สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การออกแบบและการศึกษาเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก

# THE DESIGN AND STUDY OF TAMARIND MILLER

T042383

โดย

นางสาวสุวิชญา เลิศวิสุทธิ์

นางสาวแสงเดือน โพธิ์สิงห์

นายอรรคเดช บุญภิละ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42383
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

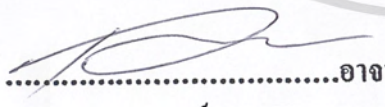
เรื่อง การออกแบบและการศึกษาเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก


ผู้จัดทำ

นางสาวสุวิชญา เลิศวิสุทธิ์

นางสาวแสงเดือน โพธิ์สิงห์

นายอรรคเดช บุญภิละ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | การออกแบบและการศึกษาเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก |
| **นักศึกษา** | นางสาวสุวิชญา เลิศวิสุทธิ์ |
| | นางสาวแสงเดือน โพธิ์สิงห์ |
| | นายอรรคเดช บุญภิละ |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมอาหาร |
| **พ.ศ.** | 2543 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม |


**บทคัดย่อ**

เครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโลหะกัดลายมาทดแทนหินโม่ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนโม่บดและส่วนต้นกำลัง ในส่วนโม่บด จานโม่บนและจานโม่ล่างมีลักษณะเป็นเหล็กแผ่นกลมหนากัดลาย ภายในช่องว่างระหว่างจานโม่มีใบพัดหมุนเพื่อดูดเนื้อมะขามจากถังบรรจุลงสู่จานโม่ ส่วนต้นกำลังใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ส่งกำลังด้วยสายพานขับเพลาจานโม่หมุนบดเนื้อมะขาม จากการทดลองโดยใช้ความเร็วรอบ 3 ระดับคือ 676, 989 และ 1759 รอบต่อนาที โดยมีระยะห่างระหว่างจานโม่ 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร พบว่าที่ความเร็วรอบ 676 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างจานโม่ 4 มิลลิเมตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เมื่อคำนึงถึงประสิทธิภาพของการบดและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของหลายฝ่ายด้วยกัน ขอขอบคุณส่วนช่วยเหลือโครงงานดังนี้

- คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้เป็นอย่างดี
- เจ้าหน้าที่ประจำโรงปฏิบัติงานภาควิชาวิศวกรรมอาหาร (พี่แมน) ที่ช่วยทำโครงงานมาโดยตลอด
- ขอบคุณเพื่อนนักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กันมาโดยตลอด
- ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งผู้ที่มีความสำคัญที่สุดที่ให้คำปรึกษาและคอยติดตามผลงานด้วยความเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดเมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | ก |
| สารบัญตาราง | ค |
| สารบัญรูป | ง |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 คำนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 2 |
| 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะขาม | 2 |
| 2.2 หลักการทั่วไปเกี่ยวกับการโม่บดแบบต่าง ๆ | 3 |
| 2.2.1 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการโม่ | 3 |
| 2.2.2 วิธีการลดขนาด | 4 |
| 2.2.3 การลดขนาดและการบด | 4 |
| 2.2.4 เครื่องบดย่อย | 5 |
| 2.3 ลักษณะของโม่และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง | 6 |
| 2.3.1 ลักษณะของโม่ | 6 |
| 2.2.2 วิเคราะห์ลักษณะของโม่และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง | 7 |
| 2.4 การศึกษาเรื่องแรงและโครงสร้าง | 11 |
| 2.4.1 ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้าง | 11 |
| 2.4.2 แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุประกอบเป็นโครงสร้าง | 11 |
| 2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับระบบกลไกการทำงาน | 11 |
| 2.5.1 ระบบมอเตอร์ต้นกำลัง | 11 |
| 2.5.2 ระบบส่งกำลัง | 12 |
| 2.5.3 การออกแบบเพลา | 18 |
| 2.5.4 ระบบหล่อลื่น | 18 |
| 2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและการนำมาผลิต | 22 |
| 2.6.1 โลหะแผ่น | 22 |
| 2.6.2 สแตนเลส | 23 |
| 2.6.4 เหล็กอาบสังกะสี | 23 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.7 การวิเคราะห์การทำความสะอาดและบำรุงรักษา | 23 |
| บทที่ 3 การออกแบบ | 25 |
| 3.1 แนวทางการออกแบบ | 25 |
| 3.2 ทฤษฎีการออกแบบ | 39 |
| 3.2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบสายพานลิ่ม | 26 |
| 3.2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเพลาตัน | 26 |
| 3.3 การคำนวณ | 26 |
| 3.4 สรุปผลการออกแบบ | 29 |
| บทที่ 4 วิธีการทดลอง | 32 |
| บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง | 35 |
| 5.1 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมในการทดลอง | 35 |
| 5.2 ผลการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่ | 36 |
| 5.3 ผลการทดลองหาค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาด | 38 |
| 5.4 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องโม่บด | 38 |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง | 39 |
| 6.1 สรุปและวิจารณ์ | 39 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ | 39 |
| บรรณานุกรม | 40 |
| ภาคผนวก | 41 |
| ภาคผนวก ก. | 42 |
| ภาคผนวก ข. | 43 |
| ภาคผนวก ค. | 48 |
| ภาคผนวก ง. | 54 |
| ภาคผนวก จ. | 60 |
| ภาคผนวก ฉ. | 64 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


หน้า

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด โดยวิธี DMRT 35

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่ โดยวิธี DMRT 37

ตาราง ก.1 องค์ประกอบของมะขาม (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่ทานได้) 42

ตาราง ข.1 ขนาดระบุของเพลาตันตามมาตรฐาน ISO/R775-1969 43

ตาราง ข.2 ค่าตัวประกอบความล้า 43

ตาราง ข.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ $d_p$ (มิลลิเมตร) ของล้อสายพานลิ่มตามมาตรฐาน ISO/R 52-1975(E) และ ISO/R 253-1962(E) 44

ตาราง ข.4 ตัวประกอบใช้งาน $k_1$ 44

ตาราง ข.5 ค่าตัวประกอบ $k_2$ 44

ตาราง ข.6 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานลิ่ม (มิลลิเมตร) ตามมาตรฐาน ISO/R 52-1975(E) ISO/R 256-1962(E) 45

ตาราง ข.7 ตัวประกอบใช้งาน $N_s$ สำหรับสายพานลิ่ม 46

ตาราง ข.8 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส $N_a$ สำหรับสายพานลิ่ม 47

ตาราง ง.1 การทดลองหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกกรอง 54

ตาราง ง.2.1 ค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาดตราตลาดไทย 55

