข้อดีกว่าเฟืองตรงที่เมื่อส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูงๆ แล้วจะไม่เกิดเสียงเหมือนเฟืองตรงลักษณะการใช้งานของเฟืองเฉียง ดังแสดงในรูปที่ 2.24

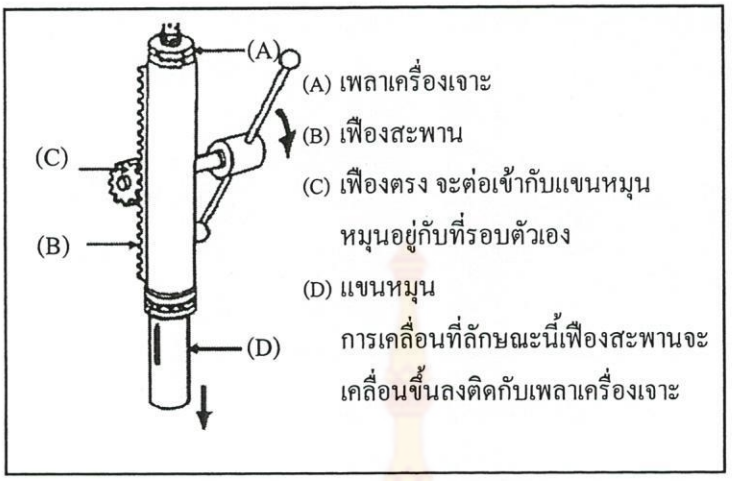


รูปที่ 2.24 ลักษณะการใช้งานของเฟืองเฉียง (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- หน้าที่การใช้งานของเฟืองสะพานในการใช้งานของเฟืองสะพาน (Rack) จะต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่เรียกว่าพินเนียน (Pinnion) เสมอก็จะสามารถทำการส่งกำลังได้ลักษณะการใช้งานของเฟืองสะพาน ตัวอย่างเช่น เฟืองสะพานของเครื่องเจาะที่ทำหน้าที่เคลื่อนเพลาเครื่องเจาะให้ขึ้นลง ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 หน้าที่การใช้เฟืองสะพานเครื่องกลึง (นพรัตน์ มโนรา, 2553)



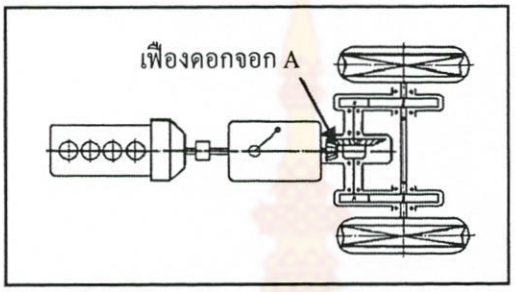
รูปที่ 2.26 หน้าที่การใช้งานเฟืองสะพานของเครื่องเจาะ (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

- หน้าที่การใช้งานของเฟืองวงแหวนเฟืองชนิดนี้เป็นเฟืองเฉพาะอย่าง ที่ใช้งานกับเครื่องจักรกลเช่นเป็นเฟืองสำหรับปั๊มเฟืองสำหรับปั๊มน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์โดยที่เฟืองตัวเล็กที่อยู่ภายในเป็นตัวขับส่วนตัวใหญ่จะหมุนในลักษณะการเยื้องศูนย์เพื่อดูดน้ำมันเครื่องส่งไปใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.27

รูปที่ 2.27 ลักษณะการใช้งานของเฟืองวงแหวน (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

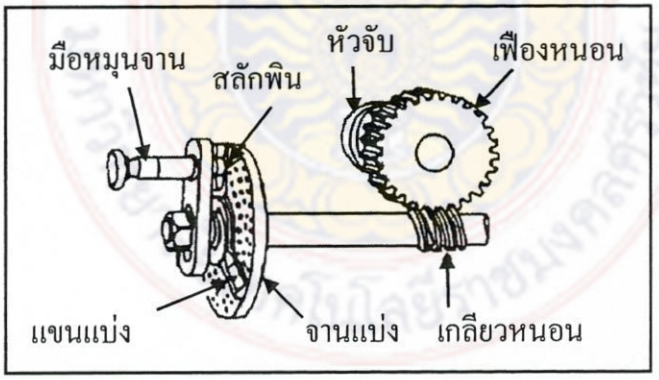
- หน้าที่การใช้งานของเฟืองก้างปลาเฟืองก้างปลาเป็นเฟืองที่ออกแบบมาเพื่อ ลบล้างแรงดันที่ปลายฟันเฟืองเนื่องจากเฟืองก้างปลาเป็นเฟืองเฉียงที่สร้างมาให้คู่ติดกันเฟืองก้างปลาใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกันเท่านั้น ข้อดีของเฟืองชนิดนี้คือเฟืองจะเลื่อนออกจากกันไม่ได้ ลักษณะการใช้งาน

- หน้าที่การใช้งานของเฟืองดอกจอกเฟืองตอกจอกเป็นที่ใช้ส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนทิศทางของเพลา หรือเพลาสามารถทำมุมได้ 90 องศา และเป็นเฟืองที่ให้กำลังในการส่งมาก ส่วนใหญ่เป็นเฟืองของรถยนต์เฟืองเกียร์รถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การทำงานของเฟืองท้ายรถยนต์ (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

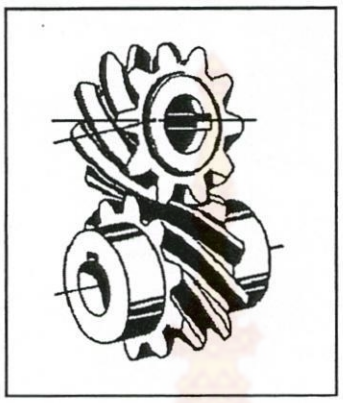
- หน้าที่การใช้งานของเฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวหนอนเพื่อให้เฟืองหนอนส่งกำลังไปเฟืองหนอนเป็นการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา เป็นการส่งกำลังจากความเร็วรอบสูงให้มาเป็นความเร็วรอบต่ำการส่งกำลังของชุดเฟืองหนอนของชุดหัวแบ่งเพื่อเฟืองของเครื่องกัด ลักษณะการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การทำงานชุดเฟืองหนอนในหัวแบ่งเครื่องกัด (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

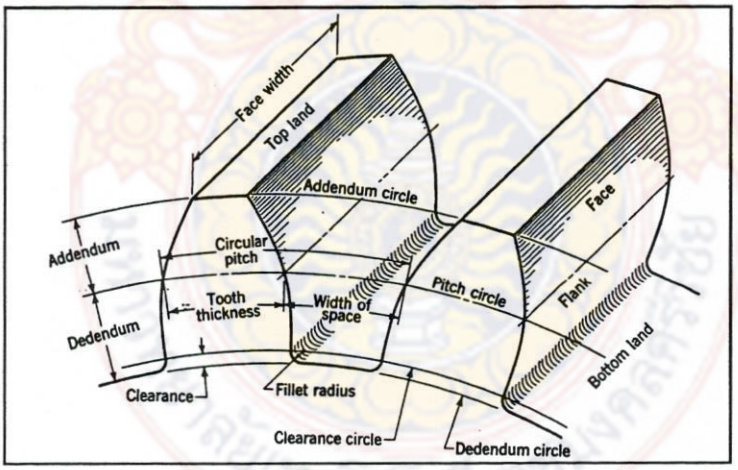
- หน้าที่การใช้งานเฟืองเกลียวสกรูเป็นเฟืองที่ทำหน้าที่ใช้เพื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางของเพลาให้ทำมุมกัน 90 องศา คล้ายกับชุดเฟืองหนอนแต่สามารถส่ง

กำลังได้น้อยเนื่องจากด้านข้างของฟันมีพื้นที่สัมผัสกันน้อยมากสามารถให้อัตราทดได้ระหว่าง 1 ถึง 5 ลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ลักษณะการทำงานของเฟืองเกลียวสกรู (นพรัตน์ มโนรา, 2553)

3) การคำนวณของเฟืองตรงขนาดของวงกลมที่ใช้ในการคำนวณ วงกลมพิตช์ของเฟืองขับและตามจะมีการสัมผัสกันตลอดเวลาดังแสดงรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ชื่อส่วนต่างๆ ของฟันเฟือง (บรรเลง ศรนิล และ ปรเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์, 2524)

$$d_p = m \times z \quad (2.35)$$

$$d_o = m \times (z+2) \quad (2.36)$$

$$z = \frac{d_p}{m} \quad (2.37)$$

$$h = (2\times m)+c \quad (2.38)$$

$$h_a = m \quad (2.39)$$

$$h_f = m+c \quad (2.40)$$

$$b = (6\ldots12)\times m \quad (2.41)$$

เมื่อ d_p คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (มิลลิเมตร)
d_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน (มิลลิเมตร)
z คือ จำนวนฟัน(ฟัน)
m คือ โมดูล (มิลลิเมตร)
h คือ ความสูงฟัน (มิลลิเมตร)
h_a คือ ความสูงยอดฟัน (มิลลิเมตร)
h_f คือ ความสูงโคนฟัน (มิลลิเมตร)
b คือ ความกว้างเฟือง (มิลลิเมตร)

หมายเหตุ จากตารางงานโลหะใช้ค่า $C = \frac{1}{6}$ [20

2.3.6 การส่งกำลังด้วยสายพาน

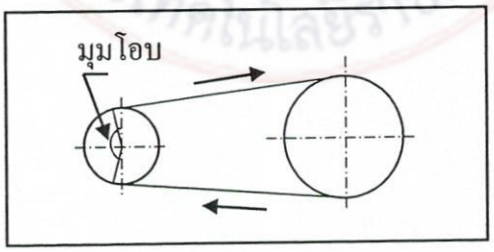
อาศัยหลักการส่งกำลังด้วยความฝืดของสายพานกับล้อสายพาน หรือที่เรียกว่าแรงเสียดทานแบ่งตามลักษณะหน้าตัดของสายพานได้หลายชนิดคือสายพานกลมสายพานแบนสายพานลิ่ม และสายพานฟันซึ่งส่งกำลังโดยอาศัยหลักการทางกลเหมือนแบบเฟืองหรือโซ่ส่งกำลัง

ข้อดีของการส่งกำลังด้วยสายพานสามารถส่งถ่ายกำลังที่มีระยะห่างระหว่างเพลาทั้งสองได้มากกว่าการส่งกำลังด้วยเฟืองมีการยืดหยุ่นตัวได้ดีทำให้การส่งกำลังไม่เกิดเสียงดังราคาถูกหาซื้อได้ง่ายเพราะว่ามีขนาดมาตรฐาน และมีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป

ข้อเสียของการส่งกำลังด้วยสายพานสายพานส่วนใหญ่ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการอัตราทดแน่นอนยกเว้นสายพานฟันมีอัตราทดแน่นอนมีความแข็งแรงน้อยกว่าเฟืองไม่เหมาะสำหรับงานบางสภาวะเช่นการใช้งานอยู่ในน้ำมัน

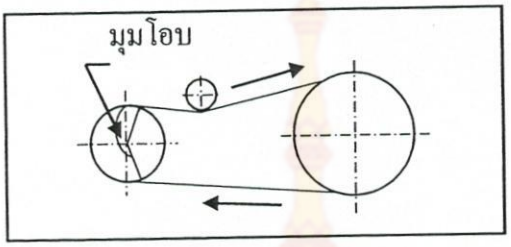
1) คุณสมบัติของสายพานส่งกำลังประเภทต่างๆ จะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- สายพานกลม มีลักษณะเหมือนโอลิง ทำจากยางหรือหนังสัตว์ การส่งกำลังของสายพานอาศัยความฝืดที่เกิดจากร่องล้อสายพานสัมผัสกับล้อสายพาน การส่งกำลังของสายพาน เป็นสายพานที่ออกแบบส่งกำลังเบาๆ เช่น จักรเย็บผ้า เครื่องเล่นเทปเสียง เครื่องฉายหนัง เครื่องเจียระไนพลอย เป็นต้น
- สายพานแบน เป็นสายพานผ้าใบ และใยสังเคราะห์ มีความคงทนต่องานดึงและเกาะแน่นได้ดีกับล้อสายพาน การส่งถ่ายกำลังจะอาศัยความฝืดที่เกิดจากผิวนอกล้อสายพานสัมผัสท้องสายพานสายพานแบนสามารถส่งกำลังได้มากและเป็นงานที่สามารถลื่นไถลได้จะเห็นได้ในเครื่องมือกลสมัยก่อนๆ แกนเพลาขนานกันและการส่งกำลังแบบแกนเพลาตัดกัน
- สายพานแบนแบบเปิดใช้ส่งกำลังแบบแกนเพลาขนานกันด้านหย่อนของสายพานจะอยู่ด้านบนด้านตึงจะอยู่ด้านล่างเพื่อทำให้เกิดมุมโอบหรือมุมสัมผัสมากขึ้นทำให้โอกาสลื่นไถลมีน้อยดังแสดงในรูปที่ 2.32



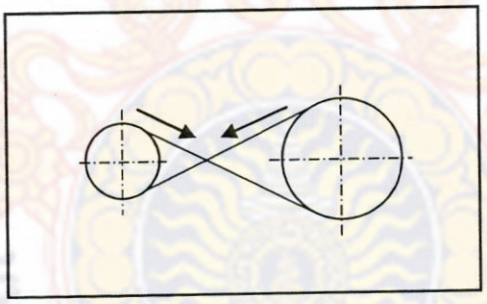
รูปที่ 2.32 สายพานแบนแบบเปิด (สายพาน, 2551)

- สายพานแบนแบบเปิดมีล้อกดสายพานเหมือนสายพานแบนแบบแรกแต่ต่างกันตรงที่มีล้อกดสายพานมาช่วยกดเพื่อทำให้เกิดมุมโอบมากขึ้นป้องกันการลื่นไถลของสายพานดังแสดงในรูปที่ 2.33



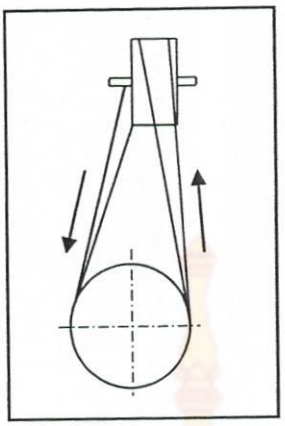
รูปที่ 2.33 สายพานแบนแบบเปิดมีล้อกดสายพาน (สายพาน, 2551)

- สายพานแบนแบบไขว้ในการส่งกำลังทิศทางในการหมุนของล้อขับและล้อตามจะหมุนกลับทิศทางกันมีข้อดีคือมีมุมโอบมากแต่มีข้อเสียคือสายพานจะเสียดสีกันตรงกลางดังแสดงในรูปที่ 2.34



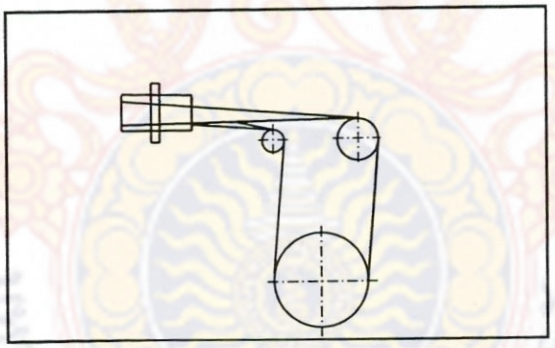
รูปที่ 2.34 สายพานแบนแบบไขว้ (สายพาน, 2551)

- สายพานแบนแบบกึ่งไขว้ใช้ส่งกำลังแบบแกนเพลาทำมุมตั้งฉากกันมีข้อดี คือสามารถส่งกำลังโดยไม่ต้องมีล้อกดสายพานแต่มีข้อเสียคือถ้าพลูเล่ย์ทั้งสองมีระยะเยื้องกันมากสายพานอาจจะหลุดจากล้อสายพานดังแสดงในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 สายพานแบนแบบกึ่งไขว้ (สายพาน, 2551)

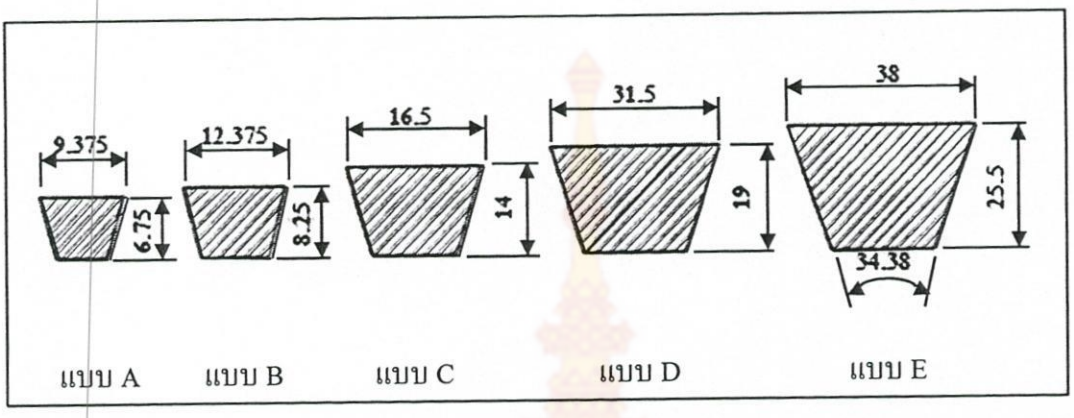
- สายพานแบนแบบกึ่งไขว้มีล้อกดสายพานใช้ส่งกำลังแบบแกนเพลาทำมุมตั้งฉากกันแต่จำเป็นต้องมีล้อกดสายพานมาช่วยเพื่อป้องกันสายพานหลุดออกจากล้อสายพานดังแสดงในรูปที่ 2.36



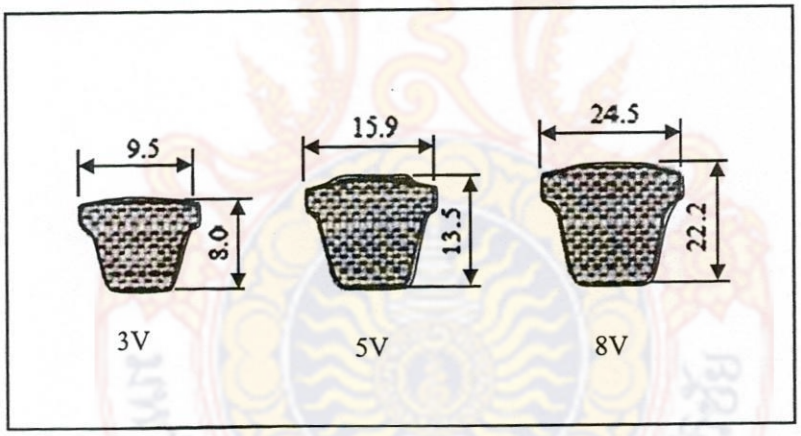
รูปที่ 2.36 สายพานแบนแบบไขว้มีล้อกดสายพาน (สายพาน, 2551)

- สายพานลิ่มหรือสายพานตัววี ที่เรียกว่า V-Belt มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูปัจจุบันนิยมใช้กันมากในงานเครื่องมือกลเพราะว่าหาง่ายราคาถูกโอกาสในการลื่นไถลมีน้อยใช้อยู่สองแบบคือสายพานลิ่มมาตรฐานเป็นสายพานลิ่มที่มีใช้อยู่ทั่วไปมีหน้าตัดของสายพานที่ใช้อยู่เป็นประจำคือมีหน้าตัดเป็นแบบ A B C D และE ดังแสดงในรูปที่ 2.48 ส่วนสายพานลิ่มอีกชนิดหนึ่งคือสายพานลิ่มหน้าแคบนิยมใช้ในเครื่องกลที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ของเครื่องจักรกลมีหน้าตัด

แบบ SPZ SPA SPB และSPC หรือแบบ 3V 5V และ8V เป็นสายพานหน้าแคบ แบบระบบนิ้วดังแสดงในรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.37 รูปหน้าตัดของสายพานลิ่มมาตรฐาน (สายพาน, 2551)



รูปที่ 2.38 รูปหน้าตัดของสายพานลิ่มหน้าแคบ (สายพาน, 2551)

- สายพานหลายลิ่ม สายพานหลายลิ่มมีลักษณะเป็นสายพานลิ่มธรรมดาหลายอันหลังติดกันเป็นแพ หลังสายพานจึงมีโครงสร้างเหมือนสายพานแบนขนาดบาง ช่องล้อสายพานต้องมีขนาดที่เที่ยงตรงกับสายพาน และล้อสายพานต้องตั้งให้ได้ศูนย์กันพอดี เพราะสายพานหลายลิ่มยืดหยุ่นแนวขอบไม่ได้ สายพานหลายลิ่มส่งกำลังได้มากมีความคงทนต่อการสึกหรอ และคงทนต่อความร้อนได้ดี

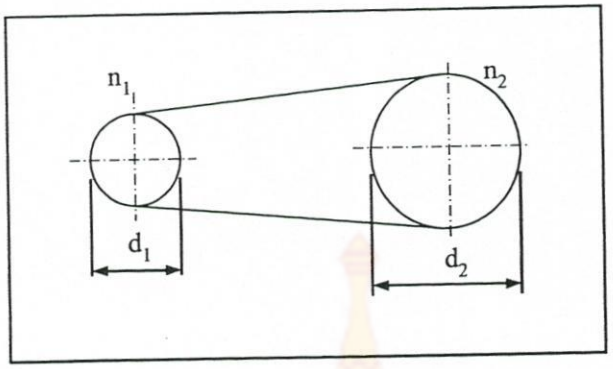
- สายพานฟันเฟือง ออกแบบพัฒนาจากข้อดีของโซ่ เฟือง และสายพานแบนมารวมอยู่ด้วยกัน เส้นใยโครงสายพานจะใช้วัสดุที่เป็นลวดเหล็กคุณภาพสูงนำมาวางเรียงแนวเฉียง เพื่อให้คงทนต่อการตัดเฉือน และความเร็วสูงๆ สามารถรับโหลดได้มาก และส่งถ่ายกำลังได้เที่ยงตรง
- สายพานข้อต่อ สายพานข้อต่อเป็นสายพานข้อสั้นๆ หลายๆ ข้อร้อยด้วยสกรูหรือหมุดโลหะให้เป็นแบบวงสายพานลิ่ม การส่งกำลังอาศัยความฝืดที่สัมผัสร่องล้อสายพานที่เป็นตัววี เหมือนสายพานลิ่ม

ตาราง 2.6 เปรียบเทียบการใช้งานและคุณภาพของสายพาน (สายพาน, 2551)

คุณสมบัติ	สายพานแบน	สายพานลิ่ม	สายพานลิ่มข้อ	สายพานฟันเฟือง
โหลดแรงกด และแรงดึงเพลา	สูงมาก	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำมาก
ความต้านทานต่อแรงกระตุก	ดี	ดี	ดี	พอใช้
ประสิทธิภาพทางกล	ดี	ดี	ดี	ดีที่สุด
การไม่ได้ศูนย์ของล้อสายพาน	ไม่มี	มีได้เล็กน้อย	มีได้เล็กน้อย	ยอมไม่ได้
การไถลลื่น	มีบ้าง	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย	ไม่มี
ราคาต้นทุน	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง
ความต้านทานต่อสภาพอากาศ	ดี	ดี	พอใช้	ดี
การบำรุงรักษา	มีบ้าง	แทบไม่มี	มีบ้าง	ไม่มีเลย

2) อัตราทดจากการส่งกำลังด้วยสายพานการส่งกำลังด้วยสายพานที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วๆไปมีสายพานแบนสายพานลิ่ม และสายพานฟันซึ่งมีวิธีการคำนวณหาอัตราทดดังนี้

- อัตราทดของสายพานแบนเป็นสายพานที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมสามารถส่งกำลังได้แบบทดชั้นเดียว และส่งกำลังแบบทดสองชั้นดังแสดงในรูปที่ 2.39 มีวิธีการคำนวณการส่งกำลังด้วยอัตราทดชั้นเดียวดังนี้



รูปที่ 2.39 การส่งกำลังด้วยอัตราทดชั้นเดียว (สายพาน, 2551)

สมการ 1 $$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.42)$$

สมการ 2 $$i = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.43)$$

สมการ 3 $$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.44)$$

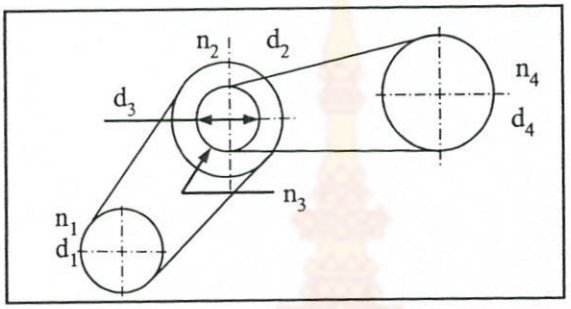
หรือ $$n_1 d_1 = n_2 d_2 \quad (2.45)$$

หมายเหตุ สมการที่ 2.44 ได้จากการนำสมการ 1 = สมการ 2

เมื่อ
- i คือ อัตราทด
- n_1 คือ ความเร็วรอบของล้อสายพานขับ (รอบต่อนาที)
- n_2 คือ ความเร็วรอบของล้อสายพานตาม (รอบต่อนาที)
- d_1 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวขับ (มิลลิเมตร)
- d_2 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวตาม (มิลลิเมตร)

- การส่งกำลังด้วยอัตราทดหลายชั้นหมายถึงการส่งกำลังที่มีชุดล้อขับ และล้อตามสองชุดคือมีล้อสายพานทั้งหมด 4 ตัวคือ d_1 d_2 d_3 และd_4 ส่วนความเร็ว

รอบจะมี 4 ตัวเหมือนกันคือ n_1 n_2 n_3 และn_4 แต่ n_2 จะเท่ากับ n_3 เพราะอยู่บนเพลาเดียวกันสาเหตุที่ต้องใช้อัตราทดหลายชั้นเพราะว่าการส่งกำลังมีอัตราทดสูงถ้าส่งด้วยอัตราทดชั้นเดียวล้อตามของสายพานจะมีขนาดใหญ่มากดังแสดงในรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 การส่งกำลังด้วยอัตราทดหลายชั้น (สายพาน, 2551)

จากรูปที่ 2.40 สมการในการหาอัตราทด

อัตราทดคู่ที่ 1 $i_1 = \frac{n_1}{n_2}$ หรือ $= \frac{d_2}{d_1}$ (2.46)

อัตราทดคู่ที่ 2 $i_2 = \frac{n_3}{n_4}$ หรือ $= \frac{d_4}{d_3}$ (2.47)

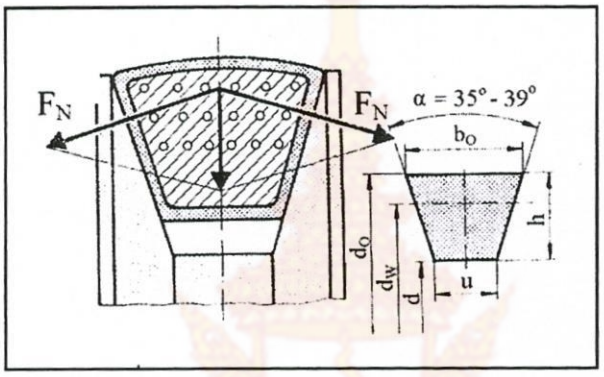
อัตราทด i รวม $= i_1 \times i_2$ (2.48)

อัตราทด i รวม $= \frac{n_1}{n_4}$ (2.49)

อัตราทด i รวม $= \frac{d_2}{d_1} \times \frac{d_4}{d_3}$ (2.50)

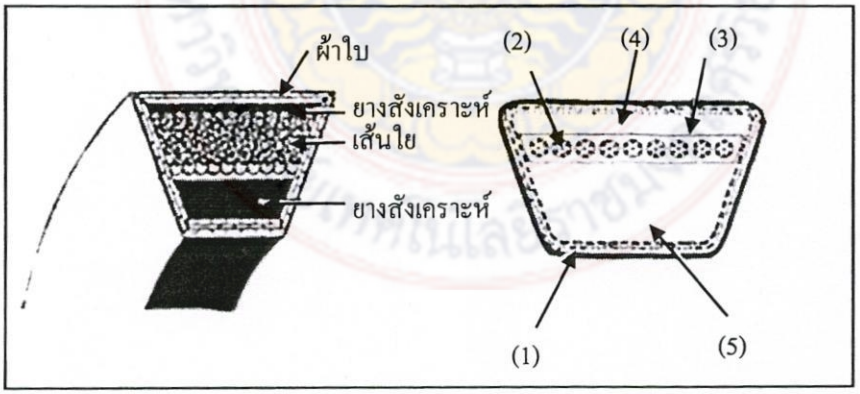
3) การส่งกำลังด้วยสายพานลิ่ม สายพานลิ่มมีรูปหน้าตัดเป็นรูปตัววี มีใช้กันแพร่หลายในเครื่องทุนแรงงานเกษตร และงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีลักษณะการส่งกำลังดังนี้

