รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ

Development of Machine Palmyra Palm Sugar Automatic System

โดย

วรพงค์ บุญช่วยแทน
ชไมพร เพ็งมาก
ชาตรี หอมเขียว
พิทักษ์ สถิตวรรธนะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ภายใต้แผนงานวิจัยมุ่งเป้าตอบสนองความต้องการในการพัฒนาประเทศโดยเร่งด่วน
: เรื่องอาหารเพื่อเพิ่มมูลค่า

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะคณะกรมการวิจัยแห่งชาติ
ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

การพัฒนาเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ

วรพงค์ บุญช่วยแทน[1] ชไมพร เพ็งมาก[2] ชาตรี หอมเขียว[1] และ พิทักษ์ สถิตวรรธนะ[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบการผลิตน้ำตาลแว่นแบบต่อเนื่องเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถลดเวลาในการผลิต และใช้เป็นเครื่องต้นแบบที่ใช้ทดแทนวิธีการทำงานด้วยแรงงานคน รวมถึงถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชาวบ้าน และชุมชน ที่ผลิตน้ำตาลแว่น โดยมีหลักการทำงานของเครื่องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง โดยชุดถังกวนน้ำตาลเหลวใช้มอเตอร์เกียร์ทด 1:50 รอบต่อนาที โดยใช้เฟืองคู่กวนน้ำตาลเหลวในถัง ส่งผ่านลงมายังทางออก จำนวน 5 ช่อง ลงมาใส่ในถาดของแม่พิมพ์ และชุดสายพานลำเลียงจะมีอัตราทด 1:60 รอบต่อนาที โดยทำหน้าที่ในการส่งหรือลำเลียงน้ำตาลแว่นจนสุดสายพานลำเลียง ซึ่งเมื่อสุดสายพานลำเลียงน้ำตาลแว่นก็จะแห้งหรือแข็งตัวทันเวลาพอดี เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นจะมีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นประมาณ 274.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 5.91 เท่าของแรงงานคน โดยที่แรงงานคนมีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นเหลวได้เพียง ประมาณ 46.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง นอกจากนี้การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด พบว่า น้ำตาลแว่นที่ได้มีผลที่ใกล้เคียงกัน ทั้งการวิเคราะห์ค่าความชื้น Water Activity (aw), Total Soluble Solid (% brix), ค่า pH และค่าสี

คำสำคัญ: เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น กระบวนการผลิต น้ำตาลแว่น

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

[2] คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

Development of Machine Palmyra Palm Sugar Automatic System

Worapong Boonchouytan[1] Chamaiporn Pangmark[1] Chatree Homkhiew[1] and Pitak Sathiwantana[1]

Abstract

The objective of this research is to develop a prototype of continuous palmyra palm sugar production system. Can reduce production time and used as a prototype to replace the way people work. Including technology transfer to villagers and communities that produce palmyra palm sugar. The principle of electrical appliances, power. The liquid-jet centrifugal tank was equipped with 1:50 rpm gear motors, Pass through the exit of the five slots into the tray of the mold. The conveyor belt will have a rate of 1:60 rpm, which is responsible for sending or conveying palmyra palm sugar to the end of the conveyor belt. At the end of the conveyor belt, the glasses will dry or harden in time. Palmyra palm sugar drop machine have an average of 274.44 kilograms per hour, or 5.91 times that of human workers. Only 46.44 kilograms per hour. In addition, chemical analysis of the physical characteristics of sugar using a dropper and dropper found that the sugar had similar results. The moisture analysis Water Activity (aw), Total Soluble Solid (% brix), pH and Color

Keywords: Palmyra Palm Sugar Drop Machine, Process, Palmyra Palm Sugar

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

[2] Faculty of Agro-Industry, University of Technology Srivijaya, Thungyai, Nakhon Si Thammarat 90000

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือ ร่วมใจหลายฝ่าย และประการสำคัญ คือ ได้รับทุนอุดหนุนการพัฒนาการวิจัยการเกษตร จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสุนนและส่งเสริมให้ปฏิบัติหน้าที่ในงานวิจัยอย่างเต็มที่ และผลักดันให้นักวิจัยขอทุนอุดหนุนงานวิจัยภายนอกมากขึ้น

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุที่ใช้ในการปฏิบัติและโรงงานปฏิบัติการพื้นฐานทางวิศวกรรม (โรงงานอาคาร 11)

วรพงค์ บุญช่วยแทน
ชไมพร เพ็งมาก
ชาตรี หอมเขียว
พิทักษ์ สถิตวรรธนะ

9 กรกฎาคม 2561

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขต	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	5
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 น้ำตาลแว่น	7
2.3 ชิ้นส่วนเครื่องจักรและการออกแบบ	9
2.4 ความรู้เบื้องต้นว่าด้วยการขนถ่ายวัสดุ	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	41
3.1 แผนการดำเนินงาน	41
3.2 การออกแบบเครื่องจักร	42
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	45
3.4 วิธีการทดสอบเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	54
3.5 การศึกษาลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด	57
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	58
4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นกับแรงงานคน	58
4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	61
4.3 ผลการศึกษาลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด	65
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	72
ผลการทดลองของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นและแรงงานคน	73
ภาคผนวก ข	74
คู่มือการใช้และการบำรุงรักษาเบื้องต้นของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ	75
ภาคผนวก ค	78
แบบเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าตัวประกอบความล้า	20
4.1	ผลการทดลองการบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยแรงงานคน	58
4.2	ผลการทดลองการบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	59
4.3	ความสามารถในการบรรจุผลิตภัณฑ์ระหว่างเครื่องกับแรงงานคน	59
4.4	อัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย	61
4.5	รายรับรายจ่ายการบรรจุน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน และเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นต่อปี	64
4.6	การคำนวณรายได้-รายจ่ายของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	64
4.7	การไหลของค่าใช้จ่ายของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	65
4.8	ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลโตนดที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด	65

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงคน	2
1.2	การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงคน	2
1.3	เปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตน้ำตาลแว่นระหว่างแบบเดิมและแบบใหม่	4
2.1	การหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน	8
2.2	การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน	8
2.3	โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ	11
2.4	หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	12
2.5	โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง	12
2.6	หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัส	13
2.7	หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์	14
2.8	การพิจารณาเพลา	16
2.9	ลักษณะเพลาที่ถูกกระทำด้วยโมเมนต์บิด	20
2.10	ระยะโก่งที่ Cantilever มี Load W ที่ปลายอิสระ	21
2.11	ระยะโก่งที่ Simply Supported Beam with Concentrated Load	23
2.12	รูปแบบของระบบรองลื่น	25
2.13	การหมุนของฟันเฟือง	26
2.14	ลักษณะเฟืองขบกันภายนอกและขบกันภายใน	26
2.15	ลักษณะของเฟืองตรง	27
2.16	ลักษณะของเฟืองเฉียง	27
2.17	ลักษณะของเฟืองดอกจอก	28
2.18	ลักษณะของเฟืองหนอน	28
2.19	ลักษณะการใช้งานของเฟืองเฉียง	29
2.20	ชื่อส่วนต่าง ๆ ของฟันเฟือง	29
2.21	ส่วนประกอบที่ใช้คู่กับลิ่ม	30
2.22	การกำหนดขนาดของลิ่มส่งกำลัง	31
2.23	ลักษณะการใช้งานของลิ่มอัดปลายมนโค้ง	31
2.24	สายพาน	36
2.25	ลูกกลิ้ง	36
2.26	ล้อสายพาน	36
2.27	ชุดขับ	37
2.28	ชุดโครงสร้าง	37
2.29	โครงสร้างแบบชั้นผ้าใบ	38
2.30	โครงสร้างแบบชั้นลวดสลิง	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.31	การใช้ลูกกลิ้งในระบบสายพานลำเลียงแบบชั้นผ้าใบ	38
2.32	แรงกระทำต่อสายพานลำเลียงจากวัตถุในแนวดิ่ง	40
3.1	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	42
3.2	ขนาดของเพลาและความเร็วรอบเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	43
3.3	ลักษณะของโครงสร้างของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	45
3.4	ลักษณะของชุดสายพานลำเลียง	46
3.5	ลักษณะของชุดกวนน้ำตาลแว่น	46
3.6	ลักษณะของแบริ่งสวมติดกับตุ๊กตา	47
3.7	ลักษณะของล้อสายพาน	47
3.8	ลักษณะของมอเตอร์	47
3.9	ลักษณะของคัปปลิ้ง	48
3.10	ถาดพิมพ์ใส่แว่นน้ำตาล	48
3.11	โครงสร้างชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์	49
3.12	สายพานลำเลียง	49
3.13	เซ็นเซอร์	49
3.14	แผงวงจรไฟควบคุมการทำงานชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์	50
3.15	ลักษณะของมอเตอร์เกียร์	50
3.16	ลักษณะตัวถังกวนน้ำตาลแว่น	51
3.17	เฟืองกวนน้ำตาลเหลว	51
3.18	แผงตัวหยอดน้ำตาลเหลว	52
3.19	ตัวถังให้ความร้อน	52
3.20	ฮีตเตอร์	53
3.21	เทอร์โมคัปเปิล	53
3.22	ท่อระบายน้ำออก	53
3.23	แผงวงจรไฟควบคุมการทำงานชุดตัวถังให้ความร้อน	54
3.24	เตรียมแว่นใส่น้ำตาล	54
3.25	การต่อปลั๊กไฟ	55
3.26	การควบคุมชุดให้ความร้อน	55
3.27	การเตรียมน้ำตาลเหลวที่จะหยอดน้ำตาลแว่น	56
3.28	การเปิดชุดสายพานลำเลียงน้ำตาลแว่น	56
3.29	น้ำตาลแว่นที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว	56
4.1	ลักษณะการผลิตเปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	60
4.2	ลักษณะการเปรียบเทียบการหยอดน้ำตาลแว่นด้วยเครื่องกับแรงงานคน	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	ลักษณะการเปรียบเทียบการหยอดน้ำตาลแว่นด้วยเครื่องกับแรงงานคน	60
4.3	การทดสอบค่าความชื้นของน้ำตาลแว่น	66
4.4	การทดสอบค่า Water Activity (aw) ของน้ำตาลแว่น	67
4.5	การทดสอบค่า Total Soluble Solid (% brix) ของน้ำตาลแว่น	67
4.6	การทดสอบค่า pH ของน้ำตาลแว่น	68
4.7	การทดสอบสีของน้ำตาลแว่น	68

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในบริเวณอำเภอสทิงพระมีต้นตาลโตนดจำนวนมาก ชาวบ้านจึงคิดทำน้ำตาลแว่นซึ่งเป็นผลผลิตจากน้ำตาลโตนด ที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ ซึ่งชาวบ้านยึดอาชีพนี้เป็นอาชีพรองจากการทำนา สมัยก่อนชาวบ้านที่มีอาชีพทำน้ำตาลโตนด จะนำน้ำตาลมาเคี่ยวกลายเป็นน้ำผึ้งเหลวเก็บไว้ แต่บางส่วนก็นำมาเคี่ยวต่อให้ข้นเหนียวจนแห้งกลายเป็นผง เรียกว่า น้ำผึ้งขี้มา หรือบางครั้งกลายเป็นน้ำผึ้งตังเม ใช้สำหรับเป็นขนมหวาน ไว้ถวายพระฉันท์กับน้ำร้อน และเป็นของกินเล่นของเด็ก ๆ [1]

น้ำตาลแว่นถูกนำไปใช้เป็นเครื่องปรุงอาหารคาว หรืออาหารหวาน ข้อดีของน้ำตาลแว่นคือ มีขนาดเล็กสวยงาม รสชาติคงที่ เก็บรักษาได้นานถึง 1 เดือน น้ำตาลแว่น ใช้วัตถุดิบจากน้ำตาลโตนดที่ชาวบ้านปีนไปเก็บจากต้นตาลโตนดชาวบ้านจะเลือก น้ำตาลจากต้นตาลโตนดต้นตัวเมีย จะทำให้ได้น้ำตาลที่สวยเป็นน้ำผึ้งเหลว และแปรรูปเคี่ยวจนข้นกลายเป็นน้ำตาลแว่น โดยนำมาตักใส่แว่น ซึ่งทำมาจากส่วนของใบมาตัดและทำเป็นวง สำหรับตักน้ำตาลที่เคี่ยวจนได้ที่ใส่ลงไป เคี่ยมนำมาใส่ในน้ำตาล เพื่อรักษาสภาพน้ำตาลไม่ให้เปรี้ยวก่อนนำมาเคี่ยว การทำน้ำตาลแว่นในอดีต จะนำน้ำตาลโตนดมาเคี่ยวโดยใช้ก้านใบของต้นตาลเป็นเชื้อเพลิงเคี่ยวจนข้นใช้ เวลาประมาณ 7-8 ชั่วโมง จนเหนียวตามที่ต้องการ หรือบางครั้งตักใส่กระบอกไม้ไผ่ ต่อมาพัฒนาเป็นแว่นขนาดใหญ่ และขนาดกลาง ปัจจุบันการทำน้ำตาลแว่นได้พัฒนาโดยนำน้ำตาลโตนดมาเคี่ยว โดยใช้ฟืนไม้ยางเป็นเชื้อเพลิง และเตาที่เก็บความร้อนดี ประหยัดเชื้อเพลิง เคี่ยวประมาณ 5-6 ชั่วโมง เคี่ยวจนได้ที่ตามต้องการและนำมาหยอดใส่แว่น ปัจจุบันจะทำเป็นแว่นเล็ก ๆ ขนาดเท่าเหรียญ 1 บาท นำมาบรรจุภัณฑ์ใส่กล่อง ชะลอม หรือถุง ตามความต้องการของตลาด [2]

การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงคน แสดงดังรูปที่ 1.1 เป็นการตักน้ำตาลโตนดที่เคี่ยวเสร็จจากกระทะด้วยแรงคนโดยใช้ไม้พาย แล้วนำมาหยอดลงในพิมพ์หรือแว่นของน้ำตาล ทีละหนึ่งครั้ง บางครั้งตักแล้วน้อยเกินไป เวลานำมาหยอดในพิมพ์ก็ได้ไม่เต็ม จึงต้องเสียเวลาไปตักเพิ่มอีกเป็นครั้งที่สอง ดังนั้นจึงทำให้การผลิตน้ำตาลแว่นเสียเวลา ไม่ทันต่อความต้องการขอองผู้บริโภค ในการผลิตน้ำตาลแว่นจำหน่ายนั้นเกษตรกรจะรวมกลุ่มกัน เรียกว่า กลุ่มเกษตรกรผลิตน้ำตาลแว่น โดยสมาชิกในกลุ่มจะประกอบไปด้วยหลายหลังคาเรือน ความสามารถในการผลิตได้วันละประมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อ 1 หลังคาเรือน รวมการผลิตต่อวันประมาณ 5,000 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับจำนวนแรงงาน และความชำนาญ

รูปที่ 1.1 การหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงคน

การผลิตน้ำตาลแว่นจะมีส่วนประกอบของการผลิตหลายส่วน เช่น การเคี่ยวกวนน้ำตาลโตนด แสดงดังรูปที่ 1.2 (ก) ก็จะมีคนงานมาคอยกวน วนไป วนมา หลายๆ รอบเพื่อป้องกันการไหม้ติดก้นกระทะ แสดงดังรูปที่ 1.2 (ข) ซึ่งส่วนนี้ใช้แรงงานคนมากกว่าส่วนอื่นๆ การลำเลียงน้ำตาลโตลดลงสู่การตีวน ก็จะลำเลียงที่เคี่ยวเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ขนด้วยหม้อ) แสดงดังรูปที่ 1.2 (ค) มายังการตีวนน้ำตาลโตนดเพื่อให้เกิดความหนืด แสดงดังรูปที่ 1.2 (ง) และสุดท้ายการหยอดลงพิมพ์ ก็จะใช้คนงานประมาณ 2-3 คน ในการหยอดน้ำตาลโตลดลงใส่ในแบบพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 1.2 (จ) (ฉ) และนำน้ำตาลแว่นออกจากแบบรองหลังจากแห้งดีแล้ว จะเห็นได้ว่าปราชญ์ชาวบ้านหรือภูมิปัญญาแบบชาวบ้านใช้แรงงานคนมากและเสียเวลาในกระบวนการผลิตมาก เนื่องจาการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง ไม่เป็นระบบเดียวกันของการผลิต อีกทั้งยังใช้แรงงานคนมากต่อส่วนของการผลิต

(ก) (ข)

รูปที่ 1.2 การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงคน

(ค)

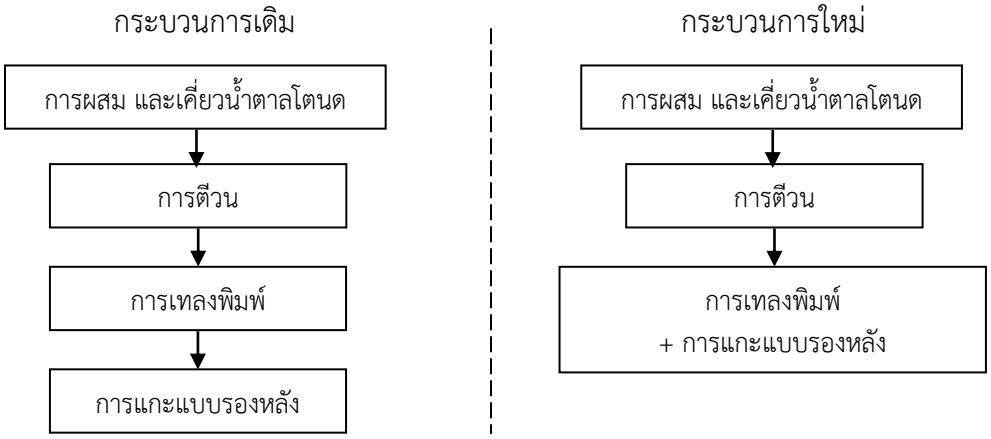
(ง)

(จ)

(ฉ)

รูปที่ 1.2 การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงคน (ต่อ)

จากกระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงเป็นแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบเดิม แสดงดังรูปที่ 1.3 ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการผลิตอยู่แยกกัน ดังนั้นจึงเสียเวลาในการผลิต และไม่ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค จึงมีแนวคิดในการนำเสนอการผลิตน้ำตาลแว่นแบบใหม่ โดยการรวมเอาขั้นตอนของการเทลงพิมพ์ และการแกะแบบรองหลัง เข้าด้วยกัน เพื่อลดเวลาการผลิตให้น้อยลง และใช้คนงานน้อยลงด้วย



รูปที่ 1.3 เปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตน้ำตาลแว่นระหว่างแบบเดิมและแบบใหม่

จากรูปที่ 1.3 จะเห็นว่าวิธีการผลิตแบบเดิมมีขั้นตอนการผลิตที่อยู่แยกกัน จึงทำให้ขั้นตอนในการผลิตเพิ่มขึ้น จะต้องใช้คนช่วยในการผลิต ทำให้เสียเวลาในการรอลำเลียงวัตถุดิบ จึงทำการออกแบบให้เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นอยู่ในสายการผลิตเดียวกัน เพื่อที่จะลดเวลาและขั้นตอนในการผลิตน้ำตาลแว่น

จากโครงการการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำตาลแว่นทำให้ได้ระบบหยอดน้ำตาลแว่นที่มีคุณภาพมากขึ้นกว่าระบบการหยอดแบบชาวบ้าน โดยมีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นประมาณ 41.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในขณะที่ชาวบ้านแรงงานคนมีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นประมาณ 32.43 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 1.27 เท่า ของแรงงานคน แต่ระบบยังไม่ถึงขั้นอัตโนมัติ เนื่องจากยังมีการใช้แรงงานคนในหลายกระบวนการ เช่น ใช้ในกระบวนการป้อนขอบของน้ำตาลแว่นลงเบ้าหยอด ใช้ในกระบวนการหยุดสายพานลำเลียงเบ้าให้ตรงกับหัวหยอดน้ำตาลแว่นเหลว ใช้ในกระบวนการเปิดวาล์วหัวหยอดน้ำตาลแว่นเหลวให้ลงสู่เบ้า และใช้ในกระบวนการการแกะน้ำตาลแว่นออกจากเบ้าเมื่อน้ำตาลแว่นเย็นตัว ซึ่งนั้นยังแสดงให้เห็นถึงกระบวนการหยอดน้ำตาลแว่นที่ยังไม่สมบูรณ์มากนัก ดังนั้นโครงการการพัฒนาเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ ต้องขจัดเหตุผลของกระบวนการหยอดน้ำตาลแว่นที่ยังไม่สมบูรณ์ออกไปจากระบบใหม่นี้ โดยจะสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นขึ้นมาใหม่ให้มีระบบอัตโนมัติมากขึ้น เช่น ระบบกระทุ้งน้ำตาลแว่นออกจากเบ้า ระบบหยอดน้ำตาลแว่นเหลว ระบบวางขอบของน้ำตาลแว่นลงเบ้าหยอด อาจรวมถึงระบบระบายความร้อนออกจากเบ้าหยอดเมื่อจำเป็น เป็นต้น เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ จะทำจากสแตนเลสเกรดอาหาร (Food Grad) ทั้งหมดเพื่อให้เครื่องจักรสามารถนำไปใช้งานด้านอาหารได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของโครงการ โดยคณะวิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาการพัฒนาเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ ที่สามารถใช้ในการผลิตและสามารถใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว ใช้แรงงานคนให้น้อยที่สุดเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย ประหยัดเวลาในการผลิตมากยิ่งขึ้น สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชาวบ้านได้ง่ายขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบการผลิตน้ำตาลแว่นแบบต่อเนื่องเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถลดเวลาในการผลิต และใช้เป็นเครื่องต้นแบบที่ใช้ทดแทนวิธีการทำงานด้วยแรงงานคน รวมถึงถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชาวบ้าน และชุมชน ที่ผลิตน้ำตาลแว่น