ตาราง ง.2.2 ค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาดตราระย้า 56

ตาราง ง.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกกรอง 57

ตาราง ง.4 การทดลองหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่ 58

ตาราง ง.5 การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกบด 59


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของมะขาม | 2 |
| รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเปียก | 3 |
| รูปที่ 2.3 ลักษณะโม่และโม่ไฟฟ้าที่จะนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาของงานนี้ | 9 |
| รูปที่ 2.4 โม่หินแบบใช้ไฟฟ้าชนิดจานนอน | 10 |
| รูปที่ 2.5 โม่หินแบบใช้ไฟฟ้าชนิดจานตั้ง | 10 |
| รูปที่ 2.6 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน | 14 |
| รูปที่ 2.7 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ่ม | 14 |
| รูปที่ 2.8 ลักษณะการขับด้วยสายพาน | 16 |
| รูปที่ 2.9 ลักษณะต่าง ๆ ของสายพานที่ใช้สำหรับถ่ายทอดกำลัง | 17 |
| รูปที่ 3.1 ลักษณะเครื่องโม่บดที่ออกแบบ | 30 |
| รูปที่ 3.2 ภาพหน้าตัดของเครื่องโม่บดที่ออกแบบ | 31 |
| รูปที่ 4.1 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง | 34 |
| รูปที่ ค.1 ภาพแสดงเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก | 48 |
| รูปที่ ค.2 ภาพแสดง Hopper | 48 |
| รูปที่ ค.3 ภาพแสดงจานโม่ล่าง | 49 |
| รูปที่ ค.4 ภาพแสดงจานโม่บน | 49 |
| รูปที่ ค.5 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกที่ผ่านการโม่บด | 50 |
| รูปที่ ค.6 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรง | 50 |
| รูปที่ ค.7 ภาพแสดงกากมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรง | 51 |
| รูปที่ ค.8 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกสำเร็จรูป | 51 |
| รูปที่ ค.9 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกสำเร็จรูปที่ผ่านตะแกรง | 52 |
| รูปที่ ค.10 ภาพแสดงกากมะขามเปียกสำเร็จรูปที่ไม่ผ่านตะแกรง | 52 |
| รูปที่ ค.11 ภาพแสดงลักษณะตะแกรงขนาด 20 ช่องต่อตารางนิ้ว | 53 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 คำนำ

การโม่บดเป็นวิธีการลดขนาดวัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูปวิธีหนึ่ง โดยมีจุดประสงค์ที่จะทำให้วัตถุดิบเหล่านั้นแยกหรือแตกตัวออกจากลักษณะเดิมของมัน ทำให้เกิดสภาพอิสระมีขนาดพอดหมาะกับความต้องการที่จะนำไปใช้ในการผลิตต่อไป ปัจจุบันเครื่องโม่บดมีหลายแบบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ต้องการโม่

เครื่องโม่บดโดยทั่วไปใช้หินทำจานโม่ ซึ่งเมื่อใช้เป็นระยะเวลานานจะเกิดการสึกกร่อน ทำให้มีเศษหินโม่ปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ และการทำความสะอาดหินโม่ก็ทำได้ยากเนื่องจากอาจมีการหมักหมมของเชื้อจุลินทรีย์ในรูพรุนของหินโม่ได้ จึงได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุอื่นทำจานโม่แทนหิน

เครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียกออกแบบและสร้างขึ้นโดยใช้เหล็กกัดลายทำจานโม่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการโม่เนื้อและเยื่อมะขามเปียก โดยใช้ความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่เป็นตัวควบคุมความละเอียดของเนื้อมะขามเปียกที่โม่ได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุอื่นทำจานโม่แทนหิน
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

## 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะขาม

มะขามมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica L.* ซึ่งมะขามจะแบ่งเป็นมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว มะขามหวานนั้นโดยปกตินิยมรับประทานฝักที่สุกแล้วได้เลย ส่วนมะขามเปรี้ยวไม่นิยมนำฝักสุกมารับประทานดังนั้นจึงนำมาแปรรูปเพื่อใช้ในการประกอบอาหารต่อไป มะขามเปรี้ยวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งความต้องการของตลาดมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีทั้งตลาดภายในและตลาดต่างประเทศ ตลาดส่งออกของไทยส่วนใหญ่อยู่ในตะวันออกกลาง สำหรับประเทศในแถบ ยุโรปไม่ค่อยรู้จักกันมากนัก เนื้อมะขามอุดมไปด้วยวิตามินซึ่งมีความสำคัญต่อร่างกาย มีสรรพคุณป้องกันโรคลักปิดลักเปิด (Antiscorbutic) เป็นยาระบาย (Laxative) ช่วยย่อยอาหาร (Digestive) ขับลม (Carminative) เป็นยาสมาน (Astringent) และต่อต้านพิษ (Antiseptic action) นอกจากนี้เนื้อมะขามเปียกยังช่วยลดอุณหภูมิของร่างกายได้ สามารถใช้ลดความร้อนและลดไข้ ซึ่งทำให้ประชนในบริเวณตะวันออกกลางนิยมดื่มเพื่อช่วยลดความร้อนของร่างกายและแก้กระหายน้ำ มะขามเป็นพืชที่มีประโยชน์มากมาย อาจจะกล่าวได้ว่าแทบทุกส่วนของมะขามสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่ว่าจะเป็น เนื้อ เปลือกฝัก เมล็ด เปลือกเมล็ด ใบ ลำต้น ราก เป็นต้น

**รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของมะขาม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์น้ำมะขามเปียก

## 2.2 หลักการทั่วไปเกี่ยวกับการโม่บดแบบต่างๆ

### 2.2.1 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการโม่ [9]

การบดโม่ คือ การลดขนาดของวัตถุดิบที่จะนำมาทำการแปรรูปเพื่อการผลิต จุดประสงค์ที่จะทำให้วัตถุดิบเหล่านั้นแยกหรือแตกตัวออกจากลักษณะเดิมของมันทำให้เกิดสภาพอิสระมีขนาดพอเหมาะกับความต้องการ ที่จะนำไปใช้ในการผลิตต่อไป

หลักสำคัญของการบดหรือย่อย ก็เพื่อใช้พลังงานในการทำลายแรงยึดเหนี่ยวของสารหรือวัตถุดิบซึ่งเกิดจากการยึดเหนี่ยวในตัวของมันเองตามธรรมชาติ อันประกอบด้วยสารที่มีขนาดเล็กที่สุด อย่างไรก็ดีการลดขนาดหรือการบดก็ยังเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้นๆ ด้วย เช่น ขนาดของแรงที่ยึดกันภายใน รอยแตกตามธรรมชาติ ขนาดของวัตถุดิบ เป็นต้น เหล่านี้เป็นตัวการสำคัญในการลดขนาดหรือในการบดโม่

การลดขนาดหรือการบดโม่ จำเป็นต้องอาศัยพลังงานที่พอเหมาะ และเครื่องมือตลอดจนอุปกรณ์ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับความต้องการของขนาดที่ต้องการใช้งาน จึงจะเกิดผลดีและทุ่นค่าใช้จ่ายในการผลิตทำให้คุ้มค่ากับการลงทุน ในการนี้ได้มีผู้พยายามตั้งทฤษฎีเกี่ยวกับการลดขนาดและบดโม่ไว้หลายทฤษฎีด้วยกันเพื่อประโยชน์ในการคำนวณหาพลังงานและขนาดของเครื่องมือที่เหมาะสม แต่ก็ยังไม่มีทฤษฎีใดได้การยอมรับนับถือว่าเป็นทฤษฎีลดขนาดหรือบดโม่ที่แท้จริง

