สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ชุดอุปกรณ์ห่อขนมคุ้ยช่าย

# Khanom Kuichai Packing Equipment

โดย

นาย วรพงษ์ เหล่าจารุพงศ์

นาย ธีระชัย ซุ่นสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย

ผู้จัดทำ

1. นาย วรพงษ์ เหล่าจารุพงศ์
2. นาย ธีระชัย ชุ่นสกุล

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา )

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ สัญลักษณ์ กิ่งทอง )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย

วรพงษ์ เหล่าจารุพงศ์
ธีระชัย ชุ่นสกุล
กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา
สัญลักษณ์ กิ่งทอง อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อสร้างและศึกษาชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการทำและประหยัดแรงงานในการผลิตขนมกุ๊ยช่าย โดยชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่ายแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนการป้อน ส่วนของการบดและส่วนใส่ไส้ โดยส่วนแรกส่วนการป้อนจะใช้ตัวบดที่มีทางออกของแป้งกว้าง 1 เซนติเมตร ส่วนที่สองเป็นส่วนการบดประกอบด้วยตัวบด 2 ตัว โดยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งตัวบดที่ 1 และ 2 เป็น 1 เซนติเมตร และ 0.3 เซนติเมตร ตามลำดับ และสามารถปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งได้ ส่วนที่สาม ส่วนใส่ไส้ประกอบด้วย ตัวใส่ไส้ สายพานลำเลียง และตัวตัด อุปกรณ์จำเป็นต้องมีการทาน้ำมันพืชด้วยทุกครั้งที่ทำการใช้เครื่องเพื่อป้องกัน การติดของแป้งกับอุปกรณ์

การศึกษาชุดอุปกรณ์จะทำการทดลองเพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสม และ หาค่าอัตราส่วนความสามารถระหว่างการผลิตด้วยชุดอุปกรณ์กับการผลิตด้วยแรงงานคน จากการทดลองพบว่าความเร็วรอบที่เหมาะสม คือ 1123 รอบต่อนาที โดยมีอัตราการผลิตโดยเฉลี่ย 8 ชิ้น/นาที และอัตราส่วนความสามารถระหว่างการผลิตด้วยเครื่องและด้วยแรงงานคนเท่ากับ 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Khanom Kuichai Packing Equipment

Worapong Lyojalupong
Teerachai Sunsakul
Kankanit Tanasiriwatana Adviser
Sanluck Kingthong Adviser

Abstract

The objective of this project was to produce and studies Khanom Kuichai packing equipment. To decreased working time and decreased labour cost. In this equipment consisted of three section. In first section was feed unit that the width of exit die was 1 centrimeter. Second section was kneader unit. This unit consisted of two kneaders which had the clearance 1 centrimeter and 0.3 centrimeter respectively. And the last section was filler unit that consisted of hopper , belt conveyer and cutter. This equipment was need to be oily surface to prevent sticky between flour sheet and equipment.

In experiment, to find the optimum speed and ratio of equipment and labour performance. The result indicated that the optimum speed was 1123 rev/min. At this speed,the average production rate was 8 pieces/min and performance ratio was 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | ก |
| สารบัญรูปภาพ | ค |
| สารบัญตาราง | ข |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 บทนา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | |
| 2.1 ขนมกุ๊ยช่าย | 3 |
| 2.1.1 ขั้นตอนการทำขนมกุ๊ยช่าย | 4 |
| 2.1.2 คุณสมบัติของแป้ง | 5 |
| 2.2 การสร้างชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย | |
| 2.2.1 โลหะ | 7 |
| 2.2.2 เฟือง | 9 |
| 2.2.3 โรลลิ่งเบริ่ง | 19 |
| 2.2.4 ชิ้นส่วนต่อเชื่อม | 27 |
| บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย | |
| 3.1 หลักการทำงาน | 38 |
| 3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย | 38 |
| 3.3 การคำนวณการประกอบชุดอุปกรณ์ | 40 |
| บทที่ 4 การทดสอบชุดอุปกรณ์ | |
| 4.1 วิธีการทดลอง | 47 |
| 4.2 ผลการทดลอง | 50 |
| 4.3 บทวิจารณ์ผลการทดลอง | 51 |
| บทที่ 5 การคำนวณชุดทุ่มทุนทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม | |
| 5.1 ต้นทุนในการสร้าง | 53 |
| 5.2 การคำนวณชุดทุ่มทุน | 54 |
| บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ | |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 6.1 สรุป | 55 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ | 55 |
| เอกสารอ้างอิง | 56 |
| ภาคผนวก | 57 |
| กิตติกรรมประกาศ | 58 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 รูปร่างทั่วไปของเฟืองดอกจอก | 10 |
| 2.2 เฟืองดอกจอกขบกัน | 11 |
| 2.3 การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง | 13 |
| 2.4 การทำงานของเฟืองที่ขบกัน | 16 |
| 2.5 ส่วนต่างๆของบอลแบริ่ง | 20 |
| 2.6 บอลแบริ่งชนิดต่างๆ | 22 |
| 2.7 โรลเลอร์แบริ่งชนิดต่างๆ | 24 |
| 2.8 แสดงการขับเพลาหลายเพลาโดยการใช้โซ่เพียงหนึ่งเส้น | 32 |
| 2.9 โซ่โรลเลอร์ | 32 |
| 2.10 โซ่โรลเลอร์สองชั้นและสามชั้น | 33 |
| 2.11 ข้อต่อสำหรับโซ่โรลเลอร์ | 33 |
| 2.12 โซ่บูช | 34 |
| 2.13 โซ่ฟัน | 35 |
| 2.14 โซ่ชนิดอื่นๆ | 36 |
| 2.15 เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูช | 36 |
| 2.16 การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ขณะส่งกำลัง | 37 |
| 2.17 เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟัน | 37 |
| 3.1 ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย | 41 |
| 3.2 เครื่องปั่นและตัวกลับทิศ | 41 |
| 3.3 ชุดตัวบดสองชุด | 42 |
| 3.4 สายพาน , ส่วนทำการใส่ไส้ และส่วนการตัด | 42 |
| 3.5 ส่วนกลับทิศและมอเตอร์ | 43 |
| 3.6 แสดงขนาดของชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย | 44 |
| 3.7 แสดงขนาดของตัวบด | 45 |
| 3.8 แสดงขนาดส่วนสายพาน , ส่วนใส่ไส้ และส่วนการตัด | 46 |
| 4.1 แสดงการผ่านของแผ่นแป้งผ่านออกจากตัวบดทั้งสองชุด | 47 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.2 | แสดงการผ่านของแผ่นแป้งไปยังส่วนใส่ไส้โดยสายพาน | 48 |
| 4.3 | แสดงแผ่นแป้งเมื่อผ่านตัวพับ | 48 |
| 4.4 | การตัดแผ่นแป้งด้วยตัวตัดเมื่อแผ่นแป้งผ่านการพับ | 49 |
| 4.5 | รูปร่างของขนมกุ๊ยช่ายที่ได้จากการทำด้วยชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย | 49 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 คุณลักษณะที่ต้องการของแป้งมันสำปะหลัง | 5 |
| 2.2 คุณสมบัติอื่นๆของแป้งข้าวเจ้า | 6 |
| 4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบลักษณะความห่างและรูปร่างของขนมกุ๊ยช่ายที่ผ่านตัวตัด ที่ความเร็วรอบต่างๆ | 50 |
| 4.2 อัตราการผลิตขนมกุ๊ยช่ายที่ความเร็วรอบ 1123.2 รอบต่อวินาที | 50 |
| 5.1 ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการประกอบชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่าย | 53 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัตถุดิบ เช่นผัก และผลไม้ มากมาย ได้มีการนำมาบริโภคทั้งที่เป็นผักสด และในรูปของอาหารซึ่งเกิดจากการแปรรูปของผักและผลไม้นั้นๆ และยังได้มีการส่งออกไปขายยังต่างประเทศเป็นปริมาณมาก

อาหารที่เกิดจากการแปรรูปของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น ขนมกุ๋ยช่าย ที่จะกล่าวถึงดังต่อไป รวมทั้งอาหารจำพวกขนมปังซึ่งได้จากการซึ่งได้จากการแปรรูปจากแป้งที่ทำจากข้าว หรือเครื่องเทศชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการถนอมอาหาร เป็นต้น

ขนมกุ๋ยช่ายได้มาจากการแปรรูปแป้งข้าวเจ้า นำมาทำให้มีลักษณะเป็นรูปกลม และมีการใส่ไส้ด้วยผักชนิดต่างๆ เช่น ผักกุ๋ยช่าย มันแกว หน่อไม้ และอื่นๆ ซึ่งอาหารชนิดนี้เป็นอาหารว่าง ที่คนไทยรับประทานมาเป็นเวลานาน วิธีการทำโดยจะนำแป้งมานวดให้เป็นลูกกลมๆ แล้วทำให้มีลักษณะแบน เพื่อที่จะนำมาใส่ไส้ด้วยผักชนิดต่างๆ หลังจากใส่ไส้แล้ว จะมาห่อและทำจีบเพื่อให้ไส้ที่อยู่ด้านในไม่หลุดออกมา เมื่อทำไส้เสร็จนำมานึ่งและ พร้อมที่จะรับประทานได้ต่อไป แต่ด้วยเหตุผลที่ในการทำขนมชนิดนี้จะต้องใช้แรงงานมาช่วยในการทำโดยจะแปรผันกับจำนวนคนงาน คือ เมื่อมีการทำเป็นจำนวนมาก ก็จะต้องใช้แรงงานมาทำมากขึ้น ด้วยเหตุผลนี้จึงได้มีการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่ายขึ้น เพื่อที่จะช่วยในด้านแรงงานและจะลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานลงได้ ทั้งนี้ยังรวมถึงการผ่อนคลายความล้าอันเนื่องมาจากการทำในเวลานานลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. สร้างชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย
2. ศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการผลิตขนมกุ๋ยช่ายจากความเร็วรอบ 5 ระดับ คือ 842 , 983 , 1123 , 1264 , 1404 รอบต่อนาที
3. ศึกษาความสามารถของชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน
4. ศึกษาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นการประหยัดแรงงานคนที่ใช้ในการทำขนมกุ๋ยช่าย
2. เพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วในการทำขนมกุ๋ยช่าย
3. ลดค่าใช้จ่างแรงงานคน โดยการนำเครื่องจักรเข้ามาแทนที่ และช่วยให้คนงานสามารถที่จะไปประกอบ กิจการอื่นซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้
4. เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบในการศึกษาและพัฒนา เครื่องห่อขนมกุ๋ยช่าย ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎี

## 2.1 ขนมกุ๋ยช่าย

### 2.1.1 ขั้นตอนการทำขนมกุ๋ยช่าย

ขนมกุ๋ยช่าย เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนประกอบของ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และส่วนประกอบต่างๆที่เป็นไส้ เช่น ผักกุ๋ยช่าย หรือจะเป็นหน่อไม้ เผือก หรือ ไส้ต่างๆ ในการทำขั้นแรกจะได้มีการนำแป้งทั้งสองชนิดคือ แป้งข้าวเจ้า และ แป้งมันสำปะหลัง มานวดด้วยกัน ซึ่งในตอนแรก จะนำแป้งข้าวเจ้าซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักมากวนจนแห้งพอดี แล้วจึงนำมานวดกับแป้งมันสำปะหลัง ที่ได้เตรียมไว้ นำแป้งมาปั้นเป็นลูกกลม เพื่อจะสะดวกต่อการนำไปกดให้แบนต่อไป เมื่อเสร็จจากขั้นตอนนี้ จะได้มีการใส่ไส้ชนิดต่างที่ได้เตรียมไว้ เช่น ผักกุ๋ยช่ายที่ได้นำไปคลุกเคล้ากับส่วนผสมชนิดต่างๆ หรือจะเป็น หน่อไม้ หรือ มันแกว ที่ได้มีการนำไปผัด พร้อมกับส่วนประกอบอื่นๆไว้แล้ว มาใส่ลงบนแป้ง ซึ่งก่อนที่แป้งพร้อมจะใส่ไส้นั้น จะต้องนำมากดให้แบนลงก่อน โดยมีความหนาประมาณ 2-4 มิลลิเมตร แล้วจึงพร้อมที่จะใส่ไส้ลงไปเมื่อใส่ไส้เสร็จแล้วหลังจากนั้น ก็จะทำการห่อแป้งให้เรียบร้อย โดยการทำจีบ เมื่อเสร็จจากขั้นตอนนี้ก็พร้อมที่จะนำไปนึ่งรับประทานได้

ข้อควรระวัง ในการกดลูกแป้งจากลักษณะกลม ให้แบนลงนั้น จำเป็นจะต้องมีแป้งมันหรือ น้ำมันทาหรือคลุกไว้อยู่ภายนอกของลูกแป้ง เพื่อในการกดจะไม่ทำให้แผ่นแป้งที่กดแล้วติดอยู่บนอุปกรณ์ที่ใช้ในการกด ในการที่เราจะเลือกใช้แป้งมันหรือน้ำมันมาใช้นั้น โดยทั่วไป แป้งมันและน้ำมัน จะมีหน้าที่ในการป้องกันการติดของแป้งบนภาชนะด้วยกันทั้งสองชนิด แต่ข้อดีและข้อเสียในการเลือกใช้แป้งมันหรือน้ำมันนั้น เมื่อเราใช้น้ำมันในการคลุกบริเวณภายนอกของลูกแป้งซึ่งส่วนใหญ่จะไม่มีปัญหาเพราะเนื่องจากน้ำมันนั้นเมื่อเวลากดลูกแป้งให้แบนลงนั้น น้ำมันจะกระจายตัวแผ่ไปตลอดลูกแป้งส่วนเมื่อได้มีการใช้แป้งมันมาทำหน้าที่ในการป้องกันการติดกันของแป้งกับภาชนะแล้ว ข้อเสียคือ เมื่อได้มีการคลุกแป้งมัน กับ ลูกแป้งแล้ว ทำการกดลูกแป้ง แป้งมันที่ได้คลุกอยู่ภายนอกจะไม่กระจายตัว และในการคลุกด้วยแป้งมันนั้น อาจจะมีบางบริเวณที่ไม่ได้มีการติดของแป้งมันที่คลุกไว้ เมื่อกดแป้ง แป้งตรงบริเวณนั้นจะติดกับอุปกรณ์ได้ แต่โดยทั่วไป ในการทำจะนิยมใช้ทั้งแป้งมันและน้ำมันในการทำเพื่อที่จะไม่ทำให้ เมื่อกดลูกแป้ง แป้งจะติดกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คุณสมบัติของแป้ง

แป้งทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทำขนมกุ๋ยช่ายนั้น มีแป้งมันสำปะหลัง และ แป้งข้าวเจ้าซึ่งแป้งทั้งสองชนิดมีลักษณะทางกายภาพดังนี้

2.1.2.1 แป้งมันสำปะหลัง [1]

แป้งมันสำปะหลัง (tapioca , cassava , manihot flour/starch) หมายถึง แป้งที่ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มานิฮอต ยูติลิสซิมา (Manihot utilissima) ลักษณะของแป้งเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic appearance) ประกอบด้วย เม็ดแป้งตั้งแต่ 2 ถึง 8 เม็ดมารวมกัน แต่ละเม็ดยาวตั้งแต่ 5 ถึง 35 ไมโครเมตร (0.005 ถึง 0.035 มิลลิเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 15 ไมโครเมตร เม็ดแป้งส่วนมากมีลักษณะเป็นรูปไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออก และผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านหนึ่งแบนไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋ม (Eccentric Hilum) อย่างชัดเจนและในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้งด้วย

คุณลักษณะโดยทั่วไปของแป้ง คือ แป้งมันสำปะหลังต้องเป็นผงละเอียด มีสีขาว หรือสีครีมอ่อน ไม่เกิดการหมัก ไม่เหม็นอับหรือมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ไม่มีแมลงและสารแปลกปลอมอื่นๆ ปะปน

แป้งมันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ

1.ชั้นคุณภาพ 1

2.ชั้นคุณภาพ 2

3.ชั้นคุณภาพ 3

โดยการแบ่งชั้นคุณภาพ 1,2 และ 3 จะแบ่งตามคุณลักษณะต่างๆ เช่น %ความชื้น , % ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของแป้ง , %ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของเถ้า , %ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของเถ้าที่ไม่ละลายในกรด , %ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของโปรตีน , ปริมาณเยื่อ , ความเป็นกรด-ด่าง และความละเอียดของแป้งซึ่งจะแบ่งได้ตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะที่ต้องการของแป้งมันสำปะหลัง

| คุณลักษณะ | ชั้นคุณภาพที่ 1 | ชั้นคุณภาพที่ 2 | ชั้นคุณภาพที่ 3 |
|---|---|---|---|
| % ความชื้น ไม่เกิน | 13 | 14 | 14 |
| % ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของแป้ง ไม่น้อยกว่า | 97.5 | 96 | 94 |
| % ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของเถ้า ไม่น้อยกว่า | 0.15 | 0.3 | 0.5 |
| % ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ไม่เกิน | 0.05 | 0.10 | 0.15 |
| % ของน้ำหนักเมื่ออบแห้งของโปรตีน ไม่เกิน | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| เยื่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อ น้ำหนักแป้ง 50 กรัมก่อนอบแห้งไม่เกิน | 0.2 | 0.5 | 1.0 |
| ความเป็นกรด-ด่าง (PH) | 4.5 ถึง 7 | 3.5 ถึง 7 | 3.0 ถึง 7 |
| ความละเอียด % แป้งที่ค้างบนตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่เกิน | 1 | 3 | 5 |

2.1.2.2 แป้งข้าวเจ้า[2]

แป้งข้าวเจ้า หมายถึง แป้งที่ได้จากข้าวขาว (ข้าวขาว หมายถึง ข้าวทั้งที่เป็นข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าว ข้าวหักใหญ่ ข้าวหักหรือปลายข้าว ที่ได้จากการสีข้าวเปลือกเจ้าของพืชที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า ออไรซา ซาไทวา แอล (Oryza sativa L.))

คุณลักษณะโดยทั่วไปของแป้งข้าวเจ้า คือ จะต้องมีสีขาวนวล มีกลิ่นตามธรรมชาติของแป้งข้าวเจ้า ไม่มีกลิ่นอับ หืน เหม็นเปรี้ยว หรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ส่วนลักษณะของแป้งนั้น เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์(Microscopic appearance) จะต้องไม่พบเม็ดแป้งอื่น นอกจากเม็ดแป้งข้าวเจ้า ซึ่งจะมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ ประกอบด้วยเม็ดแป้งจับกันเป็นกลุ่มหรืออิสระแต่ละเม็ดมีขนาด 2 หรือ 9 ไมโครเมตรและมีลักษณะเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม(ดูรูปที่ 1) คุณสมบัติอื่นๆ จะดูได้จากตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติอื่นๆ ของแป้งข้าวเจ้า

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด |
|---|---|---|
| 1 | % ความชื้น ไม่เกิน | 13.0 |
| 2 | % ของน้ำหนักอบแห้งของแป้ง ไม่น้อยกว่า | 85.0 |
| 3 | ความเป็นกรด-ด่าง | 5.0 ถึง 7.0 |
| 4 | % ของน้ำหนักอบแห้งของเถ้า ไม่เกิน | 0.50 |
| 5 | % ของน้ำหนักอบแห้งของเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ไม่เกิน | 0.030 |
| 6 | % ของน้ำหนักอบแห้งของอะมิโลส ไม่น้อยกว่า | 15.0 |

สิ่งต่างๆ ที่เจือปนอยู่ในแป้งข้าวเจ้านั้น กระทรวงอุตสาหกรรมได้มีการกำหนดไว้ดังนี้ คือ

1.ปริมาณ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะต้องไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.จุลินทรีย์จะต้องไม่เกินเกณฑ์ดังต่อไปนี้

2.1 จุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน $1x\ 10^5$ โคโลนีต่อกรัม

2.2 รา ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม

2.2 การสร้างชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

การสร้างอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่ายจะดัดแปลงจากกรรมวิธีในการทำขนมกุ๋ยช่ายด้วยมือ โดยเริ่มต้นจากการนำแป้งที่ใช้ทำขนมกุ๋ยช่าย หรือ แป้งข้าวเจ้ามาปั้นเป็นลูกกลม แล้วทำให้แบนเพื่อใส่ไส้ โดยจะใช้ตัว ป๊อน แป้งให้ออกเป็นเส้นเพื่อนำมาผ่านตัวบดให้แบนเป็นแผ่นแป้ง ซึ่งแป้งที่ป๊อนออกมานั้นจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร จนผ่านตัวบดตัวที่ 2 จะทำให้แป้งที่ออกมานั้นเป็นแผ่นแป้งที่มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร และมีความกว้างประมาณ 16 เซนติเมตร หลังจาก ป๊อน แป้งออกมาจนกระทั่งได้เป็นแผ่นแป้งแล้ว หลังจากนั้น จะใส่ไส้ผักกุ๋ยช่าย และ ทำการห่อแบบพับครึ่งโดยการผ่านแผ่นสแตนเลสที่ทำให้โค้งเพื่อให้แผ่นแป้งที่ใส่ไส้แล้วออกมา เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพับครึ่ง และในส่วนสุดท้ายจะทำหน้าที่ในการตัดให้เป็นลูกกลมต่อไป จนสำเร็จออกมาเป็นขนมกุ๋ยช่ายที่พร้อมจะนำไปทำให้สุกเพื่อที่จะนำไปรับประทานต่อไป

ในการสร้างชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่ายได้มีการนำชิ้นส่วนต่างๆมาใช้ในการประกอบกัน โดยชิ้นส่วนต่างๆที่ได้นำมาใช้สร้างจะมีคุณสมบัติดังนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

2.2.1 โลหะ

โลหะสแตนเลสได้นำมาใช้ในส่วนต่างๆของชุดอุปกรณ์ที่มีการสัมผัสกับตัวอาหาร หรือ แป้ง โดยตรง ซึ่งคุณสมบัติของโลหะชนิดนี้มีดังนี้

โลหะสแตนเลส (stainless steel) หรือ โลหะไร้สนิม[3]

โลหะสแตนเลสเป็นโลหะที่อยู่ในขอบข่ายของเหล็กกล้าผสมธาตุตัวสำคัญก็คือ โครเมียม ซึ่งมีปริมาณตั้งแต่ 13 % ขึ้นไป

โครเมียมที่อยู่ในเนื้อเหล็กชนิดนี้จะก่อให้เกิดฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ( $Cr_2O_3$ ) ซึ่งมีเสถียรภาพสูงที่ผิวของเหล็กกล้า ฟิล์มอันนี้จะมีความเงางาม และป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเดชั่น กับเหล็กที่อยู่ภายใน โลหะสแตนเลสมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนและมีความเงา

ประเภทของโลหะสแตนเลส

1.เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติค ( 0.05% C , 13% C , 0.5% Mn ) โดยทั่วไปแล้วจะมีคุณสมบัติ นิ่ม มีความแข็งแรง ทำให้แข็งโดยการอบชุบไม่ได้ แต่จะทำให้แข็งได้โดยการรีดเย็น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานทางด้านเคมี เครื่องใช้ภายในครัวเรือน และภาชนะใส่อาหาร

2.เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค ( 0.3% C , 13% Cr , 0.5% Mn ) เหล็กกล้าประเภทนี้ชุบแข็งได้ โดยการเผาให้ถึงอุณหภูมิ 950-1000 $^0$ C แล้วทำให้เย็นจนเร็วจนได้โครงสร้าง มาร์เทนไซด์ ( martensite ) ข้อพึงระวังก็คือ อย่าปล่อยให้เย็นช้าๆ จนเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ขึ้น มิฉะนั้นคุณสมบัติทางด้านต่อต้านการกัดกร่อนก็จะหมดไป โดยทั่วไปแล้ว เราจะใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ทำมีดไร้สนิม และอุปกรณ์ตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ( 0.05% C , 0.8% Mn , 18% Cr , 8% Ni ) มีความเงางามและความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าทั้งของเฟอร์ริติค และมาร์เมนไซต์ จุดอ่อนของเหล็กกล้าประเภทนี้ก็คือ weld decay หมายถึง การที่โครเมียมคาร์ไบด์ จะเกิดขึ้นตอนเชื่อม ทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนลดน้อยลงไป วิธีแก้ weld decay มี 2 วิธีคือ วิธีแรกใช้กับชิ้นงานเล็ก หลักการเชื่อมให้นำชิ้นงานไปเผาที่ 1050 $^{0}$C แล้วชุบน้ำมัน วิธีที่ 2 ให้เลือกเหล็กกล้า 18/8 ที่มี 0.6 Ti หรือ 1.0 Nb ตั้งแต่ต้น

ส่วนโลหะที่จะนำมาใช้ในการสร้างในส่วนที่มีการสัมผัสกับอาหาร เมื่อไม่มีโลหะสแตนเลส ก็สามารถใช้โลหะอะลูมิเนียมมาใช้แทนได้โดยคุณสมบัติเด่นของโลหะชนิดนี้คือสามารถที่จะทำการงอหรือพับได้โดยง่าย ซึ่งคุณสมบัติของโลหะชนิดนี้มีดังนี้

อะลูมิเนียม ( Aluminium )[4]

โลหะชนิดนี้ และ สแตนเลส เป็นที่นิยมในการนำมาใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร หรือ ใช้ในการทำอุปกรณ์ที่มีส่วนที่สัมผัสกับอาหาร ซึ่งโลหะอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการที่นำมาใช้ คือ

1. น้ำหนักเบา โดยที่น้ำหนักของ อลูมิเนียม จะหนักเพียง 1/3 เท่าของเหล็กเท่านั้น
2. มีกำลังวัสดุ ( Strength ) สูง แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นค่ากำลังวัสดุต่อหนึ่ง หน่วยน้ำหนักจึงมีค่าสูง
3. มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปได้ง่ายด้วยกรรมวิธีต่างๆ
4. ไม่เกิดสนิม เนื่องจากเมื่อถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศจะเกิดฟิล์มบางๆ ของ $Al_2O_3$ ที่ผิวฟิล์มดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่ป้องกันเนื้อโลหะที่อยู่ลึกลงไปใต้ผิวไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับ $O_2$อีกต่อไป
5. มีจุดหลอมเหลวต่ำประมาณ 860 C ซึ่งทำให้ง่ายต่อการหลอม
6. คงทนต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไป แต่ไม่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่างบางชนิด จึงไม่ควรใช้กับงานที่ต้องการความคงทนต่อการสึกกร่อน
7. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีพอสมควร แต่เนื่องจากน้ำหนักเบา จึงมักใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ต้องคำนึงถึงเรื่องน้ำหนักเบาเป็นสำคัญ
8. มีค่าการนำความร้อนสูง จึงเหมาะในการทำภาชนะหุงต้มบางชนิด
9. ไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ มักใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารบางต่างๆ
10. ผิวของโลหะจะมีดัชนีการสะท้อนกลับของแสงสูงมาก มักใช้ทำแผ่นสะท้อนแสงในงานต่างๆ
11. ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีและคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะทั้งสองชนิดนั้น จะเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการทำอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับอาหารเนื่องจากเป็นโลหะที่ไม่เกิดสนิม แต่ในการใช้โลหะสแตนเลสนั้น จะทำให้ภาชนะมีความคงทน แข็งแรง และมีลักษณะที่สวยงามกว่าการใช้โลหะอลูมิเนียม แต่อลูมิเนียมจะขึ้นรูปได้ดีกว่าโลหะสแตนเลส

2.2.2 เฟือง

เฟืองที่ใช้ในการสร้างชุดอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เฟืองดอกจอก และ เฟืองตรง เฟืองดอกจอกได้นำมาใช้ในส่วนทำการกลับทิศในแนวตั้งฉาก ซึ่งได้ติดตั้งอยู่ตรงส่วนด้านหลังของตัวป้อน และในส่วนของเฟืองตรงจะใช้ในส่วนกลับทิศที่อยู่ทางด้านล่างของชุดอุปกรณ์เพื่อการกลับทิศการหมุนในแนวตรงข้ามของตัวตัด โดยคุณสมบัติของเฟืองทั้งสองชนิดนี้จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

2.2.2.1 เฟืองดอกจอก[5]

เฟืองดอกจอก (bevel gears) ใช้สำหรับส่งกำลังผ่านเพลาที่ทำมุมใดๆต่อกัน เฟืองดอกจอก อาจเรียกว่า เป็นเฟืองกรวยตัด ทั้งนี้เพราะเฟืองชนิดนี้ผลิตขึ้นมาจากแบบรูปกรวย การรับแรงของเฟืองดอกจอกก็มีส่วนคล้ายกับเฟืองตรงและเฟืองเฉียง ดังนั้นหลักในการคำนวณจึงมีส่วนคล้ายกับเฟืองชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว เฟืองดอกจอกจะต้องผลิตมาเป็นคู่เพื่อใช้เฉพาะงาน และไม่สามารถจะสลับการใช้งานกับเฟืองอันอื่นๆได้เหมือนกับเฟืองตรง การคำนวณออกแบบเฟืองดอกจอกอาจจะใช้วิธีการคำนวณได้หลายวิธี เช่นเดียวกับการคำนวณชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอื่นๆ ในที่นี้จะแสดงถึงวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับเฟืองตรง และวิธีการของสมาคมผู้ผลิตเฟือง ซึ่งในการคำนวณจะกล่าวถึงเฟืองที่ทำมุมฉากกัน

2.2.2.1.1 ลักษณะของเฟืองดอกจอก

เฟืองดอกจอกชนิดธรรมดาที่สุดจะมีฟันเป็นฟันตรง ซึ่งจะเรียกว่าเฟืองดอกจอกฟันตรง หรือเฟืองดอกจอก เหมาะสำหรับการใช้งานที่ความเร็วพิตช์ไม่เกิน 5 m/s แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าผิวหน้าฟันเฟืองผ่านการปรับแต่งอย่างดี เช่นทำการเจียระไน ก็อาจใช้งานได้ถึงความเร็วพิตช์ 50 m/s โดยที่ไม่เกิดเสียงดังจนเกินไปนัก

รูป 2.1 แสดงถึงเฟืองดอกจอก 2 อันขบกันอยู่ มุม $\alpha$ และ $\beta$ เป็นมุมพิตช์ ของเฟืองและพีเนียนตามลำดับ ถ้าให้ $\sum$ เป็นมุมระหว่างเพลาแล้ว

$$\sum = \alpha + \beta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกรณีที่ $\sum = 90^\circ$ จะหาค่ามุมพิตช์ได้จากสมการ

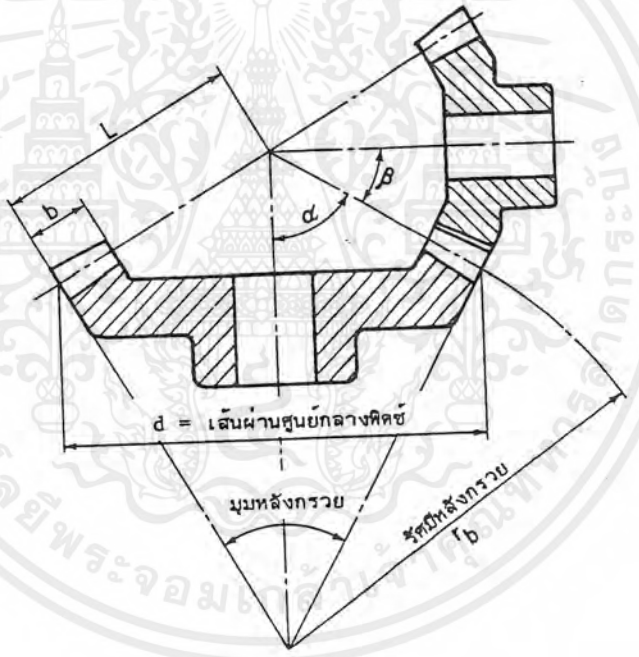
$$\tan \alpha = N_g/N_p = m_g \; ; \; \tan\beta = 1/m_g$$

ถ้า $\sum < 90^\circ$ จะหาค่ามุมพิตช์ได้จากสมการ

$$\tan \alpha = (m_g \sin \sum)/(1+m_g \cos \sum) \; ;$$

$$\beta = \sum - \alpha$$

ระยะ L ดังรูป 2.1 เรียกว่าความยาวทรงกรวย (cone distance) ส่วน b เป็นความหนาฟันเฟือง เนื่องจากเฟืองดอกจอกมีฟันเรียวไปหาปลายของทรงกรวยดังนั้นไดอะมิทรัลพิตช์ และโมดุลของเฟืองจะเปลี่ยนไปตามระยะของฟันแล้วแต่ว่าจะวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ณ ที่ใด ในการบอกขนาดของเฟืองชนิดนี้จึงยึดถือเอาปลายฟันด้านโตสุดเป็นหลัก ในที่นี้คือเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ d ดังรูป 2.1




รูปที่ 2.1 รูปร่างทั่วไปของเฟืองดอกจอก

ถึงแม้ว่าจะมีการใช้เฟืองที่มีมุมกดต่างๆกัน แต่มุมกด $20^\circ$ เป็นมุมกดที่นิยมใช้กันมากที่สุด ฟันเฟืองชนิดนี้ยังไม่มีการกำหนดสัดส่วนมาตรฐาน แต่สัดส่วนสำคัญที่นิยมใช้กันคือ

ความสูงใช้งาน ( working depth ) $= 2/P$ in.

$= 2m$ mm

เคลียรันต์ ( clearance ) $= (0.188/P) + 0.002$ in.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

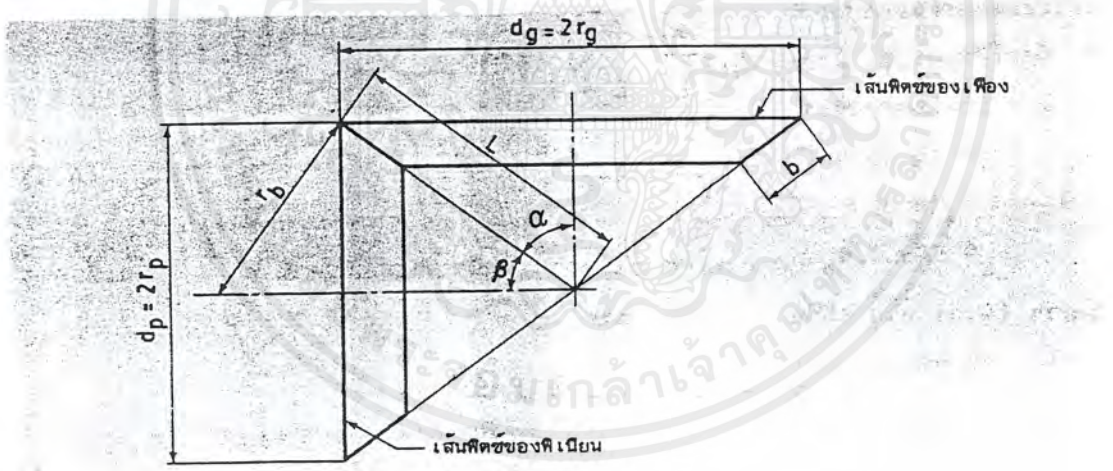
$$= 0.188m + 0.05 \text{ mm}$$

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการขัดกัน จึงมักจะตัดฟันเฟืองให้พิเนียนมีระยะแอดเดนดัมมาก และเฟืองมีระยะแอดเดนดัมน้อย เนื่องจากเมื่อมีจำนวนฟันเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการสึกหรอของฟันเฟืองลดลง ดังนั้นจึงไม่ควรให้จำนวนฟันเฟืองน้อยกว่า 13 ฟัน

2.2.2.1.2 จำนวนฟันสมมูล

จำนวนฟันสมมูลของเฟืองดอกจอก หมายถึง จำนวนฟันของเฟืองตรง ซึ่งมีรัศมีพิตช์เท่ากับรัศมีทรงกรวย ( back cone radius ) ของเฟืองดอกจอกโดยที่เฟืองทั้งสองมีขนาดโมดูลเท่ากัน

รัศมีของเฟืองตรงคือ $r_b$ และถ้าให้เฟืองตรงมีขนาดโมดูลเท่ากับ เฟืองดอกจอกแล้ว จำนวนฟันของฟันตรงที่หาค่าได้นี้เรียกว่า จำนวนฟันสมมูล $N_c$ ซึ่งใช้เป็นหลักในการหาค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส สำหรับเฟืองดอกจอกในรูป 2.2 แสดงถึงเฟืองดอกจอกในขณะขบกัน ให้ $r_p$ และ $r_g$ เป็นรัศมีของพิเนียน และเฟืองตามลำดับ จากคำจำกัดความของโมดูล จะพบว่า จำนวนฟันสมมูลของพิเนียน




รูปที่ 2.2 เฟืองดอกจอกขบกัน

$$N_{ep} = 2r_b/m$$

จากสามเหลี่ยมคล้าย

$$r_b/L = r_p/r_g$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_{ep} = 2r_p L/mr_p^2 = d_p L/mr_g$$

โดยที่ $$L = ( r_p^2 + r_g^2 )^{1/2}$$

สำหรับในกรณีของเฟือง จะหาจำนวนฟันสมมูลได้จากสมการ

$$N_{eg} = 2r_g L/mr_p^2 = d_g L/mr_p$$

ในกรณีที่ใช้ไดอะมิทรัลพิตช์เพื่อบอกขนาดของเฟืองก็สามารถทำได้โดยแทนค่า m = 1/p ลงในสมการข้างต้น แต่ถ้ารู้ค่าจำนวนฟันจริงและมุมพิตช์แล้ว จะพบว่า

$$N_{ep} = N_p / \sin\alpha \; ; N_{eg} = N_g / \sin\beta$$

โดยที่ $N_p$ และ $N_g$ เป็นจำนวนฟันจริงของเฟืองและพิเนียน ตามลำดับ และถ้าเพลาทำมุมกัน $90^\circ$ $\sin\alpha = \sin\beta$ ดังนั้น

$$N_{ep} = N_p / \sin\beta$$

และ $$N_{eg} = N_g / \sin\alpha$$

2.2.2.2 เฟืองตรง[5]

เฟืองตรง (spur gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่ขนานกัน ส่วนมากเฟืองขับ (driving gears) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (driven gears) และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พิเนียน (pinion) ส่วนเฟืองใหญ่เรียกว่าเฟือง แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่เป็นตัวขับก็ได้ เนื่องจากว่าเฟืองที่ผลิตและใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ยังคงใช้ระบบหน่วยอังกฤษอยู่เป็นส่วนมาก ซึ่งจำเป็นต่อการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลที่ชำรุดเสียหาย ฉะนั้นเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษก็ยังคงจะต้องผลิตออกมาอีกเป็นเวลานาน

2.2.2.2.1 คำจำกัดความ

ในการให้คำจำกัดความเรียกชื่อส่วนต่างๆ ของเฟือง ให้พิจารณารูป 2.3 ดังต่อไปนี้

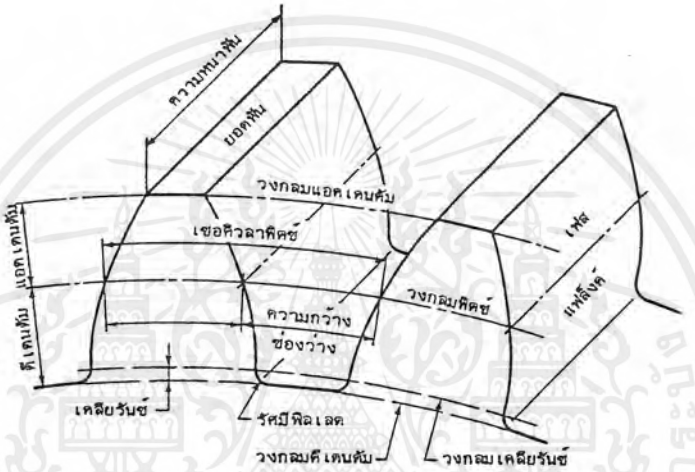
วงกลมพิตช์ (pitch circle) เป็นมิติหลักในการเรียกขนาดของเฟือง โดยบอกขนาดของเฟืองด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (pitch diameter) ในทางทฤษฎีแล้วเฟืองคู่ที่ขบกันจะต้องมีเส้นสัมผัสกัน ณ วงกลมพิตช์

เซอร์คิวลาร์พิตช์ (circular pitch) p เป็นระยะที่วัดบนวงกลมพิตช์จากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังอีกจุดหนึ่ง ณ ตำแหน่งเดียวกันบนฟันเฟืองถัดไป จากรูป 2.3 จะเห็นได้ว่า ระยะนี้มีค่าเท่ากับ ผลรวมของความกว้างฟันและความกว้างช่องว่างระหว่างฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูล (module) m เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์กับจำนวนฟันเฟือง หน่วยที่ใช้วัดโมดูลคือ มิลลิเมตร โมดูลนี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟือง ในระบบ SI

ไดอะมิทรัลพิตช์ (diametral pitch) P เป็นอัตรส่วนระหว่างจำนวนฟันบนเฟืองกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ ฉะนั้นจึงเป็นส่วนกลับของโมดูล ไดอะมิทรัลพิตช์นี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษ ซึ่งกำลังได้รับการเปลี่ยนแปลงให้เป็นระบบหน่วยเอสไอ ดังนั้นความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์จึงใช้บอกเป็นนิ้ว




รูปที่ 2.3 การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง

แอดเดนดัม (addendum) a หรือช่วงสูงบน เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (top land) ถึงวงกลมพิตช์

ดีเดนดัม (dedendum) d หรือช่วงสูงล่าง เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างโคนฟัน (bottom land) ถึงวงกลมพิตช์ ฉนั้นความสูงของฟันเฟืองคือ ผลรวมระหว่าง a กับ d

เคลียรันซ์ (clearance) c ในการที่เฟืองสองอันขบกัน ดีเดนดัมของเฟืองหนึ่งต้องมีค่ามากกว่าแอดเดนดัมของอีกเฟืองหนึ่ง เพื่อที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันขึ้น ผลต่างระหว่างค่าดีเดนดัมและแอดเดนดัมนี้เรียกว่าเคลียรันซ์

แบ็คแล็ช (backlash) คือ ผลต่างระหว่างความกว้างช่องว่างระหว่างฟันเฟืองหนึ่ง กับอีกความกว้างของฟันเฟืองอีกอันหนึ่งที่ขบกัน โดยวัดตามแนวเส้นวงกลมพิตช์ ฉะนั้นในการขับด้วยเฟืองที่มีแบ็คแล็ช เฟืองขับจะสามารถหมุนไปได้เป็นมุมเล็กน้อย ก่อนที่เฟืองตามจะหมุนไปแบ็คแล็ชนี้จำเป็นจะต้องมีอยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อให้มีช่องว่างสำหรับน้ำมันหล่อลื่น และเพื่อให้เฟืองสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายตัวได้เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตลอดจนมีเผื่อเอาไว้สำหรับความผิดพลาดในการตัดรูปร่างของฟันเฟือง

ความหนาของฟันเฟือง(face width) b คือความหนาของฟันเฟืองวัดในทิศทางเดียวกับแนวแกนของเฟือง ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า ความหนาเฟือง

แฟล็งค์ (flank) คือผิวทางด้านข้างของฟันเฟือง ซึ่งอยู่ระหว่างวงกลมพิตช์กับวงกลมแอดเดนดัม

อัตราทด (velocity ratio) $m_\omega$ คืออัตราส่วนระหว่าง ความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม ถ้าให้ 1 และ 2 แทนเฟืองขับและเฟืองตาม ตามลำดับ จากความรู้ทางด้านกลศาสตร์จะได้ว่า

$$m_\omega = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2 = d_2/d_1 = N_2/N_1$$

โดยที่ $\omega$ = ความเร็วเชิงมุม, rad/s

n = ความเร็วรอบ, rpm

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง, mm หรือ in.

N = จำนวนฟัน

อัตราส่วนเฟือง (gear ratio) $m_g$ คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟือง ต่อจำนวนฟันของพิเนียน ถ้าพิเนียนเป็นตัวขับ

$$m_g = m_\omega = N_2/N_1$$

2.2.2.2.2 มาตรฐานการบอกขนาดของฟัน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟือง อาจจะบอกเป็นพิตช์ในระบบหน่วยอังกฤษ หรือบอกเป็นโมดูลในระบบหน่วยเอสไอ จากคำจำกัดความที่ผ่านมาจะได้ว่า

ไดอะมิทรัลพิตช์ P = N/d

โดยที่ d มีหน่วยเป็น in.