1.3 ขอบเขต

1) ถังพักน้ำตาลโตนด สามารถบรรจุ (เท) ได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องหยุดพักการผลิต ทำให้สายการผลิตทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

2) ฮีตเตอร์ สำหรับอุ่นน้ำตาลโตนด ป้องกันการแข็งตัวของน้ำตาลโตนด ทำให้ไม่เสียเวลาในการนำน้ำตาลโตนดไปอุ่นและกลับมาเทใหม่

3) ชุดวาล์วเปิดปิด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปรับระดับของการหยอดน้ำตาลโตนดลงสู่พิมพ์ได้อย่างพอดี ไม่มีส่วนที่หก หรือเกินจนล้นพิมพ์ออกมาภายนอก

4) แม่พิมพ์น้ำตาลแว่น สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้ตามต้องการ ทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและมีรายได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ได้พัฒนาต้นแบบระบบการหยอดน้ำตาลแว่นแบบต่อเนื่อง ที่สามารถลดเวลาในการผลิต และใช้เป็นเครื่องต้นแบบที่ใช้ทดแทนวิธีการทำงานด้วยแรงงานคน

2) ได้สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ

3) ได้ศึกษาคุณภาพของน้ำตาลแว่นจากเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

4) ได้วิเคราะห์ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำตาลแว่นจากเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

5) ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชาวบ้าน และชุมชน

6) ผลงานบทความวิจัย/บทความวิชาการ

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบ และสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น โดยเบื้องต้นจะต้องทราบถึงกรรมวิธีในขั้นตอนการผลิต เพื่อจะนำมาประยุกต์ และออกแบบการทำงานของเครื่องจักรให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในการออกแบบ และสร้างเครื่องจักรนั้นจำเป็นต้องให้ความสำคัญในเรื่องของความปลอดภัยต่อทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคเป็นสำคัญ รวมทั้งการออกแบบรูปร่าง และชิ้นส่วนต่าง ๆ จะต้องคำนึงต้นทุนในการผลิต การบำรุงรักษาที่เหมาะสม เพื่อให้เครื่องจักรนั้นสามารถทำงานในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ทำโครงการได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นธิพงศ์ สุขดี, สุวิวัต เพ็งสลุง, อัมรินทร์ ศรีใสย์, อนุสรณ์ ชะเอม และชื่นกมล บุญมี [3] เครื่องหยอดขนมทองหยอดอัตโนมัติ ปัญหาเดิมของการทำเม็ดทองหยอด คือต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการทำเม็ดทองหยอดซึ่งการหาผู้ชำนาญนั้นหายากมากต้องเป็นคนที่มีฝีมือมาก การทำเม็ดทองหยอดไม่สามารถทำได้ทุกคนต้องใช้เวลาและความชำนาญในการหยอด คณะผู้จัดทำจึงได้คิดค้นสร้างเครื่องหยอดขนมทองหยอดอัตโนมัติ เพื่อสร้างเครื่องมือช่วยผ่อนแรง ลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตในการประกอบอาชีพ เครื่องหยอดทองหยอดอัตโนมัตินี้ สามารถใช้แทนแรงงานคน หยอดเม็ดขนมทองหยอดได้อย่างต่อเนื่อง ประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ ประมาณ 30 สตางค์ สามารถหยอดทองหยอดเฉลี่ยได้นาทีละ 46 เม็ด

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย [4] เครื่องม้วนขนมทองม้วน เครื่องม้วนขนมทองม้วน สามารถช่วยแก้ปัญหาในขั้นตอนการม้วนขึ้นรูปทองม้วนซึ่งต้องใช้แรงงานคนที่มีทักษะและต้องทนต่อสภาพความร้อนสูง 90-100 องศาเซลเซียส ตัวเครื่องบำรุงรักษาง่ายเคลื่อนย้ายสะดวกมีขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อนช่วยลดการแตกหักเสียหายของทองม้วนในกระบวนการผลิตใช้กระแสไฟฟ้าน้อยมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ทองม้วนที่ได้มีขนาดสม่ำเสมอสะอาดและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ประโชติ ดำสองสี และวนิดา รัตนมณี [5] ได้ออกแบบและเครื่องช่วยผลิตน้ำตาลแว่น เครื่องต้นแบบประกอบด้วยชุดหม้ออุ่นน้ำตาลเหลว ชุดลำเลียงแว่นน้ำตาลโตนดและชุดควบคุมการหยอด การออกแบบเป็นการออกแบบให้ทั้ง 3 ส่วนทำงานสัมพันธ์กันในลักษณะการทำงานแบบอัตโนมัติ เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นใช้ผู้ผลิต 2 คนต่อ 1 เครื่อง คือ มีหน้าที่ในการวางเพื่อหยอดน้ำตาลเหลวและบรรจุแว่นที่หยอดสำเร็จแล้วใส่ถุง เครื่องต้นแบบท ซึ่งงานวิจัยมีอัตรากำลังการผลิตอยู่ที่ 53 แว่นต่อนาที โดยมีค่าความสูญเสียคิดเป็น 26.83 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 26 แว่นต่อนาทีคิดเป็น 96.29 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์คุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ทำให้พบว่าปริมาณการผลิตที่คุ้มทุนเท่ากับ 213 กิโลกรัม โดยมีระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 93 วัน

วิชาญ คงธรรม [6] ได้สร้างบทเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง การผลิตและการแปรรูปน้ำตาลโตนดของชุมชน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง การผลิตและแปรรูปน้ำตาลโตนดของชุมชนอำเภอแม่ทะ

จังหวัดลำปาง ให้มีคุณค่าทางวิชาการที่เอื้อต่อการจัดการแผนการเรียนรู้ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยทำการศึกษาร่วมกันระหว่างอาจารย์จากมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ครู-นักเรียนโรงเรียน และชุมชนอำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง วิธีการเก็บข้อมูลใช้แบบการสอบถาม สัมภาษณ์ พูดคุยและสังเกตอย่างมีส่วนร่วมระหว่างผู้วิจัย นักวิชาการ และชุมชนชาวบ้านอำเภอแม่ทะ ซึ่งใช้เทคนิคการประเมินสภาวะชนบทอย่างมีส่วนร่วม (PRA) และใช้แบบสรุปผลการประชุมชนิดมีโครงสร้างปลายเปิดดำเนินการตามกระบวนการ AIC เพื่อนำองค์ความรู้จากการทำวิจัยมาจัดทำชุดเรียนรู้วิทยาศาสตร์ท้องถิ่นระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน รวมทั้งการทดลองใช้บทเรียนเพื่อทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2.2 น้ำตาลแว่น

ในบริเวณอำเภอสทิงพระมีต้นตาลโตนดจำนวนมากชาวบ้านจึงคิดทำน้ำตาลแว่นซึ่งเป็นผลผลิตจากน้ำตาลโตนดที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ ซึ่งชาวบ้านยึดอาชีพนี้เป็นอาชีพรองจากการทำนาสมัยก่อน ชาวบ้านที่มีอาชีพทำน้ำตาลโตนดจะนำน้ำตาลมาเคี่ยวกลายเป็นน้ำผึ้งเหลวเก็บไว้แต่บางส่วนก็นำมาเคี่ยวต่อให้ข้นเหนียวจนแห้งกลายเป็นผง เรียกว่าน้ำผึ้งขี้มา หรือบางครั้งกลายเป็นน้ำผึ้งตังเม ใช้สำหรับเป็นขนมหวานไว้ถวายพระฉันท์กับน้ำร้อน และเป็นของกินเล่นของเด็ก ๆ [1]

น้ำตาลแว่นถูกนำไปใช้เป็นเครื่องปรุงอาหารคาว หรืออาหารหวานข้อดีของน้ำตาลแว่นคือ มีขนาดเล็กสวยงาม รสชาติคงที่ เก็บรักษาได้นานถึง 1 เดือน น้ำตาลแว่นใช้วัตถุดิบจากน้ำตาลโตนดที่ชาวบ้านปีนไปเก็บจากต้นตาลโตนดชาวบ้านจะเลือกน้ำตาลจากต้นตาลโตนดต้นตัวเมีย จะทำให้ได้น้ำตาลที่สวย เป็นน้ำผึ้งเหลวและแปรรูปเคี่ยวจนข้นกลายเป็นน้ำตาลแว่น โดยนำมาตักใส่แว่นซึ่งทำมาจากส่วนของใบมาตัดและทำเป็นวงสำหรับตักน้ำตาลที่เคี่ยวจนได้ที่ใส่ลงไป เคี่ยมนำมาใส่ในน้ำตาลเพื่อรักษาสภาพน้ำตาลไม่ให้เปรี้ยวก่อนนำมาเคี่ยว การทำน้ำตาลแว่นในอดีตจะนำน้ำตาลโตนดมาเคี่ยวโดยใช้ก้านใบของต้นตาลเป็นเชื้อเพลิงเคี่ยวจนข้นใช้เวลาประมาณ 7-8 ชั่วโมง จนเหนียวตามที่ต้องการหรือบางครั้งตักใส่กระบอกไม้ไผ่ ต่อมาพัฒนาเป็นแว่นขนาดใหญ่ และขนาดกลางปัจจุบันการทำน้ำตาลแว่นได้พัฒนาโดยนำน้ำตาลโตนดมาเคี่ยวโดยใช้ฟืนไม้ยางเป็นเชื้อเพลิง และเตาที่เก็บความร้อนดี ประหยัดเชื้อเพลิงเคี่ยวประมาณ 5-6 ชั่วโมง เคี่ยวจนได้ที่ตามต้องการและนำมาหยอดใส่แว่น ปัจจุบันจะทำเป็นแว่นเล็ก ๆ ขนาดเท่าเหรียญ 1 บาท นำมาบรรจุภัณฑ์ใส่กล่องชะลอม หรือถุง ตามความต้องการของตลาด [2]

การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงคน แสดงดังรูปที่ 2.1 เป็นการตักน้ำตาลโตนดที่เคี่ยวเสร็จจากกระทะด้วยแรงคนโดยใช้ไม้พาย แล้วนำมาหยอดลงในพิมพ์หรือแว่นของน้ำตาล ทีละหนึ่งครั้ง บางครั้งตักแล้วน้อยเกินไป เวลานำมาหยอดในพิมพ์ก็ได้ไม่เต็ม จึงต้องเสียเวลาไปตักเพิ่มอีกเป็นครั้งที่สอง ดังนั้นจึงทำให้การผลิตน้ำตาลแว่นเสียเวลา ไม่ทันต่อความต้องการขอองผู้บริโภค ในการผลิตน้ำตาลแว่นจำหน่ายนั้น เกษตรกรจะรวมกลุ่มกัน เรียกว่า กลุ่มเกษตรกรผลิตน้ำตาลแว่น โดยสมาชิกในกลุ่มจะประกอบไปด้วยหลายหลังคาเรือน ความสามารถในการผลิตได้วันละประมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อ 1 หลังคาเรือนรวมการผลิตต่อวันประมาณ 5,000 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับจำนวนแรงงานและความชำนาญ

รูปที่ 2.1 การหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน

การผลิตน้ำตาลแว่นจะมีส่วนประกอบของการผลิตหลายส่วน เช่น การเคี่ยวกวนน้ำตาลโตนด แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก) ก็จะมีคนงานมาคอยกวน วนไป วนมา หลาย ๆ รอบเพื่อป้องกันการไหม้ติดก้นกระทะ แสดงดังรูปที่ 2.2 (ข) ซึ่งส่วนนี้ใช้แรงงานคนมากกว่าส่วนอื่น ๆ การลำเลียงน้ำตาลโตลดลงสู่การตีวน ก็จะลำเลียงที่เคี่ยวเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ขนด้วยหม้อ) แสดงดังรูปที่ 2.2 (ค) มายังการตีวนน้ำตาลโตนด เพื่อให้เกิดความหนืด แสดงดังรูปที่ 2.2 (ง) และสุดท้ายการหยอดลงพิมพ์ ก็จะใช้คนงานประมาณ 2-3 คน ในการหยอดน้ำตาลโตลดลงใส่ในแบบพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 2.2 (จ) และรูปที่ 2.2 (ฉ) และนำน้ำตาลแว่นออกจากแบบรองหลังจากแห้งดีแล้ว จะเห็นได้ว่าปราชญ์ชาวบ้านหรือภูมิปัญญาแบบชาวบ้านใช้แรงงานคนมากและเสียเวลาในกระบวนการผลิตมาก เนื่องจาการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง ไม่เป็นระบบเดียวกันของการผลิต อีกทั้งยังใช้แรงงานคนมากต่อส่วนของการผลิต

(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน

(ค)

(ง)

(จ)

(ฉ)

รูปที่ 2.2 การผลิตน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน (ต่อ)

2.3 ชิ้นส่วนเครื่องจักรและการออกแบบ

การออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล จะต้องคำนึงถึงความสะดวก ต้นทุนในการผลิต การบำรุงรักษา และองค์ประกอบต่าง ๆ จะมีผลทำให้เครื่องจักรนั้นสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีหลักการออกแบบดังนี้

2.3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบ การออกแบบเป็นกระบวนการที่น่าสนใจมากกว่าควรจะเริ่มต้นทำอย่างไร และควรจะเริ่มต้นจากการนำกระดาษเปล่าแผ่นหนึ่งมาแล้วเริ่มลงมือแสดงความคิดเห็นต่างลงไป ต่อไปจะเกิดอะไรขึ้น มีอะไรบ้างที่เป็นตัวควบคุม หรือมีผลต่อการตัดสินใจนั้น และสุดท้ายงานออกแบบจะสิ้นสุดลงที่ใด ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบทั่วไปดังต่อไปนี้

1) รับรู้ความต้องการในการออกแบบ นั้นเริ่มต้นขึ้นจากวิศวกรได้รับรู้ความต้องการหรืออาจได้รับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

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

3) ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ เพื่อแยกแยะถึงสิ่งที่จะก่อให้เกิดความเสียหายหรือความล้มเหลว ทั้งทางด้านเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์

4) สังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ลงไปในการออกแบบ ซึ่งจะเป็นขั้นตอนที่ท้าทายและน่าสนใจที่สุดในการออกแบบ เพราะถ้าไม่มีขีดจำกัดอันใดแล้ว ผู้ออกแบบจะทำหน้าที่เป็นวิศวกร นักประดิษฐ์และจิตกรในเวลาเดียวกัน ซึ่งในขณะนี้เขาจะเป็นนักสร้างสรรค์

5) ออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุงเป็นการออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะจำเพาะและความต้องการหลายวิธี ที่จะต้องตัดสินใจเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่ง เป็นแบบเบื้องต้นและปรับปรุงต่อไป

6) ออกแบบรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับขนาดของชิ้นส่วนต่าง ๆ และขนาดของส่วนประกอบอื่น ๆ ทั้งหมด ทั้งที่จะผลิตขึ้นเอง หรือผลิตภัณฑ์สำเร็จที่จะซื้อมาใช้ ซึ่งประกอบเข้าด้วยกันเป็นระบบ ดังนั้นจึงต้องมีแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนทุกชิ้นแสดงรูปด้านต่าง ๆ เท่าที่จำเป็น

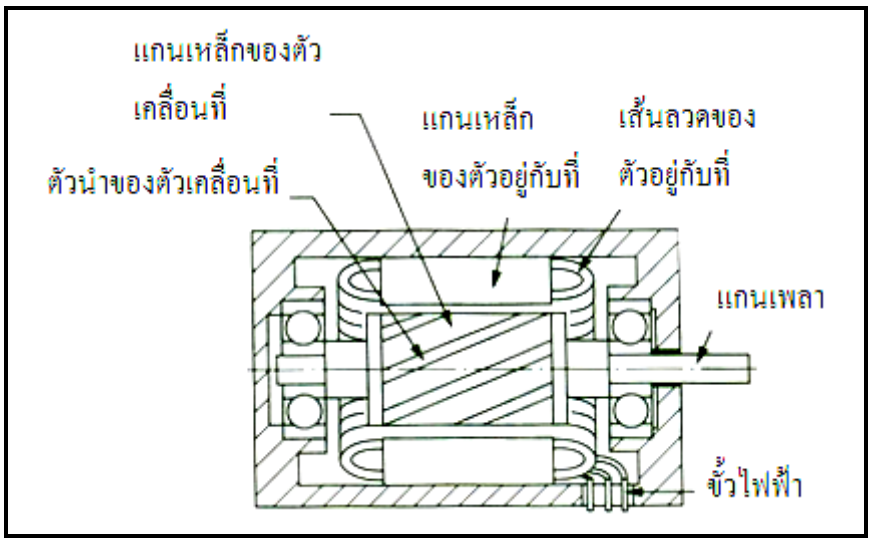
7) สร้างต้นแบบและทดสอบ

8) ออกแบบสำหรับผลิตในขั้นนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเพื่อความเหมาะสมของวิธีการผลิตที่ดีที่สุด

9) ส่งผลิตภัณฑ์ออก โดยปกติมักจะผลิตชิ้นงานต้นแบบและทดสอบถ้ามีปัญหาที่แก้ไขไม่ได้ก็จะส่งกลับไปยังแผนกออกแบบเบื้องต้นเพื่อที่จะหาวิธีแก้ไขปรับปรุงหรืออาจเสนอแนะ [7]

2.3.2 มอเตอร์ หมายถึงเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อไปขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พัดลม ปั๊ม เครื่องปรับอากาศหรือใช้ในโรงงานเพื่อควบคุมเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในโรงงาน มอเตอร์ไฟฟ้ามีทั้งใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานของเครื่องจักรกล โครงสร้างของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากการไหลผ่านของไฟฟ้ากระแสสลับรอบแกนที่อยู่นิ่งติดกับตัวโครงของมอเตอร์ (Stator) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวนเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กหมุนวนที่เกิดขึ้นนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในแกนเหล็กของตัวเคลื่อนที่ (Rotor) ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนวนตามสนามแม่เหล็ก การทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวนจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส ส่วนใหญ่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องซักผ้า โดยทั่วไปจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส ดังนั้นมอเตอร์ที่ใช้จึงเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว ในกรณีนี้จะติดตั้งขดลวดชุดที่ 2 ที่ตัวอยู่กับที่ เพื่อทำให้เฟสของไฟฟ้ากระแสสลับที่ผ่านขดลวดชุดที่ 2 นี้ไหลช้าลง จึงเกิดการหมุนเหมือนการใช้สนามแม่เหล็กหมุนวนแบบ 2 เฟส [8]

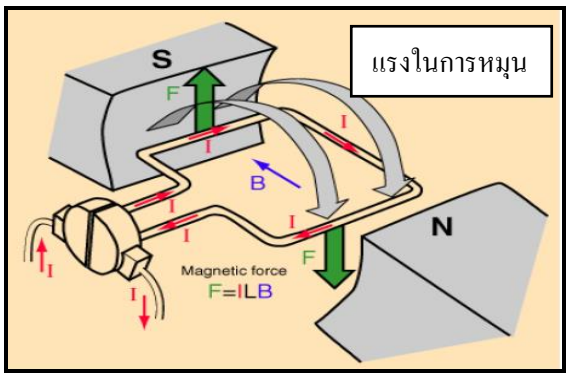


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ [8]