- สายพานขนาดเล็กที่ต้องใช้ล้อกดสายพาน ได้ถูกสายพานลิ่มเข้าแทนที่หมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานเครื่องมือกล เมื่อเทียบกับสายพานแบนแล้ว ถ้ามีแรงกดสายพานเท่า ๆ กันสายพานลิ่มจะรับโหลดได้มากกว่าเป็นสามเท่า วิ่งเงียบกว่า และไม่มีระยะลื่นดังแสดงในรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 การกระทำของแรงในระบบการส่งกำลังด้วยสายพานลิ่ม (สายพาน, 2551)

- โครงสร้างสายพานลิ่ม สายพานลิ่มจะประกอบไปด้วยยางสังเคราะห์เส้นใยเสริมแรงหรือเทตรอน และห่อหุ้มผ้าใบทั้ง 4 ด้าน สายพานลิ่มเป็นสายพานแบบไม่มีรอยต่ออ่อนตัวได้ดี ทนแรงดึงสูงดังแสดงในรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 ส่วนประกอบสายพานลิ่ม (สายพาน, 2551)

หมายเลข (1) ผิวนอกส่วนที่สัมผัสกับร่องล้อสายพานเป็นยางที่ทนต่อการเสียดสี และทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน โดยมีผ้าใบรองรับภายในโดยรอบ

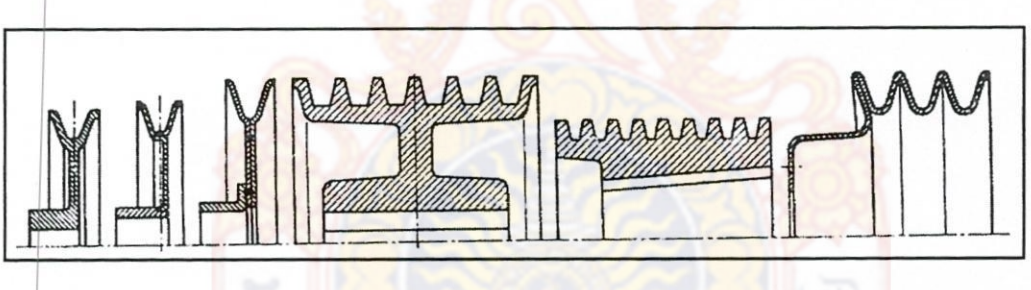
หมายเลข (2) เส้นเชือกภายใน เป็นใยสังเคราะห์ประเภทรอยยอนไนล่อน หรือเส้นลวด ชั้นเดียวหรือหลายชั้น ยืดได้ไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ป้องกันสายพานยืด

หมายเลข (3) ยางหุ้มเส้นเชือก เพื่อให้เชือกรักษาตำแหน่งของมันโดยไม่แตกตัว

หมายเลข (4) ยางส่วนบน ทำหน้าที่เฉลี่ยแรงให้เส้นเชือก และคอยรักษารูปทรงสายพานให้ตรง ยืดตัวเมื่อสายพานโอบล้อสายพาน

หมายเลข (5) ยางส่วนล่าง เป็นส่วนรับแรงกด และส่งแรงจากร่องเชือกไปยังล้อสายพาน

- ล้อสายพานลิ่ม ล้อสายพานลิ่มส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็กหล่อผิวลื่น เชื่อมหรือปั๊มขึ้นรูปแผ่นเหล็ก ล้อสายพานลิ่มจะถ่ายเทความร้อนได้ดี หากเป็นล้อสายพานคุณภาพสูงที่ใช้ในเครื่องจักรกลหรือเครื่องยนต์ ต้องกำหนดทั้งคุณสมบัติของวัสดุ พิกัดเนื้อเหล็กหล่อ และพิกัดขนาดต่างๆ นับ 10 จุด ล้อสายพานลิ่มที่ส่งกำลังน้อย เช่น เครื่องเจียระไนเสียง ใช้ล้อสายพานเหล็กแผ่นขึ้นรูปหรือพลาสติก มีน้ำหนักน้อย และแข็งแรงเพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 ล้อสายพานลิ่มแบบต่างๆ (สายพาน, 2551)

4) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด และกำลังลักษณะการใช้งานโดยทั่วไปของเพลาก็คือ การใช้ส่งกำลังจากส่วนหนึ่งไปอีกส่วนหนึ่งกำลัง (Power) คือ อัตราการทำงานดังนั้นกำลังที่เกิดจากแรงบิดหรือโมเมนต์บิด (Touqe : T) ก็คือ พิจารณาแรง F นิวตัน (N) กระทำสัมผัสกับเพลาหมุนด้วยความเร็วรอบ (n) รอบต่อวินาที ระยะทางที่เคลื่อนที่เท่ากับ $2\pi R$

งานในการหมุน 1 รอบ คือ แรง×ระยะทาง

โมเมนต์บิด $T = F \times R$ (2.51)

แต่ $\omega = \frac{2\pi N}{60}$

กำลัง $P = T\omega$ (2.52)

$\therefore P = \frac{2\pi TN}{60}$ (2.53)

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุม (องศาต่อวินาที)

F คือ แรงที่มากระทำ (นิวตัน)

R คือ ระยะทาง (เมตร)

P คือ กำลังที่ส่ง (วัตต์)

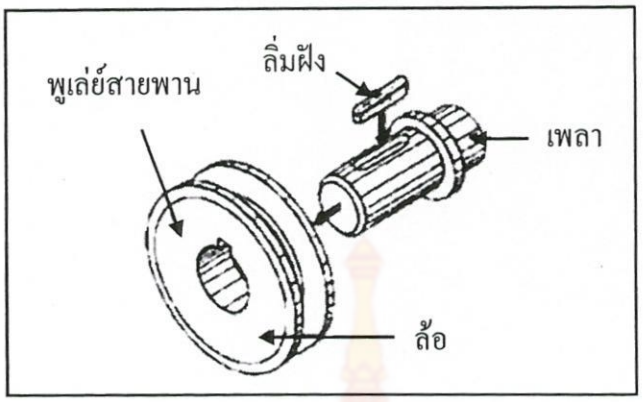
N คือ ความเร็วรอบของเพลา (รอบต่อนาที)

T คือ โมเมนต์บิด (นิวตันเมตร)

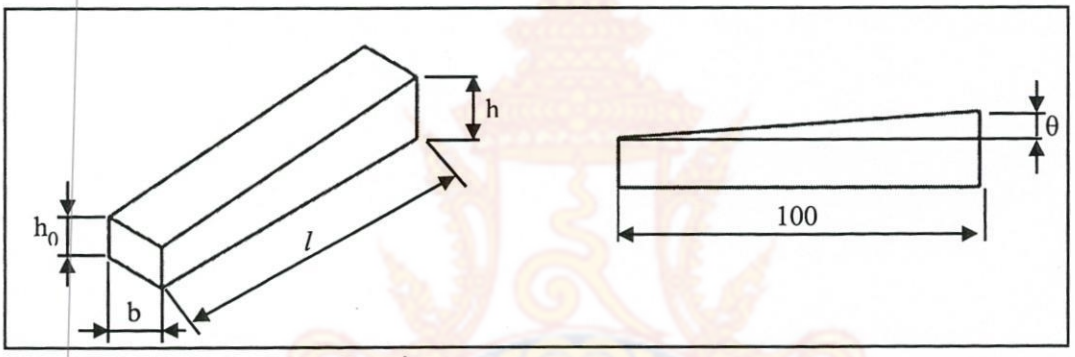
2.3.7 ลิ่มเป็นเครื่องมือกลพื้นฐาน โดยหลักการคือการใช้พื้นเอียงในการแยกของสองสิ่งออกจากกัน การให้แรงในแนวตั้งฉากกับส่วนหัว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแรงตั้งฉากไปแนวแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียง

1) ประเภทของลิ่ม ลิ่มที่ใช้ประกอบระหว่างเพลากับชิ้นส่วนอื่นไม่ว่าจะเป็นเฟืองพูเล่ย์หรือล้อสายพานต่างๆ ลิ่มมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.44

- ลิ่มส่งกำลัง ลิ่มประเภทนี้มีหน้าที่ส่งกำลังระหว่างล้อกับเพลาในเครื่องจักรกลใหญ่ ๆ ที่ใช้ล้อสายพานใช้เฟือง ใช้คลัตช์ หรือเครื่องจักรกลเกษตรก็ใช้ลิ่มส่งกำลัง ลิ่มชนิดนี้ถอดประกอบได้ง่าย ลิ่มส่งกำลังจะมีความลาด 1 ต่อ 100 หมายความว่าความยาวทั้งหมดของลิ่ม 100 มิลลิเมตรความสูงของลิ่มจะลดลง 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.45



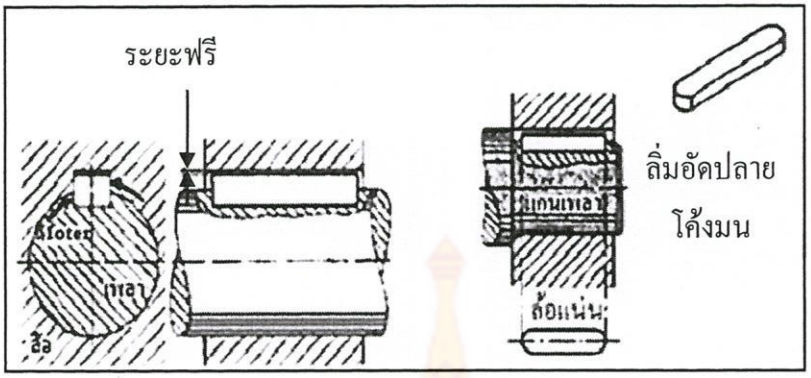
รูปที่ 2.44 ส่วนประกอบที่ใช้คู่กับลิ่ม (สายพาน, 2551)



(ก) การกำหนดขนาดของลิ่ม (ข) ความยาวของอัตราลาด 1 : 100

รูปที่ 2.45 การกำหนดขนาดของลิ่มส่งกำลัง (สายพาน, 2551)

- ลิ่มอัด ลิ่มประเภทนี้ไม่มีความลาดตามแนวยาวจะขนานตามแนวยามตลอดลำตัว ดังนั้นแรงที่ขับขี่ล้อหรือเพลาให้หมุนนั้นจะกระทำผ่านผิวด้านของลิ่มผิวด้านข้างของลิ่มจะรับภาระเฉือน แต่ข้อดีคือระหว่างล้อกับเพลาจะไม่มีการเยื้องศูนย์ ลิ่มประเภทนี้เหมาะสำหรับเพลาที่หมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 ลักษณะการใช้งานของลิ่มอัดปลายมนโค้ง (สายพาน, 2551)

- ลิ่มราบ เป็นลิ่มส่งกำลังตามมาตรฐานของ DIN 6883 มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ก่อนประกอบยึดต้องกัดหรือไสให้ผิวเพลาพอที่จะให้ลิ่มประกอบได้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต และผิวราบนี้มีผลต่อความแข็งแรงของเพลาน้อยรับแรงโมเมนต์ได้น้อยกว่าลิ่ม

2) การคำนวณเกี่ยวกับลิ่มขนาดความกว้างของลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยทั่วไปจะเท่ากับหนึ่งในสี่ของความโตเพลา การออกแบบถ้าไม่รวมความหนาแน่นแล้ว จะได้สมการความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของลิ่ม และเพลา คือ

$$\frac{bdlS_s}{2} = \frac{\pi d^3 S_s}{16} \quad (2.54)$$

$$b = \frac{d}{4} \quad (2.55)$$

$$l = 1.57\,d \quad (2.56)$$

เมื่อ

d	คือ	เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา (มิลลิเมตร)
b	คือ	ความกว้างของลิ่ม (มิลลิเมตร)
l	คือ	ความยาวของลิ่ม (มิลลิเมตร)
S_s	คือ	ค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ของวัสดุลิ่ม

2.3.8 สเตนเลส (Stainless Steel) (ความรู้เรื่องสเตนเลส, 2550)

ในทางโลหะกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็ก ที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5 เปอร์เซ็นต์ ชื่อในภาษาไทย แปลจากภาษาอังกฤษว่า Stainless Steel เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมอันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง ออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อสเตนเลส เกิดเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสเตนเลสได้เป็นอย่างดี ปกป้องการเกิด Corrosion และไม่ชำรุดหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สำหรับในสหรัฐอเมริกาและในหลายประเทศ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน นิยมเรียกโลหะนี้ว่า Corrosion Resistant Steel เมื่อไม่ได้ระบุชัดว่าเป็นโลหะผสมชนิดใด และคุณภาพระดับใด แต่ในท้องตลาดเราสามารถพบเห็น สเตนเลสเกรด 18-8 มากที่สุด ซึ่งเป็นการระบุถึง ธาตุที่เจือลงในในเนื้อเหล็กคือ โครเมียมและนิเกิล ตามลำดับ สแตนเลสประเภทนี้จัดเป็น Commercial Grade คือมีใช้ทั่วไปหาซื้อได้ง่าย มักใช้ทำเครื่องใช้ทั่วไป ซึ่งเราสามารถจำแนกประเภทของสเตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304 304L 316 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสเตนเลส ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สเตนเลสกับการเกิดสนิม ปกติ Stainless Steel จะไม่เป็นสนิมเพราะที่ผิวของมันจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์บางๆเคลือบผิวอยู่อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง Cr ใน Stainless Steel กับ ออกซิเจนในอากาศ การทำให้ Stainless Steel เป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ที่เคลือบผิวออกไปในสภาวะที่ Stainless Steel สามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้งเช่น ถ้าสเตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วน แล้วบริเวณรอยนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้

1) ประเภทของสเตนเลส

- กลุ่มออสเทนนิติค (Austenitic) หรือสเตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (Non – Magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนผสมของธาตุนิกเกิล 8 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ(Fabrication)และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน [9] เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18 ต่อ 10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิล 10 เปอร์เซ็นต์

- กลุ่มเฟอริติค (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด (Magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5-27 เปอร์เซ็นต์ และมีนิกเกิ้ลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย
- กลุ่มมาร์เทนซิติค (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด(Magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 12-14 เปอร์เซ็นต์ และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีนิกเกิลสเตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด อุตสาหกรรมเครื่องบิน และงานวิศวกรรมทั่วไปกลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening)เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้ คือ 17-4 H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิล 4 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งจากการตกผลึก (Precipitation Hardening Mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) อยู่ระหว่าง 1000 ถึง 1500 เมกาปาสคาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิด และกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat Treatment)
- กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอริติค และออสเทนนิติค มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19-28 เปอร์เซ็นต์ และโมลิบดินัมสูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติค พบว่ามีการใช้งานมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์
- กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening) เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้ คือ 17-4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิล 4 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งจากการตกผลึก (Precipitation Hardening Mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) อยู่ระหว่าง 1000 ถึง 1500 เมกาปาสคาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิด และกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heattreatment)

2) การใช้งานสเตนเลส

- สเตนเลสตระกูลออสเทนนิติคเป็นสเตนเลสที่นำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะ อาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า งานตกแต่งอาคาร งานสถาปัตยกรรม อุปกรณ์ในการผลิตเบียร์ หรือการผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มและอาหารที่มีสมบัติต้านทานที่เกี่ยวข้องกับ ความสะอาด และสุขศาสตร์อนามัย เช่น เครื่องมือในโรงพยาบาล เวชภัณฑ์ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำติดลบ สำหรับถังเก็บแก๊สเหลวและสามารถใช้งานที่ อุณหภูมิสูง เช่นทำท่อแลกเปลี่ยนอุปกรณ์ความร้อน ทำอุปกรณ์ควบคุมหรือกำจัดมลภาวะและควันพิษ งานท่อ ถังเก็บ ภาชนะที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม และภาชนะ ความดันที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเหมืองแร่ การผลิตเนื้อเยื่อกระดาษ และกระดาษ อุปกรณ์ในตู้โดยสารรถไฟ รถเข็น อาหาร
- สเตนเลสตระกูลเฟอร์ริติค เป็นตระกูลที่นิยมใช้มากที่สุดในงานอุปกรณ์ตกแต่งในอาคาร เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ช้อนส้อม มีด และเครื่องใช้ในครัว อ่างล้าง อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน งานสถาปัตยกรรม เครื่องถ่ายความร้อนในกระบวนการผลิต และอุปกรณ์เครื่องใช้ในการผลิตอาหารนม แกน และถังปั่นในเครื่องซักผ้า และเครื่องล้างจาน นอกจากนี้สามารถนำไปใช้ในงานเรือเดินสมุทร ทำแผ่นดาดฟ้าเรือ ฝายน้ำล้น โซ่ในงานขนถ่ายสินค้า อุปกรณ์ ดูดฝุ่นและควัน เป็นต้น
- สเตนเลตระกูลมาร์เทนซิติค สามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการความทนทานและมีความแข็ง เช่น ทำใบมีด เครื่องมือผ่าตัด ตัวยึด กระสวยหรือแกนเพลา หัวฉีด เพลา และสปริง โดยทั่วไปผลิตออกมาในรูปเป็นท่อนแบน แผ่น และงานหล่อ ตัวอย่าง สเตนเลสเกรดมาร์เทนซิติค ทั่วไป
- สเตนเลสตระกูลดูเพล็กซ์ นำไปใช้ในการทำแผง และท่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ ถังเก็บ และถัง ความดันในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นสูง ตัวอย่างงานได้แก่ อุปกรณ์ หล่อเย็นด้วยน้ำทะเล การกลั่นน้ำทะเลให้บริโภคได้ อุตสาหกรรม หมักดอง เหมืองฉีดน้ำ อุตสาหกรรมน้ำมัน และแก๊ส

2.3.9 ยาง (Rubber)

ยางคือโพลิเมอร์ชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ดูดซับและระบายพลังงานได้ดี เก็บรักษาแรงอัดได้ มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการฉีกขาด การพับงอ นอกจากนี้ยังเป็นฉนวนความร้อน ฉนวนไฟฟ้า ทนสารเคมีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ประเภทของยาง

- ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ Cis-1-Polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15000 - 20000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้นโดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืดมันจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain Induced Crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดีนั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion Resistance) สูง ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) สูงเมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไปยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็วยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้นยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ มากมาย เนื่องจาก
- ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดเช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น
- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat Build-Up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดีจึงเหมาะสำหรับการผลิตยาง

รถบรรทุก ยางล้อเครื่องบินหรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

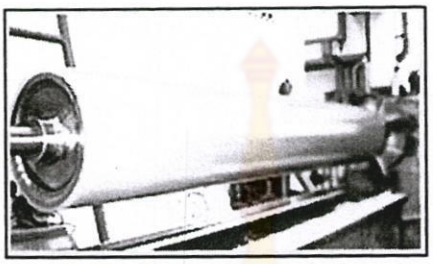
- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิสูง จึงเหมาะ สำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อนเพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อนยางที่ใช้จึงมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง
- ยางสังเคราะห์ ไม่ได้หมายถึงยางเทียมที่มีลักษณะทางเคมี และสมบัติคล้ายคลึงกับยางธรรมชาติ เท่านั้น แต่ยังรวมถึงยางชนิดต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเคมี สาเหตุสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการริเริ่มค้นคว้าการผลิตยางสังเคราะห์จนขยายมาเป็นการผลิตเชิงการค้า การผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตโมโนเมอร์ และขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชั่น ยางสังเคราะห์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ชนิดของโมโนเมอร์ ถ้ายางสังเคราะห์ประกอบด้วยโมโนเมอร์ชนิดเดียวจะเรียกว่า โฮโมโพลิเมอร์ (Homopolymer) เช่น ยางโพลิบิวตาไดอีน (Polybutadiene : BR) หรือยางโพลิไอโซพรีน (Polyisoprene : IR) เป็นต้น แต่ยางสังเคราะห์บางชนิดอาจจะประกอบด้วยโมโนเมอร์มากกว่า1ชนิด เรียกว่า โคโพลิเมอร์ (Copolymer) เช่นยางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber : SBR) เป็นต้น
- ยางบิวไทล์ (Butyl Rubber : IIR) ยางบิวไทล์เป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างมอนอเมอร์ของไอโซพรีน และไอโซบิวทาลีน เพื่อที่จะรักษาสมบัติเด่นของไอโซบิวทาลีนไว้ ยางบิวไทล์จะมีปริมาณไอโซพรีนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 0.5-3 โมลเปอร์เซนต์) เพียงเพื่อให้สามารถวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันได้เท่านั้น เนื่องจากพอลิไอโซบิวทาลีนไม่มีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามการที่มีปริมาณไอโซพรีนเพียงเล็กน้อยนี้ทำให้การวัลคาไนซ์ยางบิวไทล์เป็นไปอย่างช้ามาก ทำให้เกิดปัญหาในการสุกร่วมกับยางไม่อิ่มตัวอื่นๆ ยางบิวไทล์มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300000 ถึง 300000 มีค่าความหนืดมูนี่ (ML1+4 100 องศาเซลเซียส) อยู่ในช่วง 40 ถึง 70 การกระจายขนาดโมเลกุลค่อนข้างจะกว้าง ทำให้การแปรรูปยางบิวไทล์ทำได้ง่าย ยางบิวไทล์มีสมบัติที่ดีหลาย

ประการ คือ ทนต่อการออกซิเดชัน ทนต่อโอโซน ทนต่อความดันไอน้ำได้สูง และมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

- ยางบิวตาไดอีน (Butadiene Rubber : BR) หรือ ยางบิวนา (Buna Rubber) ผลิตจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution Polymerization) ซึ่งมีการจัดเรียงตัวได้ทั้งแบบ Cis-1 แบบ Tran-1 และแบบ Vinyl-1 โดยยางชนิดนี้จะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 250000 - 300000 มีสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่น ความต้านทานต่อการขัดถู ความสามารถในการหักงอที่อุณหภูมิต่ำ ความร้อนสะสมในยางต่ำ และเป็นยางที่ไม่มีขั้วจึงทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ยางบิวตาไดอีนส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมยางล้อ เพราะเป็นยางที่มีความต้านทานต่อการขัดถูสูง และมักถูกนำไปทำใส่ในลูกกอล์ฟและลูกฟุตบอลเนื่องจากมีสมบัติด้านการกระเด้งตัวที่ดี
- ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber : SBR) ยางสไตรีนบิวตาไดอีน หรือยาง SBR เป็นยางสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นโดยการนำสไตรีนมาโคพอลิเมอไรซ์กับบิวตาไดอีน โดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชั่น (Emulsion Polymerization) โดยเรียกยางที่ได้ว่า E-SBR และอาจใช้วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution Polymerization) เรียกว่า L-SBR โดยทั่วไปสัดส่วนของสไตรีนต่อบิวตาไดอีนอยู่ในช่วง 23 - 40 เปอร์เซ็นต์
- ยางซิลิโคน (Silicone Rubber : SR) เป็นยางสังเคราะห์ที่ใช้งานเฉพาะอย่างและราคาสูง เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์พร้อม ๆ กัน เนื่องจากโมเลกุลมีโครงสร้างของสายโซ่หลักประกอบด้วย ซิลิกอน (Si) กับออกซิเจน (O) และมีหมู่ข้างเคียงเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งต่างจากพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆทำให้ยางซิลิโคน ทนทานต่อความร้อนได้สูง และยังสามารถออกสูตรยางให้ทนทานความร้อนได้สูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส ยางซิลิโคนมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลที่สูง และมีความทนทานต่อแรงดึงต่ำ เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่ำมาก
- ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber : CR) มีชื่อทางการค้าว่า ยางนีโอพรีน (Neoprene Rubber) เป็นยางที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ของคลอโรพรีนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โมเลกุลของยาง CR สามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบสามารถตกผลึกได้เมื่อดึง มีสมบัติคล้ายยางธรรมชาติ

2.3.10 ชนิดของยางที่ใช้หุ้มลูกกลิ้ง

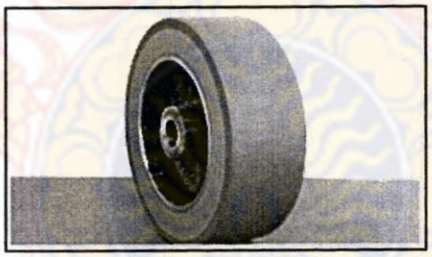
1) Natural Rubber : NR



รูปที่ 2.47 Natural Rubber : NR (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- ยางธรรมชาติไม่ทนต่อน้ำมัน เมื่อแช่ในสาร Hydrocarbon จะพองบวม
- ใช้ทำยางรถยนต์ ยางรองกันกระเทือน ยางกันรั่วหรือซีล

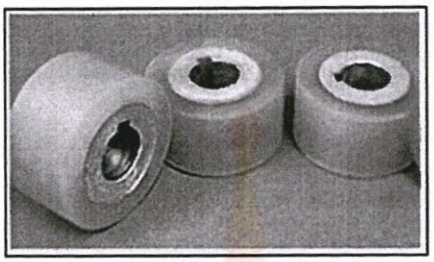
2) Polychloroprene : CR



รูปที่ 2.48 Polychloroprene : CR (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ทนน้ำมันเพื่อความทนทานต่อการเสื่อสลายด้วยออกซิเจน หรือโอโซนใช้ทำสายพานรูปตัววีปลอกหุ้มสายไฟและสายไฟ และสายเคเบิลทำรองเท้า ทำอุปกรณ์และชุดประดาน้ำใช้เคลือบผลิตภัณฑ์

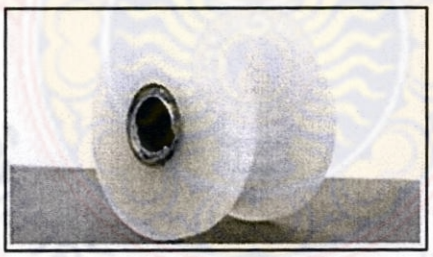
3) Nitrile Rubber : NBR



รูปที่ 2.49 Nitrile Rubber : NBR (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- NBR ทั่วไปมีความทนทานต่อน้ำมัน และไฮโดรคาร์บอนแต่จะบวมเมื่อถูกตัวทำละลายที่มีขั้วและดีโตนนอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยออกซิเจนโอโซน
- การนำไปใช้งาน NBR เป็นยางที่ทนทานต่อน้ำมัน จึงนิยมใช้ทำซีลใช้เคลือบ ภายในท่อยางหุ้มลูกกลิ้งยางอุตสาหกรรม ทำสายพานลำเลียงใช้หุ้มลูกกลิ้งยางอุตสาหกรรมและอื่นๆ

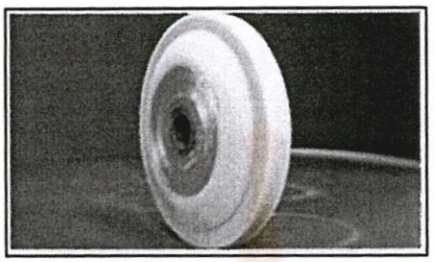
4) Styrene - Butadiene Co - Polymer : SBR



รูปที่ 2.50 Styrene - Butadiene Co-Polymer : SBR (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- SBR ไม่ทนทานต่อน้ำมัน และตัวทำละลายต่างๆ รวมทั้งสารประกอบฮาโลเจน
- SBR เป็นยางที่เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ เป็นส่วนใหญ่โดย เฉพาะยางรถบรรทุกขนาดกลาง

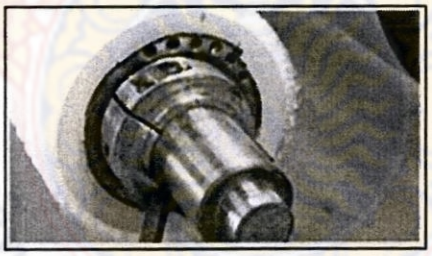
5) Ethylene Propylene Diene Rubbers : EPDM



รูปที่ 2.51 Ethylene Propylene Diene Rubbers : EPDM (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- ทั้ง EPM และ EPDM เป็นยางที่อิ่มตัว จึงยากต่อการถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนโอโซนหรือแสงอุลตราไวโอเลตแต่ยางชนิดนี้ไม่ทนทานต่อน้ำมันและจะเกิดการพองตัวหรือบวมด้วยไฮโดรคาร์บอน
- EPM และEPDM มีสมบัติความต้านทานไฟฟ้าที่ดี เสถียรต่อการแผ่รังสี เป็นกลุ่มยางสังเคราะห์ ที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด

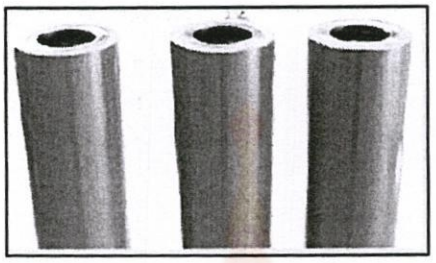
6) Chlorosulfonated Polyethylene : CSM



รูปที่ 2.52 Chlorosulfonated Polyethylene : CSM (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- CSM มีความต้านทานการถูกออกซิไดซ์จากออกซิเจน โอโซน แสงอัลตราไวโอเลตที่ดีมาก รวมทั้งการที่เป็นโมเลกุลแบบโพลาร์ จึงทำให้มีความทนทานต่อน้ำมันได้ดี
- เนื่องจาก CSM มีความเสถียรที่ดีเยี่ยมต่อแสงอัลตราไวโอเลต จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้งานในด้านต่างๆ มากมาย เช่น วัสดุบุหลังคากันรั่ว พื้นสระน้ำ

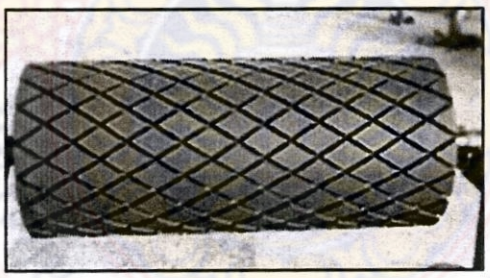
7) Fluorocarbon Rubber : FPM



รูปที่ 2.53 Fluorocarbon Rubber : FPM (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- ความทนทานต่อความร้อน และความต้านทานต่อสารเคมีของฟลูออโรพอลิเมอร์ และมีความต้านทานต่อสารเคมีได้ดีคือ 65 – 69 เปอเซ็นต์ และชนิดที่มีฟลูออรีนสูงถึง 70 เปอเซ็นต์ จะมีความทนทานต่อความร้อนได้สูงกว่า 250 องศาเซลเซียส
- ยางประเภทนี้ มักนิยมใช้ในงานทำซีลกันรั่วสำหรับเครื่องยนต์ เป็นต้น

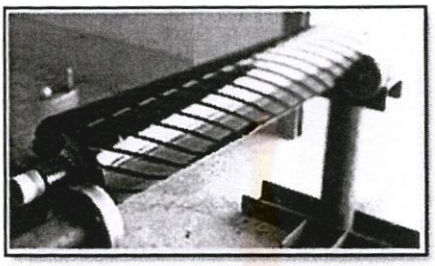
8) Silicone Rubbers : SR



รูปที่ 2.54 Silicone Rubbers : SR (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- ยางซิโคน สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานยาวนาน แต่อาจสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส มีความต้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของออกซิเจน และแสงอัลตราไวโอเลต มีความทนทานต่อน้ำมัน

9) Polyurethane Tubbers : AU



รูปที่ 2.55 Polyurethane Rubbers : AU (พงษ์ธร แซ่อุ้ย, 2553)

- สมบัติทั่วไปของพอลิยูรีเทน เป็นวัสดุที่มีความเหนียว ทนทานต่อการขัดสีได้ดีมาก มีความต้านทานต่อปฏิกิริยากับน้ำมัน
- พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์ และถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ทำซีลทำได้ ขึ้นรูปโลหะ ทำอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Coupling) หุ้มลูกกลิ้งอุตสาหกรรมทำล้อสายพานลำเลียง

2.4 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร

ในส่วนของเครื่องจักรเองจะต้องทำให้เกิดความปลอดภัยโดยมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร (Machine Safeguarding) ซึ่งหมายถึงส่วนประกอบที่ติดตั้งมากับเครื่องจักร หรืออาจสร้างขึ้นภายหลัง วัตถุประสงค์เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องจักรเหล่านั้น อุปกรณ์ป้องกันอันตรายดังกล่าว นอกจากจะช่วยป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรได้ ประกอบติดมากับเครื่องจักรเรียบร้อยแล้วแต่มักจะถูกถอดออกไปเนื่องจากความยุ่งยากในการซ่อมบำรุง และการควบคุมผู้ปฏิบัติงานให้ปฏิบัติตาม นอกจากนั้นยังกีดขวางหรือเพิ่มขั้นตอนและเสียเวลาในการทำงาน ฯลฯ ดังนั้นฝาครอบเครื่องจักรต่างๆ หรืออุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรอื่นๆ จึงไม่ได้ถูกประกอบเข้าไปใหม่หรือให้เหมือนเดิม ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บขึ้นเป็นประจำ

ดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรหรือเครื่องป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรจึงหมายถึงสิ่งใดใดก็ตามที่ส่งผลให้เครื่องจักร มีลักษณะหรือคุณสมบัติที่ปลอดปลอดภัยต่อการปฏิบัติงานอย่างปกติโดยไม่มีผลต่อสมรรถนะในการทำงานและเป็นการเพิ่มผลผลิตของเครื่องจักรนั้น หรือมีผลต่อความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรนั้น

2.4.1 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร มีหน้าที่สำคัญดังนี้

1) ป้องกันอันตรายจากการสัมผัสกับส่วนของเครื่องจักรที่มีการหมุนหรือเคลื่อนที่ได้โดยตรงเช่น ส่วนที่ส่งถ่ายพลังงาน ได้แก่ เกียร์ พลูเล่ย์ สายพาน ข้อต่อเฟือง ใบเลื่อย หรือมีดตัดเฉือน เป็นต้น

2) การป้องกันอันตรายจากกระบวนการผลิต เช่น เศษวัสดุกระเด็นหรือของเหลวกระเซ็นถูกผู้ปฏิบัติงาน เช่น การหลอม การเจาะ กลึงหรือเจียร เป็นต้น

3) ป้องกันอันตรายจากความบกพร่องของเครื่องจักร เช่นระบบสายไฟฟ้าชำรุด ต่อไว้ไม่ถูกต้อง เครื่องจักรทรุดโทรมขาดการบำรุงรักษาการใช้เครื่องจักรผิดวัตถุประสงค์เป็นต้น

4) ป้องกันอันตรายจากความบกพร่อง ความพลั้งเผลออันเนื่องจากความวิตกกังวล ความเหนื่อยล้าหรือประมาทเลินเล่อของผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร

2.4.2 การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันภัยสำหรับส่วนส่งถ่ายพลังงาน เป็นการออกแบบที่ง่ายกว่าการออกแบบเฉพาะที่จุดทำงาน ทั้งนี้เพราะระยะส่งถ่ายพลังงานนั้นยังพอจะมีมาตรฐานมากกว่าหากในโรงงานอุตสาหกรรมใดไม่มีวิศวกรทางความปลอดภัย อาจจะขอคำแนะนำได้จากหน่วยงานราชการบางแห่ง เช่น กองบริการอุตสาหกรรม กรมแรงงานหรือจากมหาวิทยาลัย โดยทั่ว ๆ ไปแล้วอุปกรณ์ป้องกันภัยควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

1) ให้เป็นไปตามกฎของกระทรวงอุตสาหกรรมที่ได้บัญญัติ

2) อุปกรณ์ป้องกันภัยควรเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรหรือเครื่องมือโดยถาวร และพร้อมที่จะใช้งานตลอดเวลา

3) สามารถป้องกันอย่างเต็มที่ทั้งผู้ควบคุมเครื่องและผู้ที่เดินผ่านไปมา

4) ป้องกันการเข้าใกล้บริเวณที่อันตราย หรือจุดทำงานขณะที่เครื่องจักรยังคงทำงานอยู่

5) ไม่ทำให้โครงสร้างเครื่องจักรเสื่อมลง

6) ให้ความสะดวก โดยไม่มีผลทำลายประสิทธิภาพการทำงานของผู้ควบคุมเครื่องหรือทำความยุ่งยากในการทำความสะอาดบริเวณรอบๆ เครื่องจักร

7) ออกแบบให้เหมาะสมกับงานเฉพาะหรือเครื่องจักรเฉพาะ และควรออกแบบให้ง่ายต่อการปรับ การตรวจสอบ การเติมน้ำมัน หรือการซ่อมแซมเครื่องจักรบางส่วน

8) ทนไฟไม่สึกหรอง่ายและสะดวกในการซ่อมแซมแข็งแรงทนทานต่อการสึกกร่อนธรรมดา ไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อยๆ

9) ไม่เป็นการเพิ่มอันตราย เช่น มีรอยคม มุมคม จุดหนีบปลายหยาบๆ ถ้าเป็นไปได้ควรมีเครื่องปิดเปิดอัตโนมัติ คือเครื่องจักรจะไม่ทำงานตราบใดที่อุปกรณ์การป้องกันภัยยังไม่เข้าที่

2.4.3 ชนิดหรือกลไกของเครื่องจักรที่จะก่อให้เกิดอันตรายในการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน แบ่งออกเป็นลักษณะดังนี้

1) กลไกที่มีการหมุน ส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรที่มีการหมุนแล้วก่อให้เกิดอันตรายได้ ทั้งนั่น กลไกที่มีการหมุนนี้มักใช้กับการส่งถ่ายแรงของเครื่องจักร แม้ว่าจะก่อให้เกิดบาดแผล และน้อยก่อตาม แต่มักจะหลีกเลี่ยงไม่ค่อยได้ ดังนั้นควรมีอุปกรณ์ป้องกันภัยไว้ กลไกลักษณะนี้มักจะเกาะผม ผ้า เศษผ้า และจะมีผลดึงคนที่ใส่ผ้านั้นเข้าไปด้วย ตัวอย่างกลไกประเภทนี้คือ เพลาส่งกำลังทั้งแนวดิ่งและแนวระดับ เช่น เดือยที่ยื่นออกมาจากเครื่องกลึง สกรูขับพลูเล่ย์ และเพลาที่ต่อเครื่องเจาะปลอกต่อเพลา และคลัทช์

2) กลไกการตัดและการตัดเฉือน จุดที่เกิดอันตรายคือบริเวณที่ชิ้นงานกับส่วนของเครื่องทำงานอยู่ เช่น เครื่องตัดแบบโยติน เครื่องที่มีการกดและเจียระไนใบเลื่อย เครื่องบด เครื่องกลึง เครื่องปาดหน้า และการเจียระไน

3) กลไกการเคลื่อนที่ ที่มีจุดหนีบเมื่อมีเพลาตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป ทำงานแบบสัมผัสกัน หมุนคนละทิศทางจะเกิดจุดหนีบขึ้น สิ่งของหรืออวัยวะร่างกายคนอาจถูกดูดเข้าหาจุดนี้ได้และจะถูกบดหรือถูกรีดได้ เช่น เครื่องรีด โซ่กับฟันเฟือง สายพานกับลูกรอก เฟืองตรงกับเฟืองเล็ก และจุดสัมผัสระหว่างส่วนที่เคลื่อนที่กับส่วนที่หยุดนิ่งจุดหนีบควรมีส่วนป้องกันและเครื่องจะหยุดโดยอัตโนมัติถ้าหากมีส่วนใดเข้าสัมผัสติดขัดที่จุดนี้ เครื่องรีดควรป้องกันนิ้วมือที่อาจแหย่เข้าไปจุดหนีบได้โดยมีระบบหยุดงานหมุนของลูกกลิ้งโดยฉับพลัน

4) กลไกเคลื่อนที่แบบสกรู อันตรายเกิดจากลักษณะ สกรูที่เคลื่อนที่กับส่วนของเครื่องจักรคงที่ ปกติกลไกเคลื่อนที่แบบสกรูมักจะใช้การขนถ่าย การผสมหรือการบดวัตถุ ตัวอย่างเช่น เครื่องผสมอาหาร เครื่องบดเนื้อ การขนถ่ายแบบสกรูและเครื่องผสมวัตถุแห้ง และเครื่องบดแบบต่างๆ (อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร, 2553)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

จากการศึกษากระบวนการในการปอกไข่ต้มจากการสอบถามข้อมูลแม่ค้าปอกไข่ต้มขายในตลาดรถไฟ ในจังหวัดสงขลา พบว่ามีความต้องการของตลาดเป็นจำนวนมาก และยังมีแนวโน้มว่ามีความต้องการของตลาดจะเพิ่มขึ้น แต่สภาพการผลิตปัจจุบันของผู้ผลิตนั้นไม่สามารถผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จากกระบวนการผลิตที่อาศัยแรงคนงานเป็นหลักในการผลิต ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบ และสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติขึ้น

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการออกแบบ และสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติโดยได้มีการวางแผนการดำเนินงานต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3.1

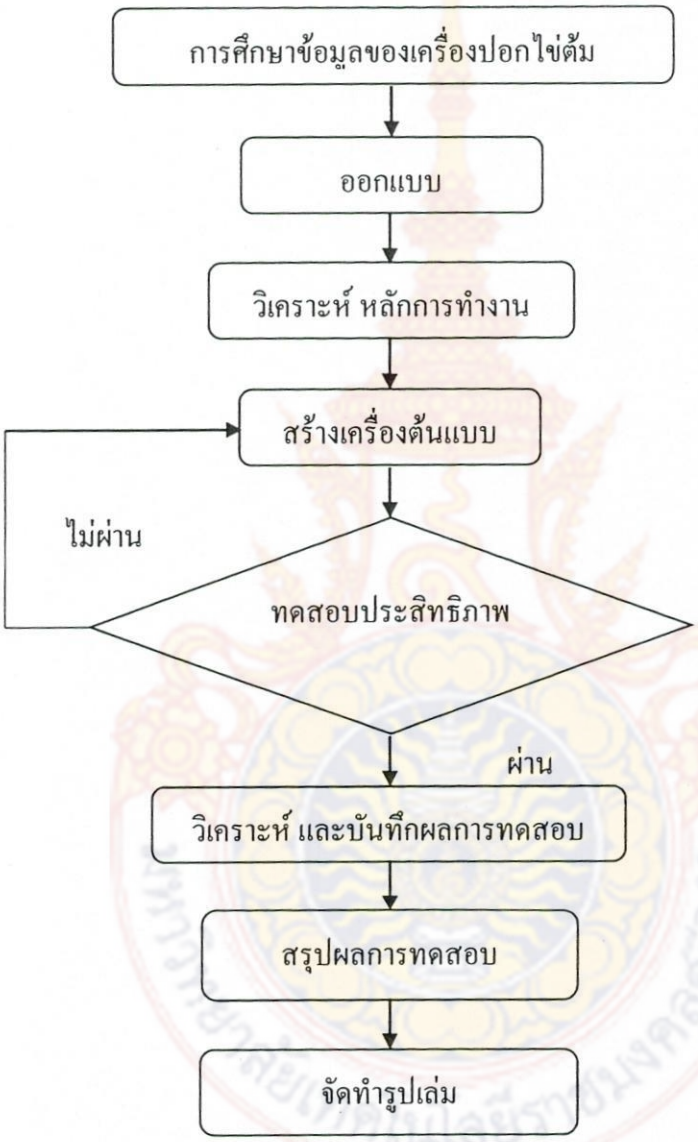
ตาราง 3.1 แผนการดำเนินของโครงงาน

ระยะเวลา / ขั้นตอนดำเนินงาน		2554			2555								
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	P												
	A												
2. ออกแบบเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	P												
	A												
3. สร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	P												
	A												
4. ดำเนินการทดลอง และบันทึกข้อมูล	P												
	A												
5. วิเคราะห์ และปรับปรุงแก้ไข	P												
	A												
6. ประเมินประสิทธิภาพของเครื่อง	P												
	A												
7. จัดทำรูปเล่ม	P												
	A												

P แสดงแผนการดำเนินงาน

A แสดงการดำเนินงานจริง

จากตาราง 3.1 แสดงแผนการดำเนินงาน และการดำเนินงานจริงโดยกิจกรรมบางอย่างในการดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน เนื่องจากกิจกรรมนั้นต้องใช้เวลา และมีการแก้ไขปรับปรุงจึงทำให้การทำงานล่าช้ากว่าแผนดำเนินงาน ดังนั้นจึงมีขั้นตอน และวิธีการดำเนินงานที่ได้วางไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



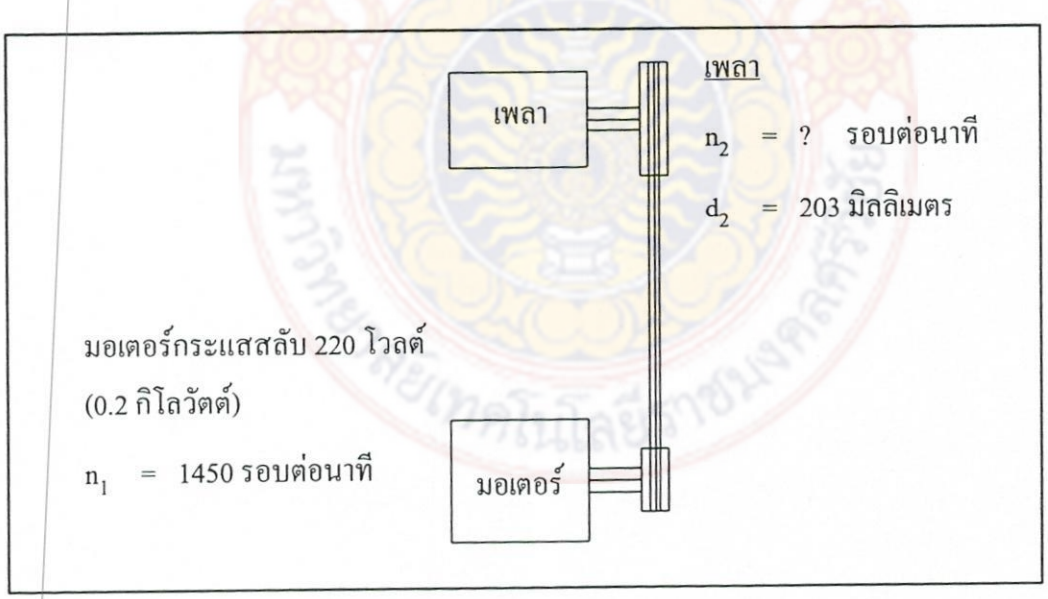
รูปที่ 3.1 ขั้นตอน และวิธีการดำเนินงาน

3.2 การออกแบบเครื่องจักร

3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับไข่ต้ม และกรรมวิธีของกระบวนการปอกไข่ต้ม จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ในการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่อง โดยหลักการทำงานของเครื่องจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง และใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลังไปยังพลูเลย์พลูเลย์จะขับเพลา และเพลาจะยึดติดกับจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม และจะมีแผ่นลำเรียงไข่ต้มติดกับเพลาซึ่งจะมีการหมุนสวนทางกับแผ่นกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ใช้มอเตอร์เกียร์ทด 1:100 รอบต่อนาที และส่งกำลังมายังเพลาพลูเลย์จะขับเพลา และเพลาจะยึดติดกับแผ่นลำเลียงไข่ต้มจากหลักการดังกล่าวจึงนำไปสู่กระบวนการออกแบบและคำนวณชิ้นส่วนต่างๆ โดยได้รวบรวมรายละเอียดต่างๆ ที่ต้องการใช้ในการออกแบบ เพื่อเป็นข้อมูล และแนวทางการตัดสินใจสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรให้ได้ตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตที่วางไว้ ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

3.2.2 การคำนวณ และออกแบบเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

1) การคำนวณหาความเร็วรอบ และขนาดของล้อสายพานของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติในชุดจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า ด้วยความเร็ว 1450 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง โดยมีระบบส่งกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขนาดของล้อสายพาน และความเร็วรอบของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม

กำหนดให้ n_i = ความเร็วรอบของล้อสายพาน i

d_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพาน i

จากการคำนวณหาอัตราทด จากสมการ 2.45 จะได้

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

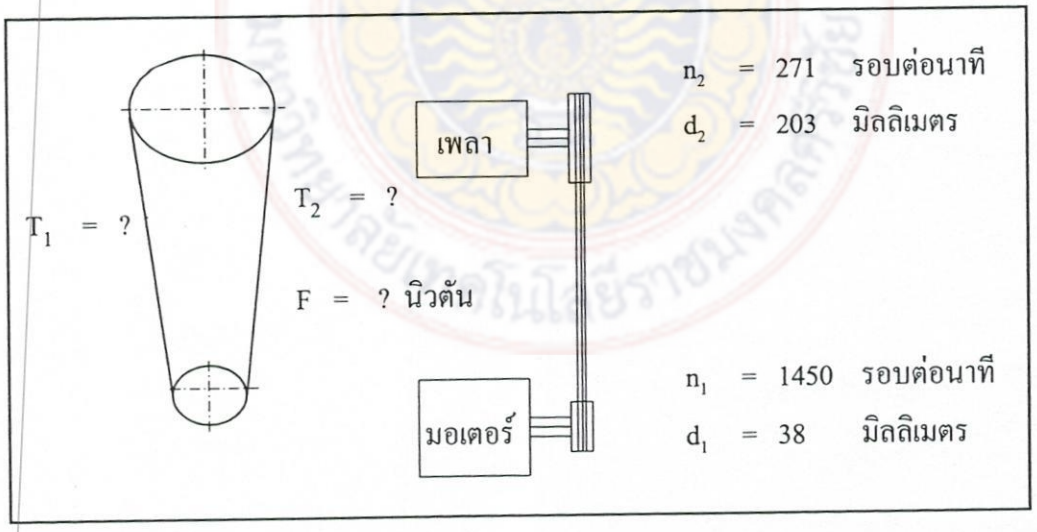
กำหนดขนาดล้อสายพาน d_1 เท่ากับ 38 มิลลิเมตร และขนาดล้อสายพาน d_2 เท่ากับ 203 มิลลิเมตร และ n_1 เท่ากับ 1450 รอบต่อนาที หาความเร็วรอบ n_2 ที่เพลา

$$1450 \times 38 = n_2 \times 203$$

$$n_2 = 271.428 \text{ รอบต่อนาที}$$

ดังนั้นความเร็วรอบในการกะเทาะเปลือกไข่ต้ม คือ 271 รอบต่อนาที

2) การออกแบบเพลาส่งกำลังทำการคำนวณหาขนาดของเพลาโดยการคำนวณหาความสัมพันธ์ ระหว่างแรงบิด (T) และความเค้นเฉือน (τ_d) และมีวิธีการคำนวณดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แรงตึงที่เกิดขึ้นบนล้อสายพาน

หากำลังของมอเตอร์ จะได้

$$P = 1/4 \text{ แรงม้า}$$

$$= (1 \times 746)/4 \text{ วัตต์}$$

$$\therefore \quad P = 186.5 \text{ วัตต์}$$

หาค่าทอร์ก (T_1) ที่มอเตอร์ และ $N = n_1$ จากสมการ 2.53

$$P = \frac{2\pi T_1 N}{60}$$

$$T_1 = \frac{60P}{2\pi N}$$

$$= \frac{60 \times 186.5}{2 \times \pi \times 1450}$$

$$\therefore \quad T_1 = 1.23 \text{ นิวตันเมตร}$$

หาค่าแรงตึงในสายพาน (F) ที่มอเตอร์ เมื่อ R_1 เท่ากับ $\frac{d_1}{2}$ จากสมการ 2.51

$$T_1 = F \times R_1$$

$$= F \times \frac{d_1}{2}$$

$$F = T_1 \times \frac{2}{d_1}$$

$$F = \frac{1.23 \times 2}{0.038}$$

$\therefore$ $F = 64.73$ นิวตัน

แรงตึงในสายพาน (F) ของพลูเลย์มอเตอร์ และพลูเลย์เพลาจะมีค่าแรงตึงในสายพานเท่ากัน หาค่า T_2 ที่พลูเลย์เพลา

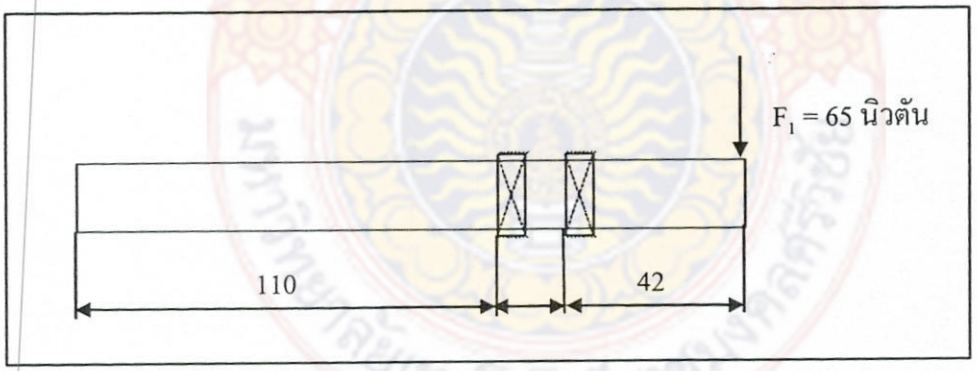
$$T_2 = F \times R_2$$

$$= F \times \frac{d_2}{2}$$

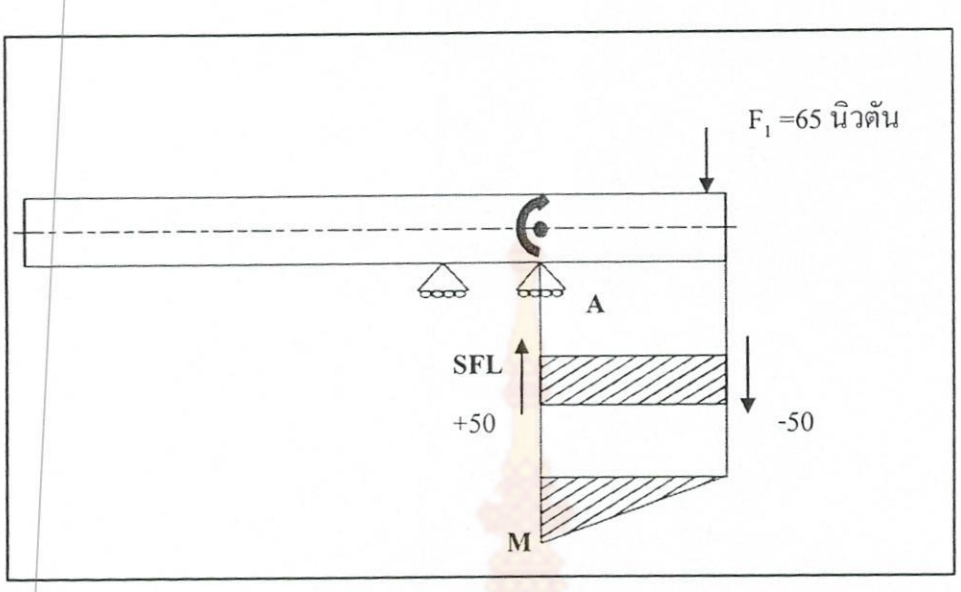
$$= \frac{64.73 \times 0.203}{2}$$

$\therefore$ $T_2 = 6.57$ นิวตันเมตร

3) การหาขนาดของเพลาจานกะเทาะเปลือกไข่ต้มโดย $F_1 = 65$ นิวตัน ได้จากแรงตึงของสายพาน ส่วนระยะทางต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ3.5



รูปที่ 3.4 ลักษณะระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา



รูปที่ 3. 5 SFD ระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา

หาแรงปฏิกิริยาที่จุด A

ฉะนั้นโมเมนต์ดัดในแนวดิ่งที่จุด A กำหนดทิศทางหมุนตามนาฬิกาเป็น +

$$M_A = 0.042 \times 65$$

$$\therefore \quad M_A = 2.73 \text{ นิวตันเมตร}$$

จากการคำนวณหาขนาดของเพลาตาม เอเอสเอ็มอี โค้ด (ASME Code) จากวิธีการคำนวณจากทฤษฎีความเค้นสูงสุดจะพิจารณาความล้า หรือความหนาแน่นของเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาจะทำการพิจารณาถึงค่าความเค้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะได้