โมดูล m = d/N

โดยที่ d มีหน่วยเป็น mm

และเซอคิวลาพิตช์ $p = (\pi d)/N = \pi m$

ดังนั้น $Pp = \pi$

2.2.2.2.3 กฎการขับของเฟืองและการทำงานของฟันเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองสองอันที่ขบกันจะให้อัตราคงที่ต่อเมื่อเฟืองคู่นั้นเป็นไปตามกฎการขับของเฟือง ซึ่งกล่าวได้ว่า รูปร่างของฟันเฟืองจะต้องทำให้เส้นตั้งฉากร่วม (common normal) ที่ลาก ณ จุดสัมผัสระหว่างฟันทั้งสองผ่านจุดคงที่จุดหนึ่ง ซึ่งอยู่บนเส้นที่โยง ระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองทั้งสอง และจุดนี้เรียกว่า จุดพิตช์ (pitch point)

ในการทำความเข้าใจกับข้อความนี้ให้พิจารณารูป 2.4 จุดคงที่ดังกล่าวนี้คือจุด P ซึ่งอยู่บนเส้นที่โยงระหว่างจุดศูนย์กลาง $O_1$ และ $O_2$ ของเฟืองทั้งสอง รูปร่างของฟันเฟืองที่เป็นไปตามกฎการขับนี้เรียกว่า คอนจูเกตเคอฟ (conjugate curves) และที่นิยมใช้กันมากก็คือ อินโวลูตเคอฟ (involute curves) โดยเริ่มต้นจากวงกลมที่เรียกว่า วงกลมฐาน (base circle) เส้นตั้งฉากกับอินโวลูตเคอฟ์ DE ในรูป 2.4 เป็นแนวเส้นที่แรงปฏิกิริยาที่ฟันเฟืองกระทำ เรียกว่า แนวของการกระทำ (line of action) หรือ แนวแรงกด (pressure line) และมุม $\phi$ ในรูปเรียกว่า มุมกด (pressure angle) เฟืองที่ผลิตขึ้นใช้กับเครื่องจักรกลในปัจจุบันนี้มีมุมกด 20 และ 25 องศา เป็นส่วนมาก สำหรับเฟืองที่มีมุมกดเท่ากับ 14.5 องศา ก็ยังคงมีผลิตออกมาใช้บ้าง ทั้งนี้ก็เพื่อใช้สำหรับเปลี่ยนเฟือง ของเครื่องจักรกลเก่าที่ยังมีใช้อยู่

จากการพิจารณารูปสามเหลี่ยม $O_1FP$ และ $O_2GP$ ในรูป 2.4 จะพบว่ารัศมีของวงกลมฐาน คือ

$$r_{b1} = r_1 \cos\phi$$

$$r_{b2} = r_2 \cos\phi$$

หรือเขียนในรูปทั่วไป

$$r_b = r \cos\phi$$

ระยะทางที่วัดบนวงกลมฐาน จากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองหนึ่งไปยังจุดเดียวกันบนเฟืองถัดไปเรียกว่า พิตช์ฐาน (base pitch) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเซอคิวลาพิตช์ คือ

$$p_b = \rho \cos\phi$$

2.2.2.2.4 ระยะการขบและอัตราส่วนการขบ

เมื่อเฟืองอันหนึ่งขับเฟืองอีกอันหนึ่ง จุดสัมผัสระหว่างฟันเฟือง เริ่มขึ้นเมื่อผิวด้านข้างของฟันเฟืองขับสัมผัสกับปลายฟันเฟืองตาม และการสัมผัสจะสิ้นสุดเมื่อปลายฟันเฟืองขับสัมผัสกับผิวด้านข้างของฟันเฟืองตาม

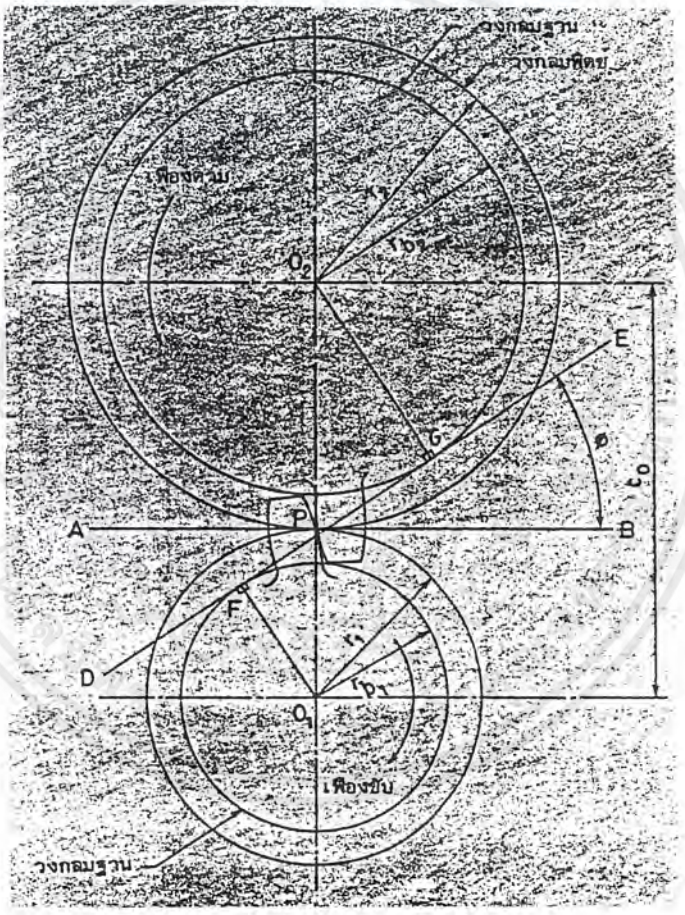
เนื่องจากปลายฟันเฟืองอยู่บนวงกลมแอดเดนดัม การสัมผัสระหว่างฟันเฟืองเริ่มขึ้นเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองตามตัดกับแนวแรงกด และการสัมผัสสิ้นสุดเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองขับตัดกับแนวแรงกดอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เฟืองขบกัน ควรจะมีฟันอย่างน้อยหนึ่งคู่ ที่ขบกันอยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วการขบกันมักจะมีมากกว่าหนึ่งคู่ วิธีการบอกจำนวนฟันที่ขบกันจะบอกเป็นอัตราส่วนการขบ (contact ratio) ซึ่งมีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างระยะการขบ และพิตช์ฐาน นั่นคือ อัตราส่วนการขบ

$$m_c = AB/P_b$$

เพื่อให้เฟืองทำงานได้อย่างราบรื่นดี อัตราส่วนการขบควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.2 หรือ1.5 การที่เฟืองคู่ใดมีอัตราส่วนการขบน้อยกว่าหนึ่ง หมายความว่า ฟันของเฟืองคู่หนึ่งจะจากกันก่อนที่ฟันอีกคู่หนึ่งจะเข้ามาขบกัน ในกรณีเช่นนี้จะทำให้การให้การทำงานของเฟืองไม่ราบรื่น ทั้งนี้เพราะจะมีแรงเนื่องจากการกระแทก (impact) เกิดขึ้นมาก




รูปที่ 2.4 การทำงานของเฟืองที่ขบกัน

2.2.2.2.5 การขัดกัน

ในการสร้างฟันเฟืองอินโวลูตเกอฟ จะเริ่มจากวงฐาน ฉะนั้นส่วนของฟันเฟืองที่อยู่ต่ำกว่าวงกลมฐานจึงไม่เป็นอินโวลูตเกอฟ นั่นคือจะใช้กฎการขับของเฟืองกับฟันเฟืองส่วนนี้ไม่ได้ ดังนั้นถ้ามีการขบระหว่างฟันเฟืองที่ต่ำกว่าวงกลมฐาน ก็อาจจะทำให้เกิดการขัดกัน (interference) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง


วิธีการที่จะป้องกันมิให้เกิดการขัดกันขึ้น ทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

1. ใช้วิธีตัดเนื้อโลหะส่วนที่อยู่ต่ำกว่าวงกลมมาตรฐานออกบ้าง (undercutting) ทั้งนี้เพื่อมิให้มีการสัมผัสระหว่างฟันเฟืองในบริเวณนี้ ข้อเสียในการทำเช่นนี้คือ ทำให้อัตราส่วนการขบลดลง และทำให้ฟันเฟืองบอบบางลง
2. ใช้วิธีตัดปลายฟันเฟืองให้สั้นลง (stubbed teeth) ข้อเสียที่ตามมาก็คือ ทำให้อัตราส่วนการขบลดลง
3. การเพิ่มมุมกด $\phi$ จะลดขนาดของวงกลมฐาน วิธีนี้ทำให้ส่วนที่เป็นอินโวลูตเคอฟของฟันเฟืองเพิ่มขึ้น จึงสามารถกำจัดการขัดกันได้ แต่การเพิ่มมุม $\phi$ จะทำให้แรงปฏิกิริยา ณ ฟันเฟืองในแนวรัศมีของเฟือง (separating force) เพิ่มขึ้น ทำให้การขบกันระหว่างฟันเฟืองมีความราบเรียบน้อยลง
4. การใช้เฟืองที่ไม่เป็นมาตรฐาน (non-interchangeable) กล่าวคือให้เฟืองอันเล็กมีแอดเดนดัมเพิ่มขึ้น (โดยลดดีเดนดัม ตามส่วนที่เพิ่มขึ้น) และ ให้เฟืองอันใหญ่มีแอดเดนดัมลดลง ซึ่งก็ทำให้ราคาเฟืองแพงขึ้น และไม่สามารถใช้ขับเฟืองอื่นๆ ที่เป็นมาตรฐานได้

กล่าวโดยสรุปแล้ว การขจัดการขัดกันเป็นสิ่งที่จำเป็นจะต้องทำ แต่จะทำโดยวิธีใดขึ้นกับความชำนาญของผู้เลือกใช้เฟือง ตลอดจนการนำไปใช้งานแต่ละชนิด

2.2.2.2.6 วิธีการตัดเฟือง

การผลิตเฟืองนอกจากใช้การหล่อโดยวิธีต่างๆ เช่น หล่อด้วยแบบทราย เชลล์โมลดิง (shell moulding) คายคาสติง (die casting) แล้ว ยังมีวิธีการผลิตเฟืองที่ใช้กันมากคือ การตัดฟันเฟืองด้วยวิธีต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้คือ

มิลลิงคัตเตอร์ (milling cutter) ในวิธีนี้ตัวตัดเฟืองมีชื่อเรียกว่า มิลลิงคัตเตอร์ ซึ่งเป็นเฟืองชนิดหนึ่งที่มีฟันเป็นรูปตามลักษณะของช่องว่าง ระหว่างฟันเฟืองที่จะตัด วิธีการก็คือ ให้คัตเตอร์หมุนเพื่อตัดโลหะ ซึ่งจะเป็นช่องว่างระหว่างฟันเฟืองออก หลังจากเสร็จช่องแล้วก็ให้เฟืองหมุนไปอีกช่องหนึ่งแล้วคัตเตอร์ ก็จะตัดโลหะออกอีกหนึ่งช่องเรื่อยไป อุปกรณ์ที่ใช้หมุนเฟืองไปครั้งละหนึ่งช่องเรียกว่า จานแบ่ง (indexing) ซึ่งปรับระยะในการหมุนให้สอดคล้องกับจำนวนฟันบนเฟืองได้ตามต้องการ ข้อเสียของการตัดฟันเฟืองโดยวิธีนี้คือ คัตเตอร์แต่ละอันจะตัดเฟืองได้เฉพาะจำนวนฟันและพิตช์ที่ต้องการเท่านั้น ถ้าจำนวนฟันเปลี่ยนไปก็ต้องใช้คัตเตอร์ใหม่ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการตัดเฟืองสูง ในทางปฏิบัติจะไม่มีการเปลี่ยนคัตเตอร์ใหม่ทุกครั้ง ที่จำนวนฟันเฟืองที่ต้องการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
33972

เปลี่ยนไป แต่จะใช้คัตเตอร์อันเดียวกันสำหรับตัดเฟืองที่มีจำนวนฟันแตกต่างกันประมาณ 8 ฟัน โดยที่พิตช์เท่ากัน ดังนั้นเฟืองที่ตัดโดยวิธีนี้จึงได้เพียงแต่รูปร่างของฟันโดยประมาณเท่านั้น ทั้งนี้เพราะในจำนวน 8 อัน ที่มีพิตช์เท่ากัน แต่จำนวนฟันแตกต่างกันไปนี้จะมีเพียงเฟืองเดียว ที่รูปร่างของฟันเฟืองตัดได้อย่างถูกต้อง ในกรณีที่ต้องการใช้งานด้วยความแม่นยำมาก ก็จำเป็นจะต้องใช้คัตเตอร์ที่ถูกต้องในการตัดฟันเฟืองที่ต้องการจริงๆ

แร็คคัตเตอร์ (rack cutter) ในวิธีนี้ตัวตัดฟันเฟืองเป็นแร็คหรือเฟืองซึ่งไม่มีความโค้งนั่นเอง(อาจเรียกว่าเฟืองสะพานหรือเฟืองบันทัด) ในการทำงานคัตเตอร์จะเลื่อนไปกลับ (reciprocating) เพื่อค่อยๆ ตัดเนื้อโลหะออกจากเฟืองเปล่า (gear blank) ซึ่งก็คือเฟืองที่ไม่มีฟัน จนกระทั่งวงกลมพิตช์ของเฟือง และคัตเตอร์สัมผัสกัน (วงกลมพิตช์ของแร็คเป็นเส้นตรง) จากนั้นเฟืองเปล่าก็เลื่อนไปสู่ตำแหน่งถัดไปของฟัน และวิธีการตัดกระทำซ้ำเช่นเดิม วิธีการนี้จะได้ฟันเฟืองที่เข้าใกล้รูปร่างที่ต้องการมาก ข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาในการตัดเฟืองมาก เฟืองอันใหญ่มักจะนิยมใช้ตัดด้วยแร็คคัตเตอร์ ทั้งนี้เพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการตัดด้วยวิธีอื่นๆ

พิเนียนคัตเตอร์ (pinion cutter) วิธีการก็เช่นเดียวกับแร็คคัตเตอร์ แต่แร็คคัตเตอร์ที่ใช้เป็นเฟืองอีกอันหนึ่งแทนที่จะเป็นแร็ค วิธีการตัดเฟืองนี้จะให้เฟืองเปล่าค่อยๆ หมุนไป ในขณะเดียวกันคัตเตอร์ ก็จะเลื่อนไปกลับเพื่อตัดโลหะออกจากเฟืองเปล่า ในวิธีนี้จะตัดเฟืองออกเท่ากันเมื่อเฟืองหมุนครบหนึ่งรอบ และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่ง

ฮ็อบบิง (hobbing) วิธีการตัดฟันเฟืองที่เรียกว่า ฮ็อบบิงมีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีแร็คคัตเตอร์ ข้อแตกต่างกันคือ การใช้ฮ็อบซึ่งมีลักษณะเหมือนเฟืองตัวหนอน (worm gear) เป็นตัวตัดแทนแร็คเฟืองเปล่า และฮ็อบจะหมุนไปพร้อมกันรอบแกนหมุนของตัวเองอย่างเป็นจังหวะ เพื่อให้ตรงกับซี่ฟันที่ต้องการตัดพอดี ข้อดีของวิธีนี้คือ หลังจากการตั้งจังหวะให้เฟืองและฮ็อบหมุนได้ที่แล้วจะไม่ต้องตั้งฮ็อบใหม่

2.2.2.2.7 วัสดุสำหรับเฟือง

วัสดุที่ใช้ทำเฟืองมีอยู่หลายชนิดทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ หลักทั่วไปในการออกแบบชิ้นส่วนใดๆ ของเครื่องจักรกลก็คือ การเลือกใช้วัสดุที่ราคาถูก ผลิตได้ง่าย และสามารถทำงานได้ตามความประสงค์ สำหรับการเลือกใช้วัสดุ สำหรับทำเฟือง ผู้ออกแบบจะต้องไตร่ตรองดูว่าจุดประสงค์ใด เป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุดต่อการใช้งาน เช่น ถ้าต้องการให้มีความต้านแรงสูง(high strength) เป็นสิ่งที่สำคัญ ก็จะต้องเลือกใช้เหล็กกล้า เพราะดีกว่าเหล็กหล่อ แต่ถ้าต้องการให้มีความทนทานต่อการสึกกร่อน เนื่องจากการเสียดสีได้เป็นอย่างดี ก็ควรเลือกใช้วัสดุที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อลูมิเนียม บรอนซ์ (aluminium bronze) หรือถ้าต้องการลดระดับเสียงในขณะใช้งานก็อาจจะใช้วัสดุที่เป็นอโลหะ เช่น ไนล่อน เป็นต้น

วัสดุที่นิยมใช้ทำเฟืองมากที่สุดชนิดหนึ่งก็คือ เหล็กหล่อ ทั้งนี้เพราะมีราคาต่ำ หล่อได้ง่าย ทนต่อการสึกหรอได้ดีและดูดเสียงได้มากพอสมควร แต่ข้อเสียของเหล็กหล่อก็คือมีความต้านแรงดึงต่ำ ทำให้ฟันเฟืองหนามาก ดังนั้นในบางครั้งจึงใช้เหล็กหล่อเหนียวพิเศษ (nodular cast iron) ซึ่งเป็นเหล็กหล่อที่ผสมแมกนีเซียมหรือซีเรียม (cerium) เข้าไป ทำให้ได้เหล็กหล่อที่มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณสมบัติอย่างอื่นที่ได้กล่าวมาแล้ว

เหล็กกล้าที่ใช้ในการทำเฟืองโดยมากเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (plain carbon steel) หรือเหล็กกล้าผสม (alloy steel) ซึ่งมีความต้านแรงดึงสูงกว่าเหล็กหล่อ โดยที่ราคาไม่สูงมากนัก แต่เนื่องจากผิวหน้าของเหล็กกล้ามีความแข็งน้อย ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการทำผิวหน้าให้แข็งขึ้น โดยกรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment) เพื่อให้ฟันเฟืองทนการสึกหรอได้ดี แต่กรรมวิธีทางความร้อน มักจะทำให้ฟันเฟืองเกิดการบิดเบี้ยวขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นแรงที่มากระทำต่อฟันจึงไม่กระจายออกไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งอาจทำให้ฟันเฟืองเสียง่าย เนื่องจากการบิดเบี้ยวนี้เกิดในเหล็กกล้าผสมน้อยกว่าเหล็กกล้าธรรมดา ผู้ออกแบบจึงนิยมใช้เหล็กกล้าผสม

โลหะผสมที่นิยมนำมาใช้ทำเฟืองได้แก่ ทองแดง สังกะสี อลูมิเนียม และไตเตเนียม (titanium) ทองแดงผสมที่นิยมใช้ทำเฟืองอย่างมาก คือ บรอนซ์ เพราะทนต่อการกัดกร่อน (corrosion) ได้ดี มีความเสียดทานน้อย และทนต่อการสึกหรอ

อโลหะที่นิยมใช้ทำเฟือง ได้แก่ rawhide nylon และพลาสติกชนิดต่างๆ เป็นต้น เฟืองที่ทำด้วยวัสดุเหล่านี้จะทำงานเงียบมาก มีความเสียดทานน้อย และผลิตได้ง่าย นอกจากนี้แล้ว วัสดุประเภทนี้ยังช่วยดูดซึมการสั่นสะเทือนได้อย่างดี แต่ก็มีข้อเสียคือ เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อย และนำความร้อนได้ไม่ดี ทำให้ความร้อนสะสมอยู่ในเฟืองขณะใช้งานมาก และอาจจะเป็นผลทำให้ฟันบิดเบี้ยวได้

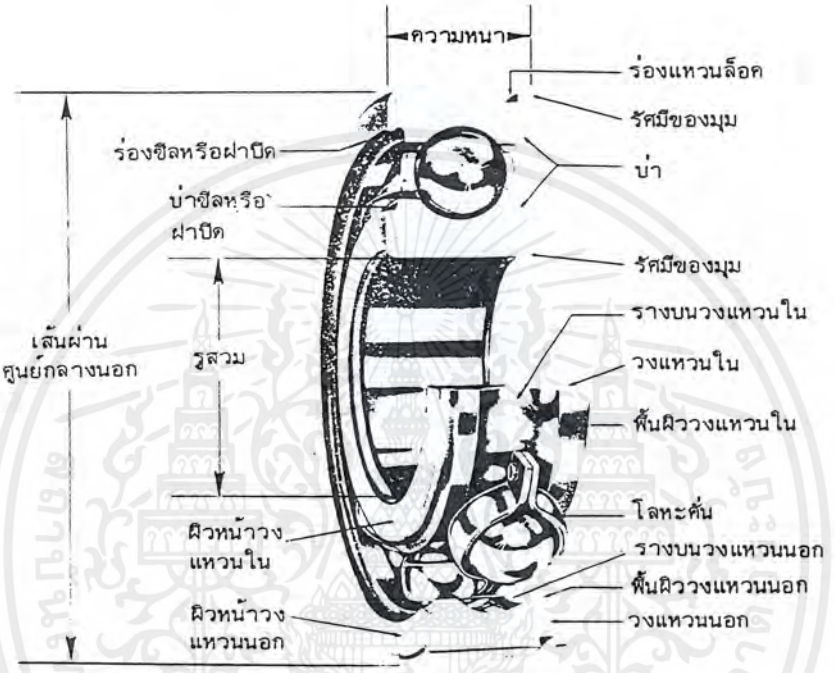
2.2.3 โรลลิ่งแบริ่ง[5]

โรลลิ่งแบริ่งจะใช้ในส่วนต่างๆทุกๆส่วนที่เกิดการหมุนโดยการสวมเข้าในเพลาเพื่อทำให้เกิดการหมุนที่คล่องตัวมากขึ้นซึ่งคุณสมบัติของโรลลิ่งแบริ่งมีดังนี้

โรลลิ่งแบริ่ง (rolling bearings) หมายถึงแบริ่งชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (sliding contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้มีความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงการอุตสาหกรรมว่า แอ็นทิฟริกชั่นแบริ่ง (anti-friction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบริ่ง (ball bearing) หรือตลับปืน ดังรูป 2.5 ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน




รูปที่ 2.5 ส่วนต่างๆ ของบอลแบริ่ง

เนื่องจากมีการใช้โรลลิ่งแบริ่งกันอย่างแพร่หลายทั่วไป สมาคมผู้ผลิตโรลลิ่งแบริ่ง (AFBMA(1): Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาด และหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการเลือกแบริ่งเหล่านี้ขึ้น จากมาตรฐานนี้ทำให้ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล สามารถเลือกแบริ่งจากแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตชนิดหนึ่ง และทำการเปลี่ยนแบริ่งนี้โดยการเลือกจากผู้ผลิตอีกชนิดหนึ่งได้ โดยแบริ่งที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากัน ถึงแม้ว่าสมาคม AFBMA ได้วางมาตรฐานวิธีการเลือกแบริ่งตามความต้องการการรับแรงและอายุการใช้งานเอาไว้ แต่ก็ยังมีผู้ผลิตที่มีการวางมาตรฐาน การเลือกแบริ่งเป็นของตนเอง แตกต่างออกไปจากของ AFBMA แต่อย่างไรก็ตามแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตก็มีข้อมูลเพียงพอ ที่จะทำให้ทำการเปลี่ยนค่ามาเทียบกับค่าของ AFBMA ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกโรลลิ่งแบริ่ง ผู้ออกแบบก็ควรจะพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบริ่ง ดังต่อไปนี้คือ

ข้อดีของโรลลิ่งแบริ่งเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบริ่ง

1. มีความเสียดทานขณะสตาร์ทน้อย (low starting friction torque) จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดบ่อยครั้ง
2. ง่ายต่อการหล่อลื่นและดูแลรักษา โดยเฉพาะชนิดที่อัดด้วยไขข้น หรือจาระบีมาจากโรงงานด้วยแล้ว เกือบจะไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
3. ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
4. ใช้เนื้อที่ด้านแกน (axial space) น้อย
5. สามารถรับแรงรุน (thrust load) และมีแรงในแนวรัศมี (radial load) ได้พร้อมกันยกเว้นโรลลิ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (straight roller bearing) สำหรับเจอร์นัลแบริ่งรับแรงได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
6. สามารถที่จะทราบได้ว่าแบริ่งกำลังจะเสีย โดยการสังเกตจากเสียงดัง ซึ่งผิดไปจากปกติ
7. มีเคลียรันซ์น้อยมาก จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
8. สามารถรองรับเพลาในตำแหน่งใดๆ ได้ เช่น ใช้รองรับเพลา ซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
9. ทำการติดตั้งได้ง่าย