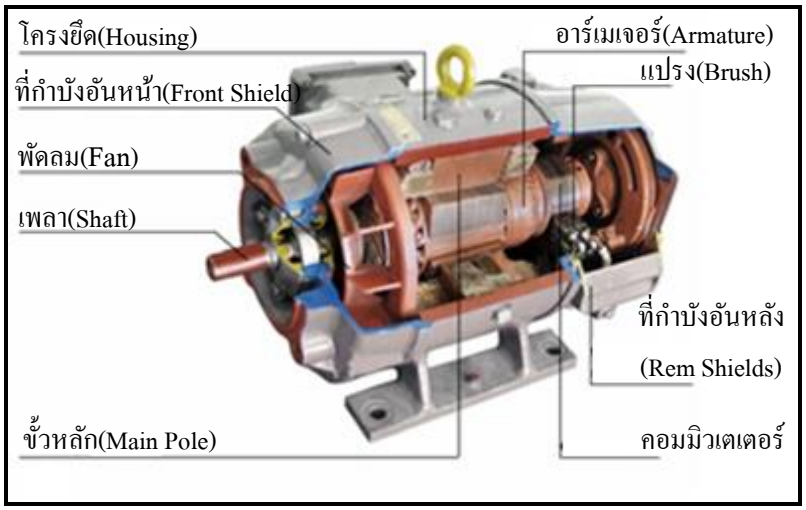
2) มอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับ ตัวเคลื่อนที่ของมอเตอร์ซิงโครนัสไฟฟ้ากระแสสลับจะทำจากแม่เหล็กถาวร เมื่อมีแรงดันระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนวนและแม่เหล็กถาวรบนตัวเคลื่อนที่ทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ หากเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแล้วจะมีการลื่นไถลน้อยกว่า จุดเด่นของมอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับ คือ ความเร็วรอบของการหมุนจะเท่ากับความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนวน

3) มอเตอร์กระแสตรง หลักการของมอเตอร์กระแสตรง ตัวอยู่กับที่ซึ่งอยู่ภายนอกจะเป็นแม่เหล็กถาวร การหมุนเกิดจากการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวบังคับทิศทางของกระแส (Commutator) แล้วส่งเข้าสู่ขดลวดของตัวเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การทำงานจะเป็นไปตามกฎของเฟรมมิ่ง คือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงกระทำที่ตัวนำไฟฟ้า เมื่อขดลวดของตัวเคลื่อนที่หมุนจะก่อให้เกิดปริมาณกำลังไฟฟ้าแปรผันกับความเร็วรอบของการหมุน วงจรของมอเตอร์กระแสตรงเทียบเท่ากับการต่อแหล่งกำเนิดไฟตรงเข้ากับตัวต้านทานและแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โครงสร้างพื้นฐานมอเตอร์กระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ความเร็วรอบของมอเตอร์ในกรณีที่เหล่งจ่ายไฟมีความต่างศักย์คงที่นั้น ความเร็วรอบจะแปรผกผันกับแรงบิด หากภาระแรงบิดสูงขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบลดลง แต่หากภาระแรงบิดต่ำลงความเร็วรอบจะสูงขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสร้างแรงบิดสูงได้ที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า จะส่งผลทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในสภาวะที่ภาระแรงไม่คงที่จะสามารถควบคุมได้ด้วยการปรับเปลี่ยน

ความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าจุดเด่นของมอเตอร์กระแสตรง คือ ส่วนประกอบของตัวควบคุมจะง่าย และสามารถควบคุมได้ดี ส่วนข้อด้อยเกิดจากการใช้ตัวบังคับกระแสและแปรงสัมผัสทำให้มีการสึกหรอของแปรง และมีฝุ่นผงจากการสึกหรอจึงต้องมีการบำรุงรักษาด้วย [8]

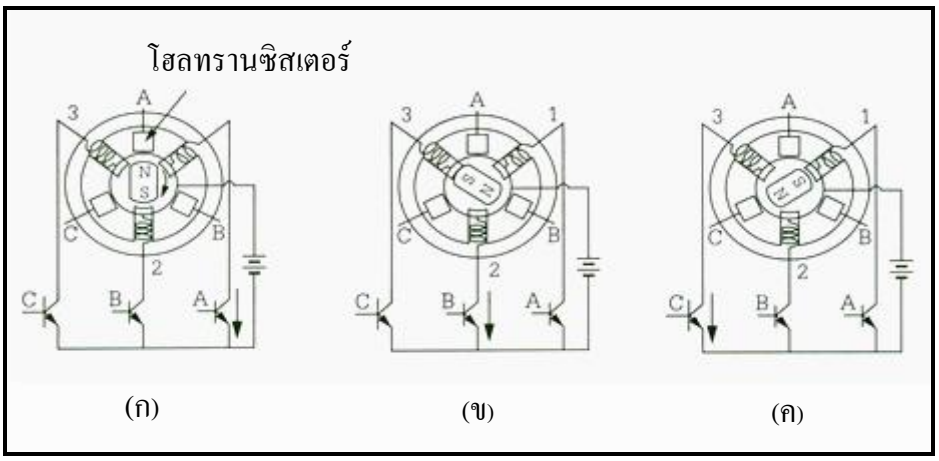


รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง [8]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง [8]

4) มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัส มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัสจะใช้ระบบการควบคุมสวิตซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อแก้ปัญหาการสัมผัสกันระหว่างตัวควบคุมกระแสและแปรงสัมผัสของมอเตอร์กระแสตรง หลักการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ตัวเคลื่อนที่จะเป็นแม่เหล็กถาวรและจะปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวอยู่กับที่ โครงสร้างจะมีลักษณะคล้ายมอเตอร์ชิงโครนัสกระแสสลับ ต่างกันที่จะป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ตัวอยู่กับที่ และจะใช้โฮลทรานซิสเตอร์หรือโฟโตทรานซิสเตอร์วัดตำแหน่งของตัวเคลื่อนที่แล้วเปิด และ ปิดกระแสที่เข้าสู่ตัวเคลื่อนที่



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัมผัส [8]

จากรูปที่ 2.6 สามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้

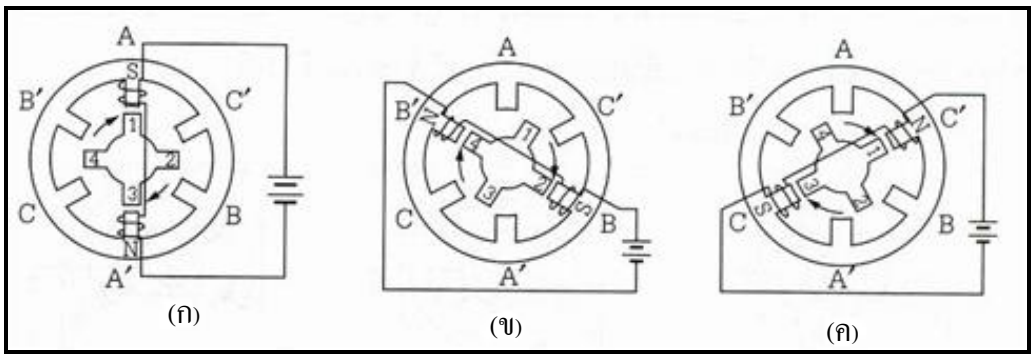
รูปที่ 2.6 (ก) โฮลทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง A ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับที่จะให้กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเมื่อมีสนามแม่เหล็กเข้ามาใกล้ ตรวจจับสนามแม่เหล็ก ทำให้ทรานซิสเตอร์ A ปล่อยกระแสไฟผ่านเข้าขั้วที่ 1 ของตัวอยู่กับที่ เป็นผลให้ขั้วเหนือ (N) ของตัวเคลื่อนที่ถูกดูดให้หมุนเข้ามาที่ขั้ว 1 ของตัวเคลื่อนที่

รูปที่ 2.6 (ข) โฮลทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง B จะตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ และทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง B ของตัวอยู่กับที่ ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนต่อไปอีก

รูปที่ 2.6 (ค) โฮลทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง C จะตรวจจับสนามแม่เหล็กได้ และทรานซิสเตอร์ตำแหน่ง C จะปล่อยกระแสไฟผ่านเข้าขั้วที่ 3 ของตัวอยู่กับที่ ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนต่อเนื่องไป

จุดเด่นของมอเตอร์ชนิดไม่มีแปรงสัมผัส คือ ยังคงมีคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของการหมุนโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นตัวขับฟลอปปีดิสก์ของคอมพิวเตอร์เครื่องเล่นวีซีดี และเครื่องเล่นซีดี เป็นต้น

5) สเตปปิงมอเตอร์ สเตปปิงมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าในขดลวดของตัวอยู่กับที่ให้เกิดสนามไฟฟ้าต่อกันไปเป็นลำดับ ก่อให้เกิดแรงดึงกับขั้วของตัวเคลื่อนที่ทำให้เกิดการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะเกิดสนามไฟฟ้าตามลำดับจาก (ก) (ข) (ค) ทำให้เกิดแรงดึงระหว่างตำแหน่ง A กับขั้วที่ 2 และตำแหน่ง C กับขั้วที่ 3 ทำให้ตัวเลื่อนที่หมุนเป็นมุมครั้งละ 30 การปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านขดลวดของตัวเคลื่อนที่เป็นลำดับจะใช้วงจรพัลส์ จึงสามารถกำหนดการหมุนของตัวเคลื่อนที่ได้ตามจำนวนพัลส์ จำนวนรวมของพัลส์จะกำหนดมุมทั้งหมดที่หมุนไป ส่วนความถี่ของพัลส์จะใช้กำหนดความเร็วในการหมุน เนื่องจากสามารถควบคุมได้โดยใช้พัลส์ร่วมกับอุปกรณ์ดิจิตอลได้ง่าย สามารถบังคับมุมของการหมุน ความเร็ว ทิศทางการหมุน ไป และ กลับ เคลื่อนที่หรือหยุดได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วหรืออุปกรณ์ตรวจจับอื่น ๆ และไม่ใช้การป้อนกลับแบบที่ใช้ในเซอร์โวมอเตอร์ วงจรสำหรับควบคุมจึงง่าย ถ้าหากปล่อยกระแสไฟเข้าไปตลอดเวลาจะสามารถหยุดตัวเคลื่อนที่ไว้ ณ ตำแหน่งนั้นได้ [8]



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของสเตปปิงมอเตอร์ [8]

วิธีการเลือกขนาดมอเตอร์ การเลือกขนาดมอเตอร์ในเบื้องต้นต้องทำความเข้าใจก่อนว่าต้องการคุณสมบัติใดของมอเตอร์เพื่อใช้ในเครื่องจักรกลที่กำลังออกแบบ เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการเลือกมอเตอร์ คือ ขนาดของภาระแรง เพื่อใช้ในการเลือกขนาดของมอเตอร์ และเงื่อนไขในการควบคุม เริ่มแรกจะต้องพิจารณาว่าต้องการกำลังขาออกของมอเตอร์เท่าใด ดังนั้นจึงต้องพิจารณาจากภาระแรงบิดในสภาพการทำงานปกติ และแรงบิดที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดความเร็ว [8]

2.3.3 การออกแบบเพลา จะอธิบายถึงการออกแบบและการวิเคราะห์เกี่ยวกับเพลาในการพิจารณาถึงความเค้น และระยะโก่งที่เกิดขึ้นในเพลา

1) การพิจารณาถึงการออกแบบเพลา อาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกัน ตามลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้

- เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนหมุนและใช้ในการส่งกำลัง
- แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน แต่ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม
- สพินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head Stock Spindle) เป็นต้น
- สตับชาฟต์ (Stub Shaft) บางครั้งเรียกว่า เฮดชาฟต์ (Head Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์หรือเครื่องกำลังอื่น ๆ ที่มีขนาดรูปร่างและส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ
- 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 แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา ทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลายังต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่เหมาะสมระยะโก่ง (Deflection) ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะเวลาโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุนทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลแบริ่ง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเยื้องแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่เหมาะสมกับเพลาด้วย [9]

2) วัสดุเพลา วัสดุเพลาที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียว และมีความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะชนิดอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 3140 4150 และ 4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

3) ขนาดของเพลา เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ใน ISO/R 775 – 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบจะเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อสามารถซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R 775 – 1969 ระบุ คือ 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 18, 20, 25 ...380 หน่วยเป็นมิลลิเมตร

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

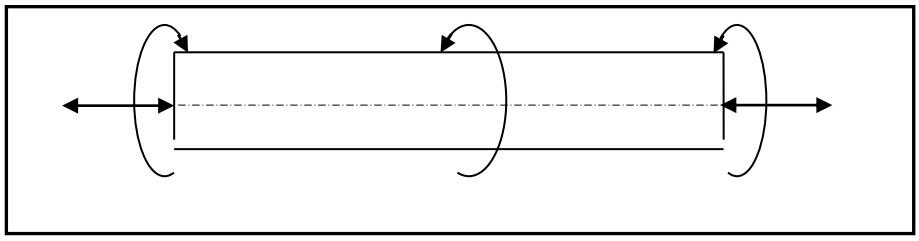
ความแข็งแกร่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็ คือ ความแข็งแกร่งทางด้านระยะโก่งเพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญ ในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพาน เฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบริ่งสำหรับรองรับเพลาให้เหมาะสม การเลือกแบริ่งมารองรับเพลาก็เช่นกัน จำเป็นจะต้องเลือกแบริ่งชนิดที่อนุญาตให้มีการเยื้องแบบธรรมดาหรือแบริ่งแบบปรับแนวโน้มได้เอง (Self-Aligning Bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ ระยะโก่งดังที่กล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้โดย ทั่วไปแล้ว

ผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความ แข็งแกร่งทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้ [7] 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) เป็นต้น สำหรับเพลาที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped Shaft) การใช้วิธีดังที่กล่าวมาแล้วอาจจะล่าช้าและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (Boundary Condition) ใหม่ทุกครั้งที่เพลาเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน คือ วิธี Graphical Integration และ Numerical Integration

5) การออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นรหัส (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Design Method) การหาสมการสำหรับออกแบบเพลาให้พิจารณาเพลา ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การพิจารณาเพลา [7]

เพลาเป็นแบบกลมตัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ d ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลามีดังต่อไปนี้

สมการ 1 $\sigma_a = \frac{4F}{\pi d^2}$ (2.1)

สมการ 2 $\sigma_b = \frac{MC}{I} = \frac{32M}{\pi d^3}$ (2.2)

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

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

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

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

ค่าความเค้นเฉือนของเพลาตันและเพลากลวงมีดังนี้คือ

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 (นิวตันต่อตารางเมตร)

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) มาเกี่ยวข้องด้วย ได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{32C_mM}{\pi d^3} \quad (2.11)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_tT}{\pi d^3} \quad (2.12)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวม คือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (2.13)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\sigma_{max} = \left[(\sigma/2)^2 - \tau_{xy}^{\ 2}\right]^{1/2} \quad (2.14)$$

ในกรณีเพลาตัน K = d / D = 0 การคำนวณหาขนาดความโตของเพลา เมื่อแทนค่าก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไป คือ

$$d^3 = \frac{5.1}{\tau_p}\left[(C_m M)^2 - (C_t T)^2\right]^{1/2} \quad (2.15)$$

ในกรณีที่เป็นเพลากลวงให้ K = d / D ดังนั้นสูตรในการหาขนาดความโตของเพลา คือ

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

นอกจากนี้โค๊ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่า เพลาซึ่งมีใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไปควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานได้ดังนี้

τ_d = 55 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม

τ_d = 41 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สำหรับเพลาที่มีร่องลิ่ม

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะหรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณ คือ

$$\tau_p = 0.3\ \sigma_y = 0.18\ \sigma_u \quad (2.17)$$

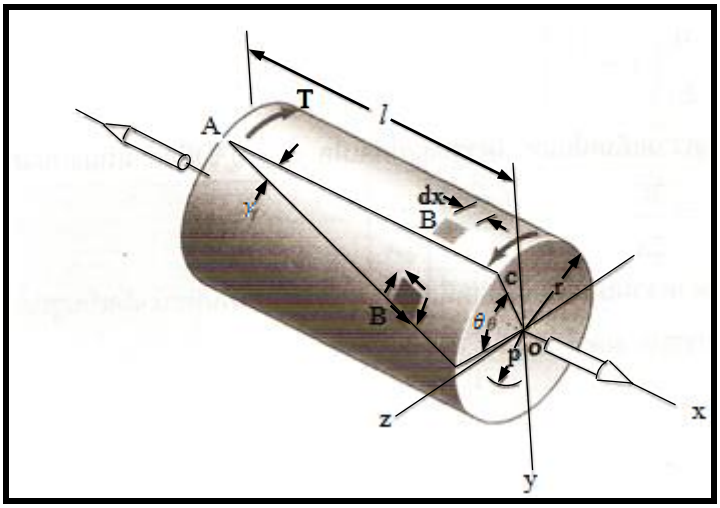
ถ้าเพลามีร่องลิ่มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75 เปอร์เซ็นต์

ค่าตัวประกอบความล้า สามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าตัวประกอบความล้า [7]

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 สำหรับเพลาที่มีขนาดสม่ำเสมอมุมบิดเป็นองศา ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะเพลาที่ถูกกระทำด้วยโมเมนต์บิด [7]

สำหรับการออกแบบเพลาได้มีการกำหนดเกณฑ์สำหรับค่าของของมุมบิดไว้ดังนี้

เพลาเครื่องกลทั่วไป ให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.27 องศา ต่อความยาว 1 เมตร เพลาส่งกำลังทั่วไป ให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 1 องศา ต่อความยาว 300 มิลลิเมตร หรือความยาว 20 เท่า ของความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา [9]

การตรวจสอบมุมบิดที่จะเกิดขึ้นของเพลาขณะใช้งานสามารถคำนวณ ได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \tag{2.18}$$

เมื่อ θ คือ มุมบิด (องศา)
G คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของการเฉือน (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
L คือ ความยาวของเพลาที่ถูกบิด (เมตร)

สำหรับเพลาตัน

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \tag{2.19}$$

ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดของเพลาตันเป็น องศา ได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \tag{2.20}$$

ถ้าเป็นเพลากลมกลวง

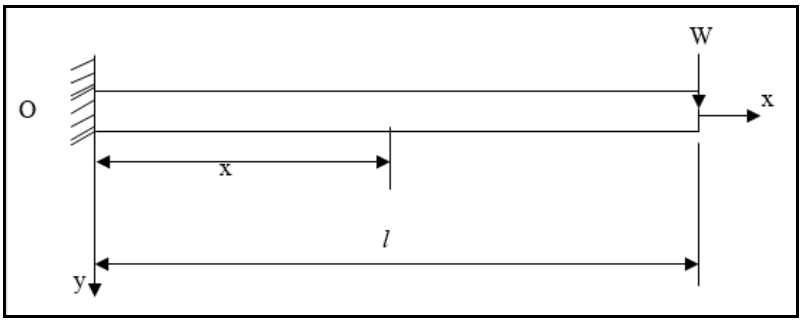
$$J = \frac{\pi}{32}\left(D^4 - d^4\right) \tag{2.21}$$

ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดของเพลากลวงเป็น องศา ได้จากสมการ

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

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งแรงแกร่งตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรที่จะใช้สมการข้างบนนี้ตรวจสอบดูมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

7) การหาระยะโก่งของเพลา ในการหาระยะโก่งที่ Cantilever มี Load W ที่ปลายอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะได้สมการดังนี้



รูปที่ 2.10 ระยะโก่งที่ Cantilever มี Load W ที่ปลายอิสระ [7]

จากรูปที่ 2.10 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

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

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

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

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

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

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

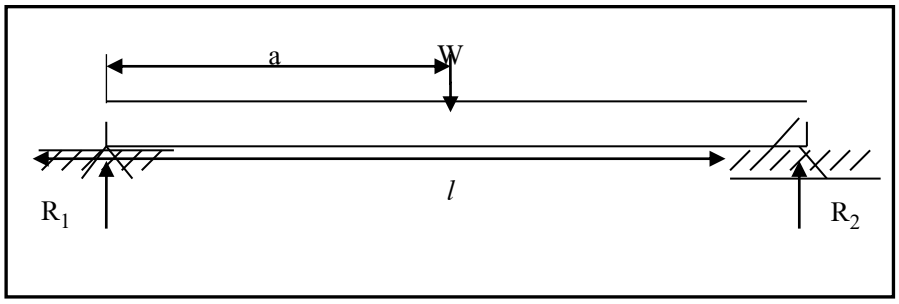
$$Y_{max} = \frac{Wl^3}{3El} \tag{2.28}$$

เมื่อ Y คือ ระยะโก่งของเพลา (มิลลิเมตร)

A คือ ความยาวที่ตำแหน่งใด ๆ ของเพลา (มิลลิเมตร)

M คือ ค่าของโมเมนดัด (นิวตันเมตร)
E คือ ค่า Young's Modulus ของวัสดุ (จิกกะปาสคาล)
I คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (มิลลิเมตรกำลังสี่)
W คือ แรง (นิวตัน)

8) การหาระยะโก่งของเพลา ในการหาระยะโก่งที่ Simply Supported Beam with Concentrated Load ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จะได้สมการดังนี้