จากสมการ 2.15 การหาขนาดของเพลา

$$d^3 = \frac{5.1}{\tau_p}[(C_m M)^2 + (C_t T)^2]^{1/2}$$

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะหรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณ คือ

$$\tau_p = 0.3\,\sigma_y$$
$$\tau_p = 0.18\,\sigma_U$$

เมื่อทำการเปิดตารางเพื่อหาความเค้นเฉือนของสเตนเลส 304 จะได้

$$\sigma_y = 205 \times 10^6 \quad \text{นิวตันต่อตารางเมตร}$$

ดังนั้น $\tau_p = 0.3\,\sigma_y$

แต่เนื่องจากเพลามีร่องลิ่มความเค้นจึงลดลงไปอีก 25 เปอร์เซ็นต์

แทนค่าจะได้ $\tau_p = 0.3 \times 205 \times 0.75$

$= 46.125 \times 10^6$ นิวตันต่อตารางเมตร

จากตาราง 2.1 เมื่อพิจารณาเพลาหมุนไม่มีแรงกระตุกให้ใช้ $C_m = 1$ และ $C_t = 1$ นำค่าต่าง ๆ แทน จากสมการ 2.15 แทนค่าได้ดังนี้

เนื่องจากแรงที่กระทำเพลาเป็นแรงปรกติค่าความปลอดภัย N = 2

$$d^3 = \frac{5.1 \times 2}{46.125 \times 10^6}\left[(1 \times 2.73)^2 + (1 \times 6.57)^2\right]^{1/2}$$

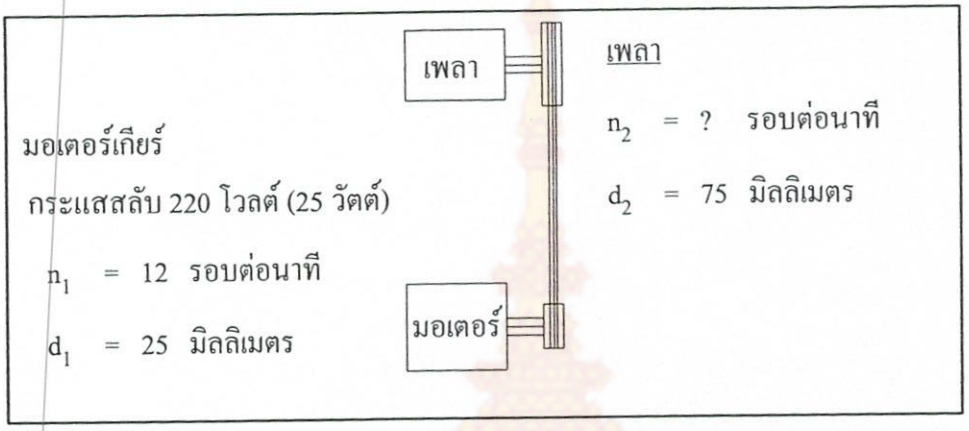
$$d = \sqrt[3]{1.32 \times 10^{-5}}$$

$d = 0.0116$ เมตร

$\therefore \quad d = 11.6$ มิลลิเมตร

จากการคำนวณจานกะเทาะเปลือกไข่ต้มจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 11.6 มิลลิเมตร

4) การคำนวณหาความเร็วรอบ และขนาดของล้อสายพานของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติในชุดของแผ่นลำเลียงไข่ต้ม โดยใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 220 โวลต์ ด้วยความเร็ว 12 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง โดยมีระบบส่งกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 คือ



รูปที่ 3.6 ขนาดของล้อสายพาน และความเร็วรอบของชุดลำเลียงไข่ต้ม

กำหนดให้ n_i = ความเร็วรอบของล้อสายพาน i

d_i = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพาน i

จากการคำนวณหาอัตราทด จะได้

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

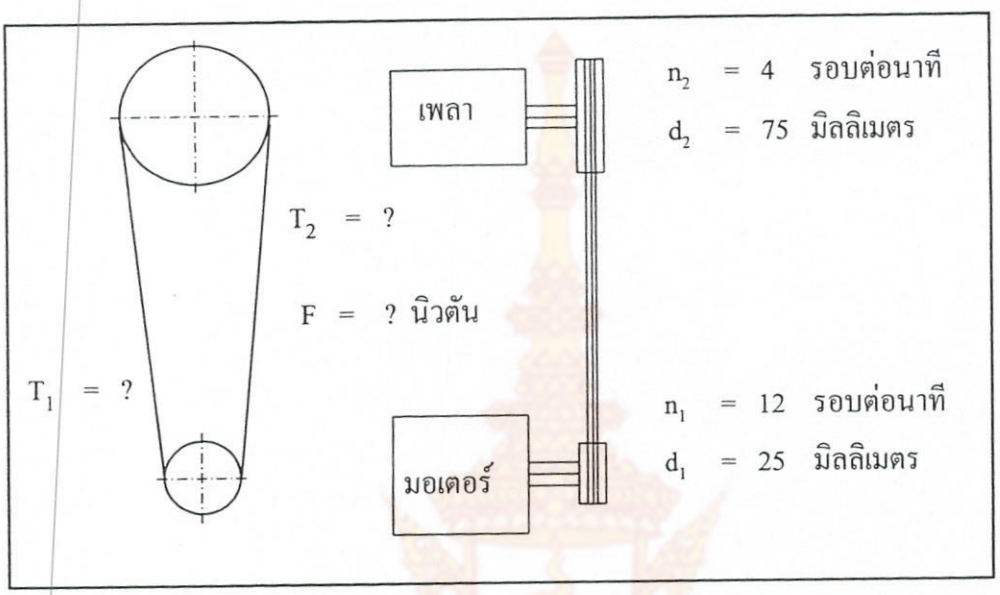
กำหนดขนาดล้อสายพาน d_1 เท่ากับ 25 มิลลิเมตร และขนาดล้อสายพาน d_2 เท่ากับ 75 มิลลิเมตร และ n_1 เท่ากับ 12 รอบต่อนาที หาความเร็วรอบ n_2 ที่เพลา

$$12 \times 25 = n_2 \times 75$$

$$n_2 = 4 \text{ รอบต่อนาที}$$

ดังนั้นความเร็วรอบในการลำเลียงไข่ต้มมีความเร็วรอบเท่ากับ 4 รอบต่อนาที

5) การออกแบบเพลาส่งกำลังทำการคำนวณหาขนาดของเพลาโดยการคำนวณหาความสัมพันธ์ ระหว่างแรงบิด (T) และความเค้นเฉือน (τ_s) และมีวิธีการคำนวณดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แรงตึงที่เกิดขึ้นบนล้อสายพาน

กำลังของมอเตอร์ คือ

$$P = 25 \text{ วัตต์}$$

หาค่าทอร์ก (T_1) ที่มอเตอร์ และ $N = n_1$

$$P = \frac{2\pi T_1 N}{60}$$

$$T_1 = \frac{60P}{2\pi N}$$

$$= \frac{60 \times 25}{2 \times \pi \times 12}$$

$$\therefore \quad T_1 = 19.89 \text{ นิวตันเมตร}$$

หาค่าแรงตึงในสายพาน (F) ที่มอเตอร์ เมื่อ R_1 เท่ากับ $\frac{d_1}{2}$

$$T_1 = F \times R_1$$

$$= F \times \frac{d_1}{2}$$

$$F = T_1 \times \frac{2}{d_1}$$

$$F = \frac{19.89 \times 2}{0.025}$$

$$\therefore \quad F = 1591.2 \text{ นิวตัน}$$

แรงตึงในสายพาน (F) ของพลูเล่ย์มอเตอร์ และพลูเล่ย์เพลาจะมีค่าแรงตึงในสายพานเท่ากัน หาค่า T_2 ที่พลูเล่ย์เพลา

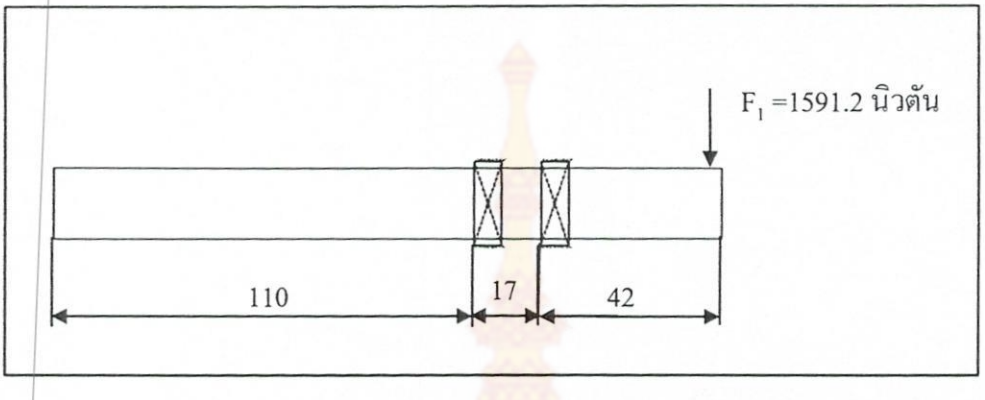
$$T_2 = F \times R_2$$

$$= F \times \frac{d_2}{2}$$

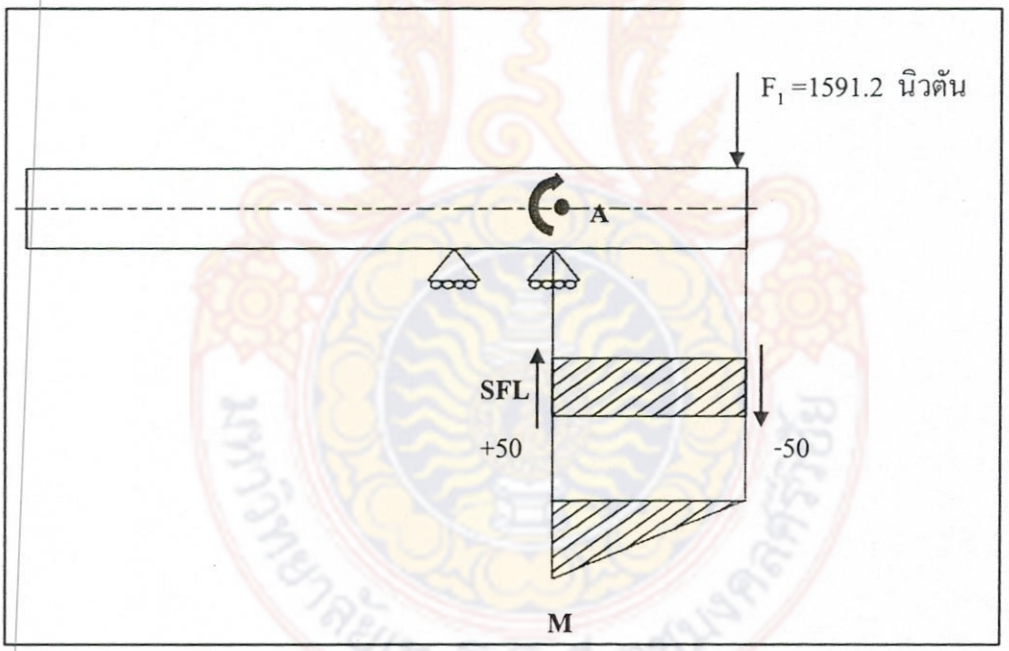
$$= \frac{1591.2 \times 0.075}{2}$$

$$\therefore \quad T_2 = 59.67 \text{ นิวตันเมตร}$$

6) การหาขนาดของเพลาแผ่นลำเลียงไข่ต้มโดย F_1 = 1591.2 นิวตัน ได้จากแรงตึงของสายพาน ส่วนระยะทางต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ3.9



รูปที่ 3.8 ลักษณะระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา



รูปที่ 3.9 SFD ระยะ และแรงที่กระทำกับเพลา

หาแรงปฏิกิริยาที่จุด A

ฉะนั้นโมเมนต์คัดในแนวดิ่งที่จุด A กำหนดทิศทางหมุนตามเป็น +

$$M_A = 0.042 \times 1591.2$$

$$\therefore \quad M_A = 66.83 \quad \text{นิวตันเมตร}$$

จากการคำนวณหาขนาดของเพลาตาม เอเอสเอ็มอี โค้ด (ASME Code) จากวิธีการคำนวณจากทฤษฎีความเค้นสูงสุดจะพิจารณาความล้า หรือความหนาแน่นของเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาจะทำการพิจารณาถึงค่าความเค้นต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะได้

$$d^3 = \frac{5.1}{\tau_p}[(C_m M)^2 + (C_t T)^2]^{1/2}$$

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะหรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณ คือ

$$\tau_p = 0.3\,\sigma_y$$

$$\tau_p = 0.18\,\sigma_U$$

เมื่อทำการเปิดตารางเพื่อหาความเค้นเฉือนของสเตนเลส 304 จะได้

$$\sigma_y = 205 \times 10^6 \quad \text{นิวตันต่อตารางเมตร}$$

ดังนั้น $\tau_p = 0.3\,\sigma_y$

แต่เนื่องจากเพลามีร่องลิ่มความเค้นจึงลดลงไปอีก 25 เปอร์เซ็นต์

แทนค่าจะได้ $\tau_p = 0.3 \times 205 \times 0.75$

$$= 46.125 \times 10^6 \quad \text{นิวตันต่อตารางเมตร}$$

จากตาราง 2.1 เมื่อพิจารณาเพลาหมุนไม่มีแรงกระตุกให้ใช้ $C_m = 1$ และ $C_t = 1$ นำค่าต่าง ๆ แทน จากสมการ 8 แทนค่าได้ดังนี้

เนื่องจากแรงที่กระทำเพลาเป็นแรงปรกติค่าความปลอดภัย N = 2

$$d^3 = \frac{5.1 \times 2}{46.125 \times 10^6}[(1 \times 59.67)^2 + (1 \times 66.83)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$d = \sqrt[3]{1.32 \times 10^{-5}}$$

$$d = 0.027 \text{ เมตร}$$

$$\therefore \quad d = 27 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากการคำนวณเพลาของแผ่นลำเลียงไข่ต้มจะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 27 มิลลิเมตร

3.2.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในส่วนของการดำเนินการสร้างเครื่องจะประกอบไปด้วย เครื่องมือ เครื่องจักรที่เข้ามาเกี่ยวข้องดังนี้

1) เครื่องกลึง ยี่ห้อ Victor รุ่น 400X1000 G Taiwan
2) เครื่องกัด โอบรี ซีสโตเซร์ รุ่น เอฟ จี 32 (Obraeci Stroje Model FG 32)
3) เครื่องเลื่อย ฮอโตมาร์ รุ่น อี 250 (Automa Model E 250)
4) เครื่องเชื่อมติกยี่ห้อ Poweld-TIG รุ่น PW-310WP-5
5) เครื่องมือกลพื้นฐาน มีดังต่อไปนี้
   - กลุ่มเครื่องมือมีดังต่อไปนี้ ตะไบต่างๆ เลื่อย ค้อน สกัด ประแจปากตาย ประแจเลื่อน คีมล็อค ปากกาจับยึด ไขควง
   - กลุ่มเครื่องมือกลมีดังต่อไปนี้ เครื่องเจียระไนมือ สว่านมือ
   - กลุ่มเครื่องมือวัด มีดังต่อไปนี้ เวอร์เนียคาลิปเปอร์ เวอร์เนียไฮเกต ตลับเมตร ฟุตเหล็ก ฉาก
   - กลุ่มอุปกรณ์ป้องกันมีดังต่อไปนี้ ถุงมือหนัง แว่นตา จุกอุดหู

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากการคำนวณ และการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ในขั้นตอนการผลิต และสร้างเครื่อง จะผลิตตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ และได้ทำการจัดซื้อจัดหาวัสดุ และชิ้นส่วนต่างๆ จากท้องตลาด ดังแสดงในตาราง 3.2

ตาราง 3.2 รายการวัสดุ และชิ้นส่วนมาตรฐาน

ที่	รายการ	วัสดุ	ขนาด	จำนวน
1	มอเตอร์	-	กระแสสลับ 220 โวลต์ 1/4 แรงม้า	1 ตัว
2	มอเตอร์เกียร์	-	กระแสสลับ 25 วัตต์	1 ตัว
3	ล้อสายพาน	สแตนเลส	2.5 นิ้ว × 5/8 นิ้ว	1 ลูก
4	ล้อสายพาน	สแตนเลส	8 นิ้ว × 1 นิ้ว	1 ลูก
5	ล้อสายพาน	สแตนเลส	1 นิ้ว × 4/8 นิ้ว	1 ลูก
6	ล้อสายพาน	สแตนเลส	3 นิ้ว × 1 นิ้ว	1 ลูก
7	เหล็กฉาก	สแตนเลส	1 นิ้ว	1 เส้น
8	เหล็กเพลา	สแตนเลส	1 นิ้ว × 150 เซนติเมตร	1 ท่อน
9	เหล็กแผ่น	สแตนเลส	120 × 200 × 2 มิลลิเมตร	1 แผ่น
10	เหล็กแผ่น	สแตนเลส	120 ×100 × 1 มิลลิเมตร	1 แผ่น
11	แผ่นเจียร	-	4 นิ้ว	3 แผ่น
12	แผ่นตัดกลม	-	4 นิ้ว	5 แผ่น
13	แผ่นตัดกลม	-	14 นิ้ว	1 แผ่น
14	แบริ่ง	สแตนเลส	JIS B 1521 - 6805	4 ตัว
15	แบริ่ง	สแตนเลส	JIS B 1521 - 6800	4 ตัว
16	น็อตหัวฝัง	สแตนเลส	M6 × 12	20 ตัว
17	สกรู	สแตนเลส	JIS B 1122 - ST	10 ตัว
18	สปริง	สแตนเลส	1/2 นิ้ว 1 นิ้ว	2 ตัว
19	สายไฟ	-	-	2 เส้น

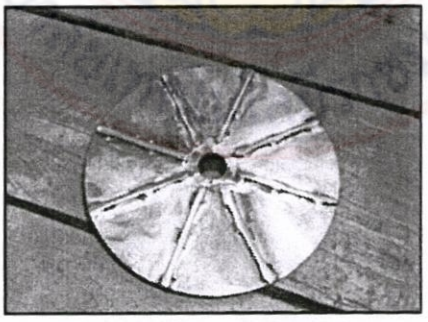
เมื่อดำเนินการจัดซื้อจัดหาวัสดุ และชิ้นส่วนต่างๆ ตามต้องการมีราคาโดยประมาณ 25,000 บาท ในส่วนของการดำเนินการสร้างเครื่องจักรจะประกอบไปด้วย

3.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ โครงเครื่อง จานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ใบลำเลียงไข่ต้ม และลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้ม

1) ชุดโครงเครื่องออกแบบให้มีขนาด 300 × 600 × 500 มิลลิเมตร โดยใช้สแตนเลสฉากขนาด 1 นิ้ว มาเชื่อมเป็นโครงเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องปอกไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.10

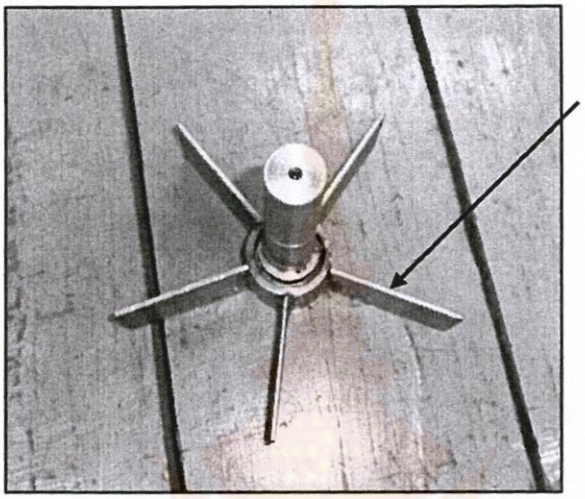
รูปที่ 3.10 ลักษณะของชุดโครงเครื่อง

2) ชุดจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร โดยใช้แผ่นสแตนเลส ความหนา 2 มิลลิเมตร ทำเป็นหน้าจาน และใช้สแตนเลสกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร มาเชื่อมติดกับหน้าจาน เพื่อเป็นลูกระนาดทั้งหมด 6 ลูก มีหน้าที่ทำให้เปลือกไข่ต้มแตกร้าวก่อนที่จะส่งไข่ต้มไปยังลูกกลิ้งลอกเปลือก ดังแสดงในรูปที่ 3.11



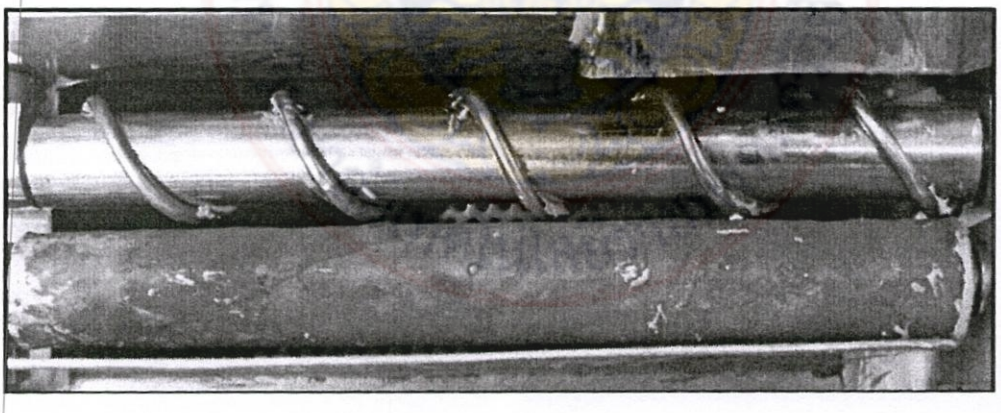
รูปที่ 3.11 ลักษณะของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม

3) ชุดใบลำเลียงไข่ต้มมีจำนวน 5 ใบ และมีขนาดของแต่ละใบเท่ากับ 75 x 40 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ลำเลียงไข่ต้มในห้องกะเทาะเปลือกโดยหมุนสวนทางกับจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม และส่งไข่ต้มไปยังชุดลอกเปลือกไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ลักษณะของใบลำเลียงไข่ต้ม

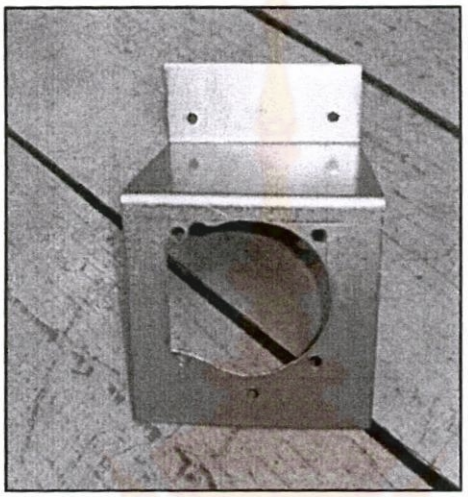
4) ชุดลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้ม ทำจากเพลาสแตนเลสขนาด 1 นิ้ว และจะมีสแตนเลสกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 8 มิลลิเมตร มาเชื่อมติดกับผิวของลูกกลิ้งเป็นลักษณะคล้ายเกลียวลำเลียง และระหว่างเกลียวจะเป็นแผ่นยางที่จะทำหน้าที่ลอกเปลือกไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ลักษณะลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้ม

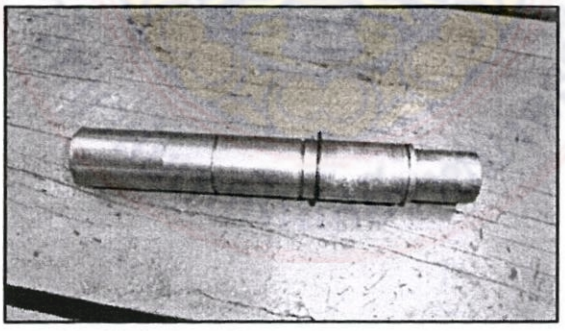
3.3.2 ส่วนประกอบอื่นๆ ของเครื่องปอกไข่ต้มมีดังนี้

1) แผ่นยึดมอเตอร์เกียร์ทดขนาดกระแสสลับ 220 โวลต์ 25 วัตต์ อัตราทด 1 : 100 รอบต่อนาทีดังแสดงในรูปที่ 3.14



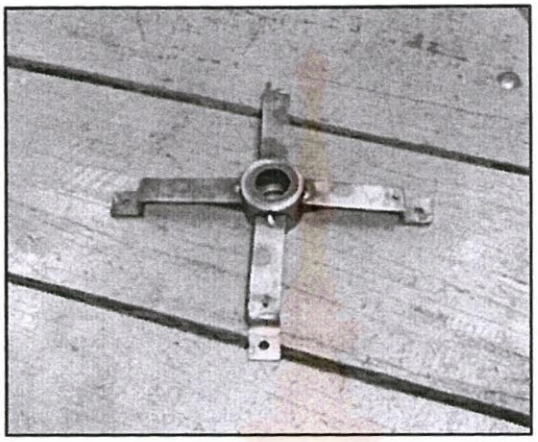
รูปที่ 3.14 ลักษณะของแผ่นยึดมอเตอร์เกียร์ทด

2) เพลาของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และมีส่วนที่ยึดติดกับจานกะเทาะเปลือกไข่ต้มซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร และจะมีร่องที่เซาะไว้เพื่อใส่แหวนล็อคกับแบริ่งซึ่งจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนจานกะเทาะเปลือกโดยรับกำลังขับมาจากสายพานดังแสดงในรูปที่ 3.15



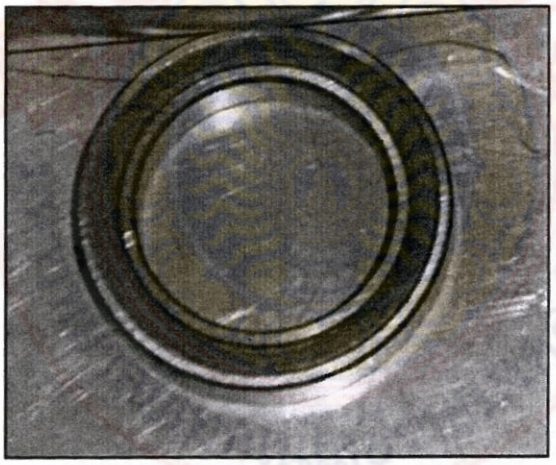
รูปที่ 3.15 ลักษณะของเพลาของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม

3) ขายึดเพลาจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ซึ่งจะมีขา 4 ขา ยึดติดกับโครง และมีแบริ่ง 2 ตัว ตรงกลางจะยึดติดกับเพลาของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.16



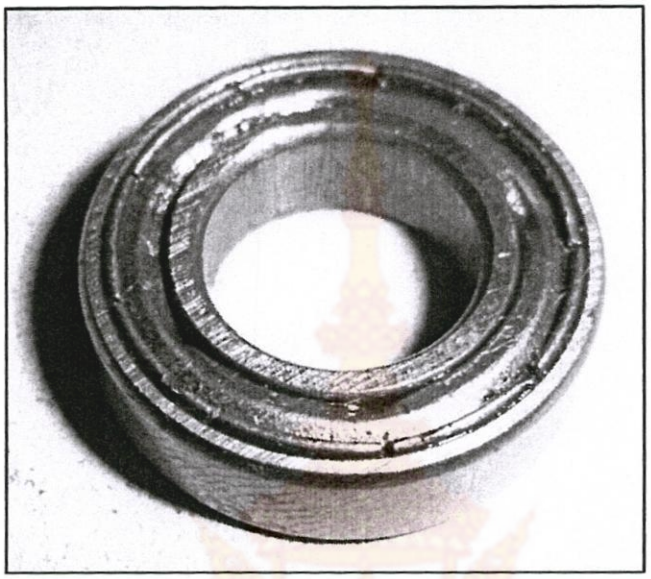
รูปที่ 3.16 ลักษณะของขายึดเพลาจานกะเทาะเปลือกของไข่ต้ม

4) แบริ่ง JIS B 1521 - 6805 จะใช้ในเพลาของชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้มทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ลักษณะของแบริ่ง JIS B 1521 – 6800

5) แบริ่ง JIS B 1521 – 6800 จะใช้ในชุดของลูกกลิ้งดึงเปลือกไข่มีทั้งหมด 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.18