ทฤษฎีของการลดขนาดที่นับว่าสำคัญในการบดและย่อยได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีของ Rittinger ซึ่งกล่าวว่า พลังงานที่นำมาในการลดขนาดหรือบดเป็นปฏิภาคโดยตรงกับเนื้อที่ผิวที่เกิดขึ้นใหม่หรือปฏิภาคกับขนาดของเมล็ดวัตถุที่เกิดขึ้น

ทฤษฎีของ Kick กล่าวว่ากำลังงานที่ใช้ในการลดขนาดเป็นปฏิภาคกับการลดของปริมาตรของสารนั้น

ทฤษฎีของ Bond กล่าวว่าพลังงานที่ใช้ในการบดย่อย เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความยาวรวมของรอยแยกที่เกิดขึ้นใหม่ นั่นคือปฏิภาคกลับกันกับกำลังสองของขนาดของสารที่ได้

**2.2.2 วิธีการลดขนาด**

ในทางทฤษฎีการลดขนาดของอนุภาคของสารทำได้หลายวิธี

ก. ถ้าวัตถุเปราะอาจทำให้แตกได้ด้วยแรงกด (Compression) ธรรมดา

ข. ใช้แรงกดกระทบ (Compression Impact)

ค. ใช้แรงกระทบชนิดพลังงานต่ำ (Impact) ทำลายให้แตกโดยเฉพาะให้มีกำลังพอที่จะทำลายตรงมุม

ง. การใช้อนุภาคหนึ่งความเร็วสูงอีกอนุภาคหนึ่งความเร็วต่ำ (Striking)

จ. ใช้การบดสีให้เล็กลง (Abrasion)

ฉ. ใช้แรงเฉือน (Shearing Action) วัสดุที่อ่อน เมื่อใช้ Cutting Tooth จะเลื่อยออกเป็นชั้นๆ

**2.2.3 การลดขนาดและการบด**

ในอุตสาหกรรมอาหารได้รับประโยชน์อย่างมากมายจากอุปกรณ์ที่ช่วยในการบด เพื่อที่จะย่อยหรือลดขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่นโรงงานผลิตแป้ง เป็นต้น

การบดย่อยนั้นสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การบดแบบแห้ง
2. การบดแบบเปียก

โดยปกติการบดหรือย่อยจะต้องมีจุดประสงค์ตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้ คือ

1. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ย่อยได้ง่ายขึ้น
2. เพื่อให้สะดวกต่อการบริโภค
3. เพื่อทำให้ผสมกันได้ง่ายขึ้น
4. เพื่อพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้แปลกใหม่ขึ้น
5. เพื่อสะดวกในการควบคุมด้วยระบบลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถทำให้สำเร็จโดยวิธีต่างๆ 3 วิธี อาจจะใช้เพียงวิธีใดวิธีหนึ่งหรือนำมาใช้รวมกันก็ได้

1. การตัด (Cutting) คือการใช้ของมีคม เช่น มีด ตัดผ่านไปบนวัตถุนั้นๆ ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ลักษณะหน้าของการถูกแบ่งออกยังมีลักษณะเหมือนเดิม วิธีนี้ใช้กับการลดขนาดของผักผลไม้ และเนื้อเป็นต้น

2. การบด (Crushing) คือการทำให้เกิดการแตกของส่วนเล็กๆ ในลักษณะรูปร่างที่ไม่เหมาะสม่ำเสมอ เช่น แป้ง ผลไม้และผักที่ถูกเคี่ยวจนเปื่อย มีลักษณะเช่นเดียวกับหลักอันนี้ แรงในการบดนี้ก็ได้มาจากการบดแบบลูกกลิ้ง เช่น เครื่องบดน้ำอ้อย เป็นต้น หรือแรงของปากกา ฆ้อน แฮมเมอร์มิล ก็เป็นตัวอย่างของการใช้ประโยชน์ของแรงจากฆ้อนในการบด

3. การตัด (Sherring) เป็นองค์ประกอบของปฏิกิริยาการรวมตัวเป็นส่วนเดียวกันกับของเหลวโดยปกติการตัดแบบนี้เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของใบมีด ถ้าเป็นใบมีดที่คมมากๆ ปฏิกิริยานี้ก็คือการตัดธรรมดา แต่ถ้าใบมีดไม่คมเลยก็คือการบด นั่นเอง อย่างไรก็ตามในปฏิกริยาการรวมตัวเป็นส่วนเดียวกันความจริงแล้วเป็นการเคลื่อนตัวสวนกันด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันของวัตถุ ซึ่งทำให้เกิดการตัดแบบนี้ การเคลื่อนตัวด้วยอัตราความเร็วสูงย่อยทำให้แรงการตัดสูงขึ้นด้วย

**2.2.4 เครื่องบดย่อย** (Grinder)

การลดขนาดนั้น โดยหลักของรูปแบบแล้วสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด คือ

- เบอร์มิล (Burr Mill)
- แฮมเมอร์มิล (Hammer Mill)
- โรลเลอร์มิล (Roller Mill)
- คอมบิเนชั่นมิล (Combination Mill)

แฮมเมอร์มิล มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ฆ้อนที่หมุนได้อิสระติดอยู่บนแกนเพลา ตะแกรง และตัวเป่าลม ส่วนฆ้อนนั้นจะถูกเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2500-4000 รอบ/นาที

โดยปกติแล้วฆ้อนนี้จะหมุนรอบตัวเองให้ได้ระยะทาง 15000-20000 ฟุต/นาที กล่าวคือขนาดของเส้นรอบวงต้องสัมพันธ์กับความเร็วรอบด้วย ส่วนตะแกรงจะติดอยู่ใต้ฆ้อนและเมื่อฆ้อนหมุนจะไม่สัมผัสถูกตะแกรง เมื่อวัตถุดิบถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงแล้วส่วนที่เล็กจนสามารถผ่านตะแกรงได้ ก็จะถูกลมที่เป่าออกมาด้านล่างพาออกไปกักเก็บไว้และส่วนที่ขนาดใหญ่ก็จะถูกย่อยต่อไป จนสามารถผ่านตะแกรงได้หมด ฆ้อนนี้สามารถถอดเปลี่ยนหรือซ่อมแซมได้ด้วย อัตราการป้อนก็ควบคุมด้วยช่องที่เลื่อนเปิดปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฮมเมอร์มิลเหมาะสำหรับการบดละเอียดและละเอียดปานกลางและมีข้อได้เปรียบแบบอื่นๆ คือสามารถต่อโดยตรงกับมอเตอร์ได้เลยและก็ใช้กำลังงานน้อย เช่น การบดวัตถุจำนวน 100 ปอนด์ให้ละเอียดปานกลางในเวลา 1 ชม. ใช้พลังงานเพียง 1 แรงม้า ความละเอียดในการบดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของตะแกรงและอัตราการป้อนวัตถุดิบ