รูปที่ 2.11 ระยะโก่งที่ Simply Supported Beam with Concentrated Load [7]

จากรูปที่ 2.11 $R_1 = W\frac{l-a}{l}$

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

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

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

$\therefore \quad EI\frac{dy}{dx} = -\frac{R_1x^2}{6} + \frac{W}{2}[x - a]^2 + C \qquad (2.29)$

$\therefore \quad EIy = -\frac{R_1x^2}{6} + \frac{W}{6}[x - a]^3 + Cx + C_1 \qquad (2.30)$

ตัด [x –a] ทิ้งเมื่อเป็นลบ (คือ x < a)

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

$$x = l,\ y = 0,\ \therefore \quad 0 = -\frac{R_1 l^3}{6} + \frac{w}{6}(l-a)^3 + Cl \tag{2.31}$$

$$C = \frac{R_1 l^2}{6} + \frac{w}{6l}(l-a)^3$$

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

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

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

ซึ่งให้ค่า Deflection ตามจุดต่าง ๆ อย่าลืมตัดเทอมหลังทิ้งเมื่อเป็นลบ

$$\text{ที่ } x = a,\ Y_{UnderLoad} = \frac{Wa^2(l-a)^2}{3EIL} \tag{2.33}$$

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

$$Y_{UnderLoad} = \frac{Wl^3}{48EI} \tag{2.34}$$

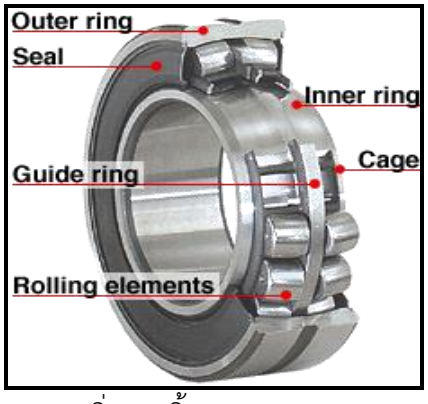
2.3.4 แบริ่งเป็นระบบรองลื่นจัดเป็นชิ้นส่วนทางกล สำหรับทำหน้าที่รองรับชิ้นส่วนที่มีการหมุนเคลื่อนที่เพื่อให้เกิดการหมุนอย่างเที่ยงตรงอยู่ในทิศทางที่กำหนด และให้มีแรงเสียดทานน้อยที่สุด ตลอดจนทำหน้าที่รองรับ หรือถ่ายถอดแรงที่กระทำ เช่น จากเพลาหรือแกนเข้าสู่ตัวโครงเครื่อง รูปแบบของระบบรองลื่น แบ่งออกเป็นลักษณะหลัก ๆ ดังนี้ [7]

1) แบริ่งลูกกลิ้ง (Rolling Bearing) ลักษณะแบริ่งแบ่งออกแบบเป็นเม็ดลูกกลิ้งรูปทรงต่าง ๆ เช่น เม็ดกลม เม็ดทรงกระบอก เม็ดเรียว เม็ดโค้ง เป็นต้น เพื่อลดแรงเสียดทานให้น้อยลง ความเสียดทานที่เกิดขึ้นเป็นแบบ ความเสียดทานหมุน แบริ่งลูกกลิ้งเหมาะสำหรับรองรับโหลดไม่มากนัก ในช่วงเริ่มหมุนจะมีความฝืดน้อยถ้าใช้งานในความเร็วต่ำ อายุการใช้งานของแบริ่งลูกกลิ้งจะสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก)

2) แบริ่งปลอก (Journal Bearing) เป็นลักษณะปลอกบูชสวมอัดเข้ากับตัวเรือน ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวเพลาและแบริ่งเป็นแบบ ความเสียดทานเลื่อน (Sliding Friction)

ลักษณะสร้างเป็นปลอกรูปวงแหวนสวมเข้ากับตัวเรือน แบริ่งชนิดนี้มีรูปทรงที่ง่ายต่อการผลิต และหากมีการหล่อลื่นเพียงพอสามารถใช้งานที่ความเร็วรอบสูง ๆ ได้ดี โดยไม่จำกัดอายุการใช้งาน และจากพื้นที่สัมผัสจำนวนมากของ แบริ่งจะช่วยซึมซับแรงสั่นสะเทือนได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข) ขณะทำงานเสียงจึงเงียบเบา วัสดุทำแบริ่งปลอก ที่เหมาะสมควรมีคุณสมบัติดังนี้

- มีคุณสมบัติลื่นตัวดี การสูญเสียแรงเสียดทานมีค่าน้อย
- ทนทานต่อการสึกหรอ ถึงแม้จะมีการหมุนใช้งานเป็นระยะเวลานาน ๆ
- มีความแข็งแรงสูงและเพียงพอต่อการรับแรงกด
- ต้านทานต่อการกัดกร่อน หากมีการสัมผัสกับสารหล่อลื่นชนิดต่าง ๆ
- เป็นตัวนำความร้อนได้ดี เพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานได้อย่างรวดเร็ว
- เนื้อวัสดุอ่อน เพื่อยอมให้เศษผงหรือเศษโลหะที่มากับน้ำมันหล่อลื่น สามารถแทรกตัวลงไปได้เพื่อมิให้เป็นอันตรายต่อผิวของเพลา [7]

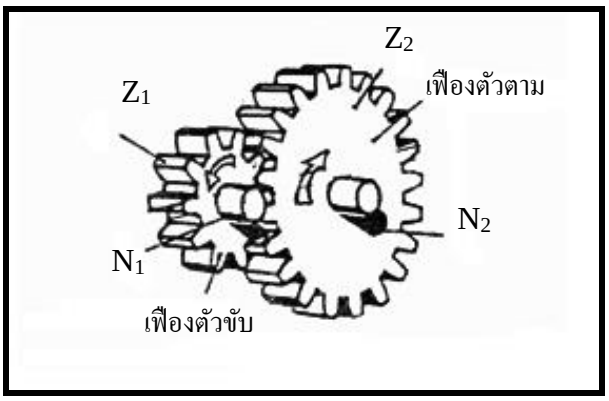


(ก) แบริ่งลูกกลิ้ง (Rolling Bearing)

(ข) แบริ่งปลอก (Journal Bearing)

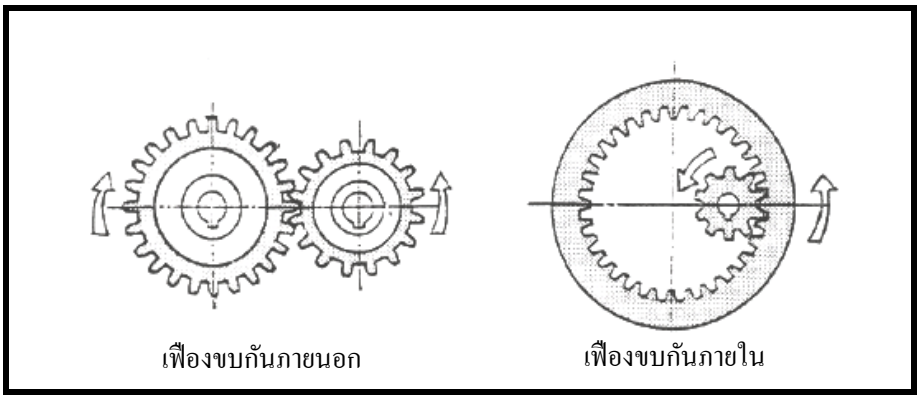
รูปที่ 2.12 รูปแบบของระบบรองลื่น [7]

2.3.5 เฟือง การถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใช้สายพาน โซ่ ล้อความฝืด เป็นต้น ล้อความฝืดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุน หรือเป็นล้อขับก็จะทำให้อีกล้อหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืด เนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาระมาก ๆ เช่น มีการส่งกำลังสูง ๆ จะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แม่นยำ เพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาติดไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบล้อ จึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่งต่อ ๆ มาเราจึงเรียกว่า เฟือง ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำเที่ยงตรง และไม่มีการลื่นไถล การส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น ต้องมีการขบกันของเฟือง ส่วนอัตราเร็วของเฟืองจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนฟันเฟืองของเฟือง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเคลื่อนที่ของเฟืองตัวขับ จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การหมุนของฟันเฟือง [10]

เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟัน ฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วยและการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะเฟืองขบกันภายนอกและขบกันภายใน [10]

1) ชนิดของเฟือง เฟืองเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งกำลังในระยะสั้น เป็นอุปกรณ์ที่มีความแข็งแรงสูงและมีความปลอดภัย เฟืองที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีหลายชนิดแต่ละชนิดจะทำหน้าที่ส่งกำลังให้กับชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องจักรกลต่อไป ชนิดของเฟืองมีดังนี้ [10]

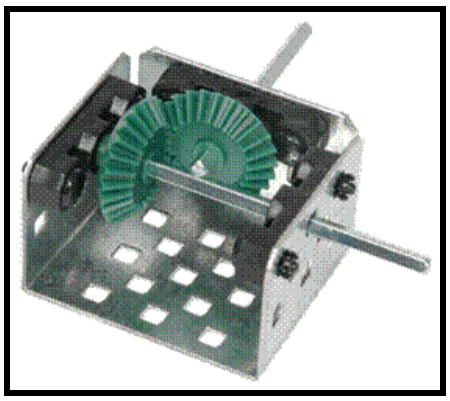
- เฟืองตรง (Spur Gear) เป็นเฟืองที่มีฟันขนานกับแกนหมุนและใช้ในการส่งกำลังการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.15

รูปที่ 2.15 ลักษณะของเฟืองตรง [10]

- เฟืองเฉียง (Helical Gear) เป็นเฟืองส่งกำลังที่มีฟันเฉียงทำมุมกับแกนหมุนมีลักษณะคล้ายเฟืองฟันตรง แต่มีเสียงที่เกิดจากการทำงานเบากว่าเฟืองฟันตรง นอกจากนั้นเฟืองเฉียงยังใช้ในการส่งกำลังให้กับเพลาที่ไม่ขนานกันได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 ลักษณะของเฟืองเฉียง [10]

- เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) เป็นเฟืองที่มีการตัดฟันเฟือง ใช้สำหรับส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่ตัดกันมุมระหว่างเพลาทั้งสองเป็นมุมระหว่างเส้นศูนย์กลางร่วมที่ตัดกัน ของฟันเฟือง มุมระหว่างเพลาประมาณ 90 องศา แต่ในหลาย ๆ การใช้งานของเฟืองชนิดนี้ อาจจะต้องการมุมระหว่างเพลาที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่ามุม 90 องศา ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

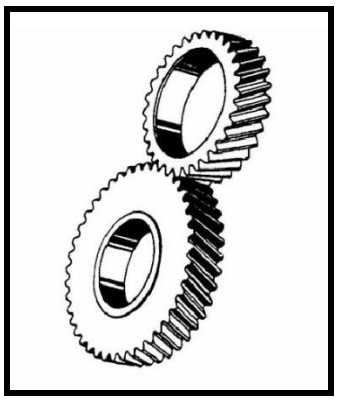


รูปที่ 2.17 ลักษณะของเฟืองดอกจอก [10]

- เฟืองตัวหนอน (Worm Gear) ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) และเฟืองตัวหนอนประกอบเป็นชุดกัน ใช้ส่งกำลังที่แกนเพลาที่ตั้งฉากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18

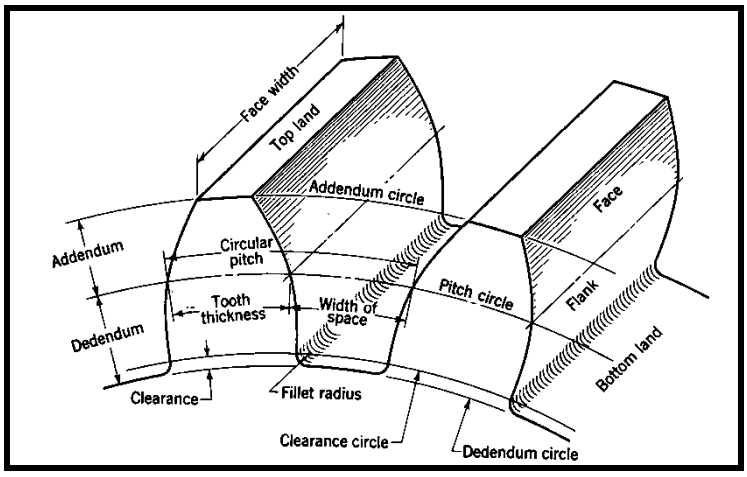
รูปที่ 2.18 ลักษณะของเฟืองหนอน [10]

- หน้าที่การใช้งานเฟืองเฉียง เฟืองเฉียงมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกับเฟืองตรงทุกอย่าง แต่มีข้อดีกว่าเฟืองตรงที่เมื่อส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูง ๆ แล้วจะไม่เกิดเสียงเหมือนเฟืองตรงลักษณะการใช้งานของเฟืองเฉียง ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะการใช้งานของเฟืองเฉียง [10]

2) การคำนวณของเฟืองตรง ขนาดของวงกลมที่ใช้ในการคำนวณ วงกลมพิตช์ของเฟืองขับและตามจะมีการสัมผัสกันตลอดเวลา ดังแสดงรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ชื่อส่วนต่าง ๆ ของฟันเฟือง [10]

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

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

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

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

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

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

$$b = (6...12) \times m \quad (2.41)$$

เมื่อ d_p คือ ขนาดเส้นผ่านศุนย์กลางพิตช์ (มิลลิเมตร)

d_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน (มิลลิเมตร)

z คือ จำนวนฟัน (ฟัน)

m คือ โมดูล (มิลลิเมตร)

h คือ ความสูงฟัน (มิลลิเมตร)

h_a คือ ความสูงยอดฟัน (มิลลิเมตร)

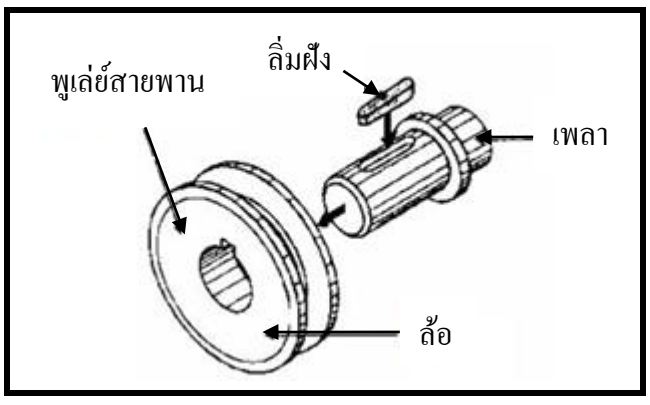
h_f คือ ความสูงโคนฟัน (มิลลิเมตร)

b คือ ความกว้างเฟือง (มิลลิเมตร)

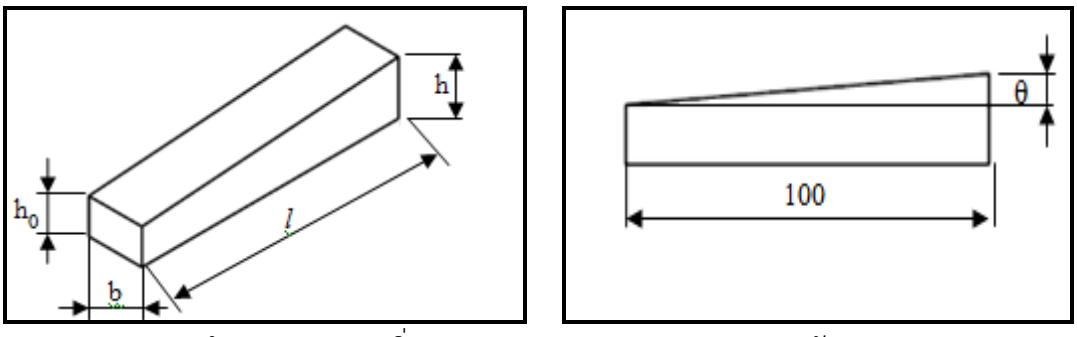
2.3.6 ลิ่มเป็นเครื่องมือกลพื้นฐาน โดยหลักการคือการใช้พื้นเอียงในการแยกของสองสิ่งออกจากกัน การให้แรงในแนวตั้งฉากกับส่วนหัว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแรงตั้งฉากไปแนวแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียง

1) ประเภทของลิ่ม ลิ่มที่ใช้ประกอบระหว่างเพลากับชิ้นส่วนอื่นไม่ว่าจะเป็นเฟือง พูลเล่ย์หรือล้อสายพานต่าง ๆ ลิ่มมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน

- ลิ่มส่งกำลัง ลิ่มประเภทนี้มีหน้าที่ส่งกำลังระหว่างล้อกับเพลาในเครื่องจักรกลใหญ่ ๆ ที่ใช้ล้อสายพาน ใช้เฟือง ใช้คลัตช์ หรือเครื่องจักรกลเกษตรก็ใช้ลิ่มส่งกำลัง ลิ่มชนิดนี้ถอดประกอบได้ง่าย ลิ่มส่งกำลังจะมีความลาด 1 ต่อ 100 หมายความว่า ความยาวทั้งหมดของลิ่ม 100 มิลลิเมตร ความสูงของลิ่มจะลดลง 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.21



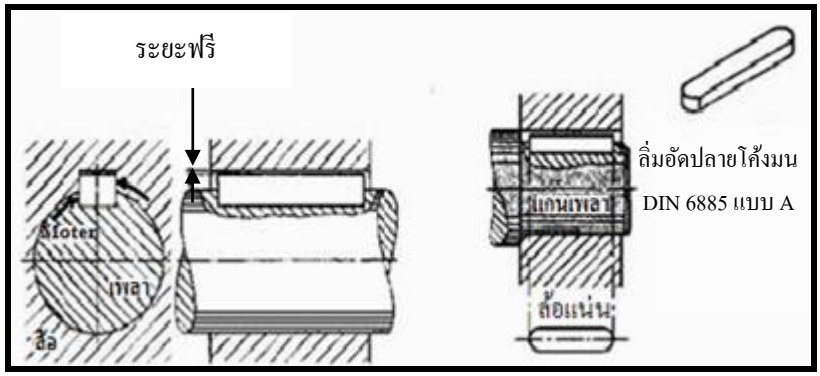
รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบที่ใช้คู่กับลิ่ม [9]



(ก) การกำหนดขนาดของลิ่ม (ข) ความยาวของอัตราลาด 1 : 100

รูปที่ 2.22 การกำหนดขนาดของลิ่มส่งกำลัง [9]

- ลิ่มอัด ลิ่มประเภทนี้ไม่มีความลาดตามแนวยาวจะขนานตามแนวยามตลอดลำตัว ดังนั้นแรงที่ขับขี่ล้อหรือเพลาให้หมุนนั้นจะกระทำผ่านผิวด้านของลิ่ม ผิวด้านข้างของลิ่มจะรับภาระเฉือน แต่ข้อดีคือระหว่างล้อกับเพลาจะไม่มีการเยื้องศูนย์ ลิ่มประเภทนี้เหมาะสำหรับเพลาที่หมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ลักษณะการใช้งานของลิ่มอัดปลายมนโค้ง [9]

- ลิ่มราบ เป็นลิ่มส่งกำลังตามมาตรฐานของ DIN 6883 มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ก่อนประกอบยึดต้องกัดหรือไสให้ผิวเพลาพอที่จะให้ลิ่มประกอบได้ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตและผิวราบนี้มีผลต่อความแข็งแรงของเพลาน้อยรับแรงโมเมนต์ได้น้อยกว่าลิ่ม

2) การคำนวณเกี่ยวกับลิ่ม ขนาดความกว้างของลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยทั่วไปจะเท่ากับหนึ่งในสี่ของความโตเพลา การออกแบบถ้าไม่รวมความหนาแน่นแล้ว จะได้สมการความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของลิ่มและเพลา คือ

$$\frac{bdlS_s}{2} = \frac{\pi d^3 S_s}{16} \qquad (2.55)$$

$$b = \frac{d}{4} \quad (2.56)$$

$$l = 1.57\ d \quad (2.57)$$

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

2.3.7 วัสดุมีดตัด วัสดุที่รู้จักกันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด [11] ดังนี้

1) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) ใช้ในช่วงที่ยังไม่มีการค้นพบเหล็กกล้าความเร็วสูง โดยวัสดุนี้จะมีปริมาณคาร์บอน 0.8 ถึง 1.20 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถทำการชุบแข็งได้ดี และด้วยกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมอาจเพิ่มความแข็งของมันจนมีค่าใกล้เคียงกับเหล็กกล้าความเร็วสูงต่าง ๆ หรืออาจทำให้มีความเหนียวแน่นได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามเหล็กกล้านี้มีความสามารถในการชุบแข็งหรือความลึกในการชุบแข็งต่ำและจะสูญเสียความแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงถูกจำกัดใช้เฉพาะเครื่องมือตัดขนาดเล็ก และไม่เหมาะสมในการตัดด้วยความเร็วสูงหรือใช้ในงานหนัก แต่จะใช้ในการปฏิบัติกับวัสดุอ่อน

2) เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel; HSS) เหล็กกล้าความเร็วสูงหรือเหล็กรอบสูงจะมีส่วนประกอบของโลหะผสมสูง มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถรักษาสภาพของคมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาพนี้เป็นคุณสมบัติในด้านความต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง อันเป็นคุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุดในเครื่องมือตัดต่าง ๆ โดยเหล็กกล้าทำเครื่องมือตัดชนิดแรกที่มีคุณสมบัติดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นโดย Frederick W. Taylor และ M. White ในปี ค.ศ. 1900 ซึ่งทำโดยการเติมทังสเตน (Tungsten) 18 เปอร์เซ็นต์ และโครเมียม 5.5 เปอร์เซ็นต์ ลงเป็นธาตุผสมอยู่ในเหล็กกล้า ส่วนผสมนี้สืบทอดมาจนถึงปัจจุบันโดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากธาตุผสมข้างต้นแล้ว ธาตุอื่นที่ใช้กันได้แก่ วานาเดียม โมลิบดินั่มหรือพลวง และคาร์บอน

3) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainlees Steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก มีส่วนผสมของโครเมียม อย่างน้อย 10.5 เปอร์เซ็นต์ กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ. 1903 เมื่อนักวิทยาศาสตร์พบว่า การเติมนิเกิล โมบิดินัม ไททาเนียม ไนโอเนียม หรือโลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิด ของคุณสมบัติเชิงกล และการใช้ลงในเหล็กกล้าธรรมดา ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้ ประเภทของสเตนเลส แบ่งได้ 5 ชนิดหลัก

- ออสเตนิติก (Austenitic) แม่เหล็ดดูดไม่ติด นอกจากส่วนผสมของโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ แล้วยังมีนิเกิลที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย ชนิดออสเตนิติกเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ในบรรดาสเตนเลสด้วยกัน ส่วนออสเตนิติกที่มีโครเมียมผสมอยู่สูง 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิล 1 ถึง 20

เปอร์เซ็นต์ จะสามารถทนการเกิดออกซิไดซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้ในส่วนประกอบของเตาหลอม ท่อนำความร้อน และแผ่นกันความร้อนในเครื่องยนต์ จะเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดทนความร้อน (Heat Resisting Steel)

- เฟอร์ริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำ และมีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลัก คือประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ หรือ 17 เปอร์เซ็นต์
- มาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง มักนำไปใช้ทำส้อม มีด เครื่องมือตัด และเครื่องมือวิศวกรอื่น ๆ ซึ่งต้องการคุณสมบัติเด่นในด้าน การต้านทานการสึกกร่อน และความแข็งแรงทนทาน
- ดูเพล็กซ์ (Duplex) แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และออสเตนไนต์ มีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ และนิเกิล 4.5 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ เหล็กชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรีนสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน (Stress Corrosion Cracking Cesistance)
- เหล็กกล้าชุบแข็งแบบตกผลึก (Precipitation Hardening Steel) มีโครเมียมผสมอยู่ 17 เปอร์เซ็นต์ และมีนิเกิล ทองแดง และไนโอเบียมผสมอยู่ด้วย เนื่องจากเหล็กชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียว จึงเหมาะสำหรับทำแกนปั้มหัววาล์ว และส่วนประกอบของอากาศยาน

เหล็กกล้าไร้สนิม ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ออสเตนิก และเฟอร์ริติก ซึ่งคิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ ของเหล็กกล้าไร้สนิม และที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีดังนี้

- เบอร์ 304 เป็นสเตนเลสสตีลพื้นฐานที่ใช้ในการตกแต่งเพื่อความสวยงาม ชนิดนี้ง่ายต่อการขึ้นรูปและป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี
- เบอร์ 304 L เป็นสเตนเลสสตีล เบอร์ 304 ที่ใช้คาร์บอนเป็นส่วนประกอบน้อยลงมา ใช้ในงานการเชื่อมอย่างกว้างขวาง
- เบอร์ 316 ถูกออกแบบให้มาป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมหนักและสถานที่ใกล้ทะเล
- เบอร์ 316 L เป็นสเตนเลสสตีลเบอร์ 316 ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนน้อยลงมา [11]

2.4 ความรู้เบื้องต้นว่าด้วยการขนถ่ายวัสดุ

อุปกรณ์ขนถ่าย ใช้สำหรับวัสดุจากแหล่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตเพื่อผลิตสินค้าจากนั้นนำไปเก็บไว้ในคลังสินค้าแล้วจึงจะส่งออกจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคสินค้าทุกชนิดจะมีกระบวนการดังกล่าวเหมือนกันหมด ดังนั้นจะเห็นว่าการขนถ่ายวัสดุจึงเป็นส่วนสำคัญยิ่งส่วนหนึ่งในทางเศรษฐศาสตร์อุตสาหกรรมการผลิตสินค้าจำนวนมาก ๆ (Mass Production) จำเป็นต้องอาศัยระบบการขนถ่าย

อุปกรณ์ขนถ่ายทางกล เป็นหัวใจของการขนถ่ายในโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลหรือวัสดุหีบห่อ การเลือกใช้อุปกรณ์การขนถ่ายทางกล สำหรับวัสดุปริมาณมล รวมถึงเรื่องที่เกี่ยวข้องกับระบบขนถ่ายทางกลด้วย อุปกรณ์ขนถ่าย (Conveyors) จำแนกออกตามการติดตั้งได้เป็น แบบติดตั้งตายตัว (Fixed) แบบเคลื่อนย้ายได้ (Portable) นอกจากนี้ยังจำแนกตามการขับเคลื่อนได้เป็น แบบขนถ่ายต่อเนื่อง (Continuous) แบบขนถ่ายเป็นช่วง ๆ (Intermittent) แต่การขับเคลื่อนต่อเนื่อง [12]

สำหรับ CEMA (The American Conveyor Equipment Manufacturer's Association) ได้กำหนดชนิดของอุปกรณ์ขนถ่ายได้ประมาณ 80 ชนิด อุปกรณ์ขนถ่ายขึ้นที่สูง (Elevators) 10 ชนิด และเครื่องป้อนวัสดุ (Feeders) 50 ชนิด ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ อุปกรณ์ขนถ่ายทางกล และอุปกรณ์ขนถ่ายที่สูง หรับถ่ายวัสดุปริมาณมวลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง (Association Equipment) ชนิดเท่านั้น

2.4.1 นิยามคำว่า อัตราขนถ่าย (Capacity)

นิยามของคำว่า Conveyor หรือ อุปกรณ์ขนถ่าย คือ อุปกรณ์สำหรับเคลื่อนย้าย หรือขนส่งวัสดุปริมาณมวล, หีบห่อ หรือ วัสดุ ในเส้นทางที่กำหนดตามการออกแบบ มีจุดรับ (Loading) และส่งออก (Discharge) เป็นแบบตายตัว (Fixed) หรือ แบบเลือกได้ (Selective) อุปกรณ์นี้อาจจะขนถ่ายในแนวราบ ลาดเอียงหรือ ในแนวดิ่งก็ได้ ซึ่งรวมทั้ง Skip Hoist, อุปกรณ์ขนถ่ายในแนวตั้ง (Vertical Reciprocating) และในแนวลาดเอียงขึ้น (Inclined Reciprocating Conveyors) อุปกรณ์ที่ไม่นับว่าเป็นอุปกรณ์ขนถ่าย ได้แก่ รถบรรทุกในโรงงาน, รถแทรกเตอร์, รถเทรลเลอร์, เครื่องจัดเก็บวัสดุเข้าชั้นวาง (Tiring Machines, Truck Type) ชนิดที่เป็นรถบรรทุก, รถเครน, Monorail Cranes, รอก (Hoists), Power and Hand Shovels, Power Scoops, Buchet Drag Lines, Platform Elevators ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร หรือ Elevator Operator และพาหนะบนทางหลวง หรือพาหนะที่อยู่บนรางในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะ อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล เมล็ดแข็งเท่านั้น

อัตราขนถ่าย จะมีหน่วยเป็นจำนวน ชิ้น, ปริมาตร หรือน้ำหนัก ต่อหน่วยเวลา ซึ่งแต่ละคนจะเข้าใจความหมายของคำนี้แตกต่างกันไป เช่น ผู้ควบคุมเครื่องจักรต้องการขนของลงจากรถราง 10 คัน คันละ 100 ตันในเวลา 10 ชั่วโมง หรือ 1 คันต่อชั่วโมง หรือ 100 ตันต่อชั่วโมง (TPH) อุปกรณ์ขนถ่ายชุดหนึ่งขนของได้ 100 ตันต่อชั่วโมง จะไม่สามารถขนของลงจากรถได้ตามเวลาวางแผนไว้ นอกจากจะมีกรวยปล่อยวัสดุ (Surge Hopper) อยู่เหนืออุปกรณ์ขนถ่ายนั้น เวลาที่เสียไป ณ จุดส่งวัสดุออกและเวลาในการทำความสะอาดรถแต่ละคันจะถูกนำมาคิดด้วย ซึ่งการขนถ่ายปริมาณ 100 ตันอาจจะใช้เวลาเพียง 40 นาที หรือคิดเป็นอัตราขนถ่ายได้ 150 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งต่างก็อ้างอิงถึงการขนถ่ายครั้งเดียวกันนั้นเอง จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้มีการพยายามเปลี่ยนแปลง คำว่า Capacity หรืออัตราการขนถ่ายวัสดุด้วยคำบางคำเพื่อให้มีความถูกต้องมายิ่งขึ้น ได้แก่

อัตราขนถ่ายขณะเดินเครื่อง (Operating Capacity) เป็นอัตราการขนถ่ายเฉลี่ยภายใต้สภาวะการทำงานของเครื่องตามปกติซึ่งจะนำช่วงเวลาที่หยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาและซ่อมแซม รวมทั้งเวลาที่เครื่องทำงานโดยไม่มีการขนถ่ายเพื่อการเคลื่อนย้าย, ติดตั้ง หรือ ปรับแต่งอุปกรณ์มาคิด

รวมด้วย โดยทั่วไปแล้วจะใช้กับระบบหรือเครื่องที่ใช้งานได้สมบูรณ์แล้ว ซึ่งอัตราการขนถ่ายนี้จะมีหน่วยเป็นตันต่อปี ตันต่อวัน หรือตันต่อชั่วโมง [12]

อัตราขนถ่ายที่กำหนดในอุดมคติ (Rated Capacity) เป็นอัตราการขนถ่ายเฉลี่ย ภายใต้สภาวะการเดินเครื่องในอุดมคติ โดยไม่มีอุปกรณ์เสียหายและในเวลาที่กำหนด โดยทั่วไปจะใช้กับการจัดเตรียมอุปกรณ์ขนถ่ายหรือการจัดเตรียมส่วนประกอบในระบบ (ยังไม่ได้ใช้งานจริง) มีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง หรือปอนด์ต่อนาที

อัตราขนถ่ายสูงสุด (Peak Capacity) อัตราขนถ่ายสูงสุดที่ทำได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ในบางครั้งจะคิดเป็นอัตราการขนถ่ายต่อนาที แล้วจึงเทียบกลับไปเป็นอัตราการขนถ่ายต่อชั่วโมง

อัตราขนถ่ายออกแบบ (Design Capacity) เป็นการขนถ่ายที่คิดคำนวณจากการออกแบบโครงสร้างและ การออกแบบทางกล ซึ่งปกติ Design Capacity จะเท่ากับ Peak Capacity เท่ากับ 115 % ของ Rated Capacity หรือเท่ากับ Peak Capacity โดยจะใช้ค่าที่สูงกว่าเป็นหลัก เมื่อนำอุปกรณ์ไปใช้งานเป็นส่วนหนึ่งของระบบการชนถ่ายขนาดใหญ่เกี่ยวกับการสำรองคลัง (Stockpiling) และการขนกลับ (Reclaiming) การขนของขึ้นลงเรือหรือรถไฟจะใช้ค่า Rated Capacity เท่ากับ 125 หรือ 130 % ของ Operating Capacity ของระบบการขนถ่ายทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่นถ้าระบบขนของลงเรือมี Operating Capacity เท่ากับ 5,000 ลิตรต่อชั่วโมง และมีเวลาการติดตั้ง Shiploader ระหว่างดาดฟ้าเรือประมาณ 12 นาทีในระหว่างการขนของ 1 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราการขนถ่าย 5,000 ลิตรต่อชั่วโมง จะใช้เวลาขนถ่ายจริง ๆ 48 นาที หรือเป็นอัตรา 6,250 ลิตรต่อชั่วโมง [12]

2.4.2 ระบบลำเลียงแบบสายพาน (Belt Conveyor)

การโยกย้ายผลิตภัณฑ์ เพื่อให้รวดเร็วยิ่งขึ้น วัตถุสายพานลำเลียงทำให้ย่นเวลาในการขนย้ายโยกย้ายผลิตภัณฑ์ แต่ถึงจะมีแง่ดีไม่น้อยก็ตาม ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่เช่นกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าหากอุณหภูมิของอุปกรณ์ที่จะย้ายสูงเกินไป จนกระทั่งเกินความสามารถของผิวสายพานลำเลียงที่จะรับไหว สายพานลำเลียงก็จะเสียหาย เพราะฉะนั้นระบบสายพานลำเลียง ก็จะไม่สามารถโยกย้ายอุปกรณ์ ที่มีอุณหภูมิสูงประเภทนี้ได้ เป็นต้น เทคนิคการเลือกสายพานลำเลียงควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน

2.4.3 ชนิดของสายพานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด

ชนิดของสายพานสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

1) สายพานแบน (Flat Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2) สายพานลิ่ม (V-Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

3) สายพานกลม (Ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม

4) สายพานไทม์มิ่ง (Timing Belt) มีหน้าตัดเป็นร่องคล้ายฟันเฟือง

2.4.4 ส่วนประกอบของสายพานลำเลียง

ส่วนประกอบของสายพานลำเลียง มีอยู่ 5 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1) สายพาน (Belt) เป็นส่วนรองรับวัตถุขนถ่ายและทำให้วัตถุขนถ่ายที่อยู่บนสายพานนั้นเคลื่อนที่ตามสายพานไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 สายพาน (Belt) [13]

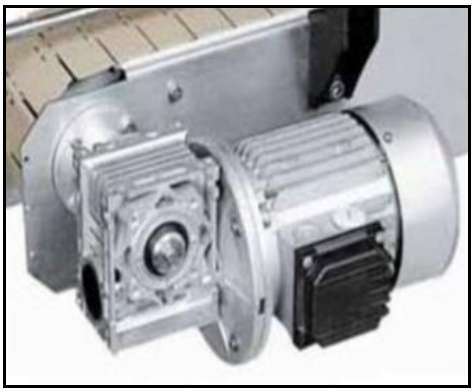
2) ลูกกลิ้ง (Idlers) เป็นตัวรองรับสายพาน ดังแสดงในรูปที่ 2.35

รูปที่ 2.25 ลูกกลิ้ง (Idlers) [13]

3) ล้อสายพาน (Pulleys) เป็นตัวรองรับและขับสายพานและควบคุมแรงดึงในสายพาน ดังแสดงในรูปที่ 2.26

รูปที่ 2.26 ล้อสายพาน (Pulleys) [13]

4) ชุดขับ (Drive) เป็นตัวส่งกำลังขับให้กับล้อสายพานเพื่อขับสายพานกับวัตถุขน ถ่ายให้เคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ชุดขับ (Drive) [13]

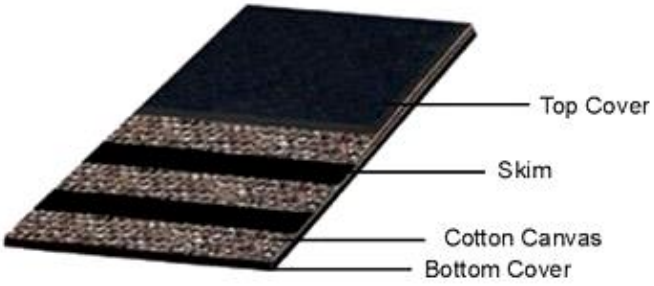
5) โครงสร้าง (Structure) เป็นตัวรองรับและรักษาแนวของลูกกลิ้งและล้อสายพาน และรองรับเครื่องขับสายพาน ดังแสดงในรูปที่ 2.28

รูปที่ 2.28 ชุดโครงสร้าง (Structure) เป็นตัวรับน้ำหนักระบบสายพานลำเลียง [13]

2.4.5 โครงสร้างสายพานลำเลียงแบบชนิดผ้าใบ

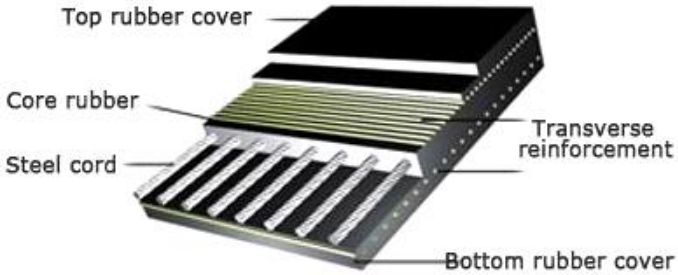
สายพานลำเลียงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ตามลักษณะของวัสดุที่ใช้เสริมแรง ดังนี้

1) สายพานแบบชั้นผ้าใบ (Fabric Conveyor Belt)



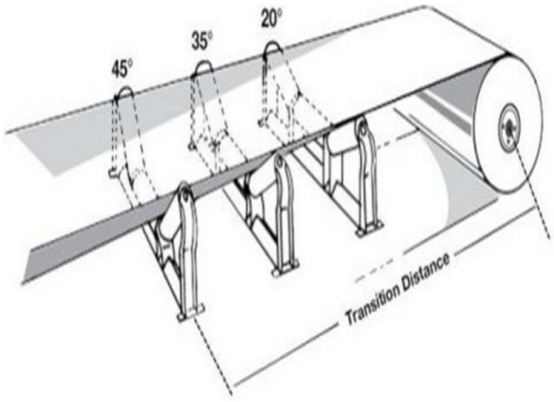
รูปที่ 2.29 โครงสร้างแบบชั้นผ้าใบ [14]

2) สายพานแบบชั้นลวดสลิง (Steel Cord Conveyor Belt)



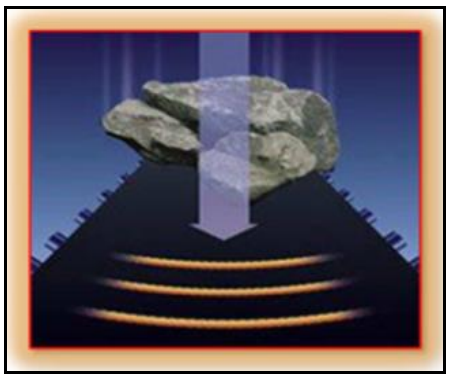
รูปที่ 2.30 โครงสร้างแบบชั้นลวดสลิง [14]

2.4.6 สายพานที่เลือกใช้ คือ สายพานลำเลียงแบบชั้นผ้าใบ (Fabric Rubber Conveyor Belt) การแบ่งชนิดของสายพานตามประเภทของ วัสดุที่ใช้รับแรง ของสายพานลำเลียง แบ่งได้หลายชนิด แต่จะคัดเอาที่นิยมใช้กันก็จะมี 2 ประเภท ได้แก่ สายพานผ้าใบ (Fabric Conveyor Belt) และสายพานลวดสลิง (Steel Cord Conveyor Belt) แต่ในทฤษฎีนี้จะกล่าวเฉพาะเรื่องสายพานผ้าใบอย่างเดียว



รูปที่ 2.31 การใช้ลูกกลิ้งในระบบสายพานลำเลียงแบบชั้นผ้าใบ [13]