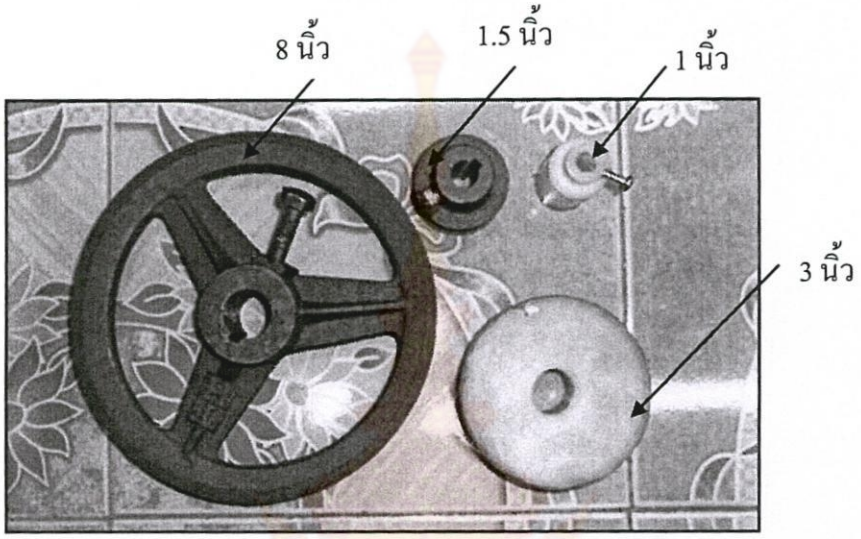


รูปที่ 3.18 ลักษณะของแบริ่ง JIS B 1521 – 6800

6) แหวนล็อคนอก JIS B 2804 จำนวน 4 ตัว ซึ่งจะใช้ในการล็อคเพลาในชุดกะเทาะเปลือกของไข่ต้มเพื่อป้องกันการเลื่อนตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.19

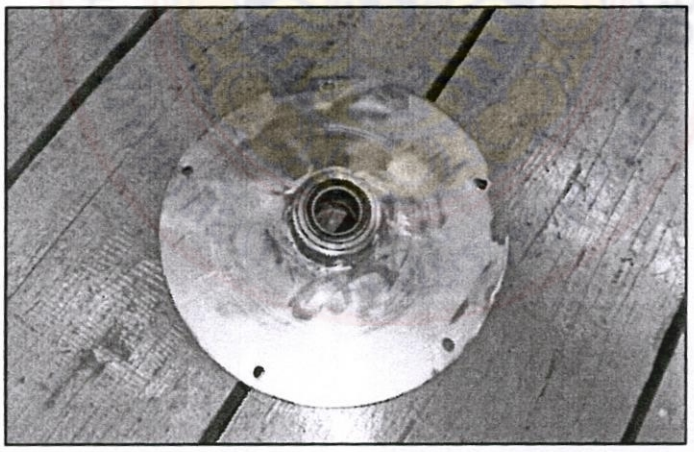
รูปที่ 3.19 ลักษณะของแหวนล็อคนอก JIS B 2804

7) พูลเลย์ที่ใช้ในการส่งกำลังจะมีทั้งหมด 4 ตัว คือขนาด 1.5 นิ้ว กับ 8 นิ้ว จะใช้ในการขับจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม และ 1 นิ้ว กับ 3 นิ้ว จะใช้ในการขับแผ่นลำเลียงไข่ต้มดังแสดงในรูปที่ 3.20



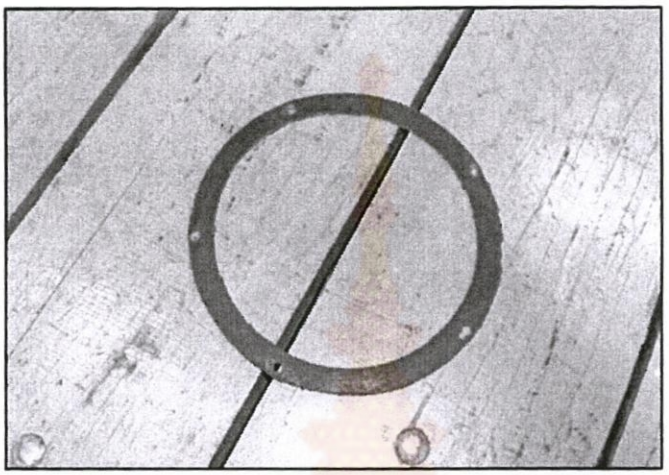
รูปที่ 3.20 ลักษณะของพูลเลย์ที่ใช้ในการส่งกำลัง

8) ฝาปิดชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้มโดยใช้แผ่นสแตนเลส ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 200 มิลลิเมตร มีความหนา 3 มิลลิเมตร และมีชุดของแบริ่งตรงกลางเพื่อประกอบเข้ากับเพลาแผ่นลำเลียงไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ลักษณะของฝาปิดชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้ม

9) ปะเก็นฝาปิดชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้ม จะใช้ป้องกันน้ำที่ใช้หล่อเลี้ยงในการกะเทาะเปลือกไข่ต้มไม่ให้เกิดการรั่วไหลออกมาข้างนอก ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ลักษณะของปะเก็นฝาปิดชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้ม

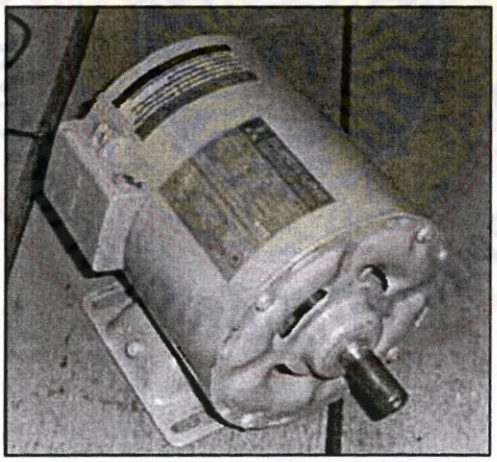
10) อ่างน้ำที่ใช้ในการบรรจุน้ำสะอาดเพื่อหล่อเลี้ยงในขั้นตอนของการกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23 ลักษณะของอ่างน้ำ

11) ปั้มน้ำไดโวสำหรับใช้ในการสูบน้ำ เพื่อไปหล่อเลี้ยงในกระบวนการกะเทาะเปลือกของไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.24

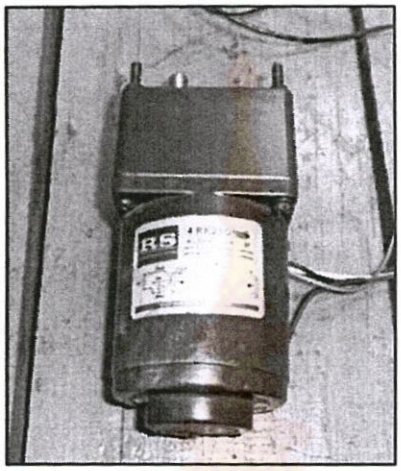
รูปที่ 3.24 ลักษณะของปั้มน้ำไดโว

12) มอเตอร์เฟสเดียวกระแสสลับขนาด 1/4 แรงม้า 0.2 กิโลวัตต์ 1450 รอบต่อนาที ซึ่งใช้เป็นต้นกำลังในการขับจานกะเทาะเปลือกของไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ลักษณะของมอเตอร์เฟสเดียว

13) มอเตอร์เกียร์ความเร็วรอบเท่ากับ 12 รอบต่อนาที กระแสสลับ 220 โวลต์ 25 วัตต์ ซึ่งใช้เป็นต้นกำลังในการขับแผ่นลำเลียงไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.26

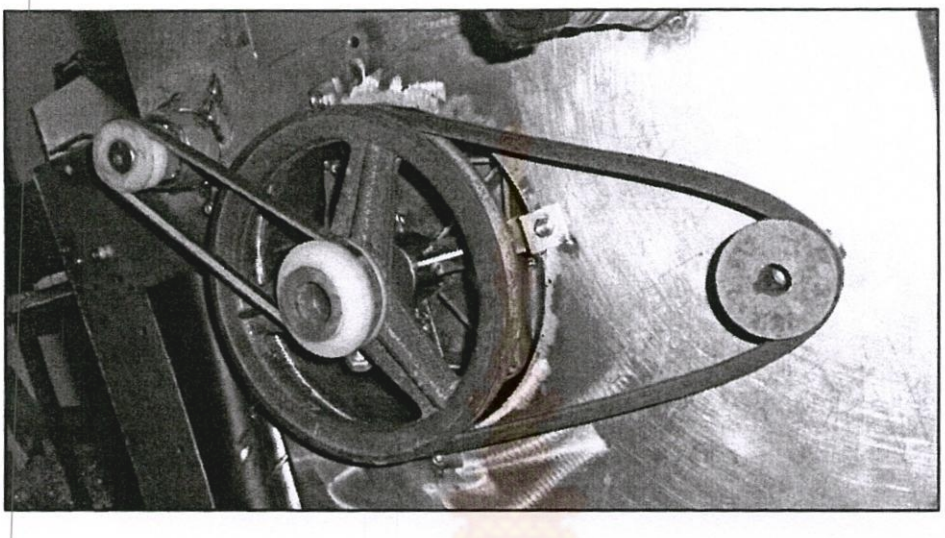


รูปที่ 3.26 ลักษณะของมอเตอร์เกียร์

14) สายพานร่อง A ขนาดเส้นรอบวง 34 นิ้ว ซึ่งใช้เป็นตัวส่งกำลังไปยังจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.27

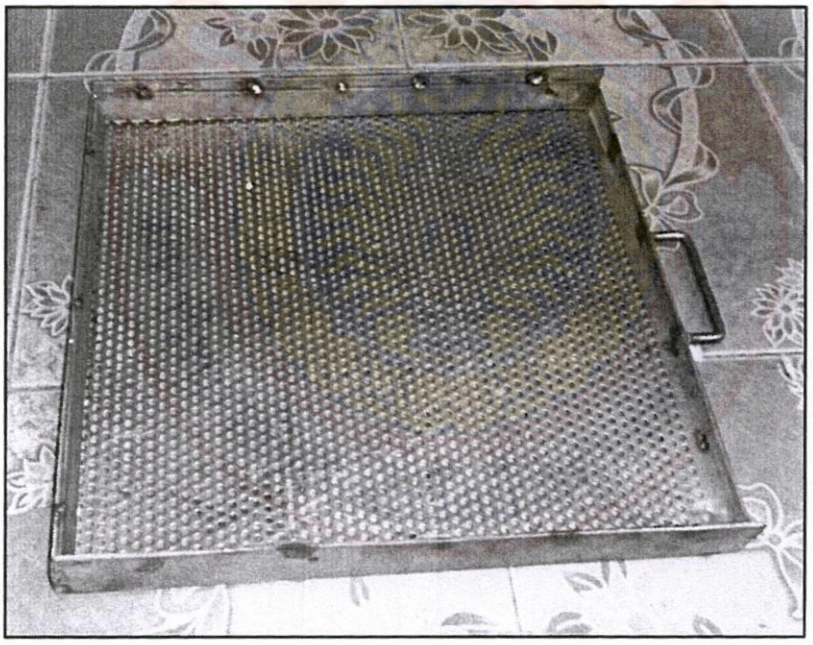
รูปที่ 3.27 ลักษณะของสายพานร่อง A ขนาดเส้นรอบวง 34 นิ้ว

15) ระบบส่งกำลังของสายพานด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.28



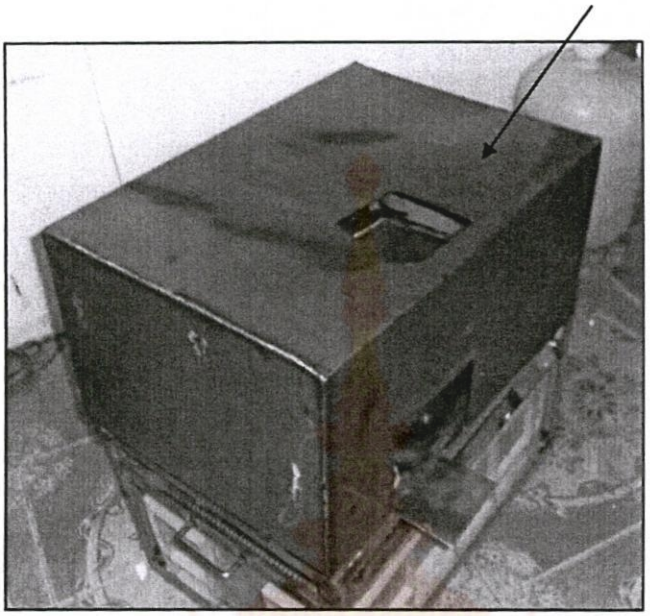
รูปที่ 3.28 ลักษณะของระบบส่งกำลังของสายพานด้านล่าง

16) ตะแกรงรองรับเปลือกของไข้ต้มที่หลุดออก ดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ลักษณะของตะแกรงรองรับเปลือกของไข่ต้ม

17) การ์ดป้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.30

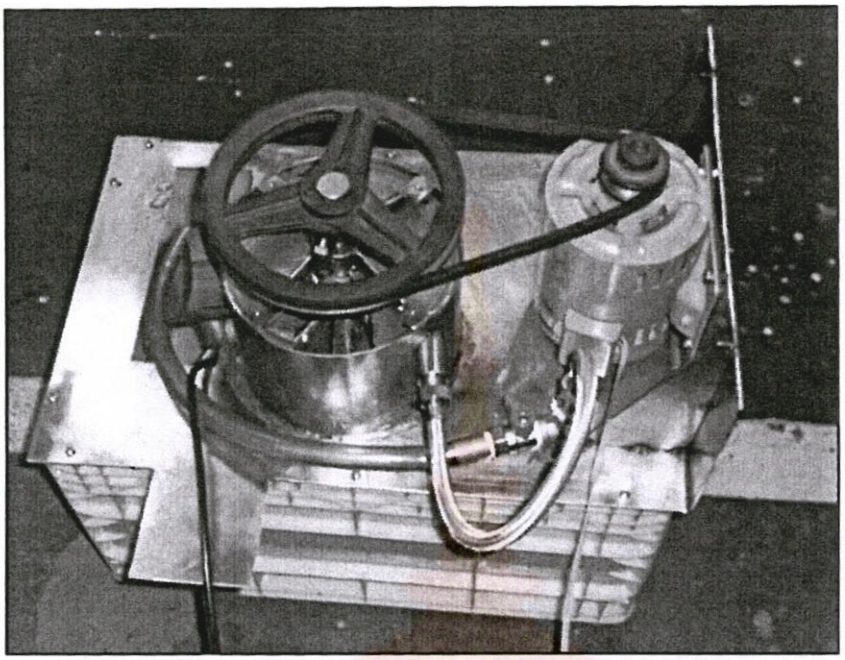


รูปที่ 3.30 ลักษณะของการ์ดป้องกัน

3.4 วิธีการทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

ในการทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขเครื่อง ได้มีการดำเนินการปรับปรุงซึ่งจะมีสาเหตุที่ต้องปรับปรุง และผลการทดสอบดังนี้

3.4.1 การทดสอบเบื้องต้น หลังจากการดำเนินการขั้นตอนการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ และนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นที่เรียบร้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.31 ในการทดสอบการทำงานเพื่อตรวจสอบกลไกการทำงานของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ เบื้องต้นได้พบจุดบกพร่องเนื่องจากกลไกการทำงานของชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้มมีหลักการทำงาน คือจานกะเทาะเปลือกไข่ และแผ่นลำเลียงไข่ต้มใช้เพลาเดียวกัน แต่ในการทำงานจะหมุนสวนทางกัน โดยจานกะเทาะเปลือกไข่จะอาศัยกำลังจากมอเตอร์ 1/4 แรงม้า ในการขับเคลื่อน แต่แผ่นลำเลียงไข่ต้มจะใช้แรงดันน้ำในการขับเคลื่อนเพื่อสวนทางกับจานกะเทาะเปลือกไข่ จากการทดลองก็พบว่าไม่สามารถควบคุมความเร็วของแผ่นลำเลียงไข่ต้มได้ เมื่อใส่ไข่ต้มลงไปทำให้แรงน้ำไม่สามารถดันแผ่นลำเลียงไข่ต้ม ให้มีความเร็วคงตามที่ต้องการได้



รูปที่ 3.31 ลักษณะของเครื่องในการทดลองครั้งที่ 1

1) จากการทดลองครั้งที่ 1 พบว่า ไข่เป็ดต้มมีลักษณะไข่ขาวแตก และเปลือกของไข่ต้มติดออกมากับไข่ขาว ส่วนไข่ไก่ต้มนั้นมีเปลือกแตกร้าวแต่ไม่มีเปลือกหลุดออกมาจากไข่ขาวเลย ดังแสดงในรูปที่ 3.32

รูปที่ 3.32 ลักษณะของไข่ต้มจากการทดลองครั้งที่ 1

3.4.2 ในการปรับปรุงครั้งที่ 1 ได้มีการออกแบบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.33 โดยจะแยกเพลาออกเป็นสองชุด เพลาตัวแรกใช้ขับจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม ส่วนเพลาตัวที่สองใช้ขับแผ่นลำเลียงไข่ต้ม โดยจานกะเทาะเปลือกไข่จะใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งส่งไปยังเพลาด้านล่าง และแผ่นลำเลียงไข่ต้มจะใช้มอเตอร์เกียร์ความเร็วรอบ 12 รอบต่อนาที เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งส่งไปยังเพลาด้านบน จากการปรับปรุง ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของจานกะเทาะเปลือกไข่ต้ม และแผ่นลำเลียงไข่ต้มได้อย่างสม่ำเสมอ

รูปที่ 3.33 ลักษณะของเครื่องที่ปรับปรุงในครั้งที่ 1

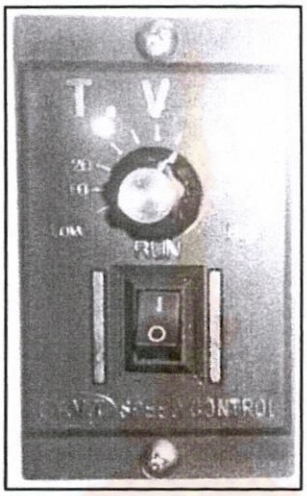
1) จากการทดลองครั้งที่ 2 พบว่าไข่เป็ดมีลักษณะเปลือกที่เหนียวจะต้องผ่านชุดกะเทาะเปลือก 2- 3 ครั้ง จนเปลือกจะหลุดออกหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.34 (ก) ส่วนไข่ไก่จะผ่านชุดกะเทาะเปลือกเพียงครั้งเดียวเปลือกก็หลุดออกหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.34 (ข) สรุปได้ว่าไข่เป็ดจะต้องมีเวลาในการกะเทาะเปลือกเป็น 3 เท่าของไข่ไก่

(ก) ไข่เป็ดที่กะเทาะเปลือกครั้งเดียว

(ข) ไข่ไก่ที่กะเทาะเปลือกครั้งเดียว

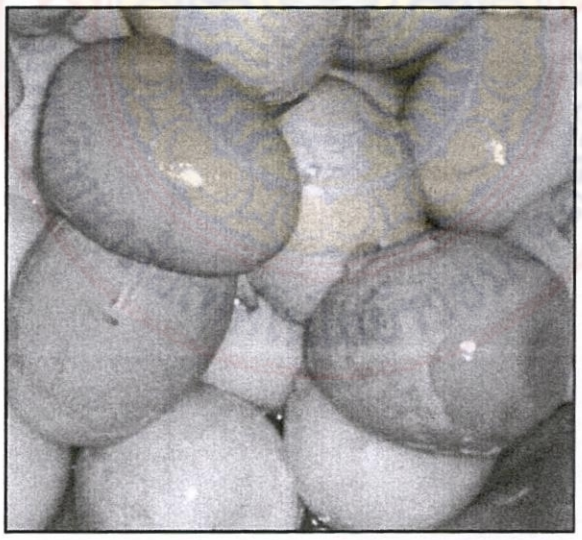
รูปที่ 3.34 ลักษณะของไข่ที่ผ่านการกะเทาะเปลือก

3.4.2 ในการปรับปรุงครั้งที่ 2 จึงได้เพิ่มชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงไข่ต้มตามประเภทของไข่ต้มได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ลักษณะของชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

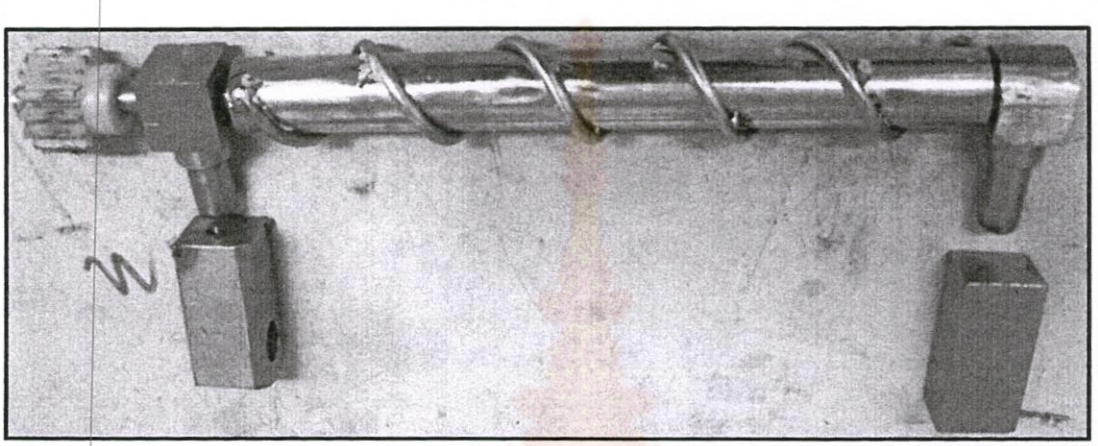
1) จากการทดลองครั้งที่ 3 หลังจากที่ได้เพิ่มชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์จึงได้ค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับไข่เป็ดอยู่ที่ 4 รอบต่อนาที และไข่ไก่อยู่ที่ 10 รอบต่อนาทีทำให้เปลือกของไข่เป็ด และไข่ไก่ที่ผ่านชุดกะเทาะเปลือกหลุดออกเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ลักษณะของไข่เป็ด และไข่ไก่ที่ผ่านชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

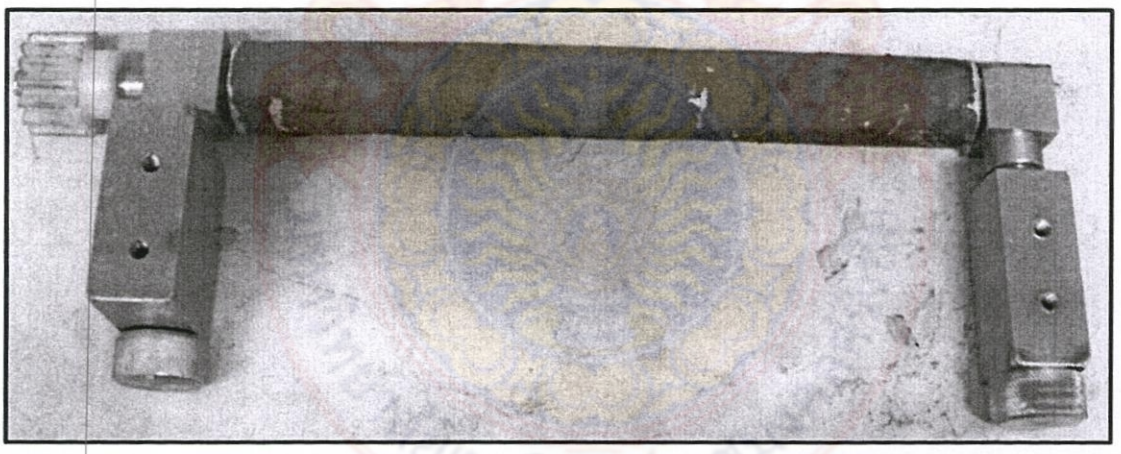
3.4.3 เมื่อชุดกะเทาะเปลือกมีการทำงานที่สมบูรณ์แล้วจึงได้ทำการติดตั้งชุดลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้มต่อ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1) ชุดลูกกลิ้งลำเลียงไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.37



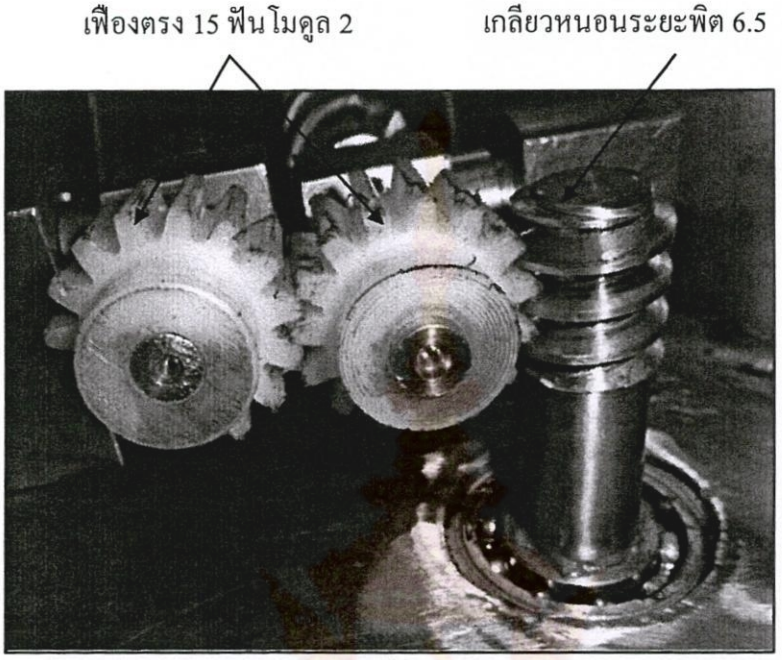
รูปที่ 3.37 ลักษณะของชุดลูกกลิ้งลำเลียงไข่ต้ม

2) ชุดลูกกลิ้งดึงเปลือกไข่ต้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.38



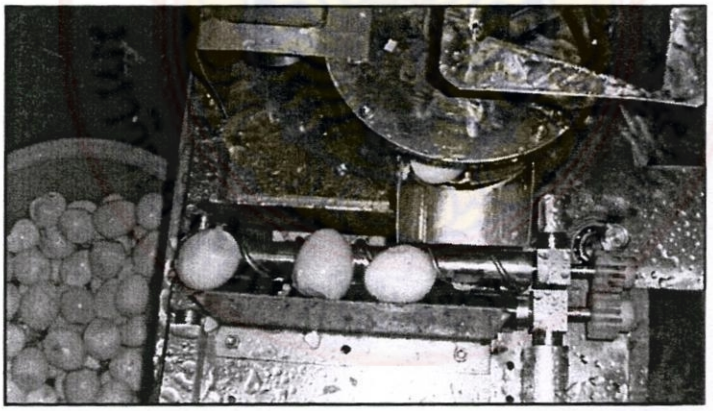
รูปที่ 3.38 ลักษณะของชุดลูกกลิ้งดึงเปลือกไข่ต้ม

2) ระบบส่งกำลังของลูกกลิ้งโดยใช้เฟืองหนอน ดังแสดงในรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 ลักษณะของระบบส่งกำลังของลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้ม

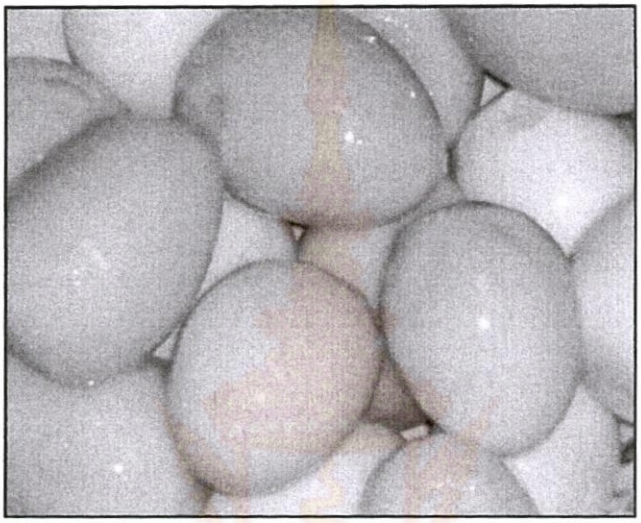
3.4.4 หลังจากที่ได้ติดตั้งชุดลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้มเรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการทดลองโดยกระบวนการทำงานที่สมบูรณ์ของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.40



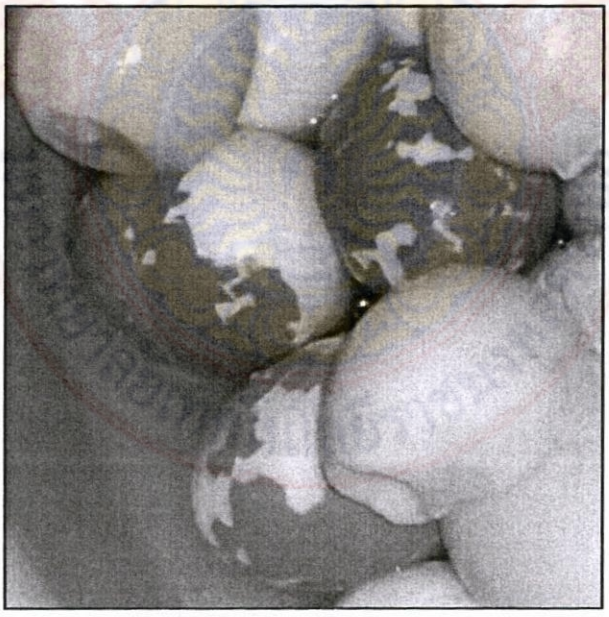
รูปที่ 3.40 ลักษณะของกระบวนการทำงานที่สมบูรณ์ของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