เบอร์มิล บางทีเรียกว่า "Attrition" หรือ "Disc Mill" โดยปกติแล้วจะประกอบด้วยจานบดสองขั้นเป็นตัวขัดสีกัน ซึ่งมีทั้งแกนนอนและแกนตั้งการทำงานนั้น จานหนึ่งจะอยู่กับที่ส่วนอีกจานก็จะหมุน หรือ จะหมุนสวนทางกันทั้งสองจานก็ได้ เบอร์มิลนั้นพัฒนามาจากโม่หินแบบโบราณ ซึ่งหมุนในแนวนอน เบอร์มิลเหมาะสำหรับการบดหยาบและละเอียดปานกลางและหมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 400-1800 รอบ/นาที ความละเอียดที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของส่วนที่ยื่นออกมาจากจาน อัตราการป้อนและความชื้นของวัตถุที่นำมาบด ชนิดของวัตถุดิบและกำลังของเครื่อง

คอมบิเนชั่นมิล โดยหลักการทำงานแล้ว ก็เหมือนกับแบบแฮมเมอร์มิลทุกประการ เพียงแต่ตัวฆ้อนที่ใช้ตีนั้นจะติดแบบตายตัวกับแกนเพลาทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก

โรลเลอร์มิล ประกอบด้วยตัวบดที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกลมหลายๆ ตัวเพื่อความละเอียดในการบด ถ้าจำนวนบดยิ่งมากความละเอียดก็มากขึ้นด้วยเพราะทำให้เกิดการบดมากขึ้นนั่นเอง การทำงานวัตถุดิบจะถูกป้อนและเคลื่อนที่ไปยังช่องว่างระหว่างที่ถูกบด ซึ่งมีระยะห่างแตกต่างกันไป จนได้ส่วนที่บดละเอียดตามความต้องการ

ลักษณะเครื่องบดที่เหมาะสม คือ เบอร์มิล โดยเครื่องนี้จะใช้หลักการทำงานโดยอาศัยแรงเสียดสีระหว่างจานสองแผ่น โดยจานหนึ่งจะอยู่กับที่ส่วนอีกจานจะหมุน และมีการปรับระยะช่องห่างของจานโม่ได้ การโม่แบบนี้ส่วนมากเป็นการโม่ที่เรียกว่าโม่เปียก โดยเมื่อเดินเครื่องวัตถุดิบจะถูกดูดลงไประหว่างจานโม่ ส่วนที่ถูกบดแล้วจะผ่านออกที่ขอบจานโม่ ส่วนล่างจะมีภาชนะรองรับอยู่อีกแล้วจึงไหลผ่านทางออกสู่ภายนอกเครื่องซึ่งจะต้องนำภาชนะมารองรับเพื่อนำไปสู่ขบวนการต่อไป

## 2.3 ลักษณะของโม่และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง

### 2.3.1 ลักษณะของโม่

เครื่องบดโม่หินไฟฟ้า ลักษณะการทำงานอาศัยแรงเสียดสีระหว่างหินสองก้อน การโม่แบบนี้ส่วนมากเป็นการโม่ที่เรียกว่าโม่เปียก การป้อนวัตถุดิบจะต้องป้อนน้ำลงไปด้วยเพื่อให้การโม่สะดวกขึ้น ต้องมีการปรับระยะช่องห่างของจานโม่ ในการโม่วัตถุดิบที่มีขนาดต่างกันการทำงานจะต้องใส่วัตถุดิบและน้ำลงในภาชนะบรรจุที่แยกกันคือ ภาชนะบรรจุน้ำอยู่ในระดับที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าภาชนะบรรจุวัตถุดิบ มีวาล์วเปิดปิดควบคุมปริมาณน้ำได้ เมื่อเดินเครื่องวัตถุดิบจะถูกดูดลงไประหว่างจานโม่ และน้ำก็จะเป็นตัวช่วยหล่อลื่น ส่วนที่ถูกบดแล้วจะผ่านออกที่ขอบจานโม่โดยส่วนล่างจะมีภาชนะรองรับอยู่อีก แล้วจึงไหลผ่านออกสู่ภายนอกเครื่อง ซึ่งจะต้องนำภาชนะ เช่น ถัง หม้อ มารองรับเพื่อนำไปสู่ขบวนการต่อไป

จากข้อมูลการตลาด [9] สามารถแบ่งขนาดของเครื่องแบ่งได้หลายขนาด แต่ขนาดที่มียอดจำหน่ายมากที่สุดมีข้อมูลจำเพาะดังนี้

ขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 50×50×80 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางจานโม่ 12 นิ้ว

กำลังการผลิต 15 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ราคาประมาณ 2500-3000 บาท/เครื่อง

มอเตอร์ต้นกำลังแบบคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ ขนาด 1 แรงม้า

ส่งกำลังด้วยสายพานแบบเอ

การป้อนวัตถุดิบมีภาชนะบรรจุทรงกระบอกภายในเป็นกรวยกลมบรรจุวัตถุดิบ

ภาชนะทรงกรวยกลมบรรจุน้ำแขวนอยู่เหนือภาชนะบรรจุวัตถุดิบ

วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุเป็นโลหะแผ่นสแตนเลส จานบดเป็นหินภูเขา

โครงสร้างเหล็กฉากประกอบกับเหล็กหล่อ การปรับระยะโดยระบบเกลียวไปดึงคานกระดกให้ดันแกนเพลายกสูงขึ้น

**2.3.2 วิเคราะห์ลักษณะของโม่และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง**

เครื่องโม่บดไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้น มีขนาด รูปร่าง ระบบ และลักษณะที่แตกต่างกันออกไป แต่ละแบบก็เหมาะสมกับงานกับความต้องการที่แตกต่างกัน เช่น การบดแห้งกับการบดเปียก เมื่อลักษณะวิธีการบดแตกต่างกัน ระบบของการบด ประสิทธิภาพในการบดก็ย่อมไม่เหมือนกัน ด้วยเหตุนี้เองเราจึงไม่สามารถนำเครื่องแต่ละเครื่องมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันได้ ดังนั้นการวิเคราะห์จึงมุ่งเน้นที่ข้อดีข้อเสียของแต่ละเครื่องมากกว่า แล้วเราจึงนำผลที่ได้ไปประกอบการตัดสินใจในงานออกแบบขั้นต่อไป

โม่หินแบบใช้ไฟฟ้าชนิดจานนอน

- ลักษณะ เป็นการทำงานโดยการบดวัตถุดิบให้ละเอียดด้วยแรงบิด (Shear Force) ระหว่างจานโม่ แนวโม่วางตัวในแนวนอน ภาชนะบรรจุแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาชนะบรรจุเมล็ด กับ ภาชนะบรรจุน้ำ ระบบต้นกำลังใช้มอเตอร์ ขนาด 0.5-1 แรงม้า ส่งกำลังด้วยสายพาน การควบคุมการบดละเอียด หยาบ ด้วยการปรับระยะห่างของจานโม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อสังเกต ไม่สะดวกในการป้อนวัตถุดิบ เพราะภาชนะบรรจุอยู่สูงเกินไป ทำความสะอาดได้ยากมากและไม่สะดวก ไม่มีส่วนปกคลุม ในส่วนที่จำเป็นเช่นมอเตอร์ สายพาน ไม่ให้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งานเท่าที่ควร