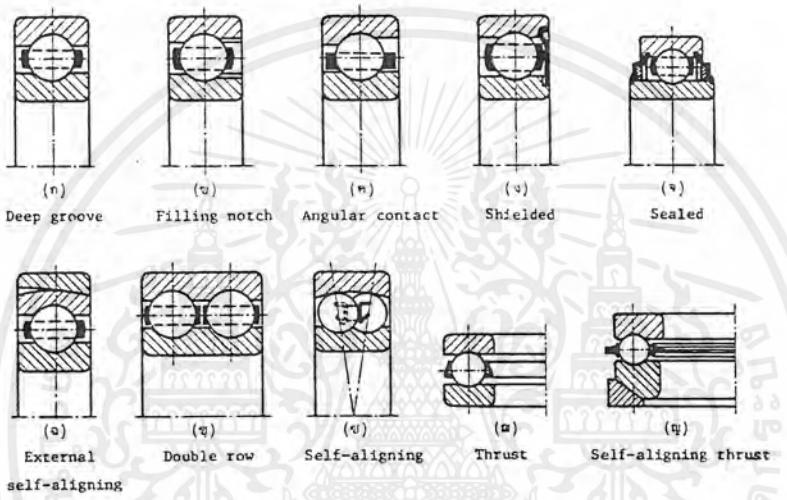
ข้อเสียของโรลลิ่งแบริ่งเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบริ่ง

1. ใช้เนื้อที่ด้านรัศมี (radial space) มากกว่า
2. โดยปกติแล้วราคาแพงกว่า
3. ขณะทำงานจะมีเสียงดังกว่า เนื่องจากมีการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและวงแหวนบ้างในบางขณะ
4. อายุการใช้งานสั้นกว่า เนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูง และกระทำซ้ำกัน (repeated load) จึงทำให้วัตถุเกิดการล้า
5. เมื่อมีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานลดลงได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 ชนิดของแบริ่ง

โดยทั่วไปแล้วโรลลิ่งแบริ่งจะแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ บอลแบริ่งซึ่งมีลูกกลิ้ง (rolling element) เป็นรูปทรงกลม และโรลเล่อร์แบริ่ง (roller bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง (straight roller) หรือเป็นรูปทรงกระบอกเรียว (tapered roller) ก็ได้ โดยปกติแล้วแบริ่งเหล่านี้ จะรับแรงได้ทั้งในแนวรัศมี และแรงรุนได้ ยกเว้นโรลเล่อร์แบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น แบริ่งทั้งสองพวกนี้ยังแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ดังที่แสดงไว้ในรูป 2.6 และ 2.7 ซึ่งจะกล่าวถึงคุณลักษณะของแบริ่งแต่ละชนิด โดยสังเขปดังต่อไปนี้




รูปที่ 2.6 บอลแบริ่งชนิดต่างๆ

บอลแบริ่งชนิดมีลูกกลิ้งมีหนึ่งแถวร่องลึก (single-row deep-groove) เป็นแบริ่งชนิดที่มีการใช้งานกันมากที่สุด ประกอบด้วยร่องลึกเป็นทางกลิ้งสำหรับลูกกลิ้งทรงกลม ดังรูป 2.6(ก) สามารถรับแรงทั้งแนวรัศมีและในแนวแกน (แรงรุน) อัตราส่วนของของแรงในแนวแกนต่อแนวแรงในแนวรัศมีที่รับได้ประมาณ 0.7 และสามารถรับการเยื้องแนวของเพลาได้ประมาณ $\pm 0^{\circ}15'$ เมื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีขึ้นไปอีก ก็อาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนลูกกลิ้งที่บรรจุในรางมากขึ้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องตัดผิวหน้าวงแหวนด้านหนึ่งให้มีช่องสำหรับใส่ลูกกลิ้ง (filling notch) เพิ่มขึ้นดังในรูป 2.6(ข) การทำเช่นนี้จะทำให้แบริ่งสามารถรับแรงในแนวรัศมีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20 ถึง 40% แต่ว่าความสามารถในการรับแรงในแนวแกนจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่สำหรับรับแรงในแนวนี้ลดลงนั่นเอง

สำหรับแบริ่งชนิดนี้ และแบริ่งชนิดที่จะกล่าวต่อไป ก็ยังมีการใช้แผ่นโลหะปิด (shield) ไว้ระหว่างช่องว่างของวงแหวน เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกรวมทั้งช่วยรักษาปริมาณของไขข้นมิให้รั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลออกมาจากแบริ่ง ดังในรูป 2.6(ง) ส่วนในรูป 2.6(จ) ก็เป็นการใช้แผ่นโลหะปิด เพื่อจุดประสงค์เดียวกันแต่เป็นการปิดแบบตายตัว (sealed)

บอลแบริ่งชนิด angular contact ดังรูป 2.6(ค) เป็นบอลแบริ่งที่ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกนซึ่งมีค่าสูง โดยมีมุมสัมผัส (contact angle) ต่างๆ กัน เมื่อมุมสัมผัสเพิ่มขึ้น แบริ่งก็สามารถที่จะรับแรงในแนวแกนได้เพิ่มขึ้นด้วย แต่จะรับแรงในแนวรัศมีได้น้อยลง ในกรณีที่ต้องการใช้รับแรง ในแนวแกนทั้งสองทิศทาง ก็ให้ใช้แบบมีลูกกลิ้งสองแถว (double row) ดังรูป 2.6(ช) หรือใช้แบริ่งสองอันหันหน้าเข้าหากัน

บอลแบริ่งชนิดปรับแนวได้เอง (self-aligning) ออกแบบสำหรับใช้ในกรณีที่เพลาอาจจะมีการเยื้องแนวเป็นมุมที่ค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูป 2.6(ฉ) และ 2.6(ซ) แบริ่งในรูป 2.6(ซ) เป็นแบบปรับแนวได้เองภายในซึ่งอาศัยผิวทรงกลมของวงแหวนนอกใน การช่วยปรับมุมได้ถึงประมาณ $\pm 2^{\circ}30'$ ส่วนแบริ่งในรูป 2.6(ฉ) เป็นแบบปรับแนวได้เองภายนอก สามารถปรับมุมได้สูงมาก โดยการเจียระไนผิวด้านนอกของวงแหวนนอก ให้รับกับผิวหน้าของตัวรับแบริ่ง (bearing housing)

บอลแบริ่งกันรุน (thrust ball bearing) ดังรูป 2.6(ฌ) ออกแบบสำหรับรับแรงในแนวแกนโดยเฉพาะ ถ้ามีแรงในแนวรัศมีอยู่ด้วยแล้วจะต้องใช้แบริ่งชนิดอื่นช่วยรับแรงนี้ ดังนั้น ในกรณีที่มีแรงทั้งสองชนิดอยู่พร้อมกันแล้ว ก็ควรที่จะเลือกใช้บอลแบริ่งชนิด angular contact

บอลแบริ่งกันรุนปรับแนวได้เอง (self-aligning thrust) ดังรูป 2.6(ญ) ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกน ในกรณีที่เพลาอาจจะมีการเยื้องแนวเกิดขึ้น

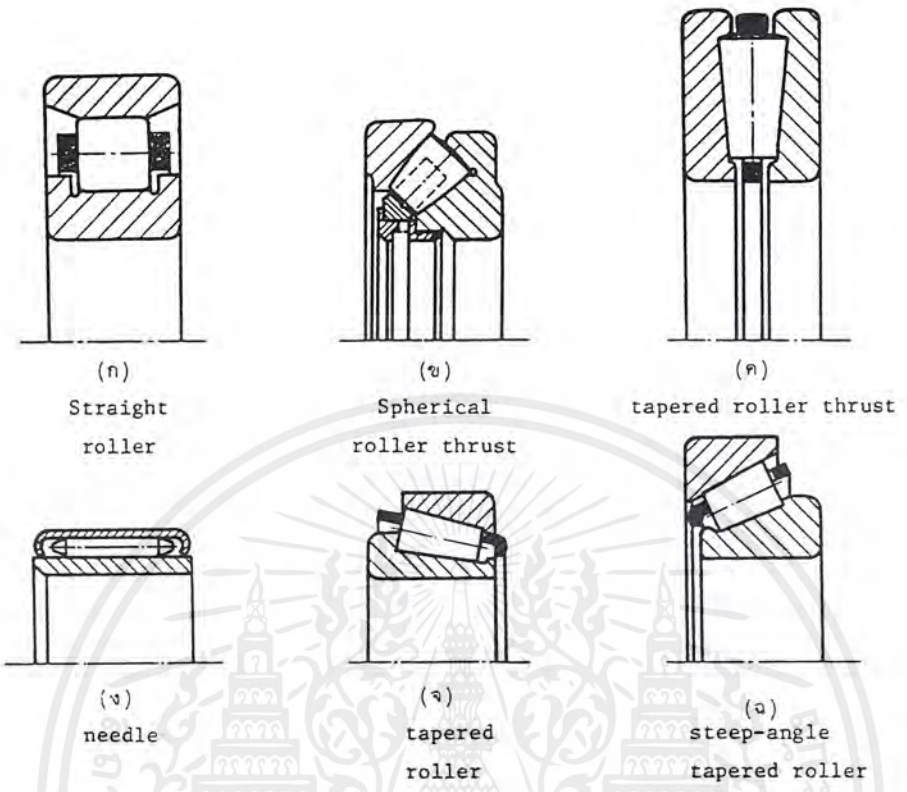
cylindrical หรือ straight roller bearing ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง ดังรูป 2.7(ก) โรลเลอร์แบริ่งแบบนี้ รับแรงในแนวรัศมีได้มากกว่าบอลแบริ่ง เพราะมีพื้นที่ที่รับแรงมากกว่า แต่ไม่สามารถรับแรงในแนวแกนได้ หรือถ้ารับได้ก็รับได้ไม่มากนัก ในกรณีที่ต้องการรับแรงทั้งสองแนวซึ่งมีค่ามากก็ควรจะเลือกใช้ tapered roller thrust bearing ดังในรูป 2.7(จ) และ 2.7(ฉ)

spherical roller thrust bearing ดังรูป 2.7(ช) และ tapered roller thrust bearing ดังรูป 2.7(ค) มีประโยชน์สำหรับใช้รับแรงในแนวแกนที่มีค่ามาก และในที่ซึ่งอาจจะมีการเยื้องแนวได้บ้าง

นีดิ้ลแบริ่ง (needle bearing) หรือตลับลูกปืนเข็ม ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ straight roller bearing แต่เหมาะสำหรับใช้ในที่ซึ่งมีเนื้อที่ในแนวรัศมีจำกัด ดังรูป 2.7(ง)

แบริ่งที่กล่าวมาแล้วนี้ เป็นเพียงส่วนหนึ่งของแบริ่งชนิดต่างๆ ที่มีใช้อยู่ในชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทั่วไปเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.7 โรลเลอร์แบริ่งชนิดต่างๆ

2.2.3.2 อายุใช้งานของแบริ่ง

แบริ่งที่ได้รับการติดตั้งและการหล่อลื่นอย่างดี ตลอดจนดูแลรักษาปราศจากฝุ่น หรือผงต่างๆ และไม่อยู่ภายใต้แรงกระทำที่มีค่าสูงเกิน มากจนเกินความสามารถที่แบริ่งจะรับไว้ได้แล้ว แบริ่งจะเสียหายเนื่องจากความล้า ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความล้าที่เกิดขึ้นในวัสดุแบริ่งเท่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าแบริ่งที่เสียจะมีผงเศษโลหะหลุดออกมาเป็นจำนวนมากทั้งนี้เพราะพื้นที่สัมผัสระหว่างลูกกลิ้งและวงแหวนมีค่าน้อยดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นในลูกกลิ้งหรือวงแหวนจึงมีค่าสูงเข้าใกล้ความเค้นของเฮิร์ซ ในขณะที่ลูกกลิ้งหมุนรอบวงแหวน วัสดุส่วนที่รับแรงของแบริ่ง จะอยู่ภายใต้ความเค้นที่มีค่าเปลี่ยนจากศูนย์ไปยังค่าสูงสุด แล้วกลับลงมาเป็นศูนย์ (repeated stress) อยู่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากความเค้นที่สูงกว่าขีดจำกัดความทนทาน (endurance limit) ของวัสดุแบริ่ง ดังนั้นจึงเกิดความเสียหายขึ้นโดยความล้า ซึ่งก็แสดงว่า อายุใช้งานของแบริ่งมีระยะเวลาจำกัด ขึ้นอยู่กับค่าของความเค้นที่กระทำซ้ำ จากผลการทดลองของ Landberg และ Palmgreg ซึ่งได้ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการประเมินค่ามาตรฐานของ AFBMA พบว่า อายุใช้งาน L แปรผันเป็นสัดส่วนกลับกับแรงในแนวรัศมี P (ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่มีทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน P จะเป็นแรงในแนวรัศมีเทียบเท่า (equivalent radial load ) นั่นคือ

$$L \propto 1/p^k$$

โดยที่ค่าคงที่ k = 3 สำหรับบอลแบริ่ง

k = 10/3 ≈ 3.33 สำหรับโรลเลอร์แบริ่ง

อายุใช้งาน L นี้มักจะเป็นจำนวนชั่วโมง ที่ความเร็วรอบของเพลาอันหนึ่ง หรือนับเป็นจำนวนล้านรอบ mr (millions of revolution) จากสมการข้างต้น จะได้ว่า

$$L_1/ L_2 = (P_2/ P_1)^k$$

จากสมการ จะเห็นได้ว่าถ้าแรงลดลงหนึ่งเท่าแล้ว อายุใช้งานของบอลแบริ่งจะเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ

$$L_1/ L_2 = 2^3 = 8 \text{ เท่า}$$

สำหรับโรลเลอร์แบริ่ง อายุใช้งานจะเพิ่มขึ้นอีก

$$L_1/ L_2 = 2^{3.33} = 10.06 \text{ เท่า}$$

ดังนั้น ในการเลือกใช้โรลลิ่งแบริ่ง จึงต้องระมัดระวังในการคำนวณหาขนาดของแรง ที่กระทำต่อแบริ่งให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด

2.2.3.3 การประเมินค่าอายุใช้งานและแรง

ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการผลิต และควบคุมคุณภาพของโรลเลอร์แบริ่งอย่างทันสมัย แต่ก็ปรากฏว่าแบริ่งชนิดเดียวกันที่ผลิตออกมาภายใต้วิธีการ และเครื่องมือชิ้นเดียวกัน จะมีอายุการใช้งานแตกต่างกันไปมากทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความยากลำบากในการควบคุมความกลมของลูกกลิ้ง และความเรียบของผิวหน้าลูกกลิ้ง เป็นต้น ดังนั้นอายุใช้งานที่ทางผู้ผลิตอ้างถึงจึงมีรากฐานมาจากการใช้หลักวิชาการทางด้านสถิติเข้าช่วย ทางสมาคม AFBMA จึงได้ตั้งคำนิยามและจัดตั้ง วิธีการเลือกแบริ่งขึ้น ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. อายุใช้งานของโรลลิ่งแบริ่ง หมายถึง จำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งแบริ่งหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง
2. อายุประเมิน (rating life) ของโรลลิ่งแบริ่งจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ หมายถึง จำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่)ซึ่งแบริ่ง 90% จากจำนวนนี้สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากความล้า และใช้แทนด้วยอายุใช้งาน $L_{10}$ ผู้ผลิตบางบริษัทอาจจะใช้อายุใช้งานเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(median life) เป็นอายุประเมินก็ได้ อายุใช้งานเฉลี่ยนี้ หมายถึง จำนวนรอบที่ 50% ของแบริ่งที่เหมือนกันจำนวนหนึ่งสามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความล้าขึ้น และใช้แทนด้วยอายุใช้งาน $L_{50}$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ $L_{10}$ โดยประมาณคือ

$$L_{50} \approx 5\, L_{10}$$

3. แรงสถิตย์ประเมิน (basic static load rating) หมายถึง แรงในแนวรัศมี ที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้ง และวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง และใช้แทนด้วย $C_0$ ค่าของ $C_0$ สำหรับ ค่า $C_0$ นี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแบริ่ง จำนวนแถวของลูกกลิ้งในแบริ่ง จำนวนลูกกลิ้งต่อแถว มุมสัมผัสตลอดจนขนาดของลูกกลิ้ง และวงแหวน โดยปกติแล้วแรงสถิตย์ประเมิน ไม่ค่อยจะมีผลต่อการเลือกแบริ่งมากนัก แต่ถ้าแบริ่งรับแรงสูง และอยู่นิ่งเป็นระยะเวลานานก็อาจจะทำให้เกิดการยุบตัวอย่างถาวร (permanent deformation) เป็นแห่งๆ ได้ ดังนั้นในบางครั้ง จึงต้องมีการตรวจสอบว่า แรงที่มากระทำมีค่ามากเกินกว่า $C_0$ หรือไม่
4. แรงพลวัตประเมิน (basic dynamic load rating) บางครั้งอาจจะเรียกว่า สมรรถนะแรงพลวัต (basic dynamic capacity) ของโรลลิ่งแบริ่ง หมายถึงแรงที่กระทำในแนวรัศมี ซึ่งแบริ่งที่มีลักษณะเหมือนกันจำนวนหนึ่งจะรับได้ โดยมีอายุประเมิน $L_{10}$ เท่ากับหนึ่งล้านรอบ เมื่อวงแหวนอันในเป็นตัวหมุน และวงแหวนอันนอกอยู่นิ่ง และใช้แทนด้วย C แรงพลวัตประเมิน C นี้ เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดแบริ่งเพื่อใช้รับแรง และมีอายุใช้งานตามต้องการ โดยการเปลี่ยนแรง และอายุใช้งานจริงมาเป็นแรง และอายุการใช้งานที่แสดงไว้ในแค็ตตาล็อก (คือแรงในแนวรัศมีที่ทำให้มีอายุประเมินเท่ากับหนึ่งล้านรอบ) หรือในทางกลับกันคือเลือกแบริ่งจากแค็ตตาล็อกแล้วเปลี่ยนให้รับแรงได้เท่าที่ต้องการในการใช้ทำงานจริงและดูว่ามีอายุประเมินจะได้ตามอายุใช้งานที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการ $L_1 / L_2 = (P_2 / P_1)^k$ ดังนี้ ให้ $L_{10}$ เป็นอายุใช้งานจริง ซึ่งมีหน่วยเป็นล้านรอบ (mr) และ P เป็นแรงในแนวรัศมีที่แบริ่งจะต้องรับขณะใช้งานจริง จากสมการ $L_1 / L_2 = (P_2 / P_1)^k$ จะเห็นว่า

$$L_1 = L_{10} \qquad P_1 = P$$

$$L_2 = 1 \text{ mr} \qquad P_2 = C$$

ดังนั้น $L_{10} = (C/P)^k$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ $L_{10} = (C/P)^k$ ทำให้ทราบว่าแบริ่งที่เลือกมาจากอายุประเมินจำนวนหนึ่งล้านรอบนั้น จะสามารถทำงานได้กี่ล้านรอบขณะทำงานได้จริง

2.2.3.4 การหล่อลื่น

โรลลิ่งแบริ่งจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สารหล่อลื่นที่เหมาะสม ความถี่ในการหล่อลื่น และการใช้สารหล่อลื่นอย่างเพียงพอ จุดประสงค์ที่แท้จริงของการหล่อลื่นคือ

1. เพื่อให้ผิวโลหะสัมผัสกันน้อยที่สุด
2. เพื่อป้องกันแบริ่งเป็นสนิม
3. ในบางครั้งอาจใช้สารหล่อลื่นช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้น
4. เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมหรือเศษผงเข้าไปในแบริ่ง

สารหล่อลื่นที่ใช้อาจเป็นไขข้นหรือน้ำมัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรง ความเร็วรอบ และอุณหภูมิขณะใช้งาน ไขข้นเหมาะสำหรับแบริ่งที่หมุนด้วยความเร็วรอบไม่สูงนัก ถ้าแรงและความเร็วรอบสูงมาก ควรจะเลือกใช้น้ำมันเป็นสารหล่อลื่น ซึ่งนิยมเลือกกันเป็น Saybolt Universal Seconds (SUS) ณ อุณหภูมิ $54.5^{\circ}$ ความเร็วที่แยกการใช้ไขข้นหรือน้ำมันนั้น ไม่อาจกำหนดแน่นอนลงไปได้ แต่โดยปกติแล้วผู้ผลิตจะมีคำแนะนำไว้ให้ในหนังสือคู่มืออยู่แล้ว

2.2.4 ชิ้นส่วนต่อเชื่อม

ชิ้นส่วนต่อเชื่อมที่ใช้ในการสร้างชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ โซ่และเฟืองโซ่ กับ สายพาน ในการสร้างใช้สายพานในส่วนของการขับด้วยมอเตอร์ และในส่วนอื่นๆนอกเหนือจากในส่วนของการขับด้วยมอเตอร์ จะใช้เฟืองโซ่ทุกส่วนเพื่อป้องกันการสลิปที่อาจจะเกิดขึ้นบนตัวสายพาน คุณสมบัติของส่วนต่อเชื่อมทั้ง 2 ชนิดนี้จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.2.4.1 สายพาน[5]

2.2.4.1.1 ชนิดและวัสดุสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน ( Flat Belts ) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ่ม ( V-Belts ) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม ( Ropes ) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และไทม์มิ่งเบลท์ ( Timing belts ) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเฟืองตลอดความยาวของสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน

วัสดุที่ใช้ทำสายพานจะต้องมีค่าความต้านแรงสูง ( Strength ) สามารถบิดตัวได้ดี และจะต้องมีสัมประสิทธิ์ความต้านทานระหว่างผิวสัมผัสสูง

วัสดุที่ใช้ทำสายพานซึ่งใช้งานกันมากคือหนัง ( Oak - Tanned Leather ) แต่ถ้าเป็นการใช้งานพิเศษ เช่นอยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้น มีไอของสารเคมี หรือมีน้ำมันอยู่ด้วย ก็มักใช้สายพานแบบ Chrome Leather เพื่อให้สายพานมีอายุการใช้งานได้นานพอสมควร จึงมักใช้ค่าความเค้นในการออกแบบสายพานต่ำกว่า ความต้านแรงดึงสูงสุดของสายพานมาก โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนังจะมีค่าประมาณ 0.40 - 0.50 และความเร็วใช้งานของสายพานควรจะอยู่ในช่วง 1000 - 2000 m/min