1) จากการทดลองครั้งที่ 4 ผลปรากฏว่าไข่ต้มที่ได้จะมีลักษณะอยู่ 3 แบบด้วยกัน คือ

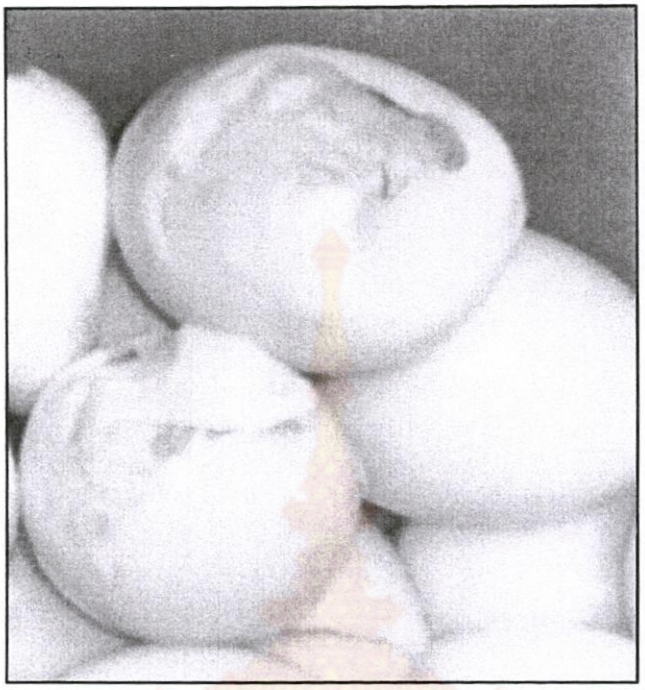
- ไข่ต้มที่มีเปลือกหลุดออกหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.41
- ไข่ต้มที่มีเปลือกติดอยู่กับไข่ขาว ดังแสดงในรูปที่ 3.42
- ไข่ต้มที่มีไข่แดงหลุดออกจากไข่ขาวและแตก ดังแสดงในรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.41 ลักษณะของไข่ต้มที่มีเปลือกหลุดออกหมด



รูปที่ 3.42 ลักษณะของไข่ต้มที่มีเปลือกติดอยู่กับไข่ขาว



รูปที่ 3.43 ลักษณะของไข่ต้มที่มีไข่แดงหลุดออกจากไข่ขาว และแตก

3.4.5 หลังจากการทดลองจนได้ผลเป็นที่พอใจแล้วจึงได้ดำเนินการเก็บรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.44 และทำการทดสอบประสิทธิภาพซึ่งมีรายละเอียดในบทต่อไป

รูปที่ 3.44 ลักษณะของเครื่องสำเร็จที่พร้อมสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการปรับปรุงแก้ไข และทดลองเครื่องจักรจนมั่นใจในประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแล้ว ขั้นตอนของผลการทดลองจะดำเนินการทดลองโดยการปอกไข่ต้มโดยเปรียบเทียบกับการทำงานระหว่างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติกับแรงงานคน 1 คน ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองด้วยแรงงานคนในการปอกไข่ต้มโดยการนำไข่เป็ดต้มสุกจำนวน 50 ฟอง และไข่ไก่ต้มสุกจำนวน 50 ฟอง ที่ค้างคืนไว้ประมาณ 3 คืน และผ่านการต้มด้วยน้ำที่ผสมเกลือในอัตราส่วน 50 : 1 โดยใช้เวลาในการต้ม 15 นาที และนำมาแช่น้ำธรรมดา แล้วจึงนำมาทดลองปอกด้วยแรงงานคนโดยการจับเวลาครั้งละ 10 ฟอง จำนวน 5 ครั้ง และทำการบันทึกผลเพื่อหาประสิทธิภาพ และเปอร์เซ็นต์ของเสีย ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ ไข่ต้มที่มีไข่แดงหลุดออกมาจากไข่ขาวจะคิดเป็นของเสียดังแสดงในตาราง 4.1 4.2 4.3 และ 4.4

ตาราง 4.1 ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบแบ่งการจับเวลา

ครั้งที่	ไข่เป็ดต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	10	98	10	0	0	10
2	10	102	10	0	0	10
3	10	103	10	0	0	10
4	10	100	10	0	0	10
5	10	99	10	0	0	10
ค่าเฉลี่ย	10	100.4	10	0	0	10

จากตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าการปอกไข่เป็ดต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบแบ่งการจับเวลาจะมีเวลาในการปอกอยู่ที่ประมาณ 6-7 ฟองต่อนาที และไข่มีสภาพสมบูรณ์หมดทุกฟอง

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{10}{10} \times 100 = 100 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{0}{10} \times 100 = 0 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ตาราง 4.2 ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบจับเวลาต่อเนื่อง

ครั้งที่	ไข่เป็ดต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	50	648	50	0	0	50

จากตาราง 4.2 จะเห็นได้ว่าการปอกไข่เป็ดต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบจับเวลาต่อเนื่องจะมีเวลาในการปอกอยู่ที่ 5 ฟองต่อนาที จะสังเกตได้ว่าเมื่อคนงานปอกไข่ต้มเป็นเวลาติดต่อกันนานๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการปอกลดลง

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{10}{10} \times 100 = 100 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{0}{10} \times 100 = 0 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ตาราง 4.3 ผลการทดลองการปอกไข่ไก่ต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบแบ่งการจับเวลา

ครั้งที่	ไข่ไก่ต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	10	92	10	0	0	10
2	10	90	10	0	0	10
3	10	95	10	0	0	10
4	10	89	10	0	0	10
5	10	97	10	0	0	10
ค่าเฉลี่ย	10	92.6	10	0	0	10

จากตาราง 4.3 จะเห็นได้ว่าการปอกไข่ไก่ต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบแบ่งการจับเวลาจะมีเวลาในการปอกอยู่ที่ 6 ฟองต่อนาที และไข่มีสภาพสมบูรณ์หมดทุกฟอง

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{10}{10} \times 100 = 100 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{0}{10} \times 100 = 0 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ตาราง 4.4 ผลการทดลองการปอกไข่ไก่ต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบจับเวลาต่อเนื่อง

ครั้งที่	ไข่เป็ดต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	50	587	50	0	0	50

จากตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่าการปอกไข่ไก่ต้มสุกด้วยแรงงานคนแบบจับเวลาต่อเนื่องจะมีเวลาในการปอกอยู่ที่ 5 ฟองต่อนาที จะสังเกตได้ว่าเมื่อคนงานปอกไข่ต้มเป็นเวลาติดต่อกันนานๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการปอกลดลง

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{10}{10} \times 100 = 100 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{0}{10} \times 100 = 0 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

การทดลองปอกด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติโดยการนำไข่เป็ดต้มสุกจำนวน 50 ฟอง และไข่ไก่ต้มสุกจำนวน 50 ฟอง ที่ค้างคืนไว้ 3 คืน และนำมาต้มด้วยน้ำที่ผสมเกลือในอัตราส่วน 50 : 1 โดยใช้เวลาในการต้ม 15 นาที นำมาแช่น้ำธรรมดา แล้วจึงจะนำมาเข้าเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ ไข่เป็ดจะใช้ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงไข่ต้มเท่ากับ 4 รอบต่อนาที และไข่ไก่ใช้จะความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงไข่ต้มเท่ากับ 10 รอบต่อนาที โดยการจับเวลาในการปอกครั้งละ10 ฟอง จำนวน 5 ครั้ง เริ่มจากใส่ไข่ต้มลงไปฟองแรก แล้วทำการบันทึกผลเพื่อหาประสิทธิภาพ และเปอร์เซ็นต์ของเสีย ดังแสดงในตาราง 4.5 4.6 4.7 และ4.8 ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ ไข่ต้มที่มีไข่แดงหลุดออกมาจากไข่ขาวจะคิดเป็นของเสีย

ตาราง 4.5 ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 4 รอบต่อนาที แบบแบ่งการจับเวลา

ครั้งที่	ไข่เป็ดต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	10	44	6	3	1	10
2	10	40	7	1	2	10

ตาราง 4.5 ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 4 รอบต่อนาที แบบแบ่งการจับเวลา (ต่อ)

ครั้งที่	ไข่เป็ดต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
3	10	40	8	1	1	10
4	10	34	7	3	0	10
5	10	47	6	2	2	10
ค่าเฉลี่ย	10	41	7	2	1	10

จากตาราง 4.5 จะเห็นว่าการปอกไข่เป็ดต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 4 รอบต่อนาที แบบแบ่งการจับเวลาจะใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 15 ฟองต่อนาที และมีไข่สภาพสมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ที่ 9 ฟอง และไข่ที่มีสภาพไม่สมบูรณ์ คือไข่ต้มที่มีไข่แดงหลุดออกมาจากไข่ขาวจะคิดเป็นของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 1 ฟอง

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{9}{10} \times 100 = 90 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{1}{10} \times 100 = 10 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ตาราง 4.6 ผลการทดลองการปอกไข่เป็ดต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 4 รอบต่อนาที และจับเวลาแบบต่อเนื่อง

ครั้งที่	ไข่เป็ดต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	50	215.7	47	0	3	50

จากตาราง 4.6 จะเห็นได้ว่าการปอกไข่เป็ดต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 4 รอบต่อนาที และจับเวลาแบบต่อเนื่องจะมีเวลาในการปอกอยู่ที่ 14 ฟองต่อนาที จะสังเกตได้ว่าเมื่อเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติปอกไข่ต้มเป็นเวลาติดต่อกันนานๆประสิทธิภาพในการปอกก็ยังเท่าเดิม และปริมาณไข่ไม่สมบูรณ์ลดลง

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{47}{50} \times 100 = 94 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{3}{50} \times 100 = 6 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ตาราง 4.7 ผลการทดลองการปอกไข่ไก่ต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 10 รอบต่อนาที แบบแบ่งการจับเวลา

ครั้งที่	ไข่ไก่ต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา (วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	10	27	7	1	2	10
2	10	38	9	1	0	10
3	10	38	8	1	1	10
4	10	37	7	2	1	10
5	10	35	7	1	2	10
ค่าเฉลี่ย	10	35	8	1	1	10

จากตาราง 4.7 จะเห็นว่าการปอกไข่ไก่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 10 รอบต่อนาที แบบแบ่งการจับเวลาจะใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 17 ฟองต่อนาที และมีไข่สภาพสมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ที่ 9 ฟอง และไข่ที่มีสภาพไม่สมบูรณ์ คือ ไข่ต้มที่มีไข่แดงหลุดออกมาจากไข่ขาวจะคิดเป็นของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 1 ฟอง

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{9}{10} \times 100 = 90 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{1}{10} \times 100 = 10 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ตาราง 4.8 ผลการทดลองการปอกไข่ไก่ต้มสุกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 10 รอบต่อนาที และจับเวลาแบบต่อเนื่อง

ครั้งที่	ไข่ไก่ต้มสุก (ฟอง)	ปอกเปลือก				
		เวลา(วินาที)	หมด	ไม่หมด	ไข่ไม่สมบูรณ์	รวม
1	50	135.6	45	3	2	10

จากตาราง 4.8 จะเห็นได้ว่าการปอกไข่ไก่ต้มสุก โดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่ความเร็วรอบของแผ่นลำเลียงเท่ากับ 10 รอบต่อนาที และจับเวลาแบบต่อเนื่องจะมีเวลาในการปอกอยู่ที่ 22 ฟองต่อนาที จะสังเกตได้ว่าเมื่อเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติปอกไข่ต้มเป็นเวลาติดต่อกันนานๆ ประสิทธิภาพในการปอกและปริมาณไข่ไม่สมบูรณ์ก็ยังเท่าเดิม

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไข่ดี คือ

$$= \frac{45}{50} \times 100 = 90 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ไม่สมบูรณ์ คือ

$$= \frac{5}{50} \times 100 = 10 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

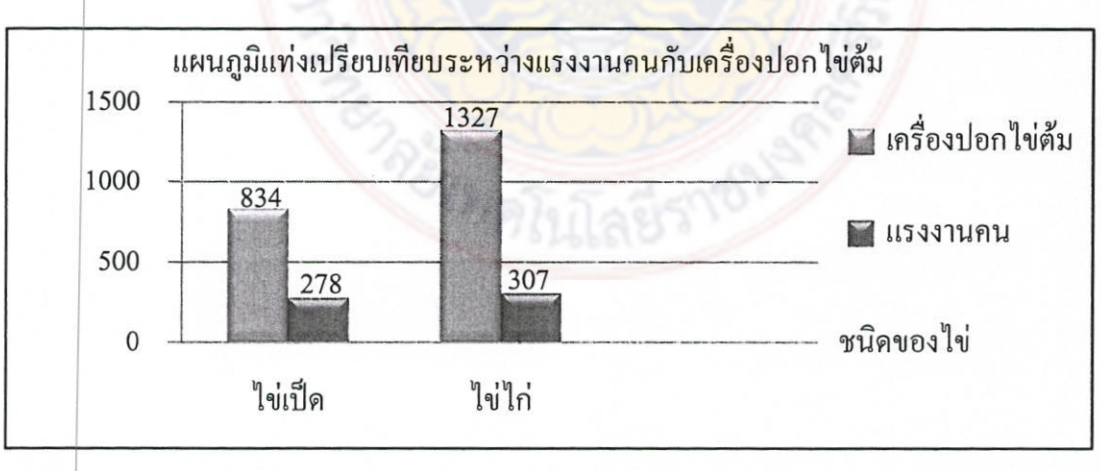
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองปอกไข่ต้มสุก เปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ สรุปได้ว่าเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถปอกไข่ต้มได้เร็วกว่าการใช้แรงงานคน โดยผลการทดลองเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจะมีความสามารถในการปอกไข่ไก่ต้มประมาณ 22 ฟองต่อนาที เป็น 4.4 เท่า ของแรงงานคนที่มีความสามารถในการปอกไข่ไก่ต้มได้เพียง ประมาณ 5 ฟองต่อนาที และมีความสามารถในการปอกไข่เป็ดต้มประมาณ 14 ฟองต่อนาที เป็น 3 เท่า ของแรงงานคนที่มีความสามารถในการปอกไข่เป็ดต้มได้เพียง ประมาณ 4-5 ฟองต่อนาที เท่านั้น และเมื่อแรงงานคนปฏิบัติงานเป็นระยะเวลาหนึ่ง ผู้ปฏิบัติงานจะมีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น ในขณะที่เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

ตาราง 4.9 ความสามารถในการปอกไข่ต้มระหว่างเครื่องปอกไข่ต้มกับแรงงานคน

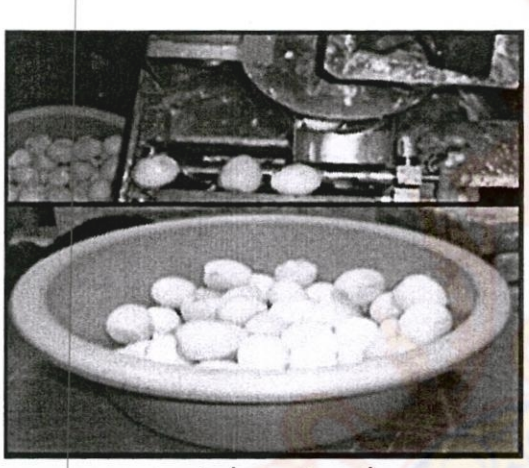
ลักษณะการทำงาน	จำนวน (ฟอง)	กำลังการผลิต (ประมาณ)			
		ไข่เป็ดต้ม		ไข่ไก่ต้ม	
		เวลา (วินาที)	ฟองต่อชั่วโมง	เวลา (วินาที)	ฟองต่อชั่วโมง
เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ	50	215.7	834	135.6	1327
แรงงานคน	50	648	278	587	307

จากตาราง 4.9 แสดงกำลังการผลิตของไข่เป็ดและไข่ไก่เป็นแผนภูมิแท่งได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กำลังการผลิตเปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

ความสามารถในการปอกไข่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ จะทำงานได้เร็วกว่าแรงงานคนถึง 3 เท่าในการปอกไข่เป็ดต้ม และ 4.5 เท่าในการปอกไข่ไก่ต้ม อีกทั้งยังสามารถผลิตต่อเนื่องได้ดีกว่าแรงงานคน ถึงแม้ว่าการปอกไข่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจะมีส่วนที่ไม่สมบูรณ์แต่เป็นส่วนน้อย และสามารถนำไปปรุงเป็นอาหารอย่างอื่นได้อีก ดังนั้นเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติมีความสามารถในการผลิตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน และเมื่อเปรียบเทียบผิวที่ได้จากการปอกด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ พบว่าในส่วนผิวของไข่ขาวมีความสวยงามดีกว่าการใช้แรงงานคน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) และในการปอกด้วยคนจะปอกกับช้อนทำให้เกิดผิวขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข)



(ก) ไข่ต้มที่ปอกด้วยเครื่อง

(ข) ไข่ต้มที่ปอกด้วยคน

รูปที่ 4.2 ลักษณะการเปรียบเทียบการปอกไข่ต้มด้วยเครื่องกับแรงงานคน

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการทดลองวิเคราะห์ได้ว่า ในกระบวนการปอกไข่ต้มมีอัตราค่าจ้างคนงานตามจำนวนฟองเป็นราคาฟองละ 25 สตางค์ ดังนั้นจึงได้สร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดเวลาในการปอกไข่ต้ม และในการควบคุมเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ อีกทั้งสามารถลดเวลาในการผลิต รวมถึงได้จำนวนผลผลิตที่มากกว่าเป็น 3-5 เท่าโดยสามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างแรงงานคนกับเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ และหาระยะเวลาในการคืนทุนได้ดังนี้

4.3.1 ค่าใช้จ่าย และรายได้ในการปอกไข่ต้มด้วยแรงงานคนมีดังนี้

ปอกไข่ต้มจำนวน	=	100000	ฟองต่อเดือน
ค่าจ้างปอกฟองละ	=	0.25	บาท
ราคาขายไข่เป็ดต้มฟองละ	=	4.3	บาท
ราคาขายไข่ไก่ต้มฟองละ	=	2.6	บาท

ดังนั้นในการปอกไข่ต้มด้วยแรงงานคนจะต้องจ่ายค่าจ้างเท่ากับ

(100000 × 0.25)	=	25,000	บาทต่อเดือน
	=	300,000	บาทต่อปี

ในการปอกไข่เป็ดต้มจะได้รายได้เท่ากับ

(100000 × 4.3)	=	430,000	บาทต่อเดือน
	=	5,160,000	บาทต่อปี

ในการปอกไข่ไก่ต้มจะได้รายได้เท่ากับ

(100000 × 2.6)	=	260,000	บาทต่อเดือน
	=	3,120,000	บาทต่อปี

4.3.2 ค่าใช้จ่าย และรายได้ในการปอกไข่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติมีดังนี้

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย ซึ่งมีผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตรา ดังแสดงในตาราง 4.6 ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

ตาราง 4.10 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (อัตราค่าไฟฟ้า, 2543)

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	หน่วยที่	หน่วยละ (บาท)
5 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก	(หน่วยที่ 1-5)	4.96
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 1-5)	0.7124
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16-25)	0.8993
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26-35)	1.1516
65 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36-100)	1.5348
50 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151-400)	1.6282
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101-150)	2.1329
เกินกว่า 400 หน่วย	(หน่วยที่ 401เป็นต้นไป)	2.4226

เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติใช้มอเตอร์ 2 ตัว ตัวที่ 1 มอเตอร์ 1/4 แรงม้า เท่ากับกำลังไฟฟ้า 186.5 วัตต์ ตัวที่ 2 ใช้กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์

ดังนั้น หากำลังของมอเตอร์

$$P = 186.5 + 50$$

$$= 236.5 \text{ วัตต์}$$

การหาค่าจำนวนหน่วย โดยเครื่องปอกไข่ต้ม 10000 ฟองใช้เวลา 8 ชั่วโมง

หมายเหตุ 1 หน่วยของมิเตอร์ไฟฟ้าจะเท่ากับ 333.33 วัตต์

$$\text{จำนวนหน่วยหรือยูนิต} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{333.3} \times \text{ชั่วโมงใช้งานต่อวัน}$$

$$= \frac{236.5 \times 1}{333.3} \times 8$$

$$= 5.67 \quad \text{หน่วยต่อวัน}$$

ในการทำงาน 1 เดือน = 5.67 × 30

= 170 หน่วยต่อเดือน

ดังนั้นเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ ในการทำงาน 1 เดือน จะใช้ไฟฟ้า 170 หน่วยต่อเดือน จึงหาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากตาราง 4.6

ค่าไฟฟ้าต่อเดือนจะเท่ากับ 170 × 1.682 = 286.44 บาท

บวกค่าภาษีมูลค่าเพิ่มอีก 7 เปอร์เซ็นต์

(286.44 × 1.07) = 306.5 บาทต่อเดือน

= 3,678 บาทต่อปี

เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติปอกไข่เป็ดต้ม = 100000 ฟองต่อเดือน

ราคาไข่เป็ดต้มที่ปอกแล้วขายได้ฟองละ = 4.3 บาท

ราคาไข่ไก่ต้มที่ปอกแล้วขายได้ฟองละ = 2.6 บาท

ในการปอกไข่เป็ดต้มจะได้รายได้เท่ากับ

(100000 × 4.3) = 430,000 บาทต่อเดือน

= 5,160,000 บาทต่อปี

ในการปอกไข่ไก่ต้มจะได้รายได้เท่ากับ

(100000 × 2.6) = 260,000 บาทต่อเดือน

= 3,120,000 บาทต่อปี

ค่าจ้างคนงานควบคุมเครื่อง

(300 × 30) = 9,000 บาทต่อเดือน

= 108,000 บาทต่อปี

ลงทุนซื้อเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ = 30,000 บาท

ของเสียของไข่เป็ดต่อเดือน

(100000 × 0.06)	=	6000	ฟอง

คิดของมูลค่าของเสียของไข่เป็ดจะเท่ากับ

(6000 × 4.3)	=	25,800	บาทต่อเดือน
	=	309,600	บาทต่อปี

ของเสียของไข่ไก่ต่อเดือน

(100000 × 0.1)	=	10000	ฟอง

คิดของมูลค่าของเสียของไข่ไก่จะเท่ากับ

(100000 × 2.6)	=	26,000	บาทต่อเดือน
	=	312,000	บาทต่อปี

คิดค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรต่อเดือนจาก 5 เปอร์เซ็นต์ ของราคาเครื่องจักร

(30,000 × 0.01)	=	30	บาทต่อเดือน
	=	360	บาทต่อปี

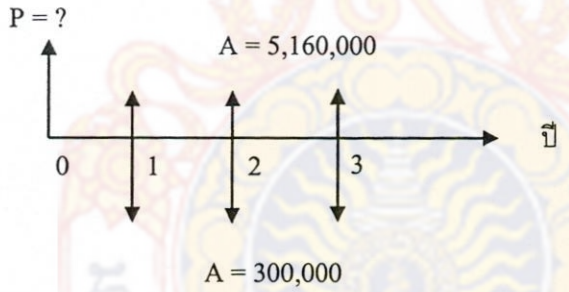
คิดมูลค่าซากเครื่องจักรใน 3 ปีจะเท่ากับ = 10,000 บาท

4.3.3 จากข้อมูลรายรับรายจ่ายของการปอกไข่ต้มด้วยแรงงานคน และเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่กล่าวมานำมาสรุปได้ดังนี้

ตาราง 4.11 รายรับรายจ่ายการปอกไข่ต้มด้วยแรงงานคน และเครื่องปอกไข่ต้มต่อปี

รายการ	คนงาน		เครื่องปอกไข่	
	ไข่เป็ด	ไข่ไก่	ไข่เป็ด	ไข่ไก่
รายได้ต่อปี (บาท)	5,160,000	3,120,000	5,160,000	3,120,000
ค่าจ้างแรงงานต่อปี (บาท)	300,000	300,000	108,000	108,000
ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	-	-	3,678	3,678
ราคาเครื่อง (บาท)	-	-	30,000	30,000
สูญเสียต่อปี (บาท)	-	-	309,600	312,000
ค่าซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)	-	-	360	360
มูลค่าซากปีที่ 3 (บาท)	-	-	10,000	10,000

ถ้าคิดระยะเวลาการปอกไข่เป็ดต้มด้วยแรงงานคนภายใน 3 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 7 เปอร์เซ็นต์



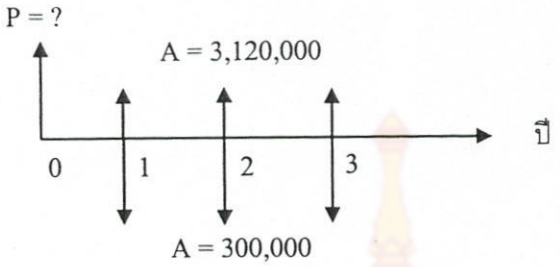
กำไรการปอกไข่เป็ดต้มด้วยแรงงานคนต่อปีจะเท่ากับ

= 5,160,000 – 300,000

= 5,160,000 – 300,000

= 4,860,000 บาทต่อปี

ถ้าคิดระยะเวลาการปอกไข่ไก่ต้มด้วยแรงงานคนภายใน 3 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 7 เปอร์เซ็นต์



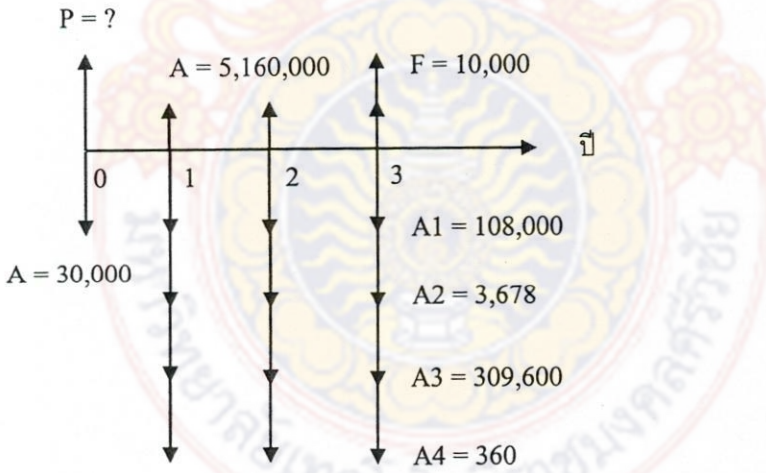
กำไรการปอกไข่ไก่ต้มด้วยแรงงานคนต่อปีจะเท่ากับ

= 3,120,000 – 300,000

= 3,120,000 – 300,000

= 2,820,000 บาทต่อปี

ถ้าคิดระยะเวลาการปอกไข่เป็ดต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติภายใน 3 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 7 เปอร์เซ็นต์



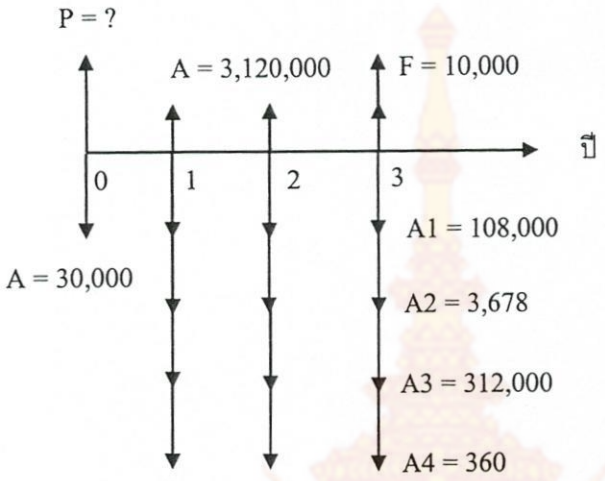
กำไรการปอกไข่เป็ดต้มด้วยด้วยเครื่องปอกไข่ต้มต่อปีจะเท่ากับ

= [5,160,000+10,000(A/F,7%,3)] - [30,000(A/P,7%,3)+108,000+3,678+309,600+360]

= [5,160,000+10,000(0.3111)] - [30,000(0.3811)+108,000+3,678+309,600+360]

= 4,730,040 บาทต่อปี

ถ้าคิดระยะเวลาการปอกไข่ไก่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติภายใน 3 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 7 เปอร์เซ็นต์