โม่หินแบบใช้ไฟฟ้าชนิดจานตั้ง

- ลักษณะ เป็นการทำงานโดยการบดวัตถุดิบให้ละเอียดด้วยแรงบิด แกนโม่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง ภาชนะบรรจุแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาชนะบรรจุเมล็ด กับ ภาชนะบรรจุน้ำ ระบบต้นกำลังใช้มอเตอร์ ขนาด 0.5-1 แรงม้า ส่งกำลังด้วยสายพานการควบคุมการบดละเอียด หยาบ ด้วยการปรับระยะห่างของจานโม่

- ข้อสังเกต ไม่สะดวกในการป้อนวัตถุดิบ เพราะขนาดไม่สัมพันธ์กับการใช้งานไม่ให้ความปลอดภัยในการใช้งานต้องเปลี่ยนจานโม่บ่อย เพราะในการบดมีเศษหินที่นำมาอัดเป็นจานโม่หลุดออกมาด้วย และการเปลี่ยนจานโม่ทำภาชนะบรรจุแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาชนะบรรจุเมล็ด กับ ภาชนะบรรจุน้ำ ระบบต้นกำลังใช้มอเตอร์ ขนาด 0.5-1 แรงม้า ส่งกำลังด้วยสายพาน การควบคุมการบดละเอียด หยาบ ด้วยการปรับระยะห่างของจานโม่ข้อสังเกต ไม่สะดวกในการป้อนวัตถุดิบ เพราะภาชนะบรรจุอยู่สูงเกินไป ทำความสะอาดได้ยากมากและไม่สะดวก ไม่มีส่วนปกคลุม ในส่วนที่จำเป็นเช่นมอเตอร์ สายพาน ไม่ให้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งานเท่าที่ควร

โม่บดปั่นรอบจัด

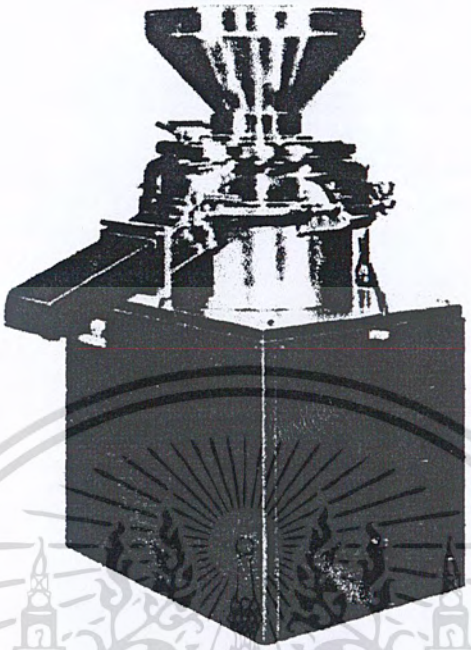
- ลักษณะ เป็นการทำงานโดยการบดวัตถุดิบให้ละเอียดด้วยแรงกระแทก (Impal Force) และแรงบิด จานโม่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง ภาชนะบรรจุเมล็ดมีลิ้นควบคุมการไหล มีภาชนะบรรจุเมล็ดเพียงอย่างเดียว ระบบต้นกำลังใช้มอเตอร์ขนาด 1-2 แรงม้า ส่งกำลังด้วยสายพาน ควบคุมการบดละเอียดหยาบด้วยตะแกรงที่มีขนาดของรูต่างๆกัน

- ข้อสังเกต ไม่เหมาะกับการโม่แบบเปียก เพราะวัตถุดิบส่วนที่ถูกบดแล้วจะไปอุดตันอยู่ตามรูของตะแกรง ไม่ให้ความปลอดภัยในการใช้งาน รูปลักษณะไม่ให้ความรู้สึกที่ดีในแง่ของความสะอาด

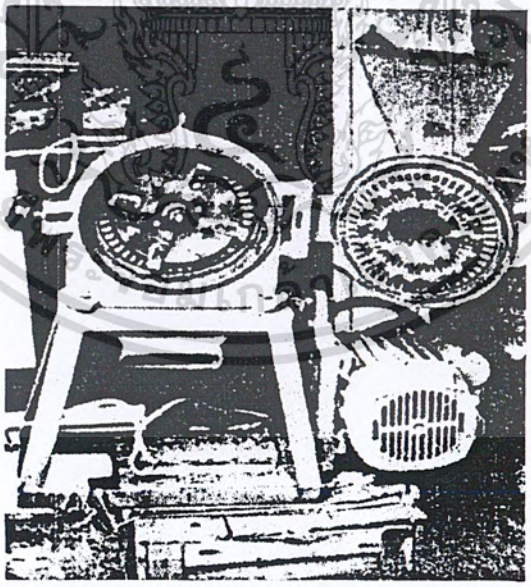
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.3 ลักษณะโม่และโม่ไฟฟ้าที่จะนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาของงานนี้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.4 โม่หินแบบใช้ไฟฟ้าชนิดจานนอน**



**รูปที่ 2.5 โม่หินแบบใช้ไฟฟ้าชนิดจานตั้ง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การศึกษาเรื่องแรงและโครงสร้าง

### 2.4.1 ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้าง

โครงสร้าง คือ สิ่งที่จัดสร้างขึ้นโดยการต่อรวมหน่วยต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ซึ่งต้องการมาตรการความมั่นคงบางประการ

**2.4.2 แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุประกอบเป็นโครงสร้าง** แบ่งเป็น 5 ชนิดด้วยกัน

1. แรงดึง (Tension or Pull or Suction) ต้านความพยายามที่จะทำให้วัสดุนั้นยืดออก ยาวออก หรือขาดจากกัน

2. แรงอัด (Compression or Push or Pressure) ต้านความพยายามที่จะทำให้วัสดุสั้นเข้า บีบเข้า หรือแตก

3. แรงเฉือน (Shear) กระทำกับวัสดุในแนวสัมผัส Tangential กับพื้นผิวที่ต้องรับแรงนี้ วัสดุไม่จำเป็นต้องติดต่อกันเป็นเนื้อเดียวทางกายภาพเพื่อต้านแรงเฉือนนี้ก็ได้ แต่ต้องมีแรงอัดกดไว้ให้พื้นผิวดังกล่าวชนกันแน่นอยู่ เมื่อแรงมีขนาดเพียงพอต้านทานแรงเฉือนดังกล่าวมิให้วัสดุเลื่อนจากกันก็ใช้ได้

4. แรงดัด (Wending) เมื่อโครงสร้างรับแรงดัดแล้วผิวบนจากแกนสะเทิน (Neutral Axis) ขึ้นไปรับแรงอัด และผิวล่างของแกนสะเทินรับแรงดึงด้วย หรือบางกรณีเกิดตรงกันข้ามกัน แรงดัดก่อให้เกิดแรงต้านทานแรงดัดที่มีขนาดเท่ากันขึ้นภายในเนื้อวัสดุด้วย