สายพานอีกชนิดหนึ่งคือสายพานยาง ( Rubber Belts ) สายพานประเภทนี้จะมีฝ้ายหรือผ้าใบเป็นไส้ภายในและมียางหุ้มอยู่ภายนอก ยางที่ใช้หุ้มจะเป็นยางที่อบด้วยกำมะถัน ในอุณหภูมิสูง ( Valcanised ) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความต้านแรง สายพานยางเหมาะสำหรับใช้งานที่มีน้ำมันหรือแสงแดด เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานหนังแล้ว สายพานยางจะมีราคาถูกกว่า แต่อายุการใช้งานสั้นกว่า สายพานยางทนต่อสภาพบรรยากาศในการใช้งานได้ดีกว่าสายพานหนัง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานยางจะมีค่าประมาณ 0.30 - 0.40 และสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 20 N ต่อชั้น ต่อความกว้างของสายพาน 1 mm

สายพานบาลลาตา ( Balata Belts ) เป็นยางคล้ายสายพายยาง แต่ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีอบด้วยกำมะถัน ทนต่อกรดและความชื้นได้ดี แต่อุณหภูมิใช้งานไม่ควรเกิน 40 $^{0}$ C สายพานชนิดนี้มีความต้านแรงมากกว่าสายพานยางประมาณ 25 %

สายพานผ้าฉัก ( Textile Belts ) ทำจากฝ้ายหรือผ้าใบซ้อนกันเป็นชั้นๆ แล้วยึดติดกัน จากนั้นจึงเคลือบด้วยน้ำมันลินซีด ( Linseed ) เพื่อทำให้สายพานกันน้ำได้ มักใช้กับงานประเภทชั่วคราว

สายพานทุกชนิดที่กล่าวมานี้จะยืดตัวได้ดี ดังนั้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงจะยืดตัวทำให้เกิดการสลิบบนล้อสายพาน ( Pulley ) ในทางปฏิบัติจึงมักจะยืดสายพานให้ตึงไว้ก่อนใช้งานทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการสลิปของสายพาน

ในการขับเพลาที่อยู่ขนานกัน และต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนในทิศเดียวกัน จะเรียกการขับสายพานชนิดนี้ว่า การขับเพลาชนิดโอเพนไดรว์ ( Open Drive )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1.2 การครีพและการสลิป

ความแตกต่างระหว่างการครีพและการสลิปของสายพานจะเห็นได้อย่างชัดเจนโดยการพิจารณาการขับด้วยสายพาน เมื่อสายพานส่วนหนึ่งเคลื่อนที่เข้าหาล้อขับ สายพานจะเคลื่อนที่ไปตามส่วนโค้งสัมผัสบนล้อสายพาน ด้วยความเร็วที่เท่ากับความเร็วขอบของล้อสายพาน (ถ้าแรงดึงในสายพานมากเพียงพอที่จะเอาชนะแรงภายนอกได้) เมื่อสายพานส่วนนี้ไถลล้อออกจากล้อสายพาน แรงดึงในสายพานจะลดลงเท่ากับแรงดึงในด้านหย่อนเป็นผลให้สายพานหดสั้นลง ในทำนองเดียวกันสายพานที่เคลื่อนที่ตามออกไปก็จะหดสั้นลงด้วย ดังนั้นความเร็วจริงของสายพานที่เคลื่อนที่ออกจากล้อขับจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วขณะเข้าสู่ล้อสายพาน ในทำนองเดียวกัน ความเร็วของสายพานจะเพิ่มขึ้นในช่วงส่วนโค้งสัมผัสของล้อตามเมื่อแรงดึงในสายพานเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดึงในด้านตึง และสายพานที่เคลื่อนที่ตามออกมาก็จะยืดตัวจนมีความยาวเท่าเดิม ปรากฏการณ์ที่สายพานเปลี่ยนความเร็วเป็นความเร็วที่ช้าลงบนล้อขับ และเพิ่มความเร็วบนล้อตาม เรียกว่า การครีพ (creep)

เมื่อแรงภายนอกเพิ่มขึ้นโดยไม่เพิ่มแรงดึงชั้นต้นในสายพาน สายพานทุกส่วน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดึงในตัวสายพาน เมื่อเริ่มเข้าสู่โค้งสัมผัส ถ้าแรงภายนอกมากเพียงพอ ส่วนโค้งที่เกิดการครีพอาจจะเท่ากับส่วนโค้งสัมผัส ดังนั้นจึงเกิดการสลิป (slip) ขึ้น การสลิปอาจเกิดขึ้นบนล้อสายพานเพียงล้อเดียว ส่วนการเกิดครีพจำเป็นจะต้องเกิดขึ้นเท่ากันบนล้อสายพานทั้งสองล้อ

การออกแบบการขับด้วยสายพานที่ดี เมื่อทำงานในสภาวะปกติไม่ควรมีการสลิป แต่การครีพจะเกิดขึ้นเสมอ ไม่ว่าจะเป็นสายพานชนิดใด การเกิดครีพและสลิปทำให้สูญเสียกำลังงานและความเร็ว แต่การสูญเสียที่เกิดจากการครีพมีค่าน้อยมาก การสลิปอาจทำให้เกิดความร้อนมากเพียงพอที่จะทำให้ผิวหน้าของสายพานเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ให้เกิดการสลิป ด้วยวิธีการดึงสายพานให้ตึงเพียงพอก่อนการใช้งานเพื่อกำจัดการสลิป

2.2.4.1.2 ความเค้นในสายพาน

ส่วนต่างๆ ของสายพานจะอยู่ในความเค้นที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้ว ความเค้นเหล่านี้จะประกอบไปด้วย ความเค้นดึงเนื่องจากแรงดึงชั้นต้น (initial tension) ความเค้นเนื่องจากการส่งกำลัง และแรงหนีศูนย์กลาง และความเค้นดัดเนื่องจากสายพานเคลื่อนที่ผ่านล้อสายพาน

2.2.4.1.3 ความกว้างและความยาวของสายพานแบน

เนื่องจากสายพานที่ใช้งานกันอยู่เดิมมีทั้งมาตรฐานที่เป็นระบบหน่วยอังกฤษ และ ระบบหน่วยเมตริก ซึ่งขนาดไม่สอดคล้องกัน ทำให้เกิดปัญหาขึ้นเมื่อต้องการเปลี่ยนสายพานใหม่ ดังนั้นองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) จึงได้กำหนดมาตรฐานความกว้างของสายพานส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความกว้างของล้อสายพานที่สอดคล้องกัน ใน ISO 22-1975(E) โดยไม่คำนึงถึงวัสดุของสายพาน เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ขนาดสายพานให้เป็นมาตรฐาน ในการคำนวณค่าจะอ้างอิงมาตรฐานนี้ตลอด ซึ่งจะดูได้จาก ภาคผนวก ค ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO 63-1975(E)

2.2.4.2 โซ่[5]

การขับด้วยโซ่มีใช้อยู่มากทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาขับและเพลาตาม อัตราทดการขับขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสองและการขับด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่

เนื่องจากการขับด้วยโซ่มีความไว้ใจได้ และถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์ จึงนิยมใช้มาก เช่น ในการส่งกำลังในเรือ เครื่องยนต์ เครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องมือกล เครื่องทอผ้าและเครื่องจักรกลงานไม้ เครื่องพิมพ์ และในการขนส่งและขนถ่ายวัสดุ

การขับด้วยโซ่มีข้อดีอยู่ระหว่างการขับด้วยสายพานและการขับด้วยเฟือง ทางด้านราคาสมรรถนะในการส่งกำลังและการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับได้ในระยะทางไกลกว่าสายพาน และขับได้พร้อมกันหลายๆ เพลา ซึ่งมีทิศทางหมุนตามกันหรือสวนทางกันก็ได้

ข้อดีของการขับด้วยโซ่

1. ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง
2. ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงชั้นต้นในด้านตึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุใช้งานของแบริ่งที่รองรับเพลาเพิ่มมาก
3. ไม่มีสลิปในขณะส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
4. มีขนาดกะทัดรัดกว่าสายพาน เมื่อใช้งานด้วยอัตราทดเท่ากัน
5. เฟืองโซ่จะมีขนาดเล็กกว่าล้อสายพานและถ้าต้องการส่งกำลังเท่ากันความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าสายพาน
6. ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น
7. ใช้งานได้กับอุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของการขับด้วยโซ่

1. มีเสียงดัง
2. เนื่องจากความเร็วรอบสูงจะมีอันตรายเมื่อโซ่ขาด
3. ไม่มีความอ่อนตัวในการส่งกำลัง เพลาจะต้องขนานกัน
4. ส่งกำลังแบบครอสไดรว์ไม่ได้
5. มีราคาแพงกว่าการขับด้วยสายพาน
6. ต้องมีการหล่อลื่น

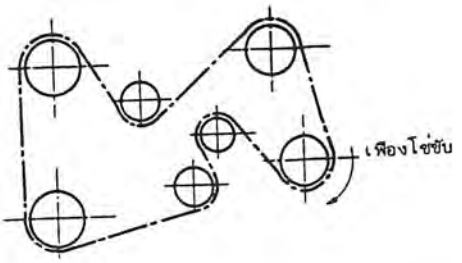
2.2.4.2.1 การใช้งาน

จากรูป 2.8 จะพบว่า ในการขับด้วยโซ่อาจขับเพียงหนึ่งเฟืองโซ่หรือหลายเฟืองโซ่ก็ได้ และอาจหมุนในทิศทางเดียวกันกับเฟืองโซ่ขับหรือสวนทางกันได้ แต่อย่างไรก็ตามมีข้อสมมติฐานว่าเฟืองโซ่จะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน และเพลาจะต้องขนานกันและอยู่ในระดับด้วย ความเร็วขอบของเฟืองโซ่สามารถใช้ได้ถึง 20-25 m/s

สิ่งจำกัดในการส่งกำลังด้วยโซ่ เมื่อใช้งานด้วยความเร็วรอบปานกลางจนถึงความเร็วรอบสูงก็คือ การสึกหรอของข้อต่อ และความต้านแรงล้า (Fatigue Strength) ของวัสดุชิ้นส่วนโซ่ นอกจากนี้แล้ว ถ้าใช้งานด้วยความเร็วสูงจะต้องคำนึงถึงแรงที่เกิดขึ้นในโซ่ เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง ในการขับโดยใช้โซหลายเส้นขนานกันเป็นสองชั้น (Double-strand) หรือสามชั้น (Triple-strand) อาจทำให้แรงที่กระทำกับโซ่ไม่กระจายไปเท่าๆ กันตลอดความกว้างของโซ่ และถ้าหล่อลื่นไม่ดีพอ ก็จะเป็นสาเหตุประการสำคัญที่ทำให้โซ่สึกหรอได้มาก

โซ่ที่กล้องอยู่บนเฟืองจะมีลักษณะคล้ายรูปหลายเหลี่ยมบนเฟืองโซ่ (ซึ่งจะกล่าวถึงในภายหลัง) ทำให้แขนของแรงในแนวสัมผัสกับเฟืองโซ่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่ส่งกำลังนอกจากนี้ ในระหว่างที่โซ่เคลื่อนเข้าหาและเคลื่อนออกจากเฟืองโซ่ ข้อต่อโซ่แต่ละข้อจะเกิดการหมุนเทียบกับข้อต่อโซ่ข้างเคียง $2\alpha$ การหมุนนี้จะทำให้เกิดความเสียหายขึ้น เป็นผลให้สูญเสียกำลังและโซ่สึกหรอ ผลต่อมาก็คือระยะพิตช์ของโซ่เพิ่มขึ้นอาจหลุดออกจากเฟืองโซ่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



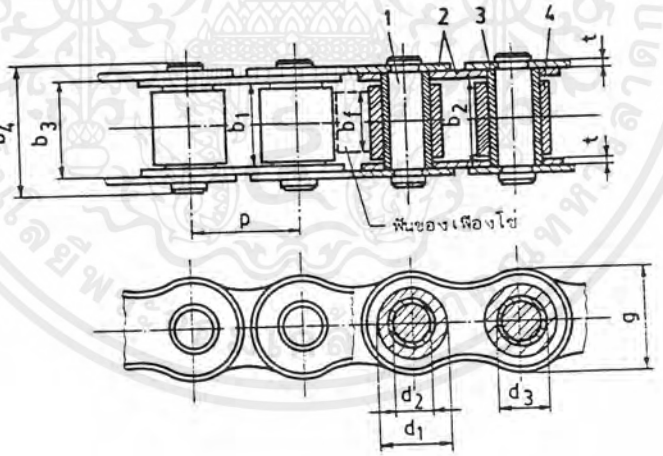

รูปที่ 2.8 แสดงการขับเพลาหลายเพลาโดยการใช้โซ่เพียงหนึ่งเส้น

2.2.4.2.2 ชนิดของโซ่

โซ่แบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 4 ชนิด คือ

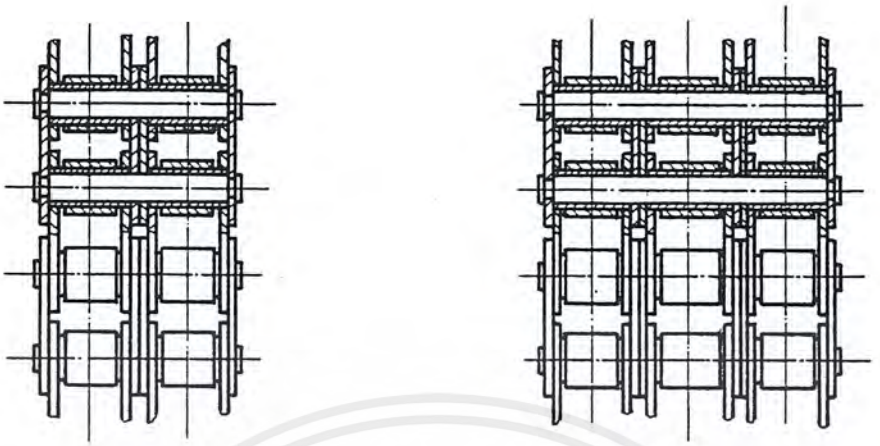
1. โซ่โรลเลอร์ (Roller Chains)

โซ่ชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นต่อ (Link) ด้านในและด้านนอกยึดติดกันด้วยสลัก และบูช (Bushes) โรลเลอร์กลวงสวมอยู่ในบูช ดังรูปที่ 2.9 เมื่อใช้รับแรงมากอาจใช้แบบสองชั้นและสามชั้น ดังรูปที่ 2.10 ที่ปลายต่อกันของโซ่ อาจใช้อุปกรณ์ในการต่อดังรูปที่ 2.11

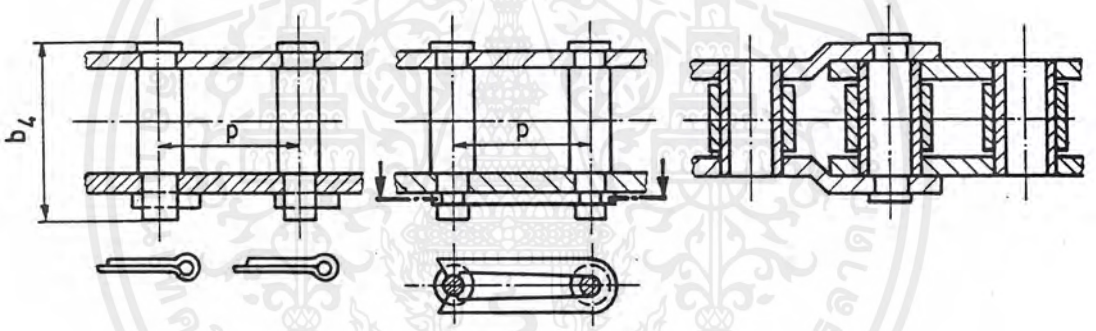



รูปที่ 2.9 โซ่โรลเลอร์: 1.สลัก,2.แผ่นต่อด้านนอกและด้านใน.3.บูชที่คัดแน่นกับแผ่นต่อด้านใน,4. โรลเลอร์หมุนได้อิสระบนบูช 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โซ่โรลเลอร์สองชั้นและสามชั้น

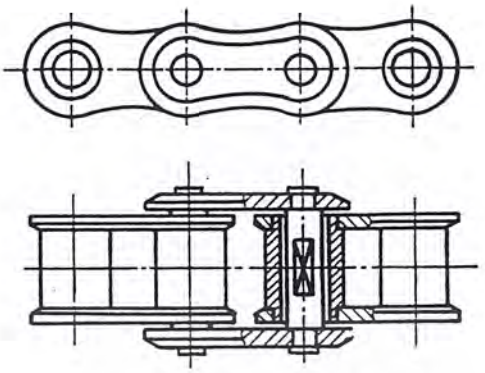



รูปที่ 2.11 ข้อต่อสำหรับโซ่โรลเลอร์ จากด้านซ้ายต่อด้วยคอตเตอร์พิน ต่อด้วยสปริงรูปตัวยู และต่อด้วยข้อต่อแบบพิเศษ

2. โซ่บูช (Bushed Chains)

โซ่ชนิดนี้แตกต่างกับโซ่โรลเลอร์ก็ตรงที่ไม่มีโรลเลอร์ (รูปที่ 2.12) ดังนั้นไม่สามารถออกแบบให้บูชและสลักมีขนาดใหญ่ได้มากกว่าโซ่โรลเลอร์ โดยที่ระยะพิตช์เท่ากัน โซ่บูชจึงรับแรงได้มากกว่า แต่เนื่องจากในการใช้งานจะเกิดเสียงดัง และการสึกหรอมาก โดยทั่วไปแล้วจึงนิยมใช้โซ่โรลเลอร์มากกว่าโซ่บูช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 โซ่บูช

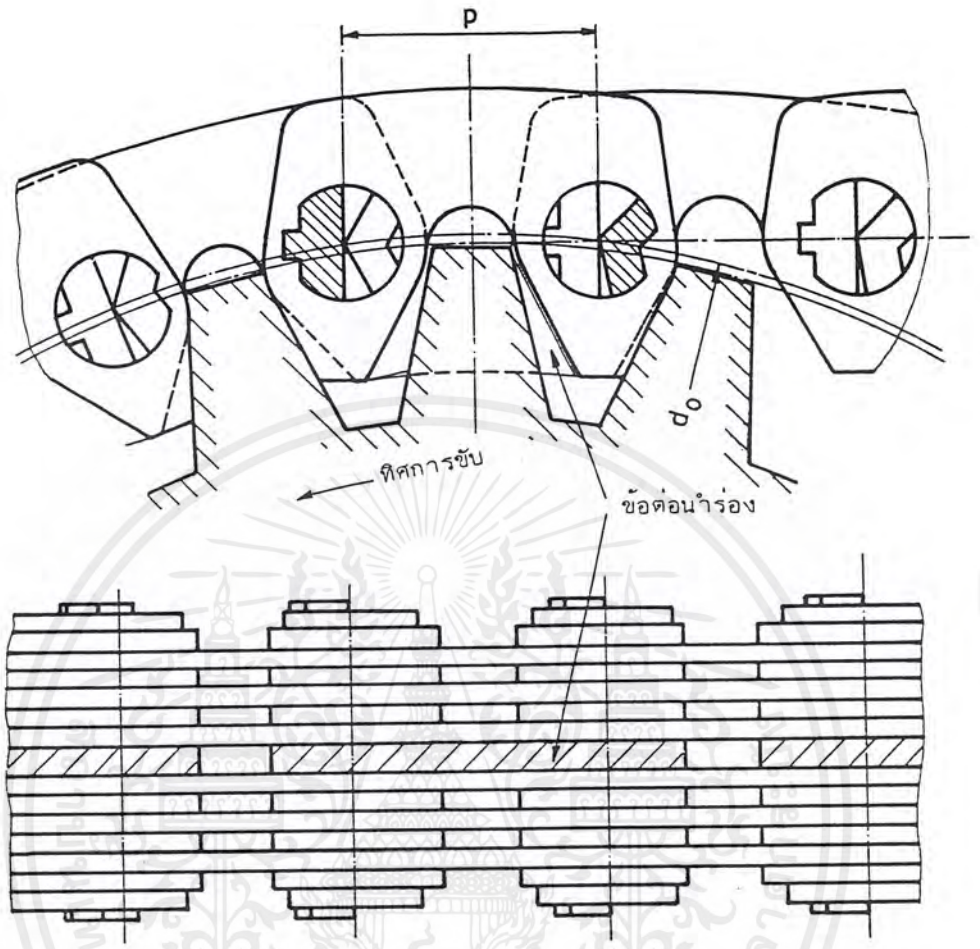
3.โซ่ฟัน (Toothed Chains)

โซ่ชนิดนี้อาจเรียกว่า Silent Chains ก็ได้ โซ่ฟันจะประกอบด้วยแผ่นต่อหลายแผ่นเรียงซ้อนกัน และยึดติดกันด้วยสลักดังรูปที่ 2.13 แผ่นต่อแต่ละแผ่นจะมีฟันสองฟัน ในขณะส่งกำลังข้อต่อโซ่จะทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของข้อโซ่ ทำให้โซ่แนบสนิทกับฟันบนเฟืองโซ่ จึงมีการสึกหรอน้อย ซึ่งเฟืองโซ่ควรจะมีฟันไม่น้อยกว่า 12 ฟัน โซ่ฟันใช้ขับด้วยความเร็วสูงกว่าโซ่โรลเลอร์ทำงานได้โดยเกือบจะไม่มีเสียงดัง แต่จะมีน้ำหนักมากกว่าโซ่โรลเลอร์ ราคาแพงกว่า และต้องการให้มีการบำรุงรักษาที่ดีกว่าโซ่โรลเลอร์

4.โซ่ชนิดอื่น

เมื่อใช้ส่งกำลังด้วยความเร็วต่ำ (ไม่เกิน 2 m/s) หรืองานที่ไม่ต้องการความแม่นยำนัก เช่น ในการขับเครื่องจักรกลเกษตร ก็มักใช้โซ่ที่มีลักษณะเป็นพิเศษดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.13 โซ่ฟัน

2.2.4.2.3 เฟืองโซ่

เส้นผ่านศูนย์พิตช์ของเฟืองโซ่ d ดังรูปที่ 2.14 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของข้อต่อโซ่ที่คล้องอยู่บนเฟืองโซ่ซึ่งก็คือวงกลมที่ลากผ่านมุมของรูปหลายเหลี่ยม ที่เกิดขึ้นเนื่องจากโซ่คล้องบนเฟืองโซ่ เซอร์คิวลาร์พิตช์ $p_c$ ของวงกลมพิตช์ซึ่งวัดตามส่วนโค้งของวงกลมพิตช์ จึงมีค่ามากกว่าระยะพิตช์ p ของโซ่ สำหรับเฟืองโซ่เฟืองหนึ่งจะมีมุมพิตช์ $\alpha$ เป็นค่าคงที่ ซึ่ง