กำไรการปอกไข่ไก่ต้มด้วยด้วยเครื่องปอกไข่ต้มต่อปีจะเท่ากับ

= [3,120,000+10,000(A/F,7%,3)] - [30,000(A/P,7%,3)+108,000+3,678+312,000+360]

= [3,120,000+10,000(0.3111)] - [30,000(0.3811)+108,000+3,678+312,000+360]

= 2,687,640 บาทต่อปี

หากคิดระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักรในการปอกไข่เป็ดจะได้ $= \frac{\text{ราคาเครื่อง}}{\text{รายได้ต่อวัน}}$

ราคาเครื่องเท่ากับ 30,000 บาท

รายได้ต่อวันเท่ากับ (รายได้ต่อปีต่อจำนวนวันต่อปี) $= \frac{4,730,040}{365}$

= 12,959 บาทต่อวัน

ระยะเวลาในการคืนทุน $= \frac{30,000}{12,959}$

$= 2.3$ วัน

ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องปอกไข่ต้มในการปอกไข่เป็ดต้มจะอยู่ที่ประมาณ 3 วัน

หากคิดระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักรในการปอกไข่ไก่จะได้ $= \frac{\text{ราคาเครื่อง}}{\text{รายได้ต่อวัน}}$

ราคาเครื่องเท่ากับ 30,000 บาท

รายได้ต่อวันเท่ากับ (รายได้ต่อปีต่อจำนวนวันต่อปี) $= \frac{2,687,640}{365}$

$= 7,363.4$ บาทต่อวัน

ระยะเวลาในการคืนทุน $= \frac{30,000}{7,363.4}$

$= 4.07$ วัน

ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องปอกไข่ต้มในการปอกไข่ไก่ต้มจะอยู่ที่ประมาณ 5 วัน

จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานข้างต้นจึงสรุปได้ว่าในการปอกไข่ต้มด้วยแรงงานคน และเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจะมีรายได้ต่อปีที่ไม่แตกต่างกันแต่ในการปอกด้วยเครื่องจะใช้เวลาน้อยกว่า และเวลาที่เหลือสามารถนำไปผลิตเพิ่มหรือทำอย่างอื่นได้อีก

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดดังกล่าวมาข้างต้นแล้ว สามารถสรุปผลการสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ และข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงพัฒนาให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากยิ่งขึ้นได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองปอกไข่ต้มด้วยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ ไข่ที่นำมาปอกจะต้องค้างคืนไว้ประมาณ 3 คืน และในการต้มจะต้องใช้น้ำใส่เกลือในอัตราส่วน 50 : 1 และใช้เวลาในการต้ม 15 นาที และเมื่อต้มเสร็จแล้วจะต้องนำไปแช่น้ำธรรมดาทันที โดยไข่ที่นำมาทดลองจะเป็นไข่เป็ด และไข่ไก่เบอร์ศูนย์ จากนั้นนำไข่ที่ผ่านการต้มแล้วมาปอกโดยเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 จากการทดลองเครื่องปอกแบบกึ่งอัตโนมัติจะมีความสามารถในการปอกไข่เป็ดต้มประมาณ 834 ฟองต่อชั่วโมง และไข่ไก่ต้มประมาณประมาณ 1327 ฟองต่อชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 3 เท่าของแรงงานคนที่มีความสามารถในการปอกไข่เป็ดต้มเพียง 278 ฟองต่อชั่งโมง และ 4.5 เท่า ของแรงงานคนที่มีความสามารถในการปอกไข่ไก่ต้มได้เพียง 307 ฟองต่อชั่งโมง เท่านั้น และเรื่องคุณภาพความสวยงามของผิวไข่ขาวก็ดีกว่าการปอกด้วยแรงงานคน แต่เมื่อคนปฏิบัติงานเป็นระยะเวลาหนึ่งผู้ปฏิบัติงานจะมีความเมื่อยล้าเกิดขึ้นในขณะที่เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติจะสามารถทำการผลิตได้เรื่อย ๆ

5.1.2 ลดความเมื่อยล้า และความเครียดจากการปฏิบัติงานที่ต้องใช้ทักษะความชำนาญสูง

5.1.3 เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติที่สร้างขึ้นมีวิธีการทำงานที่สะดวก ง่ายต่อการใช้งาน และการบำรุงรักษา

5.1.5 เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 10 วัน

5.1.6 ปอกไข่ต้มได้รวดเร็วหากจะต้องนำไข่ต้มไปปรุงเป็นอาหารที่มีความต้องการครั้งละมากๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบสร้างเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุดที่จะนำไปสู่การทำงานจริง พบว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

5.2.1 ชุดลูกกลิ้งดึงเปลือกไข่ต้มควรหาวัสดุที่สามารถดึงเปลือกไข่ได้ดีกว่านี้

5.2.2 ควรทดลองใช้แรงดันน้ำให้มีแรงดันสูงในขั้นตอนกะเทาะเปลือกของไข่ต้ม

5.2.3 ควรเพิ่มระบบป้อนไข่ต้มลงไปในช่องอัตโนมัติเพื่อลดเวลาในการใส่ที่ละลูก

5.2.4 รูปทรงของเครื่องควรปรังปรุงให้ดูทันสมัย ลดเวลาในการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้น

5.2.5 ในส่วนของอ่างน้ำควรปรับให้ถอดเพื่อการทำความสะอาดได้ง่าย

5.2.6 ควรพัฒนาให้ปอกไข่นกกระทาได้ด้วย

บรรณานุกรม

สมาคมผู้เลี้ยงไก่ไข่. (2546). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.layerfarmer.com/catalog.php?idp=2 (วันที่ค้นข้อมูล : 28 มิถุนายน 2554).

สมาคมผู้ผลิต ผู้ค้าและส่งออกไข่ไก่. (2546). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://hebe.cpportal.net (วันที่ค้นข้อมูล : 30 มิถุนายน 2554).

ป้าประพิศ ชูศรี. (2554, 2, มิถุนายน). แม่ค้าปอกไข่ขาย. สัมภาษณ์.

จีรนันท์อิศรางกูร ณ อยุธยา และสลิลลา คุปต์พงศกร. (2541). ***สร้างเครื่องปอกเปลือกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ.*** กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สักวกูณฐ์ สายวงษ์ใย. (2549). ***สร้างเครื่องปลอกเปลือกไข่ต้มอัตโนมัติ.*** อยุธยา : สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล มทร.สุวรรณภูมิ.

ธีรวัฒน์ แกล้วกล้า. (2548). ***สร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องปอกไข่ต้ม.*** กรุงเทพฯ :ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Jerome Frechou and Gilles Isambert. (1991). ***Machine for Peeling Hard-Boiled Eggs.***

Radu Sion. ,Mikhail Atallah. &Sunil Prabhakar. ***Resilient information hiding for Abstract Semi-Structures.*** USA : Computer sciences department and The center for education and Research in information assurance,purdue University.

Perng – Kwei Lei. (2010). ***Dvelopment of Boilng and Shelling Machinery for Hard Cooked Eggs.*** Associate Professor, Agrioultaral Machinery Engineering Depertment National Churg – Hsing University.

ส่วนประกอบของไข่. (2546). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http:// www.biotec.or.th/sirs/images/stories/Chic2/ChicTale.doc (วันที่ค้นข้อมูล : 1 มิถุนายน 2554).

เคล็ดลับการเก็บรักษาไข่ (2552). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=anotherside&month (วันที่ค้นข้อมูล : 30 มิถุนายน 2554).

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2551). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.acfs.go.th/acfsboards/detail.php?id=44 (วันที่ค้นข้อมูล : 30 มิถุนายน 2554).

มอเตอร์เหนี่ยวนำ. (2553). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://eng.sut.ac.th/me/meold/3_2551/435330/sut.ppt. (วันที่ค้นข้อมูล : 15 กันยายน 2554).

บรรณานุกรม (ต่อ)

มนูกิจ พานิชกุล. (2548). ***แนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล.*** กรุงเทพมหานคร : ดวงกมลสมัย.

Webb. (2010). ***Machine extrusion.*** [Online]. Abstract from : www.allproducts.com/machine/yei/ine.html. (Access dete : Jun 1, 2011).

อำพล ซื่อตรง. (2536). ***ชิ้นส่วนเครื่องกล.*** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมทางวิชาการ.

นพรัตน์ มโนรา. (2553). ***ชนิดของเฟือง.*** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://nopparat.fve.ac.th/index.php?name=knowledge&file=readknowledge&id=17. (วันที่ค้นข้อมูล : 29 กันยายน 2554).

บรรเลง ศรนิล และปรเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. (2524) ***ตารางโลหะ.*** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สายพาน. (2551). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.rubbercenter.org/files/conveyor.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล : 15 ตุลาคม 2554).

ความรู้เรื่องสเตนเลส. (2550). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaitopdog.com/Siam%20Stainless/BestMsg.htm. (วันที่ค้นข้อมูล : 15 ตุลาคม 2554).

พงษ์ธร แซ่อุ้ย. (2553). ***ศูนย์กลางการค้นคว้าและพัฒนายางไทย.*** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/rubberorganization.htm (วันที่ค้นข้อมูล : 31 มิถุนายน 2554).

อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร. (2553). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaieditorial.com/tag. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 ตุลาคม 2554).

อัตราค่าไฟฟ้า. (2543). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 มกราคม 2555).

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

ตาราง ก.1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าตามมาตรฐานเยอรมัน (DIN)

Material	**Elastic modulus** MN/m^2	**Tensile strength** σ_μ MN/m^2	**Yield strength** σ_γ MN/m^2	**Shear strength** MN/m^2	**Modulus of rigidity** MN/m^2
St 37	210000	370	240	140	80000
St 42	210000	420	250	160	80000
St 50	210000	500	300	200	80000
St 52	210000	520	320	200	80000
St 60	210000	600	360	220	80000
St 70	210000	700	420	260	80000
37 Mn Si 5	210000	1000	750	280	80000
Al Cu Mg	72000	420	280	130	28000

ตาราง ก.2 แสดงค่าของ Elastic Constants ของ Isotropic Meterials ที่อุณภูมิห้อง

Meterials	**Modulus of Elasticity 10-6psi (GPa)**	**Shear Modulus 10-6psi (GPa)**	**Poisson' sratio**
Aluminium alloys	10.5 (7204)	4.0 (27.5)	0.31
Copper	16.0 (110)	6.0 (41.1)	0.33
Steel	29.0 (200)	11.0 (75.8)	0.33
Stainless steel	28.0 (193)	9.5 (65.5)	0.28
Titanium	17.0 (117)	6.5 (44.8)	0.31
Tungsten	58.0 (400)	22.8 (157)	0.27

ตาราง ก.3 การเลือกใช้ลิ่มตามมาตรฐาน

ขนาดเพลา (d) mm	ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส ISO/R 773 ISO/R 774 b × h	ลิ่มแบน ISO 2491 ISO 2492 b × h	แซดเดิลคีย์ DIN 6881 b × h	ลิ่มวงเดือน ISO 3912		
				b × h_1 × R	t_1	t_2
3 – 4				1.0 × 1.40 × 4	1.0	0.6
4 – 5				1.5 × 2.60 × 7	2.0	0.8
5 – 6				2.0 × 2.60 × 7	1.8	1.0
6 – 7	2 × 2			2.0 × 3.70 × 10	2.9	1.0
7 – 8	2 × 2			2.5 × 3.70 × 10	2.7	1.2
8 – 10	3 × 3			3.0 × 5.00 × 13	3.8	1.4
10 – 12	4 × 4			3.0 × 6.50 × 16	5.3	1.4
12 – 14	5 × 5	5 × 3		4.0 × 6.50 × 16	5.0	1.8
14 – 16	5 × 5	5 × 3		4.0 × 7.50 × 16	6.0	1.8
16 – 18	5 × 5	6 × 4		5.0 × 6.50 × 16	4.0	2.3
18 – 20	6 × 6	6 × 4		5.0 × 7.50 × 19	5.5	2.3
20 – 22	6 × 6	6 × 4		5.0 × 9.00 × 22	7.0	2.3
22 – 25	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	6.0 × 9.00 × 22	6.5	2.8
25 – 28	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	6.0 × 10.0 × 25	7.5	2.8
28 – 32	8 × 7	8 × 5	8 × 3.5	8.0 × 11.0 × 28	8.0	3.3
32 – 38	10 × 8	10 × 6	10 × 4.0	10.0 × 13.0 × 32	10.0	3.3
38 – 44	12 × 8	12 × 6	12 × 4.0			
44 – 50	14 × 9	14 × 6	14 × 4.5			
50 – 58	16 × 10	16 × 7	16 × 5.0			
58 – 65	18 × 11	18 × 7	18 × 5.0			
65 – 75	20 × 12	20 × 8	20 × 6.0			

ตาราง ก.3 แสดงการเลือกใช้ลิ่มตามมาตรฐาน (ต่อ)

ขนาดเพลา (d) mm	ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส ISO/R 773 ISO/R 774 b × h	ลิ่มแบน ISO 2491 ISO 2492 b × h	แซดเดิลคีย์ DIN 6881 b × h	ลิ่มวงเดือน ISO 3912		
				b × h_1 × R	t_1	t_2
85 – 95	25 × 14	25 × 9	25 × 7.0			
95 – 110	28 × 16	28 × 10	28 × 7.5			
110 – 130	32 × 18	32 × 11	32 × 8.5			
130 – 150	36 × 20	36 × 12	36 × 9.0			
150 – 170	40 × 22	40 × 14				
170 – 200	45 × 25	45 × 16				
200 – 230	50 × 28	50 × 18				
230 – 260	56 × 32					
260 - 290	63 × 32					

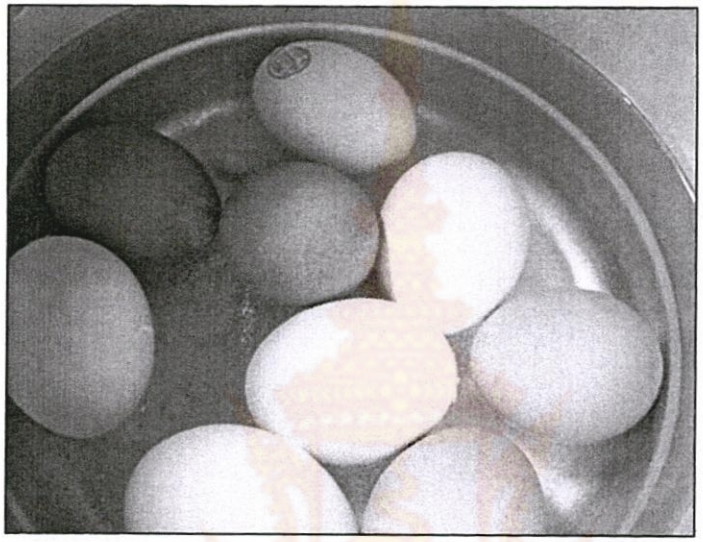
ความยาวลิ่ม											
6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
36	40	45	50	56	63	70	80	90	100	110	125
140	160	180	200	220	250	280	315	355	400	450	500

ภาคผนวก ข

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ จะใช้ไข่ไก่ และไข่เป็ด ซึ่งจะต้องผ่านการต้มด้วยน้ำที่ผสมเกลือ โดยใช้เวลาในการต้ม 15 นาที และนำมาแช่น้ำธรรมดา



รูปที่ ข.1 ลักษณะของไข่เป็ด และไข่ไก่ที่ผ่านการต้มแล้ว

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ
2. ไข่ไก่ต้มสุก
3. ไข่เป็ดต้มสุก
4. กะละมัง
5. นาฬิกาจับเวลา
6. น้ำ
7. กล้องถ่ายรูป
8. ปลั๊กไฟ
9. ตารางการบันทึกผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ภาคผนวก ค

วิธีการใช้เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

วิธีการใช้เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ สร้างขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการปอกไข่ต้ม เพื่อลดเวลาในการทำงานและลดแรงงานคนในการปฏิบัติ ซึ่งมีรายละเอียดของเครื่องดังนี้

1. ส่วนประกอบหลักของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ
2. ข้อกำหนดของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ
3. วิธีการใช้และการทำงาน
4. ข้อควรระวัง
5. การบำรุงรักษา

1. ส่วนประกอบหลักของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.1 ห้องกะเทาะเปลือก

1.2 ระบบส่งกำลัง

1.3 ระบบน้ำ

1.4 ลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่

1.5 การ์ดฝาครอบป้องกันอันตราย

2. ข้อกำหนดของเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

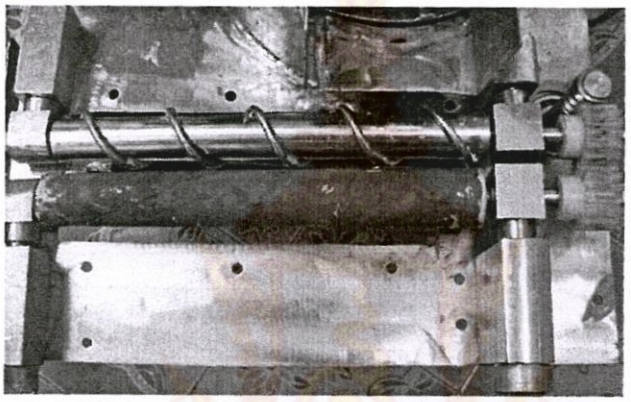
2.1 ชุดกะเทาะเปลือกไข่ต้มจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร และจะประกอบด้วยจานกะเทาะเปลือกไข่และแผ่นลำเรียงไข่ต้ม

รูปที่ ค.1 ลักษณะของห้องกะเทาะเปลือก

2.2 ชุดส่งกำลัง ใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า 220 โวลต์ 1450 รอบต่อนาที และมอเตอร์เกียร์จะใช้ขนาด 25 วัตต์ ด้วยความเร็วรอบ 1350 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง และใช้เกียร์ทดรอบ 1:100 รอบต่อนาที

2.3 ระบบน้ำจะใช้ Supmersible Pump ขนาด 1 นิ้ว เป็นตัวส่งน้ำไปยังห้องกะเทาะเปลือกไข่ต้มโดยจะมีวาล์วปรับแรงดันน้ำก่อนเข้าไปยังห้องกะเทาะเปลือก

2.4 ลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้มจะทำหน้าที่ลอกเปลือกไข่ต้มที่ผ่านการกะเทาะเปลือกแล้วโดยการหมุนเข้าหากันและใช้ยางที่ผิวของลูกกลิ้งเป็นตัวลอกเปลือกออก



รูปที่ ค.2 ลูกกลิ้งลอกเปลือกไข่ต้มจะทำหน้าที่ลอกเปลือกไข่ต้มที่ผ่านการกะเทาะเปลือกแล้ว

3. วิธีการใช้และการทำงาน

3.1 ทดสอบความเรียบร้อยของเครื่องให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน เช่น

1) สังเกตความตึงของสายพาน ควรจะมีลักษณะที่พอดี

2) ตรวจสอบดูว่าจานกะเทาะเปลือกไข่ต้มพร้อมทำงานหรือไม่ เช่น มีเศษตกค้างอยู่หรือมีวัสดุอื่นมาอยู่

3.2 นำไข่ต้มที่เตรียมไว้มาวางใกล้ๆ

3.3 เสียบปลั๊กทิ้งไว้แล้วก็ทำการเปิดสวิตช์มอเตอร์ทั้งสองตัว และตั้งความเร็วมอเตอร์ของแผ่นลำเลียงไข่ต้มอยู่ที่ 12 รอบต่อนาทีสำหรับไข่ไก่ และ 4 รอบต่อนาทีสำหรับไข่เป็ด

3.4 นำไข่ต้มที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในช่องป้อนไข่ต้มทีละลูกโดยจะต้องรอให้แผ่นลำเรียงไข่ต้มเลื่อนมาตรงกับช่องป้อนไข่ต้มก่อน

3.5 ปล่อยให้เครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติทำการปอกไข่ต้มจนเรียบร้อยแล้วตกลงมาในภาชนะใส่ไข่ต้ม

4. ข้อควรระวัง

4.1 ขณะเครื่องทำงานไม่ควรเปิดฝาครอบของเครื่องออก

4.2 อย่าสัมผัสลูกกลิ้งในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน

4.3 ควรระวังอย่าให้น้ำไปโดนมอเตอร์

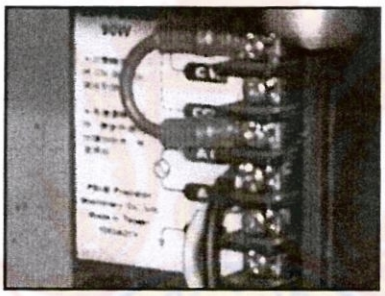
4.4 ถ้าเกิดผิดปกติในขณะทำงาน ให้กดปุ่มสวิตช์ เพื่อหยุดการทำงานของเครื่อง

5. การบำรุงรักษา

5.1 ควรล้างอ่างน้ำเมื่อเสร็จการใช้งานทุกครั้ง

5.2 ไม่ควรใช้น้ำมันเครื่องหรือจาระบีใส่ในจุดต่างๆ

5.3 เช็คระบบไฟฟ้าว่ามีการชำรุดหรือไม่ เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน



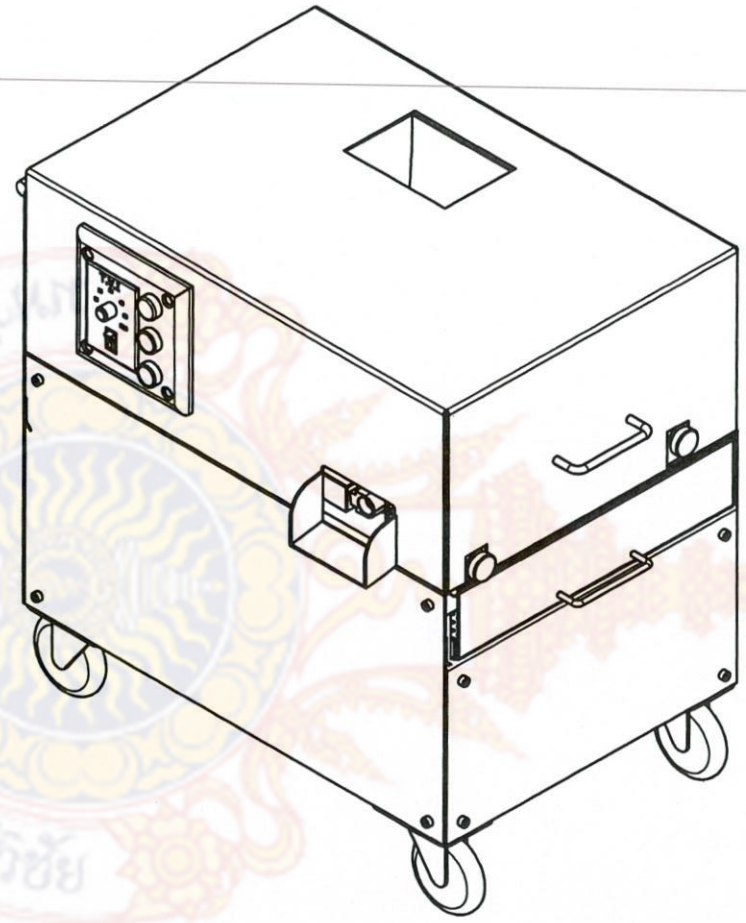
รูปที่ ค.3 ลักษณะของระบบไฟ

5.4 เช็คการทำงานของมอเตอร์ว่าอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานหรือไม่

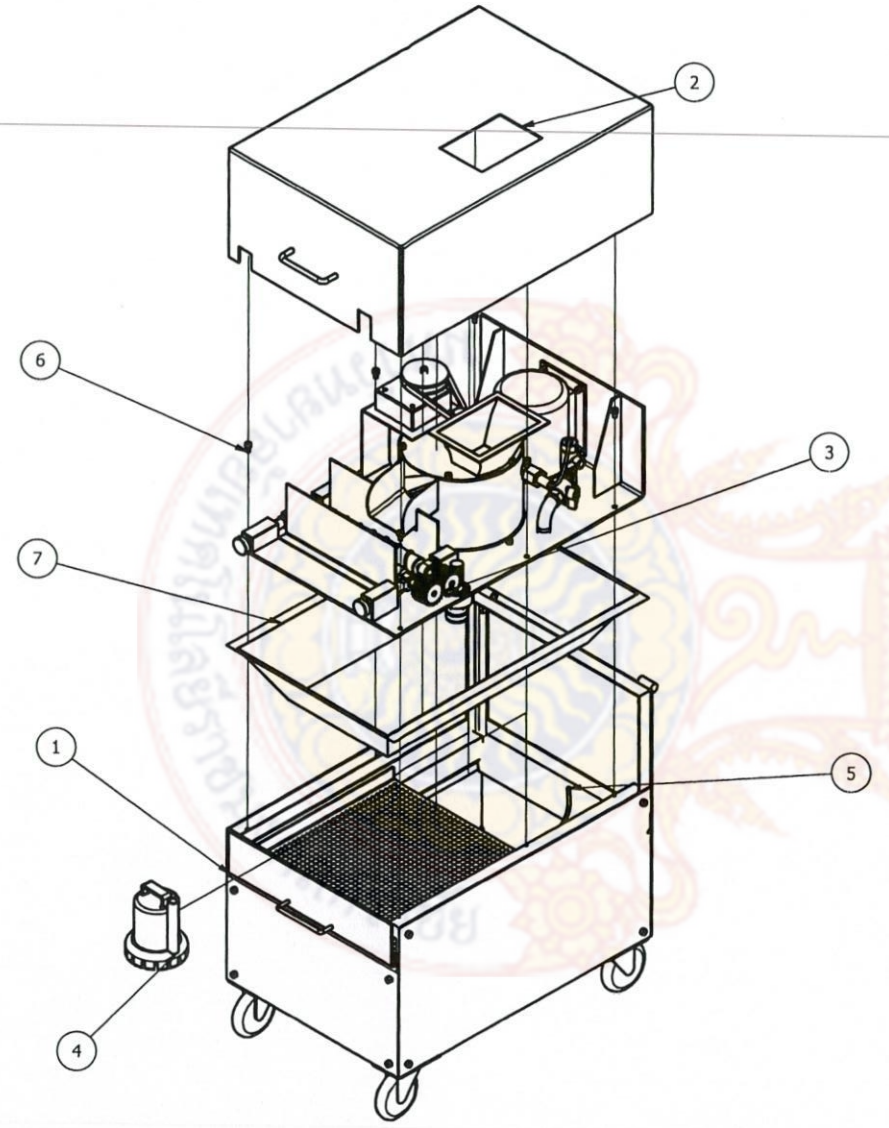
รูปที่ ค.4 ลักษณะของมอเตอร์

ภาคผนวก ง

แบบเครื่องปอกไข่ต้มแบบกึ่งอัตโนมัติ

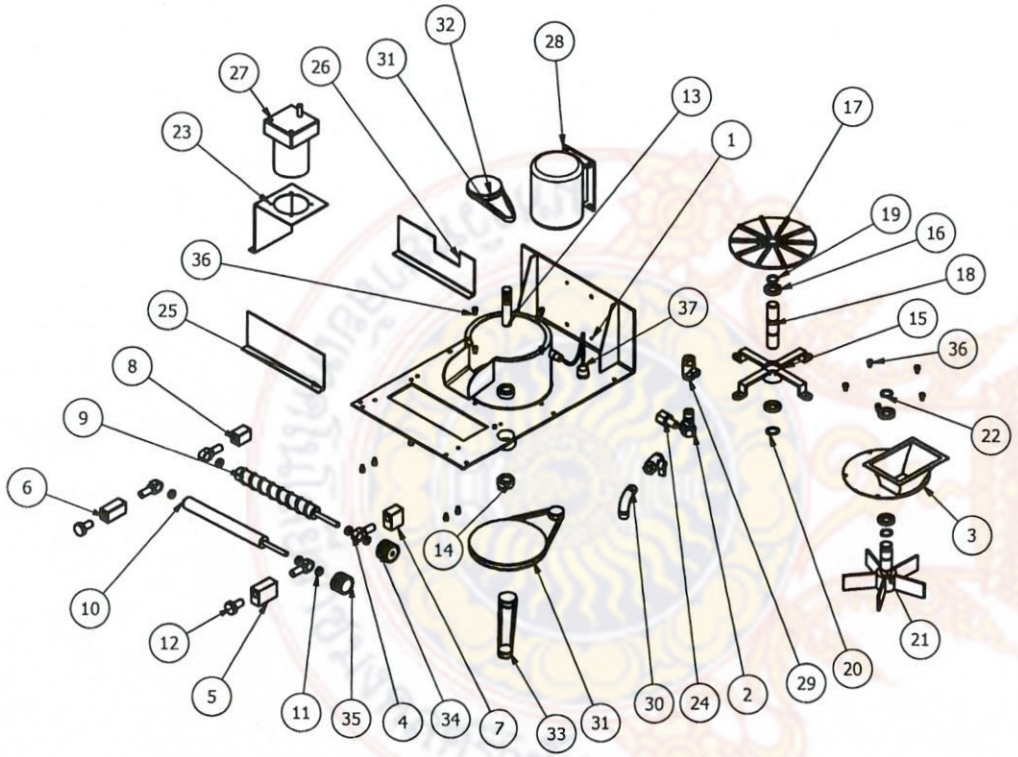


Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No
Scale: 1:5	Draw	R.Anuwat		Rajamangala University of Technology Srivijaya	
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong			
	Checked				
	Title: Boiled Egg Peel Machine			Drawing No. BEP-00-00	