5. แรงบิด (Torsion or Torque or Twisting) ต้านความพยายามที่จะบิดวัสดุให้ขาดจากกัน ในแรงทั้ง 5 ประเภทนี้ แรงใน 2 ประเภทหลัง คือ แรงดัดสามารถแยกออกเป็น แรงดึงและแรงอัดได้ แรงบิดแยกเป็นแรงเฉือนได้ ดังนั้นถ้าพิจารณาแต่ละส่วนเล็กๆ ในเนื้อวัสดุโครงสร้าง จะมีแรงให้พิจารณาอยู่เพียงแรงดึง และแรงเฉือนเท่านั้น ซึ่งเราสามารถรู้ขนาดของแรงที่เกิดขึ้นและผลเนื่องจากการกระทำของแรง ก็สามารถกะหน้าตัดของวัสดุโครงสร้างและรูปร่างได้โดยหาขนาดของแรงและความเข้มของแรงนี้ เรียกว่า ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อพื้นที่

## 2.5 ระบบกลไกการทำงาน

### 2.5.1 ระบบมอเตอร์ต้นกำลัง

มอเตอร์แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

1. มอเตอร์กระแสไฟสลับ (AC. Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มอเตอร์กระแสไฟตรง (DC. Motor)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่จะนำมาใช้กับการออกแบบเท่านั้น และกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (Single Phase Induction Motor) ชนิด Repulsion & Repulsion Induction Motors เท่านั้น เนื่องจากการทดลองต้องทดลองที่ความเร็วรอบต่าง ๆ กันและส่วนมากมอเตอร์ชนิดนี้สามารถใช้ได้ดีกับงานที่ต้องการปรับค่าความเร็วรอบ โดยปรับมุมเอียงของแปรงที่จะกดลงเพื่อลัดวงจรขดในโรเตอร์ งานรีพัลชั่นมอเตอร์จึงเป็นงานที่ต้องปรับค่าความเร็วรอบมอเตอร์ขั้นต่าง ๆ ได้เป็นพิเศษนั่นเอง

ขดสเตเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ยังต่อตรงเข้าวงจรไฟกำลังอย่างเดิม ขดโรเตอร์นั้นต่อเข้าคอมมิวเตเตอร์ และมีแปรงกดลงลัดวงจรโรเตอร์ได้ในลักษณะที่ทำให้แกนสนามแม่เหล็กของโรเตอร์จะทำเอียงเป็นมุมกับแกนสนามแม่เหล็กในขดลวดสเตเตอร์ ค่ามุมเอียงต่างๆ กันทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงได้

**2.5.2 ระบบส่งกำลัง**

สำหรับงานเครื่องจักรกลที่ต้องใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังนั้น การเลือกชนิดของมอเตอร์ การกำหนดระบบส่งกำลัง การกำหนดความเร็วรอบ ฯลฯ จะมีการเจาะจงโดยเฉพาะกับเครื่องนั้นๆ ซึ่งเพื่อความเหมาะสมของแต่ละเครื่องแต่ละขั้นตอน ที่ผู้ออกแบบจะต้องศึกษาถึงระบบต่างๆ เพื่อช่วยในการออกแบบให้เครื่องนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ระบบส่งกำลังคือการชักนำ การถ่ายกำลังจากตัวต้นกำลังจากแกนหนึ่งไปสู่อีกแกนหนึ่ง ซึ่งการส่งกำลังที่กระทำนี้มีทิศทางการทำงานทั้งที่ทิศทางเดียวกัน และทิศทางสวนกัน เป็นการช่วยเพิ่มความเร็วรอบของต้นกำลังให้มากขึ้น หรือลดความเร็วรอบต้นกำลังให้ช้าลง เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานี้เป็นระบบส่งกำลังที่ยกเป็นตัวอย่าง ทั้งนี้เพราะระบบส่งกำลังมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีต่อไปนี้เป็นระบบส่งกำลังที่ใช้กันมากคือ

1. การส่งกำลังด้วยสายพาน
2. การส่งกำลังด้วยโซ่
3. การส่งกำลังด้วยเฟือง

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการส่งกำลังด้วยสายพานเท่านั้น เนื่องจากการส่งกำลังด้วยสายพานบำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ง่าย ราคาถูกและหาได้ง่าย มีอัตราการทดรอบได้สูง ไม่มีเสียงรบกวน

- การส่งกำลังด้วยสายพาน

การส่งกำลังทางกลจากเพลาอันหนึ่งไปยังเพลาอีกอันหนึ่ง อาจทำได้ 3 วิธีคือ โดยใช้เฟือง ใช้สายพานหรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (Flexible) ซึ่งมีข้อดี

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และข้อเสียหลายประการเมื่อเทียบกับการส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดังเหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงต่ำ เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือ อัตราการทดไม่แน่นอนนัก เนื่องจากการสลิป (Slip) และการครีพ (Creep) ของสายพานและต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลาหรือปรับแรงตึงในสายพานระหว่างใช้งานนอกจากนั้นยังไม่อาจใช้งานที่อัตราทดสูงมากได้ ซึ่งมักใช้กับอัตราการทดไม่เกิน 5

- ชนิดของสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพานคือ สายพานแบน (Flat Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ่ม (V-Ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (Ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และไทม์มิงเบ็ลท์ (Timing Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเฟืองตลอดความยาวของสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานแบบลิ่มที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเท่านั้น

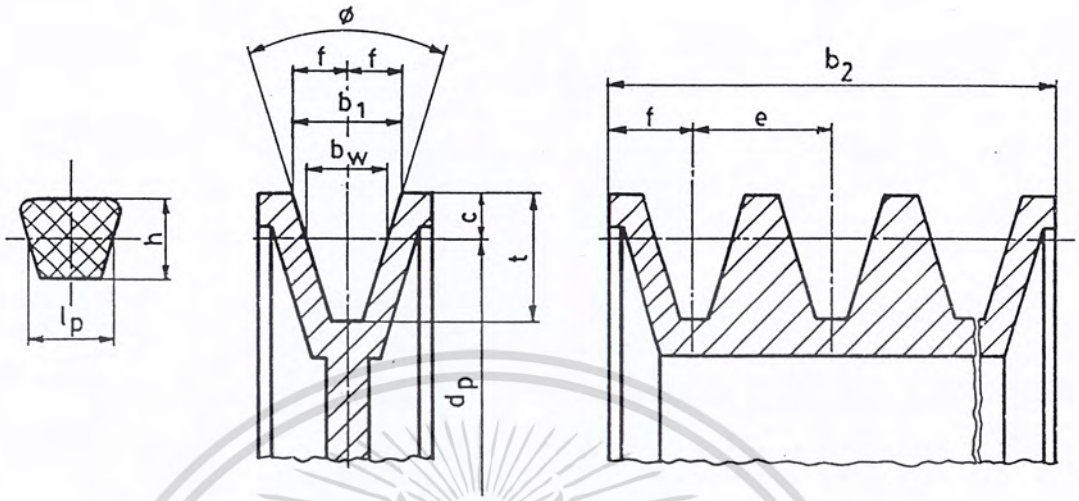
ขนาดสายพานและล้อสายพานลิ่มสายพานลิ่มมีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิตช์ (Pitch Width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V-Belts) มีขนาด SPZ SPA SPB SPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานแบบลิ่มและล้อสายพานดูได้จากรูปที่ 2.6 ส่วนขนาดต่างๆดูได้จากตารางภาคผนวก ข.6