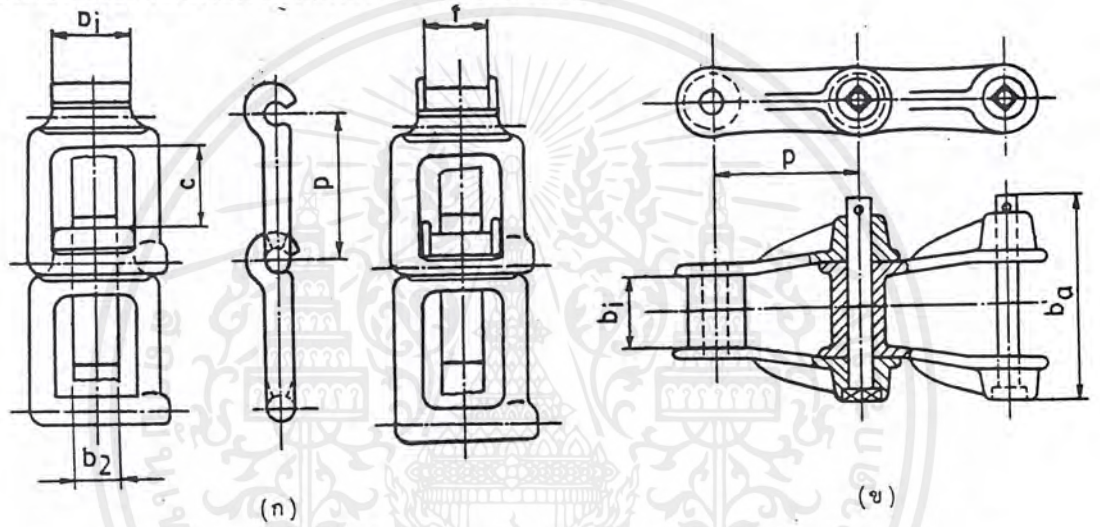
$$\sin \alpha = p/d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

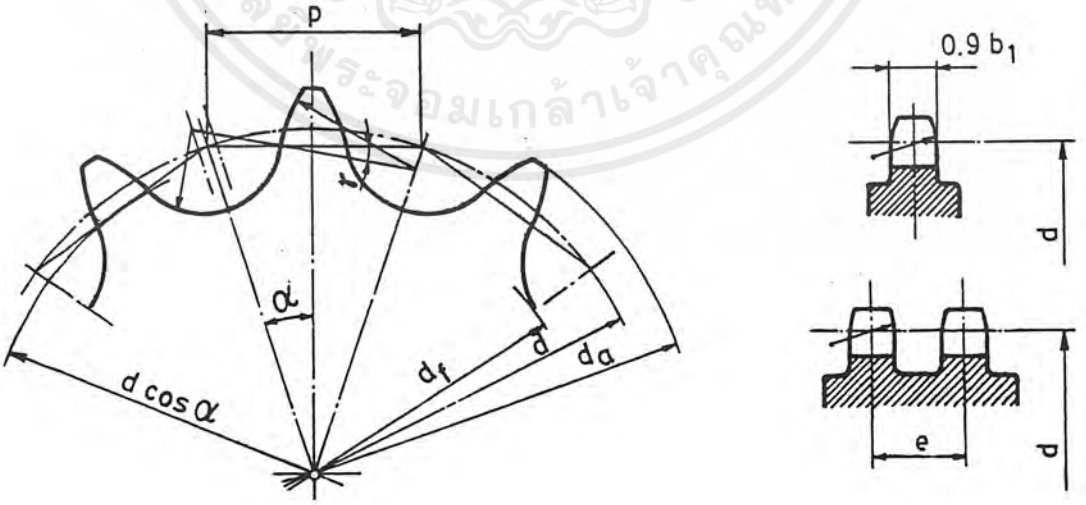
ลักษณะของฟันเฟืองโซ่จะต้องทำให้การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์เป็นไปได้สะดวก ซึ่งจะเห็นการเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ดังรูปที่ 10 นอกจากนี้ อาจจะมีลักษณะแตกต่างกันไปอีก ตามความต้องการของบริษัทผู้ผลิต เพื่อให้โซ่มีมุมกด $\gamma$ ตามความต้องการ

เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูชดังรูปที่ 2.14 จะมีมุมกดแตกต่างกันไปมาก ถ้ามุมกด $\gamma$ โตมากจะทำให้โซ่ยืดออกใกล้เคียงกันทุกข้อ แต่จะต้องทำให้โซ่ด้านหย่อนตึงขึ้น และทำให้เกิดเสียงดังในขณะขับมากขึ้น

เฟืองสำหรับโซ่ฟัน (รูปที่ 2.17) มีฟันเป็นเส้นตรง มุมระหว่างฟันจะเท่ากับ 60 องศา ปลายฟันจะทำให้มนเพื่อป้องกันการสึกหรอในขณะขับ

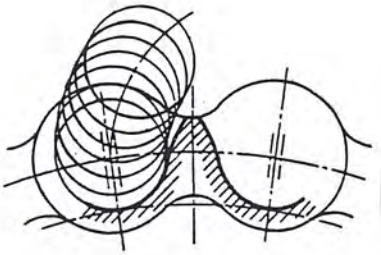



รูปที่ 2.14 โซ่ชนิดอื่น (ก) detachable joint chain (ข) steel pin chain

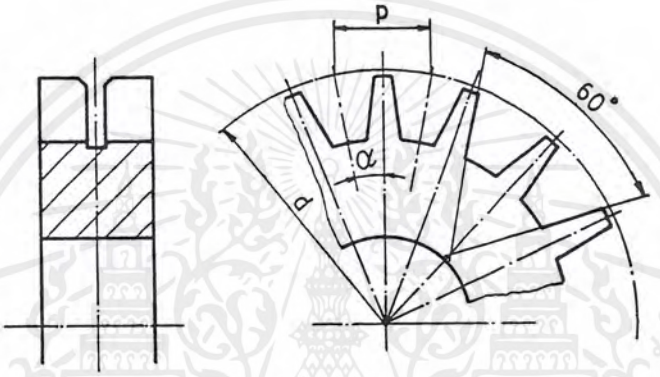



รูปที่ 2.15 เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ขณะส่งกำลัง




รูปที่ 2.17 เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบและการสร้าง

## 3.1 หลักการทำงาน

การทำงานของชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

เมื่อมีการป้อนเส้นแป้งออกจากเครื่อง ป้อน ด้วยอัตราคงที่ ผ่านชุดลูกกลิ้ง 2 ชุด ซึ่งมีหน้าที่ในการบดเส้นแป้ง ให้เป็นแผ่นแป้งที่มีขนาดบางๆ โดยผ่านลูกกลิ้งชุดที่ 1 ซึ่งจะบดแป้งจากเส้นแป้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เป็นแป้งที่มีความหนา 1 เซนติเมตร จนกระทั่งผ่านชุดลูกกลิ้งชุดที่ 2 แผ่นแป้งจะมีความหนาประมาณ 3-4 มิลลิเมตร เมื่อได้แผ่นแป้งที่มีความหนาตามต้องการแล้ว จนมีความกว้างของแผ่นแป้งประมาณ 16 เซนติเมตร ผ่านไปยังชุดสายพานโดยจะนำแผ่นแป้งไปยังส่วนใส่ไส้ ซึ่งในส่วนใส่ไส้จะใช้เฟืองโซ่ที่มีขนาด 6 นิ้ว (จากการคำนวณซึ่งจะได้กล่าวในส่วนของการคำนวณต่อไป) หลังจากผ่านการใส่ไส้ จะเคลื่อนไปยังส่วนห่อ ซึ่งจะใช้ลักษณะการห่อแบบพับครึ่ง เมื่อผ่านชุดห่อแล้ว จะทำการตัด โดยใช้ตัวตัด ซึ่งจะใช้เฟืองโซ่ที่มีขนาด 4 นิ้วมาทำการขับเพลาเพื่อให้ตัวตัดหมุน (จากการคำนวณซึ่งจะได้กล่าวในส่วนของการคำนวณ) ชุดตัวตัดจะติดสปริง เพื่อทำหน้าที่ในการช่วยดันก้อนแป้งที่ตัดแล้ว ให้หลุดออกมาโดยง่าย ไม่ติดอยู่ภายในตัวตัด ตัวตัดที่ใช้จะเป็นตัวตัดที่มี 4 หัวตัด และมีลักษณะที่เหมือนกัน โดยแต่ละหัวตัด จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร เพื่อจะให้ได้ขนมกุ๋ยช่าย ที่มีขนาด 6 เซนติเมตร หลังจากทำการตัดเสร็จแล้วก็จะได้ขนมกุ๋ยช่ายที่มีลักษณะเป็นลูกกลม พร้อมที่จะนำไปนึ่ง เพื่อจะรับประทานต่อไป

## 3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

การออกแบบระบบการลำเลียง ส่วนที่ทำการใส่ไส้ผักกุ๋ยช่าย และส่วนที่ทำการตัดขนมกุ๋ยช่ายเป็นลูกกลมนั้น โดยการใช้ระบบของเฟืองโซ่มาทำการใช้งาน โดยจะมีการใช้เฟืองโซ่ในขนาดต่างๆกันตามการออกแบบดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนสายพานลำเลียง

ในส่วนของสายพานลำเลียงใช้ลำเลียงแผ่นแป้งที่ผ่านการทำให้แบนเรียบร้อยแล้ว โดยที่ออกแบบไว้ให้ตำแหน่งของลูกขนมกุ๋ยช่ายนั้นจะมีระยะห่างกันในแต่ละลูก เท่ากับ 7.854 เซนติเมตร เมื่อแผ่นแป้งเคลื่อนที่มาได้เท่ากับระยะที่กำหนด ( 7.854 เซนติเมตร ) จะทำให้เฟืองโซ่ขนาด 3 นิ้ว ( ดังที่ออกแบบไว้ ) หมุนได้ A. รอบ โดยที่

$$7.853981634 = A\pi ( 7.5 )$$

$$A. = 1/3$$

โดยที่ 7.853981634 คือ ระยะห่างของตำแหน่งของขนมกุ๋ยช่ายในแต่ละลูก

7.5 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองโซ่ขนาด 3 นิ้ว หรือ 7.5 เซนติเมตร

เพราะฉะนั้นเมื่อสายพานพาขนมกุ๋ยช่ายในแต่ละลูกให้เคลื่อนที่ในระยะห่าง 7.854 เซนติเมตร จะทำให้เฟืองโซ่ขนาด 3 นิ้ว หมุนไปได้ 1/3 รอบ

2. ส่วนทำการใส่ไส้

ในส่วนการใส่ไส้จะนำเฟืองโซ่มาใช้ เพื่อเป็นตัวขับให้แกนใบพาหมุน ซึ่งใบพานั้นได้ออกแบบไว้ให้เป็นแบบ 6 แฉก เพื่อให้ปริมาณของผักกุ๋ยช่ายที่ลงมาบนแป้งนั้นมีปริมาณที่เหมาะสมในแต่ละลูก และขนาดของเฟืองโซ่จะคำนวณดังนี้

$$(1/3)\pi ( 7.5 ) = (1/6)\pi M$$

$$M = 2 \times 7.5 = 15 \text{ เซนติเมตร} = 6 \text{ นิ้ว}$$

ขนาดของเฟืองโซ่ที่ใช้ในการขับใบพา จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 นิ้ว

3. ตัวตัด

ในส่วนของตัวตัดจะทำหน้าที่ในการตัดขนมกุ๋ยช่ายออกเป็นลูกๆ ซึ่งจะใช้เฟืองโซ่ในการบังคับให้ตัวตัดนั้นหมุน และจากการออกแบบจะใช้ตัวตัดที่มีขนาด 4 แฉก โดยจะคำนวณขนาดของเฟืองโซ่ที่ใช้ในการบังคับตัวตัดดังนี้

$$(1/3)\pi ( 7.5 ) = (1/4)\pi N$$

$$N = 10 \text{ เซนติเมตร} = 4 \text{ นิ้ว}$$

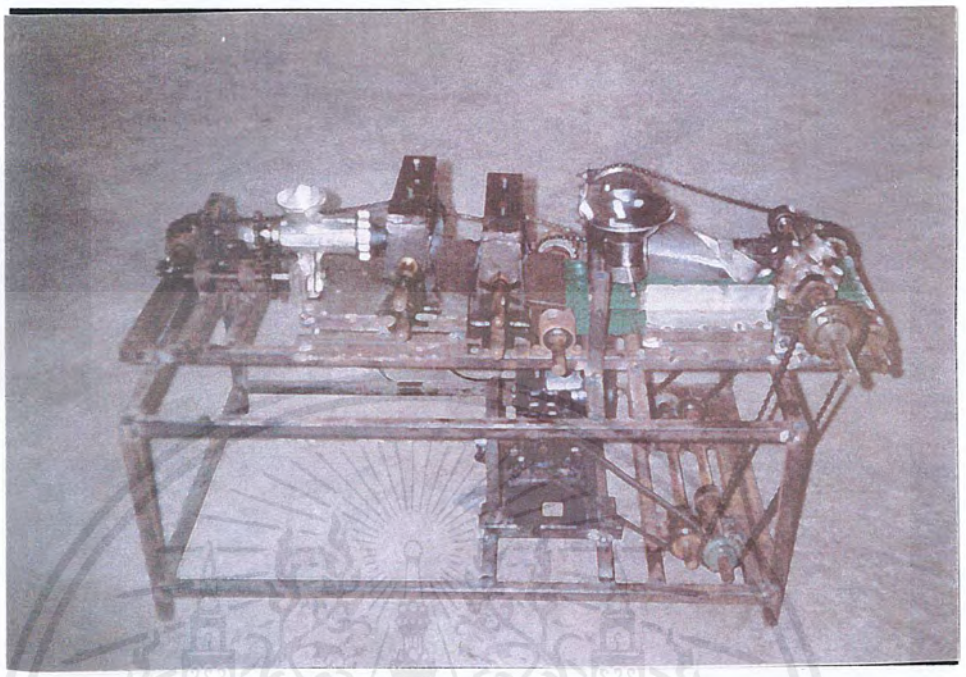
ขนาดของเฟืองโซ่ที่ใช้ในการบังคับให้ตัวตัดนั้นหมุนจะมีขนาด 4 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

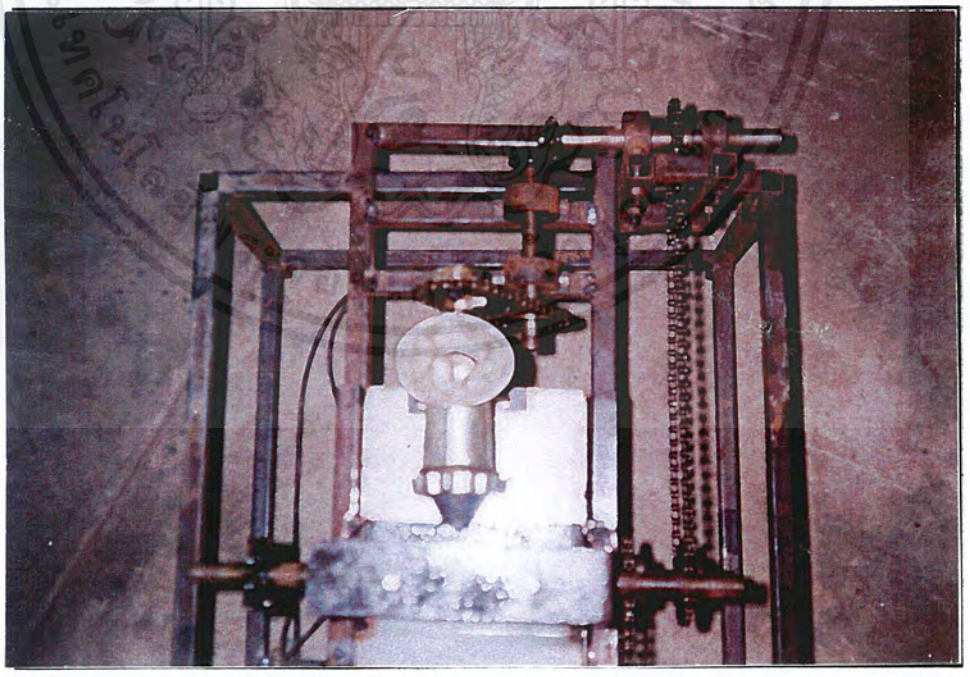
3.2 การดำเนินการประกอบชุดอุปกรณ์

1. **ตัวป้อน** ส่วนทำการป้อน ใช้อุปกรณ์บดเนื้อ ( Meat Mincer ) มาทำการบดแป้งให้ออกมาเป็นเส้น และมีปากกรวยขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร โดยจะใส่แป้งที่นวดแล้วทางด้านบนของอุปกรณ์นี้และจะทำการหมุนให้แป้งป้อน ออกมาด้วยเฟืองโซ่ที่ต่อกับเฟืองโซ่อีกตัวหนึ่งซึ่งเชื่อมโยงด้วยโซ่
2. **ตัวบดแป้ง** แบ่งเป็นตัวบดแป้ง 2 ตัว ตัวที่ 1 จะใช้ในการทำให้แป้งที่ป้อน ผ่านออกมามีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร และตัวบดตัวที่ 2 จะใช้เพื่อทำให้แป้งที่ผ่านตัวบดตัวที่ 1 ที่มีความหนา 1 เซนติเมตร ลดความหนาให้เหลือประมาณ 3 มิลลิเมตร ซึ่งในการสร้างตัวบดทั้ง 2 ตัว สามารถปรับความหนาได้ในแต่ละตัวไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร การสร้างจะใช้สแตนเลสในการทำส่วนที่สัมผัสกับแป้ง หรือคือตัวลูกกลิ้ง และ แกนจะทำด้วยแกนเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
3. **แบริ่ง** แบริ่งที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ห่อขนมกุ้ยช่ายจะทำใหม่เพื่อที่จะสามารถใส่เพลาที่มีขนาด 2 เซนติเมตรได้ โดยจะใช้ลูกปืนเบอร์ 6204 ซึ่งสามารถใส่เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรได้พอดี ในส่วนที่เป็นเหล็กที่หุ้มอยู่ภายนอกของแบริ่งจะทำการกลึงและนำลูกปืนตีอัดเข้าไปภายในร่องที่ทำการกลึงไว้
4. **เฟืองโซ่** เฟืองโซ่ที่ใช้หลังจากซื้อต้องทำการกลึงผิวเพื่อให้มีความหนาเหมาะสมที่สามารถใส่โซ่จักรยานได้
5. **โครงของชุดอุปกรณ์** โครงเหล็กที่ใช้ในการทำชุดอุปกรณ์จะใช้แป๊ปสี่เหลี่ยมมาทำการเชื่อมเพื่อทำโครงของชุดอุปกรณ์ชนิดนี้
6. **สายพาน** สายพานที่ใช้ในการลำเลียงแป้งจะทำมาจากผ้าใบ
7. **มอเตอร์และเกียร์ทดรอบ** มอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังจะมีขนาด ½ แรงม้า และ ตัวทดรอบเจะใช้ขนาด 1:60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

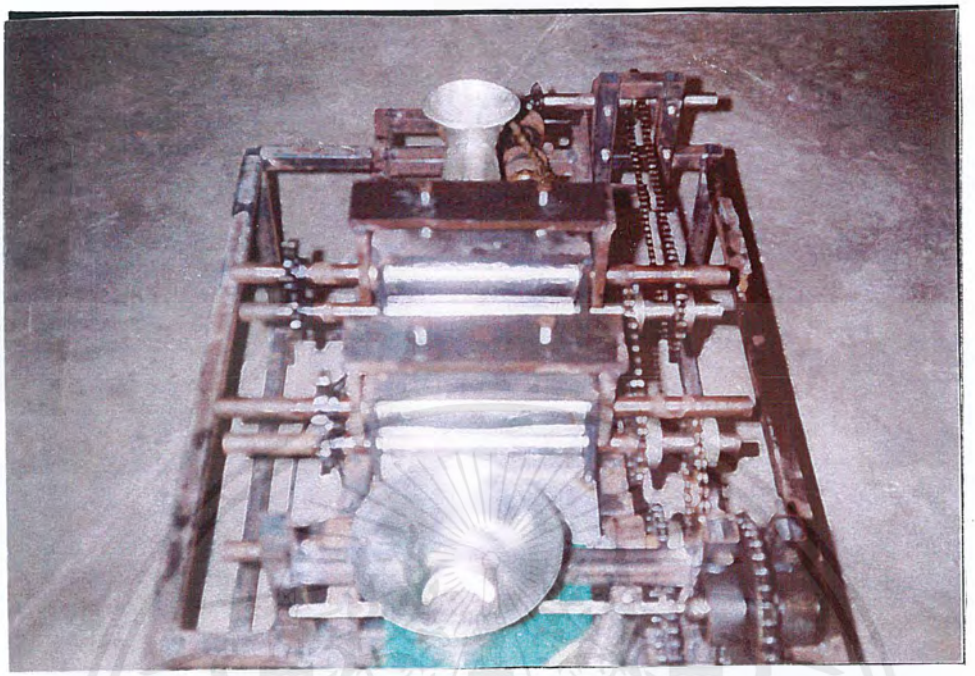


รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

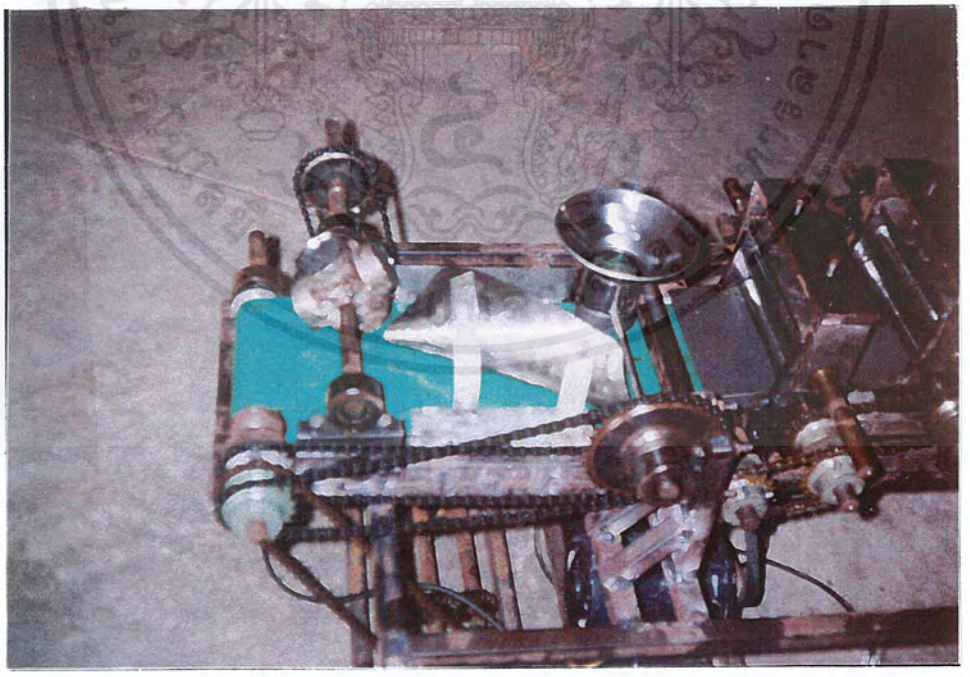


รูปที่ 3.2 เครื่องป้อนและตัวกลับทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