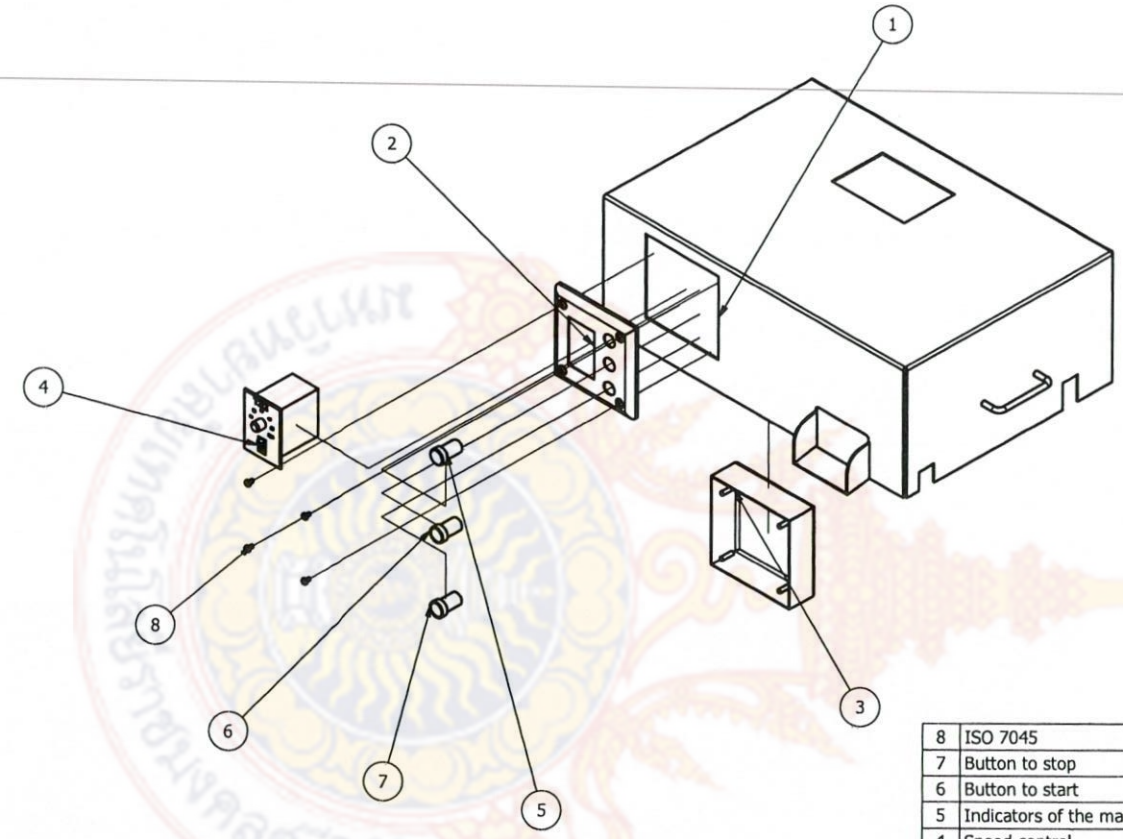
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No
1	And a series of reservoirs	300x600x500	Stianless	1	BEP-01-00
2	Cover	300x600x300	Stianless	1	BEP-02-00
3	Mechanical peeling boiled eggs	300x600x200	Stianless	1	BEP-03-00
4	SUBMERSIBLE PUMPS	1"	std	1	
5	Rubber tube	1"	std	1	
6	JIS B 1176	M6 x 10	std	6	
7	Waterproof rubber	300x600x100	Rubber	1	BEP-07-00

Scale: 1:12	Draw	R.Anuwat	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong	
	Checked		
	Title: Boiled Egg Peel Machine		Drawing No. BEP-00-00



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No
38	JIS B 1176	M6 x 12	std	2	
37	Rubber tube	1/2	std	1	
36	JIS B 1176	M6 x 10	std	19	
35	Spur Gear2	25T 2M	superlene	1	BEP-03-35
34	Spur Gear1	25T 2M	superlene	1	BEP-03-34
33	Grooved Pulley2	standard	std	3	
32	Grooved Pulley1	standard	std	3	
31	V-Belt	standard	std	3	
30	ISO 49 Male Long	1/2	std	1	
29	Pipe Ends	1/2	std	2	
28	motor 220v	1450 rpm	std	1	
27	steping motor	25 w 220v	std	1	
26	cover roller-R	150x200x2t	Stianless	1	BEP-03-26
25	cover roller-L	150x200x2t	Stianless	1	BEP-03-25
24	Taper Thread Tube	1/2	std	1	
23	Motor bracket	100x150x2t	Stianless	1	BEP-03-23
22	JIS B 2804	22x1.2	std	2	
21	The egg conveyor	Ø30x250	Stianless	1	BEP-03-21
20	JIS B 2804	24x1.2	std	1	
19	JIS B 2804	21x1.2	std	1	
18	Bark boiled egg dish Shaft	Ø25x120	Stianless	1	BEP-03-18
17	Bark boiled egg dish	Ø200x30	Stianless	1	BEP-03-17
16	JIS B 1521 - 6805	25x37x7	std	4	
15	Bracket the bark	200x200x30	Stianless	1	BEP-03-15
14	JIS B 1521 - 6004	20x42x12	std	2	
13	worm	Ø20x60	Stianless	1	BEP-03-13
12	Winch	Ø30x40	Stianless	2	BEP-03-12
11	JIS B 1521 - 6800	10x19x5	std	6	
10	Rubber roller	Ø 25x250	Stianless	1	BEP-03-10
9	Roller conveyor	Ø30x250	Stianless	1	BEP-03-09
8	Casing Shaft leg fix down	25x30x30	Stianless	1	BEP-03-08
7	Casing Shaft leg fig up	25x50x30	Stianless	1	BEP-03-07
6	Casing Shaft leg down	25x30x60	Stianless	1	BEP-03-06
5	Casing Shaft leg up	25x50x60	Stianless	1	BEP-03-05
4	Shaft leg	25x25x40	Stianless	4	BEP-03-04
3	Close the lid and down	Ø 200x80	Stianless	1	BEP-03-03
2	EL14SOMDCF	1"	std	1	
1	base	300x60003t	Stianless	1	BEP-03-01

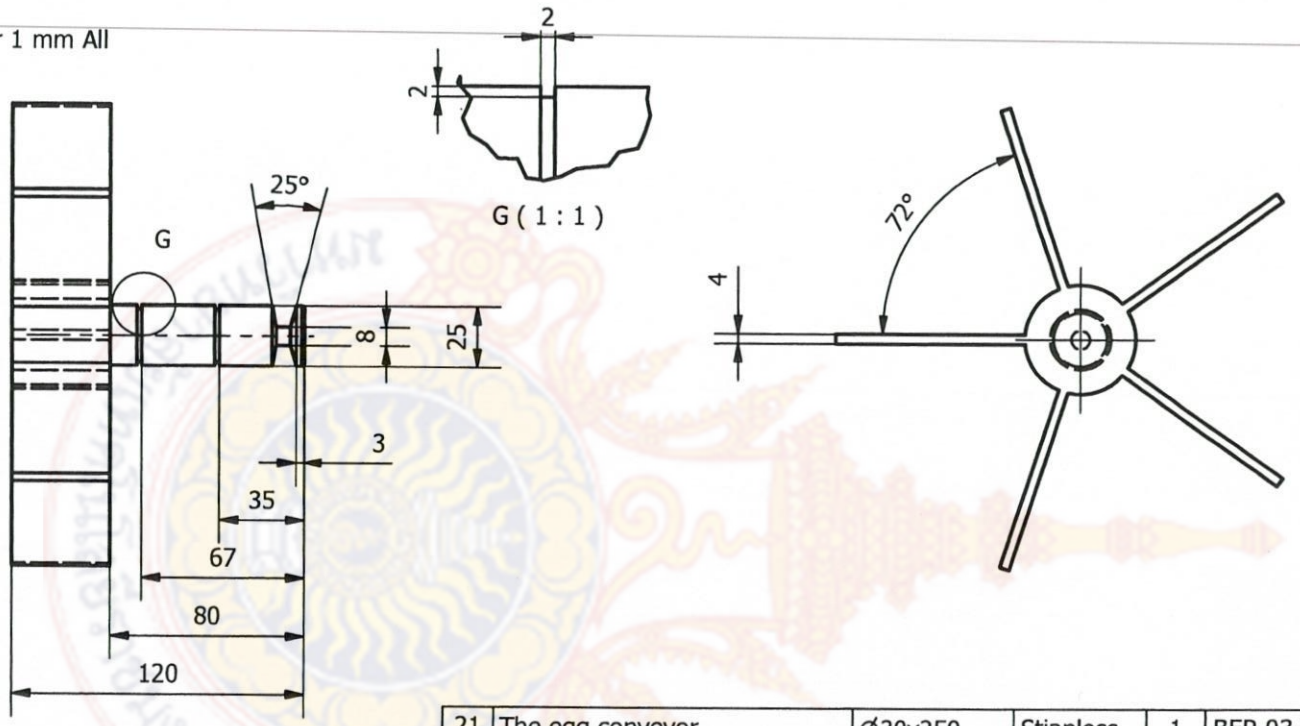
Scale: 1:12	Draw	R.Anuwat	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong	
	Checked		
	Title: Boiled Egg Peel Machine		Drawing No. BEP-03-00



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No
8	ISO 7045	M5 x 8	std	4	
7	Button to stop	Ø20x30	std	1	
6	Button to start	Ø20x30	std	1	
5	Indicators of the machine	Ø20x30	std	1	
4	Speed control	50x80x80	std	1	
3	The control box	180x180x80	std	1	
2	Masks panel	180x180x10	std	1	
1	cover	300x600x300	stianless	1	BEP-02-01

Scale: 1:7	Draw	R.Anuwat	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong	
	Checked		
	Title: Boiled Egg Peel Machine		Drawing No. BEP-02-00

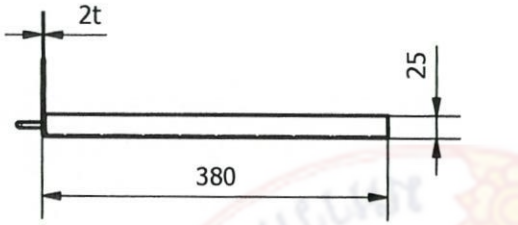
Chamfer 1 mm All

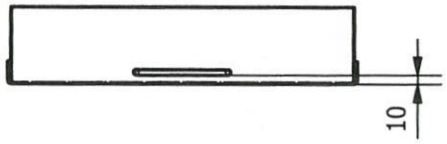


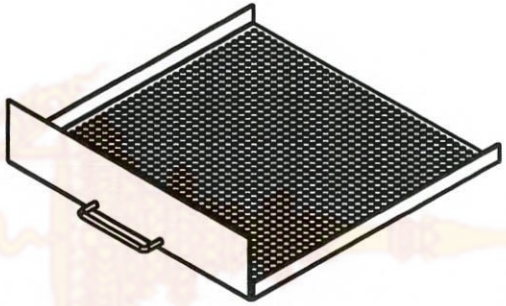
21	The egg conveyor	Ø30x250	Stianless	1	BEP-03-21
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No

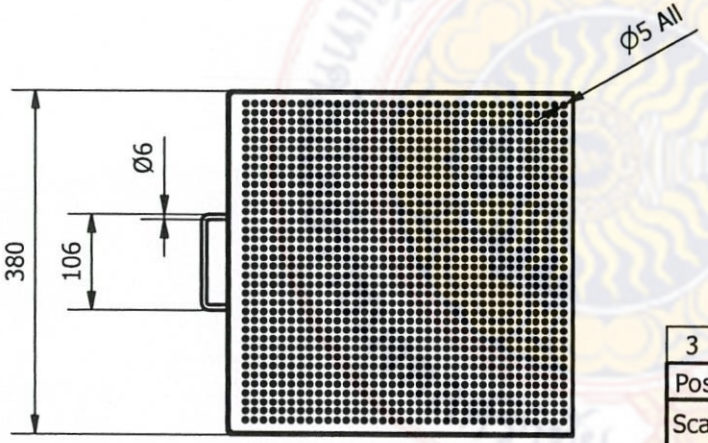
Scale: 1:3	Draw	R.Anuwat	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong	
	Checked		

	Title: Boiled Egg Peel Machine	Drawing No. BEP-03-21

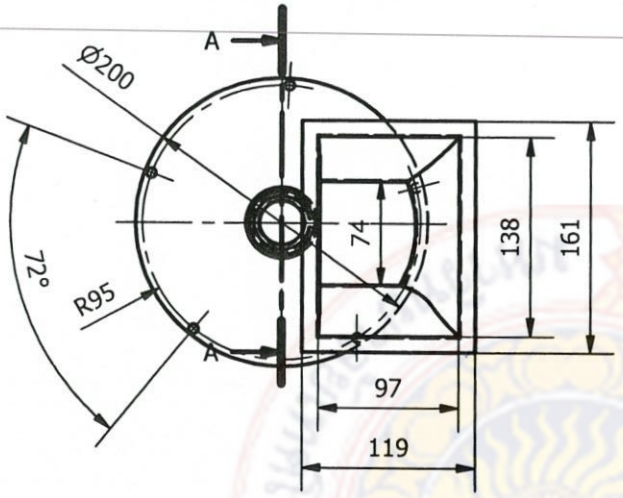




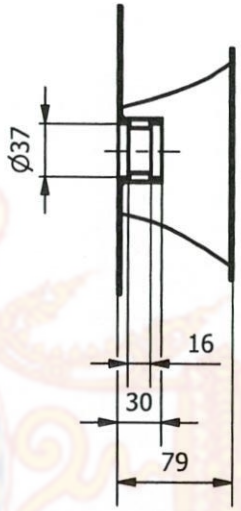


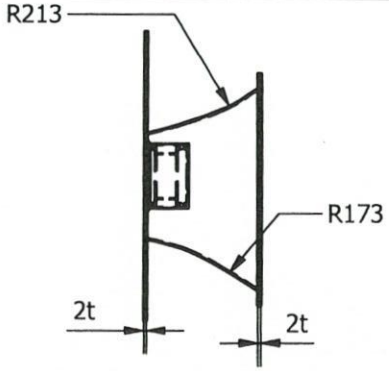


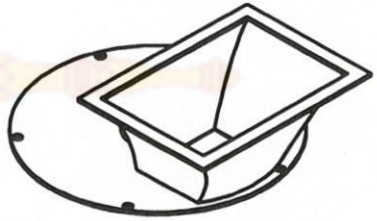
3	Egg output tray		280x280x20	Stianless	1	BEP-01-03
Pos	Part Name and Remark		Dimension	Material	Req	Drawing No
Scale: 1:8	Draw	R.Anuwat		Rajamangala University of Technology Srivijaya		
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong				
	Checked					
	Title: **Boiled Egg Peel Machine**			Drawing No. BEP-01-03		



A-A (1 : 5)





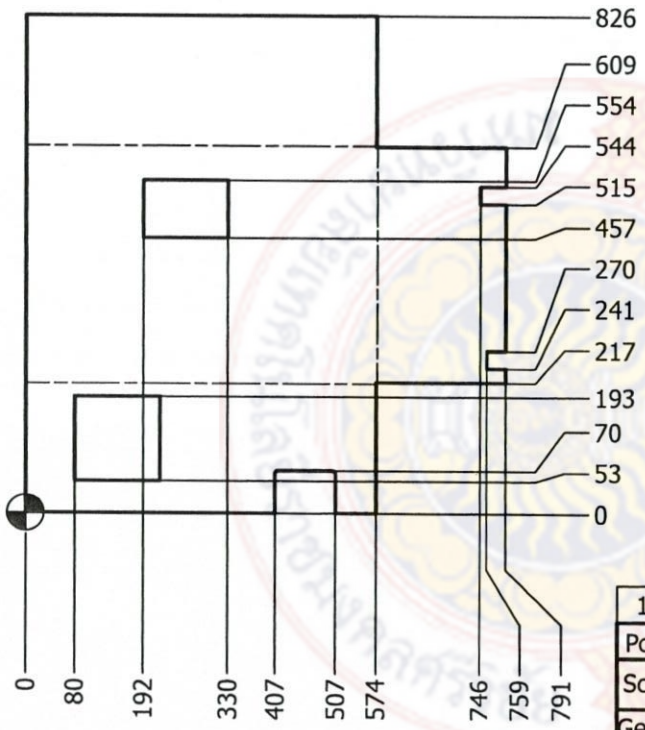


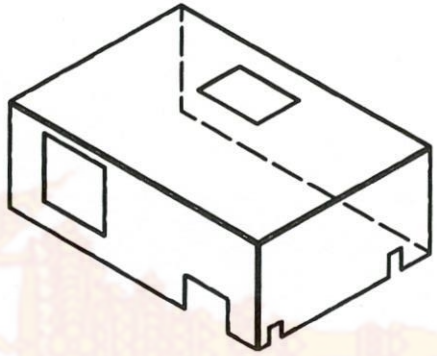
3	Close the lid and down	Ø200x80	Stianless	1	BEP-03-03	
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No	

Scale: 1:5	Draw	R.Anuwat	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong	
	Checked		

	Title: Boiled Egg Peel Machine	Drawing No. BEP-03-03

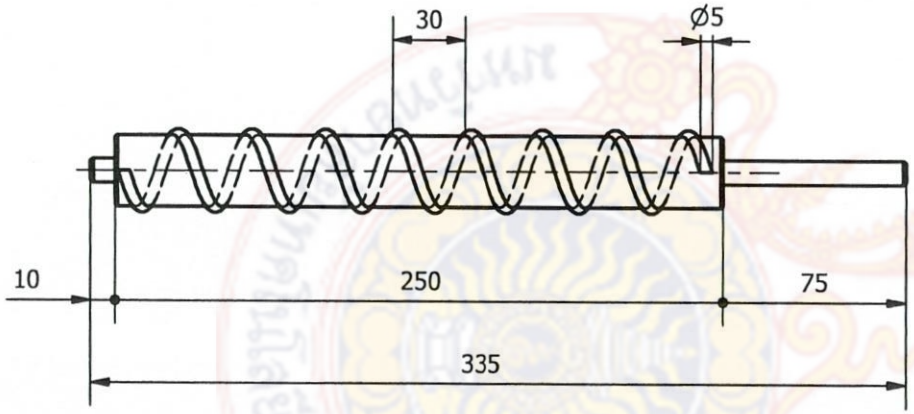
t = 2mm

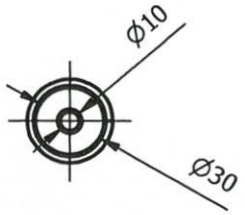




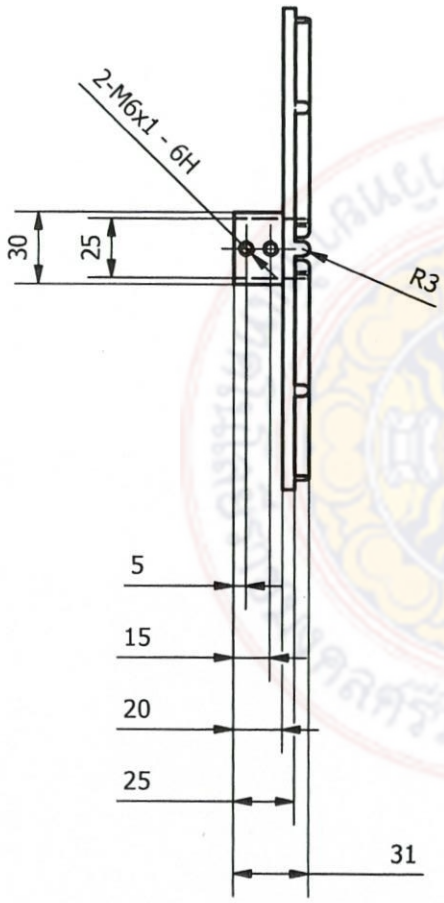
1	Cover		300x600x30	Stianless	1	BEP-02-01
Pos	Part Name and Remark		Dimension	Material	Req	Drawing No
Scale: 1:12	Draw	R.Anuwat		Rajamangala University of Technology Srivijaya		
	Checked	B.Worapong				
Gen.Tolerences ISO2768	Checked					
	Title: Boiled Egg Peel Machine			Drawing No. BEP-02-01		

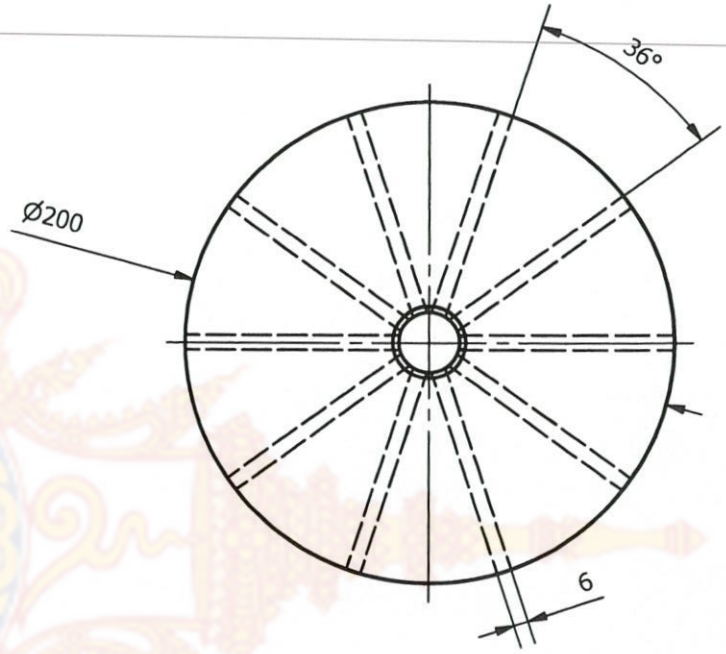
Chamfer 1 mm All





9	Roller conveyor		Ø30x250	Stianless	1	BEP-03-09
Pos	Part Name and Remark		Dimension	Material	Req	Drawing No
Scale: 1:3	Draw	R.Anuwat		Rajamangala University of Technology Srivijaya		
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong				
	Checked					
	Title: Boiled Egg Peel Machine			Drawing No. BEP-03-09		





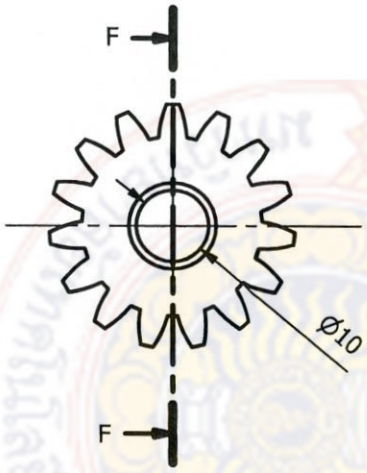
17	Bark boiled egg dish	Ø200x30	Stianless	1	BEP-03-17
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No

Scale: 1:3	Draw	R.Anuwat	Rajamangala University of Technology Srivijaya
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong	
	Checked		

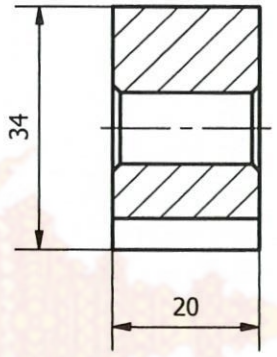
Title: Boiled Egg Peel Machine

Drawing No. BEP-03-17

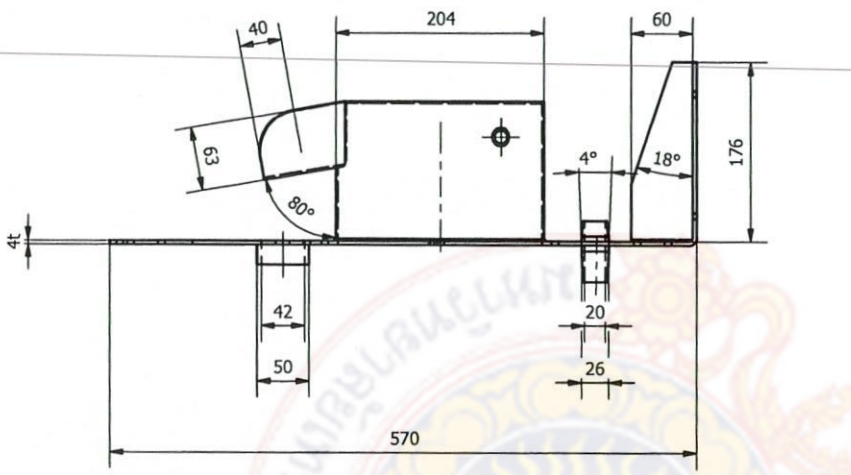
Chamfer 1 mm All

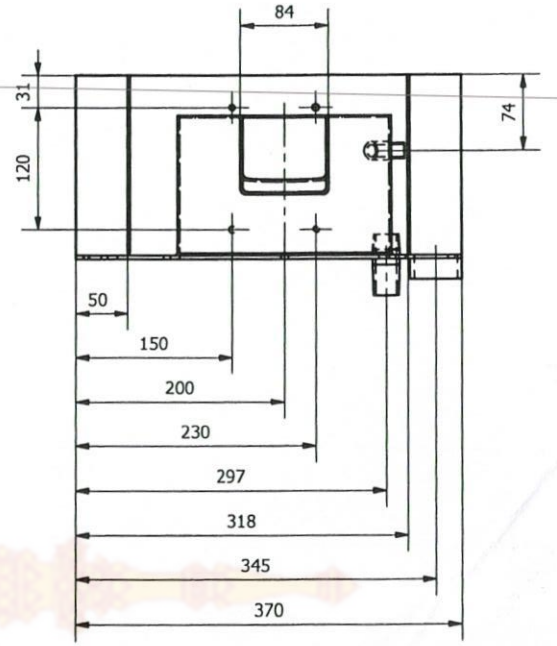


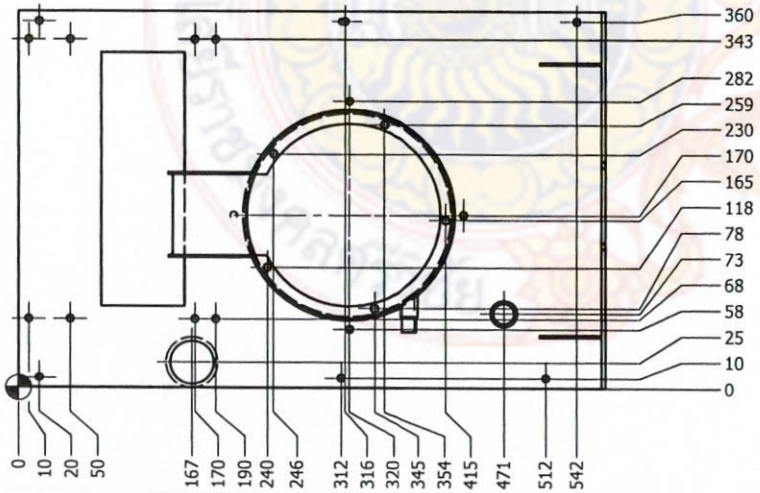
F-F (1: 1)



35	Spur Gear2		25T modul 2	Stianless	1	BEP-03-35
Pos	Part Name and Remark		Dimension	Material	Req	Drawing No
Scale: 1:1	Draw	R.Anuwat		Rajamangala University of Technology Srivijaya		
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong				
	Checked					
	Title: Boiled Egg Peel Machine			Drawing No. BEP-03-35		







1	base		300x600x3t	Stianless	1	BEP-03-01
Pos	Part Name and Remark		Dimension	Material	Req	Drawing No
Scale: 1:5	Draw	R.Anuwat		Rajamangala University of Technology Srivijaya		
Gen.Tolerences ISO2768	Checked	B.Worapong				
	Checked					
	Title: Boiled Egg Peel Machine			Drawing No. BEP-03-01		