- ลักษณะการขับด้วยสายพาน

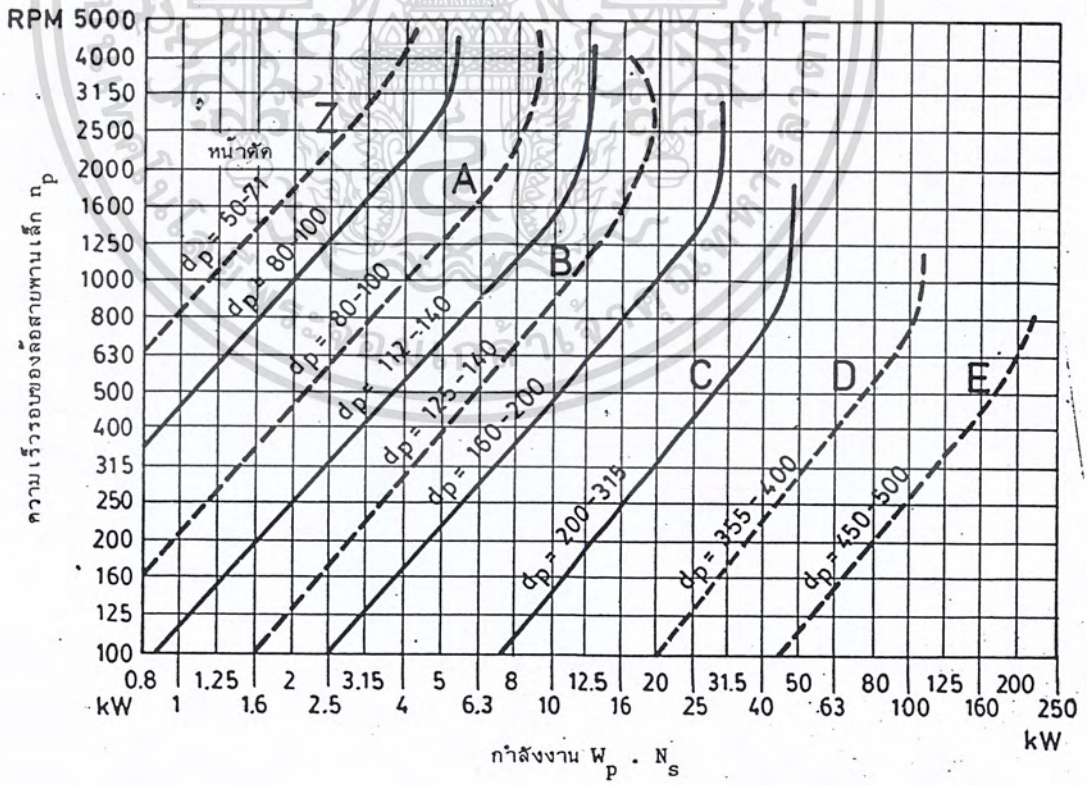
เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่างๆ กัน ลักษณะทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานดูได้จากรูปที่ 2.8

เมื่อต้องการขับเพลาที่อยู่ขนานกันและต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ก็จะทำได้ในลักษณะดังรูปที่ 2.8 (ก) ซึ่งเรียกว่าโอเพนไดรว์ (Open Drive) และถ้าเพลาอยู่ห่างกันมากควรจะให้สายพานด้านล่างตึง (Tight) และด้านบนหย่อน (Slack) แต่ถ้าต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนสวนทางกันก็ทำได้โดยใช้วิธีดังรูป 2.8 (ข) ซึ่งเรียกว่าครอสไดรว์ (Crossed Drive) แต่การขับในลักษณะนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานถูกัน ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้สายพานเกิดการสึกหรอมากเกินไปจึงควรให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 20 เท่าของความกว้างสายพาน และทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.6 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน**