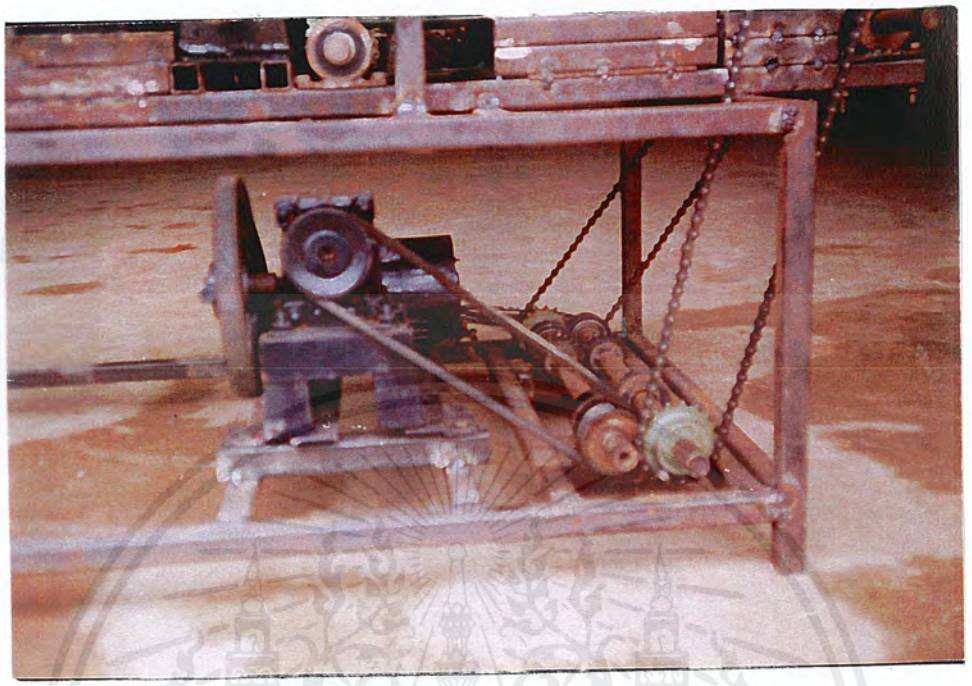


รูปที่ 3.3 ชุดตัวบดสองชุด



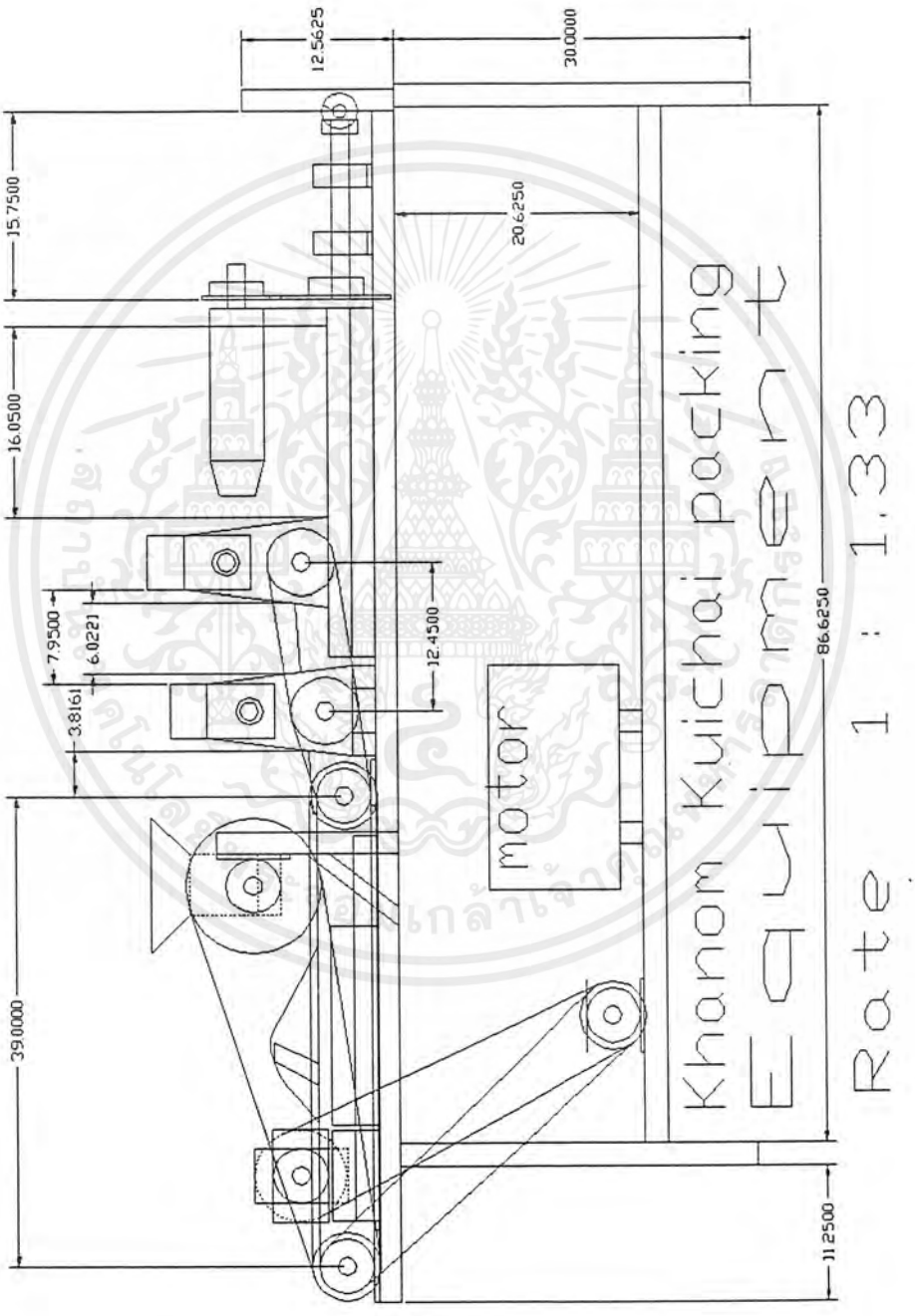
รูปที่ 3.4 สายพาน , ส่วนทำการใส่ไส้ และส่วนการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



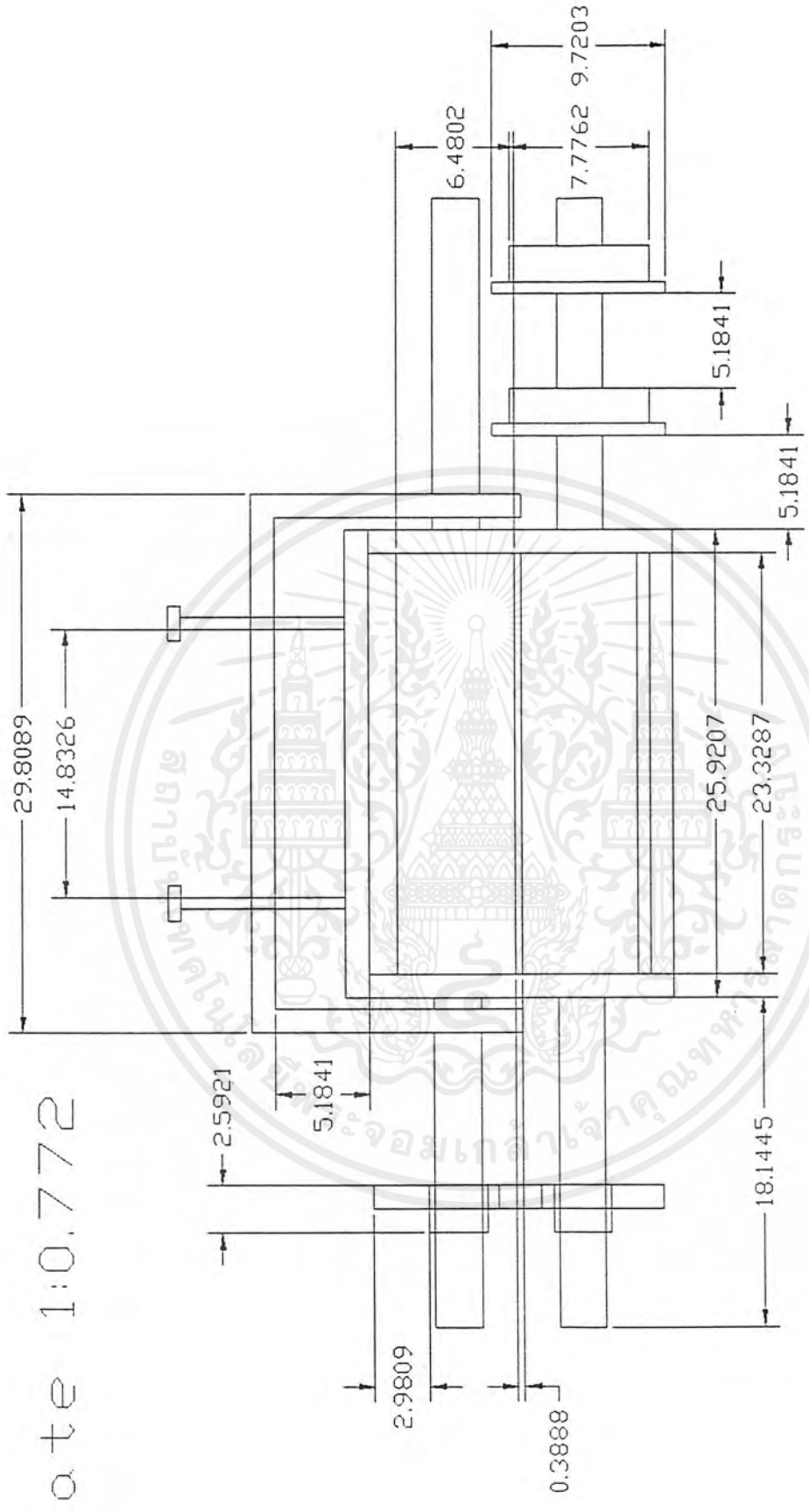
รูปที่ 3.5 ส่วนกลับทิศ และมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.6 แสดงขนาดของชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

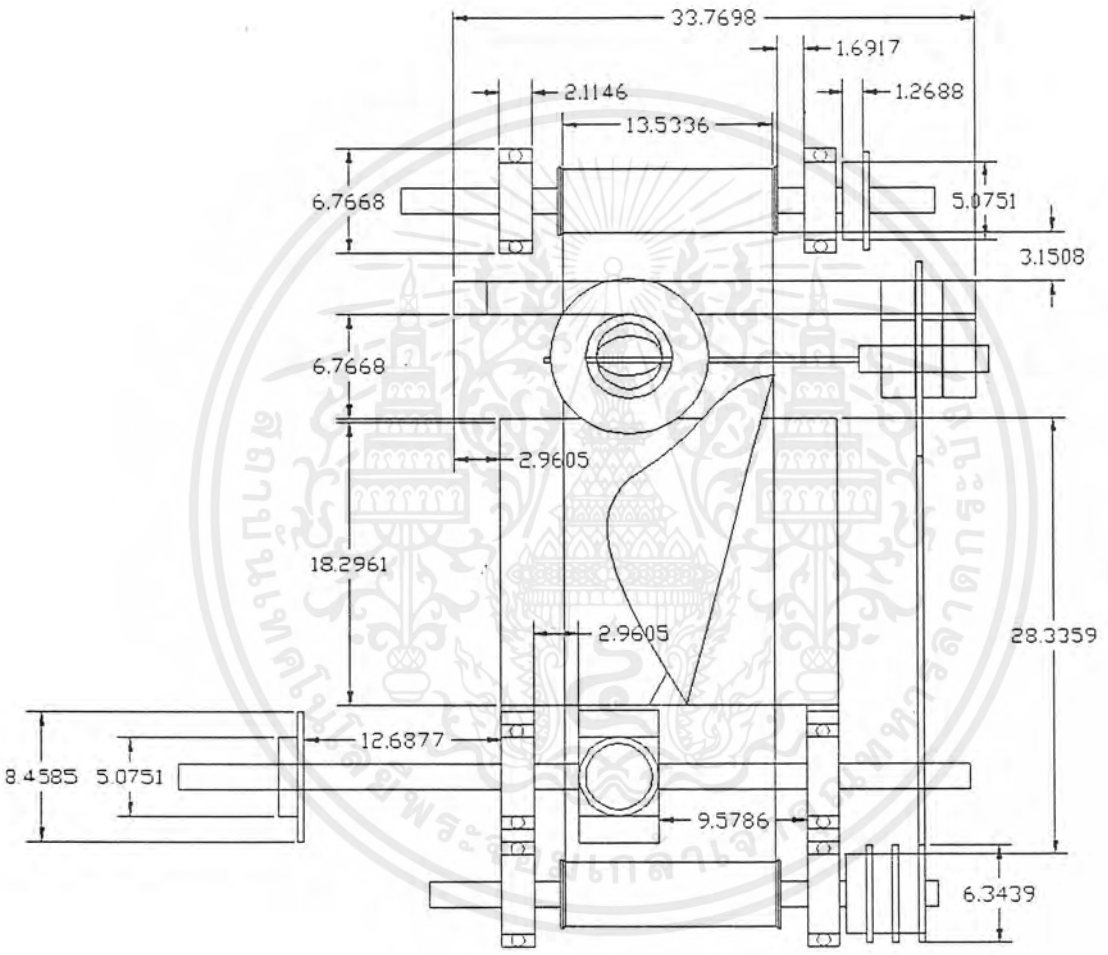
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของตัวบด

In first step has clearance about 3 mm. And another one has 1 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.8 แสดงขนาดส่วนสายพาน , ส่วนใส่ไส้ และส่วนการตัด

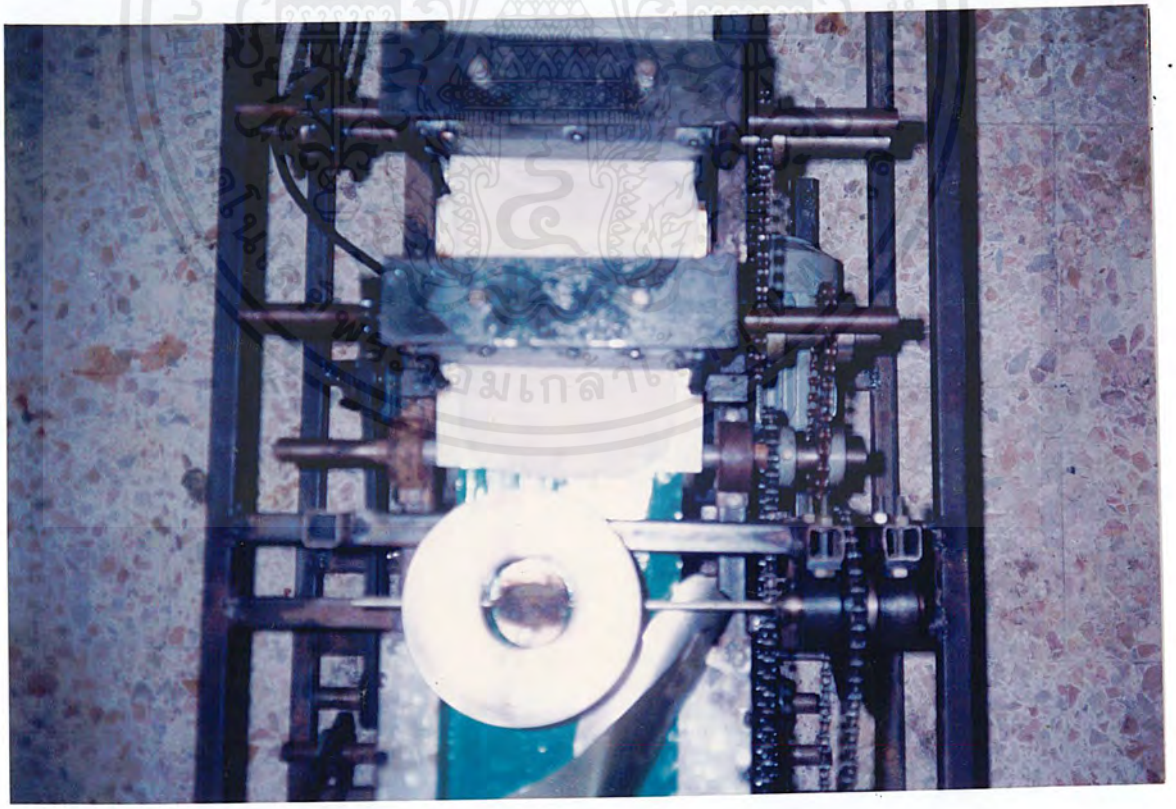
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การศึกษาชุดอุปกรณ์

4.1 วิธีการทดลอง

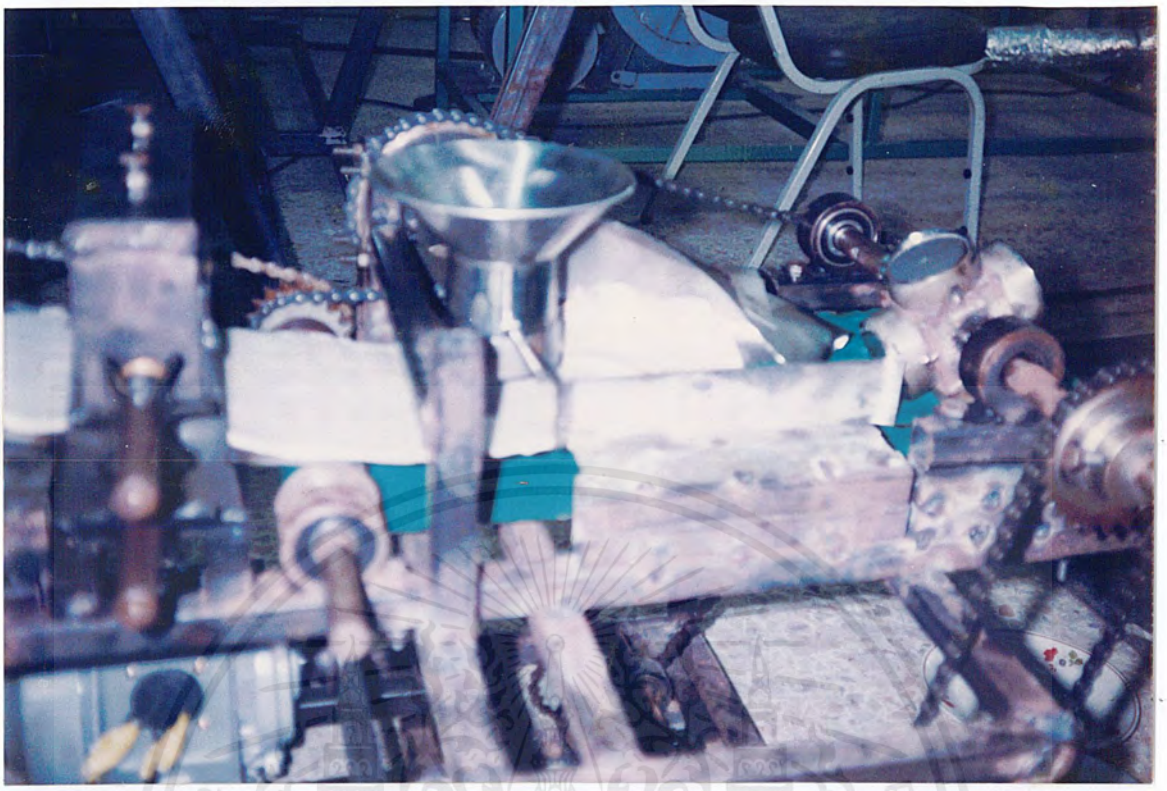
ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่ายที่สร้างขึ้นจะทำการทดลองดังนี้

1. เตรียมแป้งในการทำขนมกุ๋ยช่ายประมาณ 500 กรัม
2. เริ่มเดินเครื่องเพื่อการทดลองทำขนมกุ๋ยช่าย
3. หาความเร็วรอบที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากความห่างและรูปร่างของขนมกุ๋ยช่าย โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ 5 ระดับ ตั้งแต่ 842 , 983 , 1123 , 1264 , 1404
4. หาอัตราการผลิตเฉลี่ยต่อนาที
5. เปรียบเทียบอัตราการผลิตของชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่ายต่ออัตราการผลิตเมื่อใช้แรงงานคน

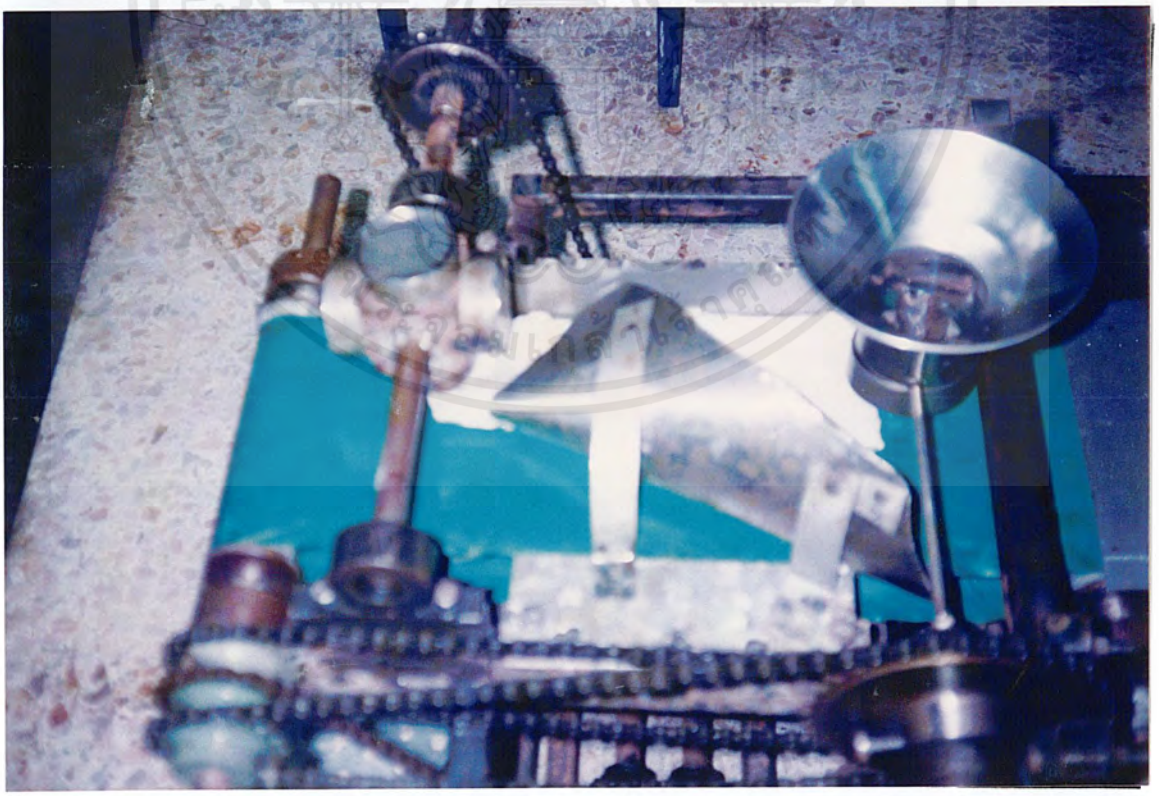


รูปที่ 4.1 แสดงการผ่านของแผ่นแป้งผ่านออกจากตัวบดทั้ง 2 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