1) ส่วนประกอบของสายพานแบบชั้นผ้าใบ
   สายพานแบบชั้นผ้าใบ (Fabric Conveyor Belt) มีส่วนประกอบ 4 ส่วนด้วยกัน คือ
   - ผิวยางชั้นบนและชั้นล่าง (Bottom Covers)
   - ชั้นผ้าใบรับแรง (Fabric)
   - ยางยึดระหว่างชั้นผ้าใบ (Skims Cushion Rubber)
   - ส่วนของผิวยางชั้นบนและชั้นล่างที่อยู่ชั้นนอกสุดของสายพาน (Top Covers)
2) หน้าที่ของผิวสายพาน (Functions of Cover Rubber)
   - ป้องกันชั้นผ้าใบไม่ให้เสียหาย (Protect Belt Carcass)
   - ยืดอายุการใช้งานของสายพาน (Extend Belt's Service Life)
3) ชนิดของผิวสายพานแบ่งตามลักษณะการใช้งาน
   - ประเภทใช้งานทั่วไป (General Use Conveyor Belt) หรือเรียกกันว่า สายพานทนสึกหรอ หรือทนการเสียดสี จะเลือกใช้สายพานแบบนี้การลำเลียงต้องไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่อสายพาน เช่น สารเคมี น้ำมัน ความร้อนสูง โอโซน และอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง
   - ประเภทใช้งานแบบพิเศษ (Special Purposes Conveyor Belt) ซึ่งความที่ว่าใช้งานแบบพิเศษนี้ก็มีกันมากมายหลายแบบ เช่น ความสามารถทนต่อสารเคมี น้ำมัน ทนความร้อนสูง แสงแดด โอโซน แรงกระแทก และอื่นๆ
4) คุณสมบัติที่สำคัญของผิวยาง (Signification Properties of Cover)
   - แรงดึง (Tensile Strength)
   - การยืดตัว (Elongation)
   - ความแข็ง (Hardness)
   - การทนทานต่อการเสียดสี (Wear Resistance)
   - ทนกับการใช้งานแบบพิเศษ (Special Purposes Resistance)
   - การเด้งตัว (Resilience)
5) หน้าที่ของชั้นผ้าใบรับแรง (Functions of Carcass)
   - รับแรงกระทำจากน้ำหนักใช้รับแรงและลำเลียงวัสดุไปให้ถึงจุดหมาย
   - รับแรงกระแทกจากวัสดุกันไม่ให้ผ้าใบเสียหาย



รูปที่ 2.32 แรงกระทำต่อสายพานลำเลียงจากวัตถุในแนวดิ่ง [13]

6) หน้าที่ของผิวยาง (Function of Skim Rubber)

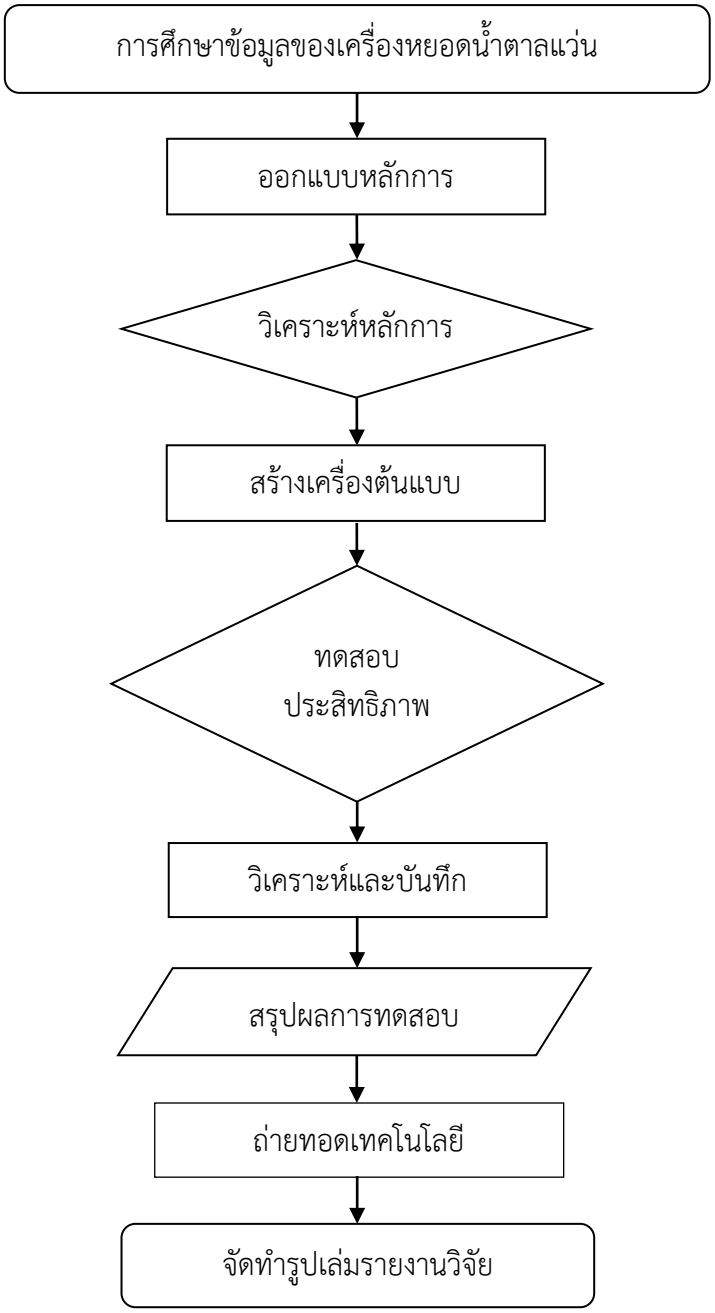
- ให้แรงยึดเกาะระหว่างผ้าใบ
- ช่วยรองรับน้ำหนักจากการบรรทุกวัสดุ
- ช่วยรองรับแรงกระแทกจากการตกของวัสดุ
- ช่วยการยึดเกาะภายใน เพื่อต้านทานแรงกระแทกจากการตกของวัสดุ
- ช่วยให้สายพานมีความยืดหยุ่นดี [13]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

จากการศึกษากระบวนการการผลิตน้ำตาลแว่น พบว่ามีความต้องการของตลาดเป็นจำนวนมาก และยังมีแนวโน้มว่ามีความต้องการของตลาดจะเพิ่มขึ้น แต่สภาพการผลิตปัจจุบันของผู้ผลิตนั่นมีกระบวนการขั้นตอนในการผลิตมากและยังใช้แรงงานคนมากในการบรรจุภัณฑ์ จากการศึกษาดังนั้นจึงได้มีการออกแบบ และสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการออกแบบและสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น โดยได้มีการวางแผนการดำเนินงานแสดงแผนการดำเนินงานจริง โดยกิจกรรมบางอย่างในการดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน เนื่องจากกิจกรรมนั้นต้องใช้เวลาและมีการแก้ไขปรับปรุงจึงทำให้การทำงานล่าช้ากว่าแผนดำเนินงาน จะต้องมีการศึกษาทฤษฎี งานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้ในการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับเครื่องเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นถึงหลักกระบวนการทำน้ำตาลแว่น ขั้นตอนต่างๆในการทำวัตถุดิบของการทำน้าตาลแว่นประกอบด้วยอะไรบ้าง ศึกษาระยะเวลาการทำน้าตาลแว่นว่าใช้เวลาเท่าไรในการทำหรือผลิตออกมา การคำนวณและออกแบบเครื่องเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำตาลแว่น จะออกแบบ และสร้างเครื่องทุนแรงในการหยอดน้ำตาลแว่น และการแกะแบบรองหลังน้ำตาลแว่นให้อยู่ในขั้นตอนเดียวกัน เพื่อลดเวลา และคนงานในการผลิต เพิ่มปริมาณในการผลิตให้มากขึ้น การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์และออกแบบการทดลอง ดังนั้นจึงมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานที่ได้วางไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

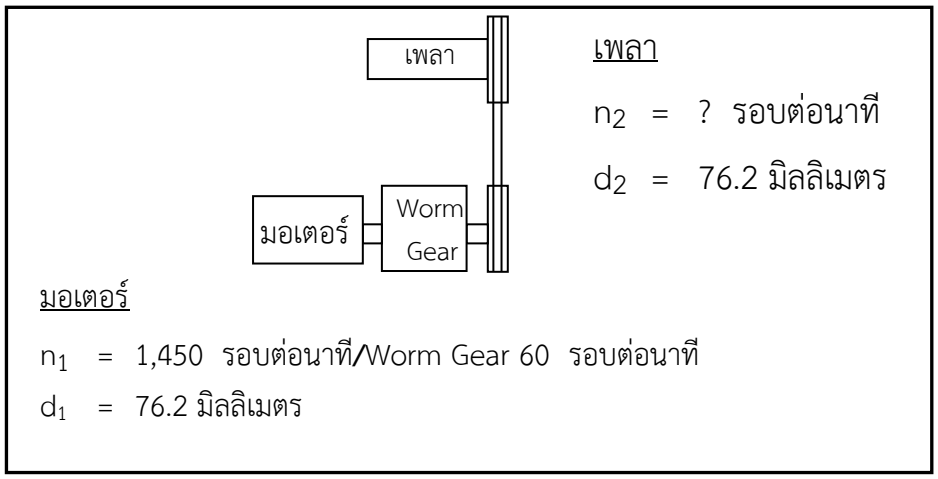
3.2 การออกแบบเครื่องจักร

3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับผลไม้กวนและกรรมวิธีของกระบวนการบรรจุภัณฑ์สินค้า จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ในการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่อง โดยหลักการทำงานของเครื่องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง โดยชุดถังกวนน้ำตาลเหลวใช้มอเตอร์เกียร์ทด 1:50 รอบต่อนาที โดยใช้เฟืองคู่กวนน้ำตาลเหลวในถัง ส่งผ่านลงมายังทางออก จำนวน 5 ช่อง ลงมาใส่ในถาดของแม่พิมพ์ และชุดสายพานลำเลียงจะมีอัตรา

ทด 1:60 รอบต่อนาที โดยทำหน้าที่ในการส่งหรือลำเลียงน้ำตาลแว่นจนสุดสายพานลำเลียง ซึ่งเมื่อสุดสายพานลำเลียงน้ำตาลแว่นก็จะแห้งหรือแข็งตัวทันเวลาพอดี จากหลักการดังกล่าวจึงนำไปสู่กระบวนการออกแบบและคำนวณชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยได้รวบรวมรายละเอียดต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ในการออกแบบ เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางการตัดสินใจสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรให้ได้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่วางไว้ โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

3.2.2 การคำนวณและออกแบบเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

1) การคำนวณหาความเร็วรอบและขนาดของสายพานลำเลียง เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ด้วยความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง โดยมีระบบส่งกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขนาดของเพลาและความเร็วรอบเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

จากการคำนวณหาอัตราทด จากสมการ 2.45 จะได้

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

โดยที่ n_1 = 60 รอบต่อนาที
n_2 = ?
d_1 = 76.2 มิลลิเมตร
แต่เนื่องจาก $d_1 = d_2$
ดังนั้น n_2 = 60 รอบต่อนาที

ดังนั้น จำนวนของความเร็วรอบที่เพลาชุดสายพานลำเลียงได้เท่ากับ 60 รอบต่อนาที

2) การคำนวณเฟืองที่ใช้ในชุดถังกวนน้ำตาลเหลว การคำนวณเฟืองต้องหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน ขนาดของวงกลมพิตช์ (Diametral Pitch) จำนวนฟัน (Number of Teeth) และความสูงฟันเพื่อใช้สำหรับกัดเฟืองบนชุดหัวแบ่งเครื่องกัด

ในออกแบบเฟืองที่จะใช้ในชุดถังกวนน้ำตาลเหลวนี้ จะใช้ค่าโมดุล (m) = 5 และใช้จำนวนฟัน (z) = 10 ฟัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ = 54 มิลลิเมตร โดยสามารถคำนวณส่วนต่าง ๆ ของเฟือง ได้ดังนี้

จากสมการ 2.36 หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน

$$\begin{aligned} d_o &= m \times (z + 2) \\ &= 5 \times (10 + 2) \\ &= 60 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

จากสมการ 2.38 หาความสูงฟัน

$$\begin{aligned} h &= (2 \times m) + c \\ &= (2 \times 5) + (0.167 \times 5) \\ &= 10.84 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

จากสมการ 2.39 หาความสูงยอดฟัน

$$\begin{aligned} h_a &= m \\ &= 5 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

จากสมการ 2.40 หาความสูงโคนฟัน

$$\begin{aligned} h_f &= m + c \\ &= 5 + (0.167 \times 5) \\ &= 5.84 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

จากสมการ 2.41 หาความกว้างของเฟือง

$$\begin{aligned} b &= (6...12) \times m \\ &= 6 \times 5 \\ &= 30 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ ในส่วนของการดำเนินการสร้างเครื่องจะประกอบไปด้วยเครื่องมือ เครื่องจักรที่เข้ามาเกี่ยวข้องดังนี้

1) เครื่องกลึง ยี่ห้อ VICTOR
2) เครื่องกลึง CNC ยี่ห้อ MAZAK
4) เครื่องตัดไฟเบอร์ขนาด 14 นิ้ว ยี่ห้อ MAKITA รุ่น 2414NB
5) เครื่องเชื่อมติกยี่ห้อ POWELD-TIG รุ่น PW-310WP-5
6) เครื่องมือกลพื้นฐาน มีดังต่อไปนี้

- กลุ่มเครื่องมือมีดังต่อไปนี้ ตะไบต่าง ๆ เลื่อย ค้อน สกัด ประแจปากตาย ประแจเลื่อน คีมล็อค ปากกาจับยึด ไขควง
- กลุ่มเครื่องมือกลมีดังต่อไปนี้ เครื่องเจียระไนมือ สว่านมือ
- กลุ่มเครื่องมือวัด มีดังต่อไปนี้ เวอร์เนียคาลิปเปอร์ เวอร์เนียไฮเกต ตลับเมตร ไม้บรรทัด ฉากวัด
- กลุ่มอุปกรณ์ป้องกันมีดังต่อไปนี้ ถุงมือหนัง แว่นตา จุกอุดหู

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากการคำนวณและการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ในขั้นตอนการผลิตและสร้างเครื่อง จะผลิตตามแบบที่ได้ออกแบบไว้และได้ทำการจัดซื้อจัดหาวัสดุและชิ้นส่วนต่าง ๆ จากท้องตลาด

3.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

1) ชุดโครงสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ได้ออกแบบให้มีขนาด 495 × 2,023 × 1,328 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ลักษณะของโครงสร้างของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

2) ชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์ ได้ออกแบบให้มีความเร็วของสายพายลำเลียงถาดพิมพ์ ด้วยอัตราความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ลักษณะของชุดสายพานลำเลียง

3) ชุดถังกวนน้ำตาลเหลว ได้ออกแบบตัวถังที่บรรจุน้ำตาลเหลวไว้ให้มีขนาด 420 × 405 × 280 มิลลิเมตร โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สวนของชุดถังกวนน้ำตาลเหลว และชุดของถังให้ความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.5

(ก) ชุดถังกวนน้ำตาลเหลว

(ข) ชุดถังให้ความร้อน

รูปที่ 3.5 ลักษณะของชุดกวนน้ำตาลแว่น

3.3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์ สามารถแยกเป็นชุดชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

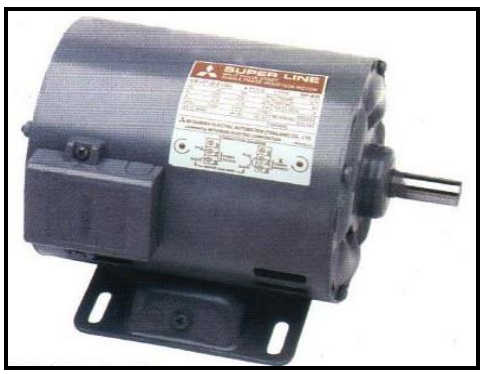
1) แบริ่ง มีรูเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มิลลิเมตร เพื่อให้เหมาะสมกับเพลา และเป็นที่รับน้ำหนักของชิ้นส่วนอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 ลักษณะของแบริ่งสวมติดกับตุ๊กตา

2) ล้อสายพาน เป็นตัวรองรับและขับสายพานและควบคุมแรงดึงในสายพาน ดังแสดงในรูปที่ 3.7

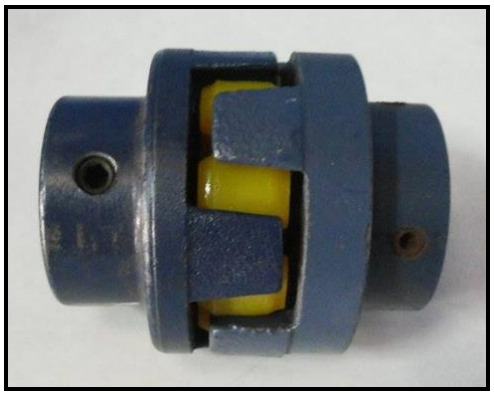
รูปที่ 3.7 ลักษณะของล้อสายพาน

3) มอเตอร์ ใช้ขนาด 1 แรงม้า ด้วยความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง เพื่อขับเคลื่อนชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



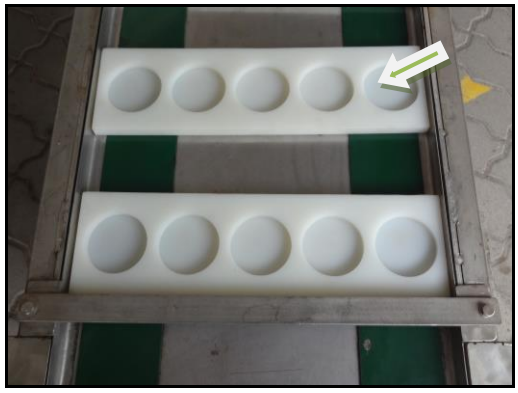
รูปที่ 3.8 ลักษณะของมอเตอร์

4) คัปปลิ้ง จะใช้ขนาด 65 มิลลิเมตร เพื่อต่อระหว่างเกียร์ทด 1 : 60 รอบต่อนาที กับเพลามอเตอร์ 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังขับ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



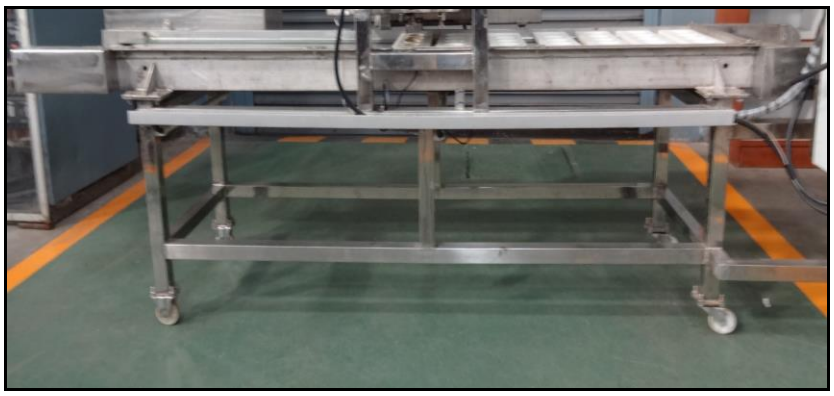
รูปที่ 3.9 ลักษณะของคัปปลิ้ง

5) ถาดพิมพ์ใส่แว่นน้ำตาล มีขนาด 100 × 356 × 15 มิลลิเมตร ไว้ใส่แว่นน้ำตาล ทำไว้ 5 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ถาดพิมพ์ใส่แว่นน้ำตาล

6) โครงสร้างชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์ มีขนาด 495 × 1,607 × 494.5 มิลลิเมตร สร้างขึ้นเพื่อลำเลียงถาดพิมพ์น้ำตาลแว่น ดังแสดงในรูปที่ 3.11

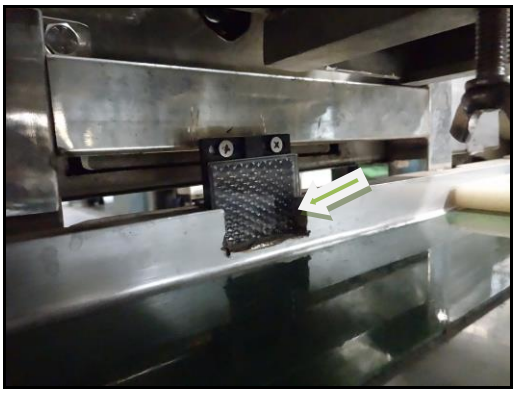


รูปที่ 3.11 โครงสร้างชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์

7) สายพานลำเลียง ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.22 สายพานลำเลียง

8) เซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เซ็นเซอร์

9) แผงวงจรไฟควบคุมการทำงานชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 แผงวงจรไฟควบคุมการทำงานชุดสายพานลำเลียงถาดพิมพ์

3.3.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดถังกวนน้ำตาลเหลว

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดถังกวนน้ำตาลเหลวสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ส่วนของชุดถังกวนน้ำตาลเหลว และชุดของตัวถังให้ความร้อน โดยสามารถแยกเป็นชุดชิ้นส่วนได้ดังนี้

1) มอเตอร์เกียร์แบบหน้าแปลน ใช้ขนาด 100 วัตต์ ด้วยความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง และใช้เกียร์ทดรอบ 1:50 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.25

รูปที่ 3.15 ลักษณะของมอเตอร์เกียร์

2) ตัวถังกวน ได้ออกแบบมีขนาด 420 × 405 × 280 มิลลิเมตร ที่ยึดติดกับเสาโครงเครื่องของชุดสายพานลำเลียง ดังแสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 ลักษณะตัวถังกวนน้ำตาลแว่น

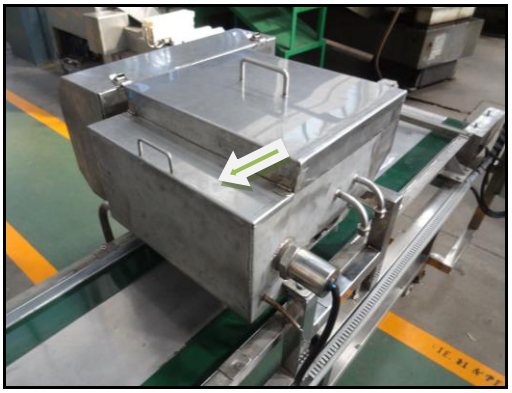
3) เฟืองกวนน้ำตาลเหลว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 มิลลิเมตร ยาว 310 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 เฟืองกวนน้ำตาลเหลว

3) แผงตัวหยอดน้ำตาลเหลว ออกแบบให้มีจำนวน 5 รู เพื่อใช้ในการหยอดน้ำตาลเหลวลงมายังที่ถาดพิมพ์แว่นน้ำตาล โดยจะใช้น้ำร้อนไหลเวียนภายในเป็นตัวให้ความร้อนไม่ให้น้ำตาลแข็งตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 แผงตัวหยอดน้ำตาลเหลว

4) ตัวถังให้ความร้อน ได้ออกแบบมีขนาดขนาด 420 × 75 × 210 มิลลิเมตร โดยยึดติดไว้กับชุดถังกวนน้ำตาลเหลว เพื่อให้ความร้อนกับน้ำตาลเหลวภายในถังกวนไม่ให้แข็งตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.19

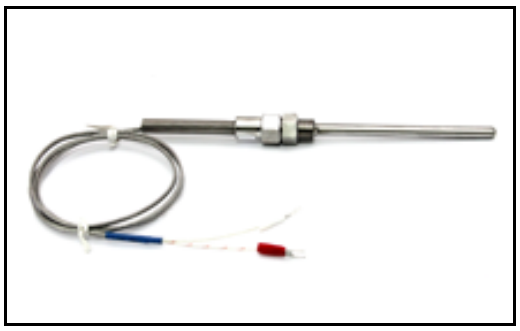


รูปที่ 3.19 ตัวถังให้ความร้อน

5) ฮีตเตอร์ (heater) เป็นตัวให้ความร้อนกับน้ำ ในชุดตัวถังให้ความร้อน โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 ฮีตเตอร์

6) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในถังให้ความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เทอร์โมคัปเปิล

7) ท่อระบายน้ำออก ใช้สำหรับในการระบายน้ำในถังน้ำออกออก ดังแสดงในรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.22 ท่อระบายน้ำออก

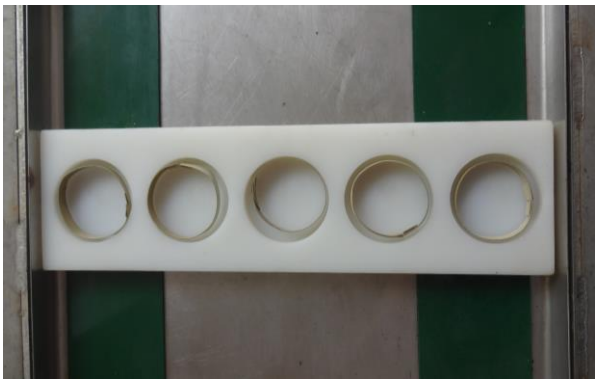
8) แผงวงจรไฟควบคุมการทำงานชุดตัวถังให้ความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23 แผงวงจรไฟควบคุมการทำงานชุดตัวถังให้ความร้อน

3.4 วิธีการทดสอบเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

การทดสอบในการหยอดน้ำตาลแว่น สำหรับการทำในครั้งนี้ ใช้น้ำตาลแว่นที่กวนเสร็จแล้วและสามารถหยอดน้ำตาลแว่นได้จริง ตามที่เราต้องการหรือไม่ ในการทดลองหยอดครั้งนี้ ดังแสดงในการทดลองครั้งนี้

1) เตรียมแว่นใส่น้ำตาล ที่ได้ทำไว้เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 เตรียมแว่นใส่น้ำตาล

2) ติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยทำการต่อปลั๊กไฟเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยใช้กระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.25

รูปที่ 3.25 การต่อปลั๊กไฟ

3) เปิดสวิทช์ชุดควบคุมความร้อน จากนั้นเติมน้ำลงในถังที่ติดตั้งฮีตเตอร์ (heater) เพื่อให้ความร้อนกับถังกวนน้ำตาลเหลว โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.26

รูปที่ 3.26 การควบคุมชุดให้ความร้อน

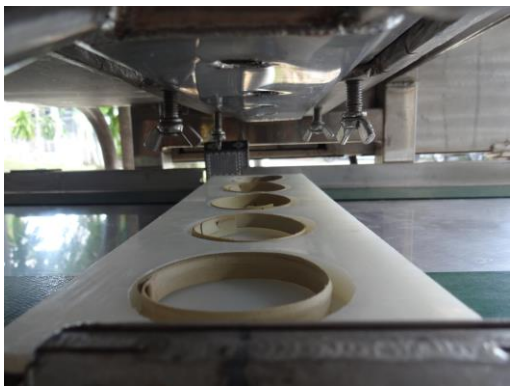
4) เตรียมน้ำตาลเหลว ที่ผ่านการทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว ใส่ลงในถังกวนน้ำตาลเหลว ดังแสดงในรูปที่ 3.27 (ก) และจะกวนน้ำตาลเหลวในถังกวนก่อนที่จะลงออกมาสู่ถาดพิมพ์ แสดงในรูปที่ 3.27 (ข)

(ก) การใส่น้ำตาลเหลวลงในถังกวน

(ข) การกวนน้ำตาลเหลว

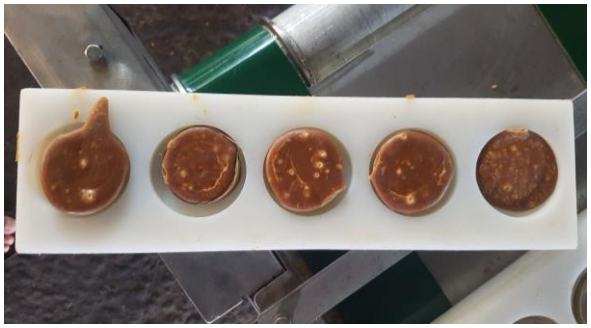
รูปที่ 3.27 การเตรียมน้ำตาลเหลวที่จะหยอดน้ำตาลแว่น

5) ทำการเปิดสวิตซ์ชุดลำเลียงถาดพิมพ์ และเริ่มทำการหยอดน้ำตาลเหลวลงสู่ถาดพิมพ์ โดยทำการเคลื่อนถาดแม่พิมพ์ในการหยอดด้วยเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การเปิดชุดสายพานลำเลียงน้ำตาลแว่น

6) ได้น้ำตาลแว่นที่เสร็จแล้ว ตามที่เราต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 น้ำตาลแว่นที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.5 การศึกษาลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่น โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นและการใช้คนหยอดน้ำตาลแว่น ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่น จะประกอบไปด้วยดังนี้

3.5.1 ค่าความชื้นของน้ำตาลแว่น

3.5.2 ค่า Water Activity (aw) ของน้ำตาลแว่น

3.5.3 ค่า Total Soluble Solid (% brix) ของน้ำตาลแว่น

3.5.4 ค่า pH ของน้ำตาลแว่น

3.5.5 ค่าสีของน้ำตาลแว่น

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการปรับปรุงแก้ไข และทดลองเครื่องจักรจนมั่นใจในประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแล้ว ขั้นตอนของผลการทดลองจะดำเนินการทดลองโดยการหยอดน้ำตาลแว่น โดยที่ในการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำตาลแว่นที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยเปรียบเทียบกับการทำงานระหว่างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นกับแรงงานคน และได้ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางเคมี กายภาพ ของน้ำตาลโตนดที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นกับแรงงานคน

จากการทดลองด้วยแรงงานคนในบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยการนำน้ำตาลเหลวที่ทำเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการหยอดใส่ในแว่น โดยจะทำการจับเวลาในการหยอดน้ำตาลแว่นว่าได้จำนวนกี่แท่งในระยะเวลาเวลา 1 นาที แล้วทำการบันทึกผลจนครบ 5 ครั้ง จึงได้ผลการทดลองด้วยแรงงานคนดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยแรงงานคน

ครั้งที่	จำนวนน้ำตาลแว่นที่บรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยแรงงานคน (แท่งต่อนาที)
1	12
2	12
3	11
4	11
5	11
ค่าเฉลี่ย	11

จากการทดลองด้วยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นในการบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยการนำน้ำตาลแว่น มาใส่เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นแล้วทำการหยอดลงมาใส่ในแว่น โดยจะทำการจับเวลาในการหยอดน้ำตาลแว่นว่าได้จำนวนกี่แท่งในระยะเวลาเวลา 1 นาที แล้วทำการบันทึกผลจนครบ 5 ครั้ง จึงได้ผลการทดลองด้วยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

ครั้งที่	จำนวนน้ำตาลแว่นที่บรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น (แท่งต่อนาที)
1	60
2	60
3	65
4	65
5	70
ค่าเฉลี่ย	65

จากการทดลองการหยอดน้ำตาลแว่น เปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น สรุปได้ว่าเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ทำได้เร็วกว่าการใช้แรงงานคนโดยผลการทดลองเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นจะมีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นได้ 65 แท่งต่อนาที หรือประมาณ 3,900 แท่งต่อชั่วโมง โดยคิดเป็น 5.91 เท่า ของแรงงานคน ที่มีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นได้เพียง 11 แท่งต่อนาที หรือประมาณ 660 แท่งต่อชั่วโมง เท่านั้น เพราะเมื่อแรงงานคนปฏิบัติงานเป็นระยะเวลาหนึ่งผู้ปฏิบัติงานจะมีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น ในขณะที่เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ความสามารถในการหยอด ระหว่างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นกับแรงงานคน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการบรรจุผลิตภัณฑ์ระหว่างเครื่องกับแรงงานคน

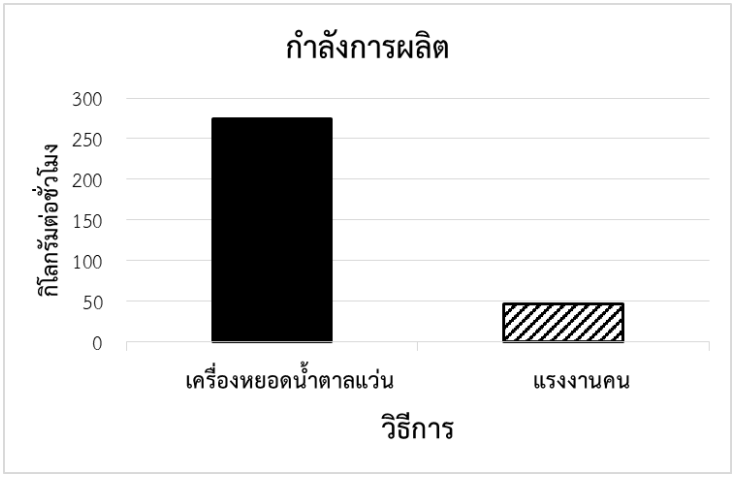
ลักษณะการทำงาน	กำลังการผลิตน้ำตาลแว่น (ประมาณ)	
	จำนวนแท่งต่อชั่วโมง	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	3,900	274.44
แรงงานคน	660	46.44

จากตารางที่ 4.3 การทดลองบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นและแรงงานคน จากจำนวนแท่งน้ำตาลแว่นต่อการผลิต 1 ชั่วโมง โดยที่น้ำตาลแว่น 1 แท่ง มีน้ำหนัก เท่ากับ 70.37 กรัม แปลงค่าเป็น กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้ว่า

$$\text{การบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องหยอด} = \frac{70.37}{1000} \times 3900 = 274.44 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

การบรรจุผลิตภัณฑ์ด้วยแรงงานคน $= \frac{70.37}{1000} \times 660 = 46.44$ กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากตารางที่ 4.3 สามารถแสดงกำลังผลิตเป็นแผนภูมิแท่งได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะการผลิตเปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

ความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่น คิดเป็น 5.91 เท่า และสามารถผลิตต่อเนื่องได้ดีกว่าแรงงานคน ถึงแม้ว่าการหยอดน้ำตาลแว่น มีเศษจากการของน้ำตาลเหลว เป็นบางส่วนแต่เป็นส่วนน้อย และสามารถนำไปใช้ได้อีก

ดังนั้นเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น มีความสามารถในการผลิตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคนแล้ว ได้เปรียบเทียบ พบว่าการหยอดน้ำตาลแว่น มีความสวยงามใกล้เคียงกับการใช้แรงงานคน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) การหยอดน้ำตาลแว่นด้วยเครื่อง และการหยอดด้วยแรงงานคน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข)

(ก) น้ำตาลแว่นด้วยเครื่อง

(ข) น้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน

รูปที่ 4.2 ลักษณะการเปรียบเทียบการหยอดน้ำตาลแว่นด้วยเครื่องกับแรงงานคน

4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการทดลองจึงวิเคราะห์ได้ว่า ในกระบวนบรรจุผลิตภัณฑ์สินค้ามีอัตราค่าจ้างคนงาน ดังนั้นจึงได้สร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น เพื่อลดเวลาในการหยอดน้ำตาลแว่น และในการควบคุมเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น และสามารถลดเวลาในการผลิต รวมถึงได้จำนวนผลผลิตที่มากกว่าเป็น 5-6 เท่า โดยสามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างแรงงานคนกับเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น และหาระยะเวลาในการคืนทุนได้ดังนี้ ในที่นี้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์การบรรจุน้ำตาลแว่น

4.2.1 การเปรียบเทียบรายรับและรายจ่ายระหว่างแรงงานคนกับเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

1) รายได้ต่อปี (บาท)

แรงงานคนสามารถผลิตได้ 6,966 กิโลกรัมต่อเดือน ราคา 27 บาทต่อกิโลกรัม

6,966 × 27 = 188,082 บาทต่อเดือน

188,082 × 12 = 2,256,984 บาทต่อปี

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นสามารถผลิตได้ 41,166 กิโลกรัมต่อเดือน ราคา 27 บาทต่อกิโลกรัม

41,166 × 27 = 1,111,482 บาทต่อเดือน

1,111,482 × 12 = 13,337,784 บาทต่อปี

2) ค่าจ้างแรงงานต่อปี อุปกรณ์ต่างๆ (บาท)

แรงงานคน

6,966 × 4 = 27,864 บาทต่อเดือน

27,864 × 12 = 334,368 บาทต่อปี

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

41,166 × 1 = 41,166 บาทต่อเดือน

41,166 ×12 = 493,992 บาทต่อปี

3) ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)

แรงงานคน = 0 บาทต่อปี

ไม่มีค่าใช้จ่ายไฟฟ้าใดๆ

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

ตารางที่ 4.4 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย [16]

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

ตารางที่ 4.4 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (ต่อ) [16]

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	หน่วยที่	หน่วยละ (บาท)
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

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ใช้มอเตอร์ 2 ตัว ตัวที่ 1 มอเตอร์ 1 แรงม้า เท่ากับกำลังไฟฟ้า 746 วัตต์ ตัวที่ 2 ใช้กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์

ดังนั้น หากำลังของมอเตอร์

$$P = 746 + 100$$
$$= 846 \text{ วัตต์}$$

การหาค่าจำนวนหน่วย โดยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ใช้เวลาทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน

หมายเหตุ 1 หน่วยของมิเตอร์ไฟฟ้าจะเท่ากับ 333.33 วัตต์

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

$$= \frac{846 \times 1}{333.3} \times 6$$

$$= 15.29 \text{ หน่วยต่อวัน}$$

$$\text{ในการทำงาน 1 เดือน} = 15.29 \times 25$$
$$= 382.25 \text{ หน่วยต่อเดือน}$$

ค่าไฟฟ้าต่อเดือนจะเท่ากับ

$382.25 \times 1.682 = 552.12$ บาท

บวกค่าภาษีมูลค่าเพิ่มอีก 7 เปอร์เซ็นต์

$552.12 \times 1.07 = 590.77$ บาทต่อเดือน

$= 7{,}089.24$ บาทต่อปี

4) ราคาเครื่อง (บาท)

แรงงานคน

ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ = 0 บาท

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

ราคาเครื่องทั้งหมด = 150,000 บาท

5) ค่าวัตถุดิบน้ำตาลแว่น ต่อปี (บาท)

แรงงานคน

6,966 × 23 = 160,218 บาทต่อเดือน

160,218 × 12 = 1,922,616 บาทต่อปี

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

41,166 × 23 = 946,818 บาทต่อเดือน

946,818× 12 = 11,361,816 บาทต่อปี

6) ค่าซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)

แรงงานคน

ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ = 0 บาทต่อปี

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

150,000 ÷ 5 = 30,000 บาทต่อปี

7) มูลค่าซากปีที่ 5 (บาท)

แรงงานคน

ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ = 0 บาทต่อปี

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

คิดค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรต่อเดือนจาก 5 เปอร์เซ็นต์ ของราคาเครื่องจักร

150,000 × 0.05 = 7,500 บาทต่อเดือน

7,500 × 12 = 90,000 บาทต่อปี

8) ค่าโสหุ้ยต่างๆ

แรงงานคน

10,000 × 12 = 35,000 บาทต่อปี

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

15,000 × 12 = 50,000 บาทต่อปี

ตารางที่ 4.5 รายรับรายจ่ายการบรรจุน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคน และเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นต่อปี

ที่	รายการ	แรงงานคน	เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น
1	รายได้ต่อปี (บาท)	2,256,984	13,337,784
2	ค่าจ้างแรงงานต่อปี (บาท)	334,368	493,992
3	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	-	7,089.24
4	ราคาเครื่อง (บาท)	-	200,000
5	ค่าวัตถุดิบน้ำตาลแว่นกวนต่อปี	1,922,616	11,361,816
6	ค่าซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)	-	30,000
7	มูลค่าซากปีที่ 5 (บาท)	-	90,000
8	ค่าโสหุ้ยต่อปี (บาท)	35,000	50,000

จากตารางที่ 4.5 นำข้อมูลมาคิดระยะเวลาคืนทุนของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ภายในระยะเวลา 5 ปี โดยที่รายจ่ายสุทธิต่อปี

ปีที่ 1 ต้องเอารายการ 2 + 3 + 5 + 6 + 8 ในตารางที่ 4.5 + ราคาเครื่องมาเป็นรายจ่าย

ปีที่ 5 ต้องเอามูลค่าซากบวกกลับเข้าไป เพราะขายเครื่องจักรได้รายได้กลับเข้ามา แต่คิดลดจะเหลือน้อยกว่า 90,000 ระหว่างปีที่ 2 - 4 รวมเฉพาะ รายการ 2+3+5+6+8 ในตารางที่ที่ 5 เท่านั้น

สามารถแสดงรายละเอียดได้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การคำนวณรายได้-รายจ่ายของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

ปี	1	2	3	4	5
รายได้สุทธิต่อปี	13,337,784	13,337,784	13,337,784	13,337,784	13,427,784
รายจ่ายสุทธิต่อปี	12,142,897.2	11,942,897.2	11,942,897.2	11,942,897.2	11,942,897.2
กระแสเงินสดต่อปี	1,194,886.8	1,394,886.8	1,394,886.8	1,394,886.8	1,484,887

เมื่อได้คำนวณรายได้-รายจ่ายของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น นำมาคำนวณการไหลของค่าใช้จ่ายของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การไหลของค่าใช้จ่ายของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

ปี	กระแสเงินสดสุทธิ	rate 12%	กระแสเงินสดที่คิดลด 12%
1	1,194,886.8	0.8929	1,066,914.39
2	1,394,886.8	0.7972	1,112,003.73
3	1,394,886.8	0.7118	992,880.40
4	1,394,886.8	0.6355	886,450.54
5	1,484,886.8	0.5674	842,524.75

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุนเฉพาะเครื่องจักร} = \frac{\text{ราคาเครื่อง}}{\text{กระแสเงินสดที่คิดลด}}$$

$$= \frac{150{,}000}{1{,}066{,}914.39}$$

$$= 0.14059$$

$$\text{ดังนั้น ระยะเวลาในการคืนทุน} = 0.14059 \times 356$$

$$= 50.050 \text{ วัน}$$

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นจะอยู่ที่ประมาณ 50 วันทำงาน

4.3 ผลการศึกษาลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด

จากการศึกษาลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลโตนดที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด