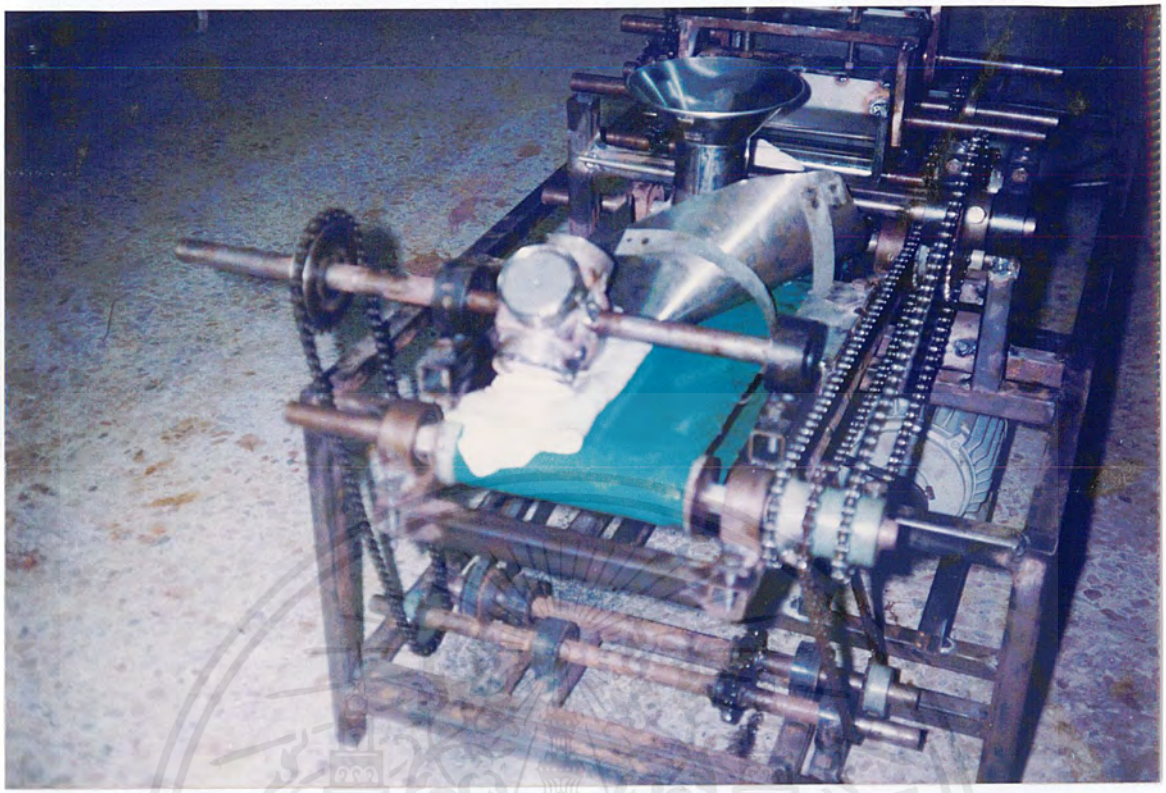


รูปที่ 4.2 แสดงการผ่านของแผ่นแป้งไปยังส่วนใส่ไส้โดยสายพาน

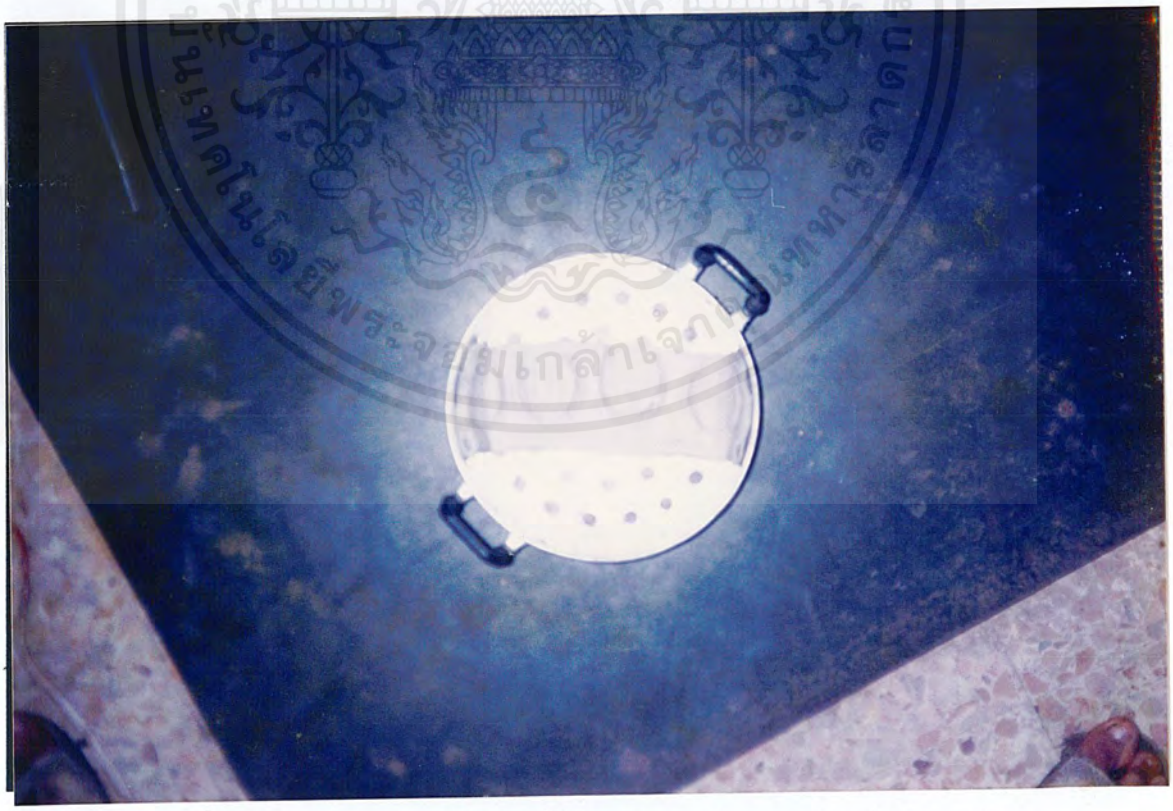


รูปที่ 4.3 แสดงแผ่นแป้งเมื่อผ่านตัวพับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การตัดแผ่นแป้งด้วยตัวตัดเมื่อแผ่นแป้งผ่านการพับ



รูปที่ 4.5 รูปร่างของขนมกุ๋ยช่ายที่ได้จากการทำด้วยชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบลักษณะความห่างและรูปร่างของขนมกุ๋ยช่ายที่ผ่านตัวตัด ที่ความเร็วรอบต่างๆ

| ความเร็วรอบต่อนาที | ลักษณะความห่างของชิ้นแป้ง | รูปร่างของชิ้นแป้ง |
|---|---|---|
| 842 | ค่อนข้างห่าง | ลักษณะค่อนไปทางวงรี |
| 983 | ค่อนข้างห่างกันแต่น้อยกว่าที่ความเร็วรอบ 842 รอบต่อนาที | ลักษณะค่อนไปทางวงรี |
| 1123 | ไม่ห่างกันมาก | ลักษณะค่อนไปทางวงรี |
| 1264 | ค่อนข้างชิดกัน | ลักษณะค่อนไปทางวงรี |
| 1404 | ค่อนข้างชิดกัน | ลักษณะค่อนไปทางวงรี |

จากการทดลองที่ความเร็วรอบต่างๆ ของมอเตอร์ต้นกำลัง พบว่าที่ความเร็วรอบ 1123 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมในการทำขนมกุ๋ยช่ายโดยใช้ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย ซึ่งพิจารณาจากระยะห่างและรูปร่างของขนมกุ๋ยช่ายเมื่อผ่านตัวตัด

ตารางที่ 4.2 อัตราการผลิตขนมกุ๋ยช่ายที่ความเร็วรอบ 1123 รอบต่อนาที

| การทดลองครั้งที่ | จำนวนชิ้นขนม | เวลา (วินาที) | อัตราการผลิตจำนวนชิ้นต่อวินาที |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 76 | 0.132 |
| 2 | 10 | 75 | 0.133 |
| 3 | 10 | 77 | 0.129 |
| 4 | 10 | 76 | 0.132 |
| 5 | 10 | 76 | 0.132 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการผลิตเฉลี่ยของชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย = 0.132 ชิ้นต่อวินาที

= 7.92 ชิ้นต่อนาที

≈ 8 ชิ้นต่อนาที

อัตราการผลิตขนมกุ๋ยช่ายเมื่อใช้แรงงานคนเฉลี่ย = 5 ชิ้นต่อนาที

เปรียบเทียบอัตราความสามารถของชุดอุปกรณ์ห่อขนมเมื่อเทียบกับแรงงานคน = 8/5 = 1.6

4.3 บทวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อการหาค่าอัตราการผลิตของการทำขนมกุ๋ยช่ายด้วยชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่ายนั้นจะยังมีจุดติดขัดของแป้งซึ่งสภาวะของแป้งจะยังที่ค่าความชื้นอยู่มากจึงทำให้แม้ว่าจะทำการใช้น้ำมันในการทาในอุปกรณ์แต่ละชิ้นแล้วก็ตามก็ยังมีการติดขัดของแป้งอยู่ในทุกส่วนผลการทดลองที่ได้จึงยังได้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่จากการทดลอง ในส่วนของตัวป้อน แป้งนั้นจากปัญหาข้างต้นทำให้การป้อน ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ หรือคาจจะออกมาในปริมาณที่ไม่มากเหมือนใช้ด้วยแรงงานคน เนื่องมาจากเราไม่สามารถคำนวณค่าแรงบิดของเครื่องป้อน แป้งได้แน่นอน จึงไม่สามารถที่จะคำนวณแรงในส่วนของต้นกำลังที่จะใช้ขับตัว ป้อน ได้คงที่ ในส่วนของตัวบดและส่วนใส่ไส้จะสามารถใช้งานได้ค่อนข้างดี โดยรวมแล้วปัญหาที่พบจะเกิดจากแป้งที่ติดอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ภายในชุดอุปกรณ์เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การคำนวณจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณจุดคุ้มทุน เป็นการหาระยะเวลาที่ต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆจะเริ่มสมดุลย์กับรายรับที่ได้จากการขาย โดยค่าใช้จ่ายต่างๆนั้นจะประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายแปรผันและ ค่าใช้จ่ายคงที่ โดยที่ค่าใช้จ่ายแปรผันจะประกอบไปด้วย ค่าจ้างแรงงาน ค่าไฟ และค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต สำหรับค่าใช้จ่ายคงที่นั้นจะประกอบไปด้วย ค่าเสื่อมราคาและค่าซากที่ทำการขายหลังจากหมดอายุการใช้งาน

การประเมินต้นทุนและผลตอบแทนเป็นการทดสอบความเป็นไปได้ในการลงทุนในชุดอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้งาน ซึ่งเงินลงทุนที่ใช้ในการสร้างในเชิงวิศวกรรม ราคาเครื่องจะประมาณ 8150 บาท/เครื่อง ซึ่งเงินลงทุนดังกล่าว ยังไม่รวมค่าโรงเรือนสำหรับเก็บเครื่อง ในความเป็นจริงแล้ว ผู้ลงทุนนำชุดอุปกรณ์มาใช้งานยังต้องมีเงินลงทุนในส่วนของโรงเรือนที่จะใช้ในการเก็บชุดอุปกรณ์ด้วย อย่างไรก็ดีในที่นี้จะสมมุติให้มูลค่าของเครื่อง คือ เงินลงทุนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนต้องใช้ในการลงทุน และเป็นเงินลงทุนที่ผู้ลงทุนได้เป็นผลตอบแทนกลับคืนมา

ผลตอบแทนการลงทุน ในที่นี้จะสมมุติให้เป็นการนำรายรับรวมหักออกด้วยค่าใช้จ่าย ซึ่งจะได้เป็นผลตอบแทนเบื้องต้น ซึ่งจะนำไปคำนวณระยะเวลาการคืนทุนได้ โดยที่ระยะเวลาในการคืนทุนคำนวณได้จากสัดส่วนของค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการลงทุนต่อผลตอบแทนเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ต้นทุนในการสร้าง

ตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการประกอบชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่าย

| อุปกรณ์ | ราคา(บาท) |
|---|---|
| น๊อต และ สกรู | 100 |
| ลูกปืน ( รวมราคาของเหล็กที่ใช้ในการทำแบริ่ง ) | 420 |
| เฟืองโซ่ ขนาด 17 ฟัน 3 นิ้ว O.D. 14 ตัว | 840 |
| เฟืองโซ่ 1 นิ้ว O.D. | 80 |
| เฟืองโซ่ 6 นิ้ว O.D. | 100 |
| แป๊ปสี่เหลี่ยม 6 เมตร 2 เส้น | 230 |
| ท่อสแตนเลส | 350 |
| เพลาเหล็ก 2 CM. O.D. 3 เมตร | 100 |
| โซ่จักรยาน | 360 |
| สายพาน 1 เส้น | 100 |
| มอเตอร์ ½ hp. | 2500 |
| เฟืองทดรอบ 1:60 | 1500 |
| เครื่องบด | 600 |
| เฟืองตรง 2 ตัว | 80 |
| เฟืองดอกจอก 2 ตัว | 80 |
| สแตนเลสแผ่น | 150 |
| เหล็กแผ่น | 350 |
| กรวยสแตนเลส | 80 |
| ผ้าใบ | 100 |
| สปริง 4 ตัว | 30 |
| รวม | 8,150 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การคำนวณจุดคุ้มทุน

กำหนดให้อายุการใช้งานของเครื่อง 5 ปี

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผัน

1. ต้นทุนคงที่

P(A/P.I%.N)

คิดดอกเบี้ย 12 %

= 8,150(A/P,12%,5)

= (8,150 x 0.27741)

= 2,260.8915 บาท/ปี

2. ต้นทุนแปรผัน

1) ค่าจ้างแรงงาน 2 คน ค่าจ้างแรงงาน 8,000 บาท/คน/เดือน

ค่าจ้างแรงงานปีละ 2 x 12 x 8,000 = 192,000 บาท

2) ค่าไฟฟ้า 1/2 x 0.746 x 8 x 200 x 3 = 1,790.4 บาท/ปี

3) ค่าบำรุงรักษารวมค่าซ่อม 1,000 บาท/ปี และเพิ่มขึ้นปีละ 150 บาท

ค่าซ่อม = 1,000 + 150(A/G,I%,N)

= 1,000 + 150(1.77)

= 1,265.50 บาท/ปี

4) ต้นทุนค่าวัสดุ

กำหนดให้ค่าวัสดุที่ใช้ในการทำขนมกุ๋ยช่าย เช่น แป้งข้าวเจ้า, แป้งมันสำปะหลัง, ผักกุ๋ยช่าย โดยคิดรวมว่าใช้ค่าวัสดุในการทำ 1.5 บาท/ชิ้น

ค่าวัสดุ = 1.5 บาท/ชิ้น x 8 ชิ้น/นาที x 60 นาที/ชั่วโมง x 8 ชั่วโมง/วัน x 200 วัน/ปี

= 1,152,000 บาท/ปี

รวมค่าใช้จ่ายแปรผัน = 1,347,055.90 บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย 1,347,055.90 / 768,000 = 1.75 บาท/หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 2,260.8915 + 1.75n ( n คือ จำนวนหน่วยลุ้มทุน )

กำหนดให้รายได้ที่ได้จากการขาย = 2 บาท/ชิ้น

กำหนดจุดคุ้มทุน

$$2n = 2,260.8915 + 1.75n$$

$$n = 9,043.566 \text{ ชิ้น}$$

คิดเป็น = 9,044 ชิ้นต่อปี

ใน 1 ปีผลิตได้ 768,000 ชิ้น ดังนั้นในการผลิตขนมถุ้ยฉ่ายจำนวน 9,044 ชิ้น ใช้เวลาประมาณ 4 วัน

จุดคุ้มทุน เท่ากับ 4 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

## 6.1 สรุป

1. เมื่อปรับความเร็วรอบในระดับต่างๆ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของขนมกุ๊ยช่ายแต่ละชิ้นที่ผ่านการตัด จะมีระยะห่างที่น้อยลง เมื่อความเร็วรอบมากขึ้น แต่ลักษณะที่ได้ของขนมกุ๊ยช่ายในแต่ละชิ้น มีลักษณะค่อนข้างเป็นวงรี
2. ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการทำขนมกุ๊ยช่าย ด้วยอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่ายคือที่ความเร็วรอบ 1123 รอบต่อวินาที ซึ่งพิจารณาจากระยะห่างและรูปร่างของขนมกุ๊ยช่าย
3. ที่ความเร็วรอบ 1123 รอบต่อวินาที จะได้อัตราการผลิตเฉลี่ยของชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่ายประมาณ 8 ชิ้นต่อนาที
4. การทำขนมกุ๊ยช่ายจากชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๊ยช่ายมีความสามารถในการทำมากกว่าการทำขนมกุ๊ยช่ายด้วยแรงงานคน 1.6 เท่า

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในส่วนของตัวป้อนควรปรับปรุงให้มีระดับที่ต่ำลงและให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เพื่อให้แป้งสามารถไหลออกได้ง่ายขึ้นและทันกับตัวบด
2. สายพานควรอยู่ในระดับที่ต่ำลงจากตัวบดเพื่อให้แป้งสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกขึ้น
3. ตัวบดควรติดอุปกรณ์ในการทาน้ำมันให้สามารถมีน้ำมันหล่อลื่นอยู่ตลอดเวลา
4. ในส่วนตัวพับควรมีส่วนที่ประคองแป้งเพื่อไม่ให้แป้งเกิดการม้วนตัวก่อนทำการตัด
5. อุปกรณ์ในการตัดควรทำให้ใบมีดตัดมีลักษณะโค้งหรือเป็นวงรี เพื่อให้แป้งที่ผ่านการตัดมีลักษณะที่กลมมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


1. _____ , "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แป้งข้าวเจ้า มอก. 638-2529" , กระทรวงอุตสาหกรรม , 2529
2. _____ , "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แป้งมันสำปะหลัง มอก. 638-2529" , กระทรวงอุตสาหกรรม , 2529
3. _____ , "อาหารเป็นเลิศ (อาหารคาว)" , สำนักพิมพ์แสงแดด , 2537
4. _____ , "เอกสารประกอบการสอน วิชา ENGINEERING MATERIAL เรื่อง โลหะนอกกลุ่มประเภทเหล็ก (NON FERROUS METALS) , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2538
5. _____ , "เอกสารประกอบการสอน วิชา ENGINEERING MATERIAL เรื่อง โลหะประเภทเหล็ก (FERROUS METALS) , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2538
6. วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์ , "การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2" , สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2521



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผสมการทำขนมกุ๋ยช่าย

ส่วนผสมแป้ง

แป้งข้าวเจ้า 4 ขีด

แป้งข้าวเหนียว 1 ขีด

แป้งมัน 1 ขีด

น้ำ 4 ถ้วย

น้ำมัน 1/4 ถ้วย

กระเทียมเจียว 1/4 ถ้วย

วิธีทำ

1. ผสมแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า 3 ถ้วย แป้งมัน 1/4 ถ้วยเข้าด้วยกัน ค่อยๆใส่น้ำทีละน้อย คนให้เข้ากันดี จนน้ำหมด ใส่น้ำมัน คนให้เข้ากัน
2. นำส่วนผสมข้อ 1 ใส่ลงในกระทะทอง ยกขึ้นตั้งไฟ ใช้ไฟกลาง กวนจนแป้งสุกล่อนจากกระทะ ยกลง พอแป้งอุ่น ใส่แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันที่เหลือ นวดให้เหนียวนุ่ม ใช้ผ้าขาวบาง ชุบน้ำบิดให้หมาดๆคลุมไว้
3. ปั้นแป้งเป็นก้อนกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จะได้ประมาณ 120 ก้อน แผ่แป้งให้เป็นแผ่นบางรูปเบ้าหรือถ้วย ตักไส้ใส่ จับจีบให้สวย
4. นำไปนึ่งในน้ำเดือด ไฟแรง จนสุก ยกลง พรมด้วยกระเทียมเจียว จัดใส่จาน เสิร์ฟพร้อมน้ำจิ้ม

ส่วนผสมไส้กุ๋ยช่าย

ใบกุ๋ยช่ายตัดท่อนสั้น 4 ถ้วย

กระเทียมสับละเอียด 1 ช้อนโต๊ะ

ซีอิ๊วขาว 2 ช้อนโต๊ะ

น้ำมัน 1/4 ถ้วย

ใส่น้ำมันลงไปในกระทะ ตั้งไฟให้ร้อน ใส่กระเทียม เจียวให้หอม ใส่ใบกุ๋ยช่าย ผัดพอทั่ว ใส่ซีอิ๊วขาว ผัดให้เข้ากัน ปิดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องปรุงน้ำจิ้ม

พริกชี้ฟ้าเหลืองแดงโขกละเอียด 5 เม็ด
น้ำตาลทราย 1/4 ถ้วย
ซีอิ๊วขาว 4 ถ้วย
ซีอิ๊วหวาน 4 ถ้วย
น้ำส้มสายชู 1/4 ถ้วย

ผสมน้ำตาล ซีอิ๊วหวาน ซีอิ๊วขาว น้ำส้มสายชู เข้าด้วยกัน ตั้งไฟให้น้ำตาลละลาย ยกลงปล่อยให้อุ่น ใส่พริกชี้ฟ้า คนให้ทั่ว

ข้อเสนอแนะ

1. แป้งที่นวดได้ที่แล้ว ควรคลุมด้วยผ้าขาวบางชุบน้ำบิดให้หมาดๆ เพื่อไม่ให้แป้งถูกลม เพราะแป้งจะแห้ง
2. การจับจีบควรจับจีบให้แน่น ป้องกันไม่ให้ไส้หลุดออกมาเมื่อนึ่งสุกแล้ว
3. การนึ่งควรใส่น้ำ 1/4 ของลังถึง ใช้ไฟแรงเมื่อน้ำเดือด จึงยกถาดขนมขึ้นนึ่ง ขนมที่ได้จึงจะมีลักษณะเหนียวนุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบคุณ อาจารย์ สัญลักษณ์ กิ่งทอง ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ รวมทั้ง แนวคิด ในการทำ ชุดอุปกรณ์ห่อขนมกุ๋ยช่ายนี้ด้วย อาจารย์ กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา ที่ให้คำแนะนำ ตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ นาย อมร จิตต์เพิ่มพูล กุศล และ นาย ธีรพงษ์ กิตติรัตนากร ที่ได้ให้แนวคิด และช่วยเหลือในการทำชุดอุปกรณ์นี้ให้เสร็จลงได้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

วันที่ 7 พฤษภาคม 2542

คณะผู้จัดทำ

นาย วรพงษ์ เหล่าจารุพงศ์

นาย ธีระชัย ซุ่นสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้