ลักษณะคุณภาพ	เครื่องหยอด	คนหยอด
ความชื้น (% Wet Basis)	3.48 ± 0.08	4.87 ± 0.05
Water Activity (aw) at 25 °C	0.6924 ± 0.02	0.6953 ± 0.04
Total Soluble Solid (% brix)	72.4 ± 0.3	70.8 ± 0.4
pH	4.97 ± 0.02	4.88 ± 0.02
ค่าสี Hue/Value/Chroma	5YR 3/2	5YR 3/2

จากตารางที่ 4.8 ผลการศึกษาลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ความชื้น น้ำตาลแว่นที่ใช้คนหยอดมีความชื้น 4.87% มากกว่าน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอด ซึ่งมีความชื้น 3.48% อาจมีสาเหตุมาจากการหยอดด้วยคนช่วงของการตกผนึกมีการระเหยของน้ำสู่บรรยากาศได้มากกว่า แต่ทั้งสองวิธีมีความชื้นต่ำกว่า 5% ทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำตาลเป็น Hygroscopic ซึ่งสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศได้อย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันความชื้นได้ดี การทดสอบค่าความชื้นของน้ำตาลแว่นแสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 การทดสอบค่าความชื้นของน้ำตาลแว่น

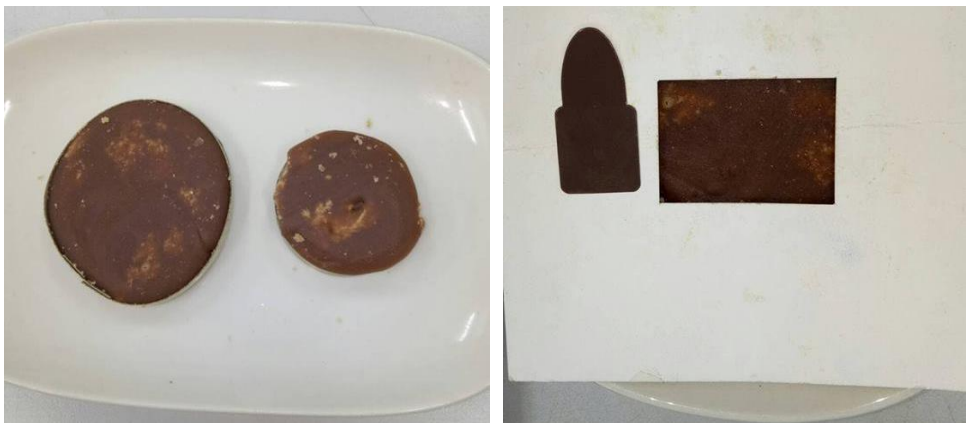
Water Activity (aw) ค่า aw ทุกการหยอดทั้งสองวิธีพบว่ามีค่า aw ที่ใกล้เคียงกัน คือ 0.6924 และ 0.6953 ตามลำดับ ค่า aw อยู่ในระดับปานกลาง มีโอกาสที่น้ำตาลเสื่อมเสียได้ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ Non Enzymatic Browning และปฏิกิริยาทางเคมี Hydrolysis นอกจากนี้การเสื่อมเสียจะเกิดขึ้นได้ในระดับต่ำอันเนื่องมาจากการเจริญของยีสต์และรา เนื่องจากการเจริญของยีสต์และราจะเริ่มเมื่อมีค่า aw ประมาณ 0.7 การเก็บรักษาน้ำตาลที่ไม่ดีหรือบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสมมีโอกาสทำให้น้ำตาลดูดน้ำหรือความชื้น ทำให้ค่า aw สูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเสื่อมเสียเร็วขึ้น การทดสอบค่า Water Activity (aw) ของน้ำตาลแว่นแสดงดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 การทดสอบค่า Water Activity (aw) ของน้ำตาลแว่น

Total Soluble Solid (% brix) ปริมาณ TSS ของน้ำตาลโตนด อาจรวมถึงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีคิงซิงค์ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส พบว่า น้ำตาลน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดมีปริมาณ TSS สูงกว่าน้ำตาลแว่นที่ใช้คนหยอดเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น ถ้าความชื้นน้อยปริมาณ TSS จะสูง การทดสอบค่า Water Activity (aw) ของน้ำตาลแว่น แสดงดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 การทดสอบค่า Total Soluble Solid (% brix) ของน้ำตาลแว่น

ค่า pH ของน้ำตาลแว่นทั้งสองตัวอย่างมีค่า pH ที่ใกล้เคียงกัน ค่อนข้างมีสภาพเป็นกรดอ่อน การทดสอบค่า pH ของน้ำตาลแว่น แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การทดสอบค่า pH ของน้ำตาลแว่น

ค่าสี มีค่า Hue อยู่ในช่วง 5YR โทนสีเหลืองแดงเล็กน้อย ค่า Value มีค่า 3 ซึ่งมีความทึบแสงเล็กน้อย ค่า Chroma มีค่า 2 มีความเข้มของสีค่อนข้างอ่อน การทดสอบสีของน้ำตาลแว่น แสดงดังรูปที่ 4.7

หมายเหตุ ค่า Hue บ่งบอกโทนสี
ค่า Value บ่งบอกความสว่าง 1 = Black, 10 = White
ค่า Chroma บ่งบอกความเข้มของสี 1 = เข้มน้อย, 10 = เข้มมาก

รูปที่ 4.7 การทดสอบสีของน้ำตาลแว่น

การประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อการทดสอบความเหมือนเปรียบเทียบน้ำตาลแว่นที่ได้จากการหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคนกับด้วยเครื่องจักร สามารถสรุปค่าเฉลี่ยของประชากรที่ทำแบบสอบถามรวมจำนวน 50 คน ณ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมือนของน้ำตาลแว่น โดยมีผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.9

เกณฑ์การประเมิน: 5=เหมือนมากที่สุด 4=เหมือนมาก 3=เหมือนปานกลาง
2=ไม่เหมือน 1=ไม่เหมือนอย่างมาก

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อการทดสอบความเหมือนเปรียบเทียบน้ำตาลแว่นที่ได้จากการหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคนกับด้วยเครื่องจักร

หัวข้อประเมิน	**ค่าเฉลี่ย**	**ลำดับ**
1. ลักษณะปรากฏ (Appearance)	4.56	3
2. กลิ่น (Odor / Aroma)	4.45	4
3. เนื้อสัมผัส (Texture)	4.84	1
4. กลิ่นรส (Flavour)	4.67	2
ค่าเฉลี่ย	**4.63**	

จากตารางที่ 4.9 สามารถสรุปได้ว่า ลำดับที่ 1 เนื้อสัมผัส (Texture) ด้วยค่าเฉลี่ย 4.84 ลำดับที่ 2 กลิ่นรส (Flavour) ด้วยค่าเฉลี่ย 4.67 ลำดับที่ 3 ลักษณะปรากฏ (Appearance) ด้วยค่าเฉลี่ย 4.56 และลำดับที่ 4 กลิ่น (Odor / Aroma) ด้วยค่าเฉลี่ย 4.45 โดยมีค่าเฉลี่ยผลการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อการทดสอบความเหมือนเปรียบเทียบน้ำตาลแว่นที่ได้จากการหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคนกับด้วยเครื่องจักร 4.63

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดดังกล่าวมาข้างต้นแล้ว สามารถสรุปผลการสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองหยอดน้ำตาลแว่นด้วยเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัตินั้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 จากการทดลองการหยอดน้ำตาลแว่น เปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น สรุปได้ว่าเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ทำได้เร็วกว่าการใช้แรงงานคนโดยผลการทดลองเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นจะมีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นได้ 274.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยคิดเป็น 5.91 เท่า ของแรงงานคน ที่มีความสามารถในการหยอดน้ำตาลแว่นได้เพียง 46.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เท่านั้น เพราะเมื่อแรงงานคนปฏิบัติงานเป็นระยะเวลาหนึ่งผู้ปฏิบัติงานจะมีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น ในขณะที่เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ความสามารถในการหยอดระหว่างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นกับแรงงานคน

5.1.2 เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์สินค้าได้รวดเร็วและต่อเนื่อง

5.1.3 ลดความเมื่อยล้าและความเครียดจากการปฏิบัติงานที่ต้องใช้ทักษะความชำนาญสูง

5.1.4 เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นมีวิธีการทำงานที่สะดวกและง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษา

5.1.5 จากการวิเคราะห์ลักษณะลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ ของน้ำตาลแว่นที่ใช้เครื่องหยอดกับใช้คนหยอด พบว่า น้ำตาลแว่นที่ได้มีผลที่ใกล้เคียงกัน ทั้งการวิเคราะห์ค่าความชื้น, Water Activity (aw), Total Soluble Solid (% brix), ค่า pH และค่าสี

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการได้รับคำแนะนำจากผู้ผลิตน้ำตาลแว่น จากการลงชุมชนของผู้ผลิตน้ำตาลแว่น อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา และบุคคลภายนอก พบว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1) ควรลดระยะเวลาในการต้มน้ำ เพื่อให้ความร้อนในชุดถังกวนน้ำตาลเหลว เพื่อช่วยให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น

2) ควรลดปริมาณน้ำตาลเหลวในการหยอดที่ออกมาไม่ตรงถาดพิมพ์ให้มากที่สุด

3) ควรออกแบบถังกวนน้ำตาลเหลวให้มีขนาดความจุได้มากกว่านี้ เพื่อประหยัดระยะเวลาในการตักน้ำตาลเหลว และช่วยทำให้สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

[1] ธิราวุฒิ ศรีศุภโชค ฉลองรัฐ หมื่นภักดี และเอกชัย ช่วยปานพะเนา. (2552). **วิถีตาลโตนดกับชุมชนสทิงพระยุคก่อนและหลังเกิดโรงงาน**. โครงการยุววิจัยประวัติศาสตร์ท้องถิ่น. สัญญาเลขที่ YSL – S12. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

[2] ปาตีเมาะ มีฮะ. **การทำน้ำตาลแว่น**. เข้าถึงได้จาก http://m-http://m-culture.in.th/moc_new/album/138873 เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556

[3] นธิพงศ์ สุขดี, สุวิวัต เพ็งสลุง, อัมรินทร์ ศรีใสย์, อนุสรณ์ ชะเอม และชื่นกมล บุญมี. (2553). **เครื่องหยอดขนมทองหยอดอัตโนมัติ.** สิ่งประดิษฐ์ของคนรุ่นใหม่. เพื่อการประกอบอาชีพ. วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี.

[4] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2554). **เครื่องม้วนขนมทองม้วน.** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย คลองหลวง ปทุมธานี.

[5] ประโชติ ดำสองสี และวนิดา รัตนมณี. (2554). **เครื่องช่วยผลิตน้ำตาลแว่น** : คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[6] วิชาญ คงธรรม. (2554). **การผลิตและการแปรรูปน้ำตาลโตนดของ** : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[7] อนันต์ วงศ์กระจ่าง. (2533). **ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์.

[8] **มอเตอร์เหนี่ยวนำ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://eng.sut.ac.th/me/meold/3_2551/435330/sut.ppt. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 มกราคม 2557).

[9] อำพล ซื่อตรง. (2536). **ชิ้นส่วนเครื่องกล.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมทางวิชาการ.

[10] นพรัตน์ มโนรา. (2553) **ชนิดของเฟือง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://nopparat.fve.ac.th/index.php?name=knowledge&file=readknowledge&id=17. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 มกราคม 2557).

[11] **ความรู้เรื่องสแตนเลส.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaitopdog.com/Siam%20Stainless/BestMsg.htm. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 มกราคม 2557).

[12] ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. (2539). **เทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุและอุปกรณ์ขนถ่าย.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[13] **ระบบลำเลียงแบบสายพาน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.research-system.siam.edu/images/coop/MAINTENANCE_OF_RUBBER_BELT_CONVEYOR_SYSTEM/2.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล : 6 มิถุนายน 2561).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[14] **โครงสร้างสายพานลำเลียงแบบชนิดผ้าใบ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2014/10/iutt12. (วันที่ค้นข้อมูล : 6 มิถุนายน 2561).

[15] **ไฟฟ้าเบื้องต้น.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek9.htm. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 พฤษภาคม 2557).

[16] **อัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.** (2557). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 พฤษภาคม 2557).

[17] **อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร.** (2553). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaieditorial.com/tag. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 มิถุนายน 2557).

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นและแรงงานคน

ตารางที่ ก.1 น้ำตาลเหลวที่ได้จากการทดลองของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

รูปผลการทดลองหยอดน้ำตาลแว่น	
ลักษณะการหยอดน้ำตาลแว่น	**ลักษณะของน้ำตาลแว่น**
แรงงานคน	
เครื่องหยอดน้ำตาลแว่น	

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้และการบำรุงรักษาเบื้องต้นของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ

วิธีการใช้เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ

เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ สร้างขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการหยอดน้ำตาลแว่นให้เป็นแว่นออกมา เพื่อลดเวลาในการทำงานและลดแรงงานคนในการปฏิบัติ ซึ่งมีรายละเอียดของเครื่องดังนี้

1. ส่วนประกอบหลักของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น
2. ข้อกำหนดของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น
3. วิธีการใช้และการทำงาน
4. ข้อควรระวัง
5. การบำรุงรักษา

1. ส่วนประกอบหลักของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

1.1 ชุดโครงสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น
1.2 ชุดสายพานลำเลี้ยงถาดพิมพ์
1.3 ชุดถังกวนน้ำตาลเหลว
1.3 ตู้ควบคุมเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น
1.4 การ์ดฝาครอบป้องกันอันตราย

2. ข้อกำหนดของเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น

2.1 ชุดโครงสร้างเครื่องหยอดน้ำตาลแว่น ได้ออกแบบ 495 × 2,023 × 1,328 มิลลิเมตร โดยมีด้านความยาวของชุดสายพานลำเลี้ยงและชุดถังกวนน้ำตาลเหลว

2.2 ชุดสายพานลำเลี้ยงถาดพิมพ์ ได้ออกแบบให้มีความเร็วของสายพายลำเลี้ยงถาดพิมพ์ด้วยอัตราความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที

2.3 ชุดถังกวนน้ำตาลเหลว ได้ออกแบบตัวถังที่บรรจุน้ำตาลเหลวไว้ให้มีขนาด 420 × 405 × 280 มิลลิเมตร โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สวนของชุดถังกวนน้ำตาลเหลว และชุดของถังให้ความร้อน

3. วิธีการใช้และการทำงาน

3.1 ทดสอบความเรียบร้อยของเครื่องให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน เช่น

1) สังเกตความตึงของสายพาน ควรจะมีลักษณะที่พอดี

2) ตรวจสอบดูว่าชุดกวนน้ำตาลเหลวพร้อมทำงานหรือไม่ เช่น มีเศษตกค้างอยู่หรือมีวัสดุอื่นมาอยู่

3.2 เสียบปลั๊กทิ้งไว้ ทำการเติมน้ำลงในชุดของถังให้ความร้อนที่อยู่ติดกับถังกวนน้ำตาลเหลว เปิดสวิตช์ชุดควบคุมความร้อน และปรับตั้งอุณหภูมิให้ได้ 100 องศาเซลเซียส

3.3 เตรียมแว่นใส่น้ำตาล ที่ได้ทำไว้เสร็จเรียบร้อยแล้ว ใส่ลงในถาดพิมพ์

3.4 นำน้ำตาลเหลวที่ทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว ที่เตรียมไว้ก่อน เทลงในถังกวนน้ำตาลเหลว

3.4 เปิดสวิตช์ชุดลำเลียงถาดพิมพ์ และเริ่มทำการหยอดน้ำตาลเหลวลงสู่ถาดพิมพ์ โดยทำการเคลื่อนถาดแม่พิมพ์ โดยเมื่อถึงตำแหน่งในการหยอดจะสั่งการให้ถาดพิมพ์หยุดด้วยระบบเซ็นเซอร์ และเมื่อหยอดเสร็จจะเคลื่อนที่ไปจนสุดสายพานลำเลียง แล้วจะมีปากรองรับ หล่นลงมา

4. ข้อควรระวัง

4.1 ในการปฏิบัติงานควรแต่งกายและสวมใส่ถุงมือให้ถูกลักษณะ รักษาความสะอาด

4.2 อย่ายื่นมือลงไปในถังกวนน้ำตาลเหลว ควรใช้จักรวักหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่เหมาะสมในการใช้ระหว่างเครื่องกำลังทำงาน

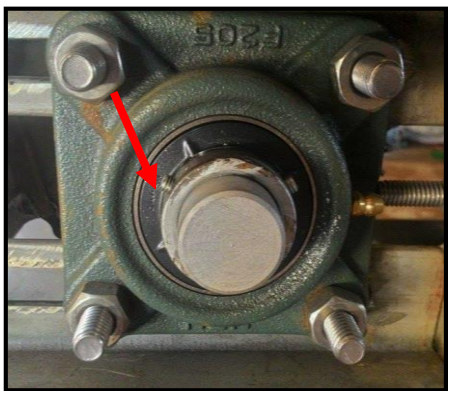
4.3 ถ้าเกิดผิดปกติในขณะทำงาน ให้หมุนปุ่มสวิตช์ไปทาง OFF เพื่อหยุดการทำงานของเครื่องทันที

5. การบำรุงรักษา

5.1 ตรวจเช็คความตึง หย่อนของสายพาน ให้มีความพอดีไม่ตึงและหย่อนจนเกินไป

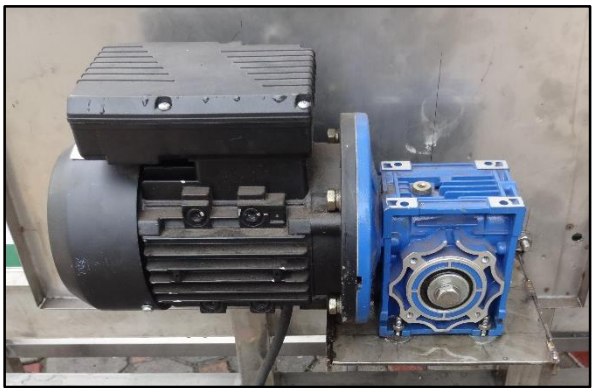
รูปที่ ข.1 ลักษณะความตึงที่เหมาะสมของสายพาน

5.2 ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น แบริ่ง เฟือง ฯลฯ



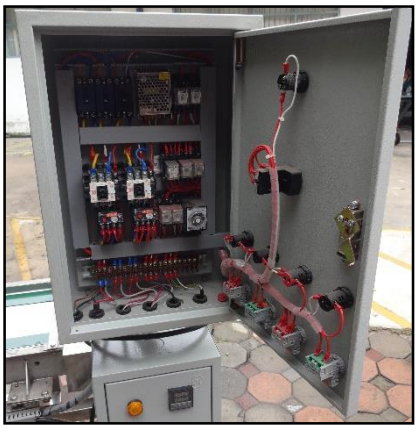
รูปที่ ข.2 ลักษณะจุดหล่อลื่นของแบริ่ง

5.3 เช็คการทำงานของมอเตอร์และเกียร์ทดว่าอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานหรือไม่



รูปที่ ข.3 ลักษณะของมอเตอร์

5.4 เช็คระบบไฟฟ้าว่ามีการชำรุดหรือไม่ เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน



รูปที่ ข.4 ลักษณะของระบบไฟ

ภาคผนวก ค
แบบสอบถามเพื่อใช้ในการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถามเพื่อใช้ในการประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องหยอดน้ำตาลแว่นระบบอัตโนมัติ
Development of Machine Palmyra Palm Sugar Automatic System

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรพงค์ บุญช่วยแทน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชไมพร เพ็งศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี หอมเขียว
อาจารย์พิทักษ์ สถิตวรรธนะ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

<u>คำชี้แจง</u>

นิยาม

1. การทดสอบความเหมือน เป็นการทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบน้ำตาลแว่นที่ได้จากการหยอดน้ำตาลแว่นด้วยแรงงานคนกับด้วยเครื่องจักร
2. วิธีการตอบแบบสอบถามให้ทำเครื่องหมาย ✓ลงใน ☐ ที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุดหรือเติมข้อความในช่องว่างที่กำหนด
3. ข้อความหรือข้อมูลที่กรอกในแบบสอบถามนี้จะถือเป็นความลับ

เกณฑ์การประเมิน: 5=เหมือนมากที่สุด 4=เหมือนมาก 3=เหมือนปานกลาง 2=ไม่เหมือน 1=ไม่เหมือนอย่างมาก

ส่วนที่ 1 แบบการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร

หัวข้อประเมิน	**ระดับความเหมือน**				
	5	**4**	**3**	**2**	**1**
1. ลักษณะปรากฏ (Appearance)					
2. กลิ่น (Odor / Aroma)					
3. เนื้อสัมผัส (Texture)					
4. กลิ่นรส (Flavour)					

ส่วนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่กรุณาตอบแบบสอบถาม

คณะผู้วิจัย