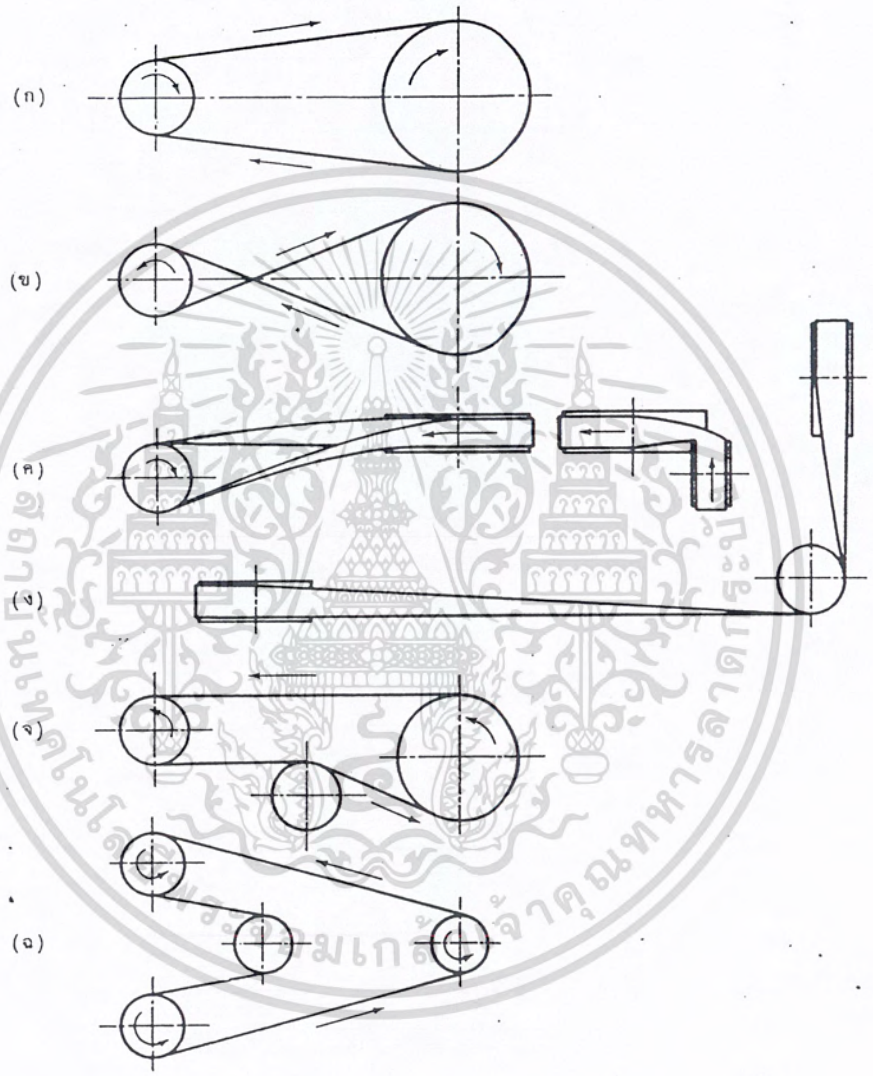

**รูปที่ 2.7 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ่ม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับแบบควอเตอร์เทอนไดรว์ (Quarter Turn Drive) ดังรูป 2.8 (ค) เมื่อเพลาทั้งสองตั้งฉากกัน เพื่อป้องกันไม่ให้สายพานหลุดออกจากล้อสายพานขณะใช้งานจึงต้องใช้ล้อสายพานที่กว้างเพียงพอ โดยทั่วไปมักจะต้องกว้างมากกว่าความกว้างสายพานไม่น้อยกว่า 1.4 เท่า และก่อนใช้งานจะต้องทดสอบก่อนเสมอ ส่วนการขับแบบมิวล์ไดรว์ (Mule Drive) ดังรูป 2.8 (ง) ใช้เมื่อเพลาทั้งสองตั้งฉากกัน แต่ไม่อาจจัดในลักษณะควอเตอร์ไดรว์ได้ หรือเมื่อต้องการให้หมุนกลับทิศทางได้

เมื่อไม่สามารถใช้ขับในลักษณะโอเพ่นไดรว์ได้ เพราะส่วนโค้งสัมผัส (Arc Of Contact) บนล้อสายพานเล็กมีค่าน้อยเกินไป (เพราะอัตราการทดสูง และล้อสายพานอยู่ใกล้กันมาก) หรือไม่อาจทำให้สายพานตึงได้โดยวิธีอื่น ก็อาจทำได้โดยใช้ล้อช่วย (Idler) ดังรูป 2.8 (จ) เป็นการช่วยให้สายพานสัมผัสกับล้อมากขึ้น ซึ่งเพิ่มกำลังที่ส่งได้ด้วย ส่วนการขับแบบริเวอสไดรว์ (Reverese Drive) ใช้เมื่อต้องการส่งกำลังไปยังเพลาหลายๆ อันพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.8 ลักษณะการขับด้วยสายพาน**

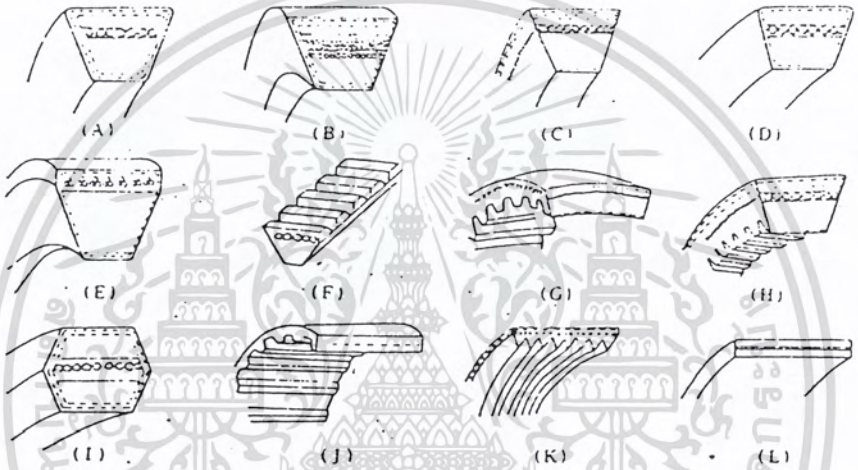
**(ก) โอเพ่นไดรว์ (ข ) ครอสไดรว์ (ค) ควอเตอร์เทอนไดรว์ (ง) มิวลติไดรว์**

**(จ) แสดงการขับโดยใช้ล้อช่วย (ฉ) รีเวอสไดรว์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง






**รูปที่ 2.9 ภาพแสดงลักษณะต่าง ๆ ของสายพานที่ใช้สำหรับถ่ายทอดกำลัง**

(A) สายพาน-V- มาตรฐาน เปลี่ยนไป ๆ มา ๆ

(B) สายพาน-V-แบบพิเศษ

(C) สายพาน-V-ขอบต่ำ

(D) สายพาน-V-แบบใช้กับงานเบาๆ (แบบ L)

(E) สายพาน-V-แบบแคบ

(F) สายพาน-V-มุมกว้าง

(G) สายพาน-V-ใช้กับงานที่ความเร็ว

(H) สายพานท้องฟันขอบต่ำ

(I) สายพานหกเหลี่ยม

(J) สายพานฟัน

(K) สายพานร่องรวม

(L) สายพานที่ทำจากส่วนผสมของหนังและไนลอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42383

**2.5.3 การออกแบบเพลา**

การคำนวณขนาดของเพลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลาเพื่อให้เพลาทนต่อแรงที่มากระมทำอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอนั่นคือเพลาต้องมีความแข็งแกร่งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ จึงสมควรที่จะพิจารณาถึงการออกแบบเพลาโดยเฉพาะ เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Norminal Size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลา ขนาดระบุของเพลา และค่าตัวประกอบความล้าสามารถดูได้จากตารางภาคผนวก ข.2

**2.5.4 ระบบหล่อลื่น**

ตลับลูกปืนใช้กับชิ้นส่วนที่หมุนได้ในเครื่องจักรแทบทุกชนิด วิศวกรออกแบบเครื่องจักรกลจึงจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับตลับลูกปืนรองหมุนมากพอสมควร เพื่อที่จะเลือกใช้ตลับลูกปืนได้เหมาะสมกับหน้าที่ในการทำงาน ปัจจุบันตลับลูกปืนได้กำหนดขนาดและชนิดเป็นมาตรฐานสากลแล้ว ผู้ผลิตส่วนใหญ่จะบอกวิธีการคำนวนหาขนาดหรือความสามารถในการรับภาระของตลับลูกปืนและตัวอย่างการใช้งานไว้ แต่จะไม่กล่าวถึงเหตุผลที่เลือกใช้ตลับลูกปืนรองหมุนแบบนั้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการเลือกใช้ตลับลูกปืนแบบต่างๆ ตามข้อพิจารณากว้างๆ

- การเลือกชนิดตลับลูกปืนรองหมุน

ตามธรรมดาในการเลือกและประกอบตลับลูกปืนส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเฉพาะในแต่ละกรณี คำตอบที่เหมาะสมกับปัญหาการเลือกใช้ตลับลูกปืนจะได้รับก็ต่อเมื่อได้คำนึงถึงคุณสมบัติของตลับลูกปืนชนิดนั้น ๆ มากพอสมควรแล้ว การเลือกชนิดของตลับลูกปืนก็ค่อนข้างง่าย

สำหรับตลับลูกปืนขนาดเล็กที่มีความเร็วรอบปกติ ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกลม (Ball Bearing) จะใช้งานได้ดีกว่าแบบลูกปืนทรงกลิ้ง (Roller Bearing) สำหรับการรองหมุนของชิ้นงานขนาดใหญ่และมีภาระมากส่วนมากต้องใช้ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกลิ้ง ถ้าตำแหน่งระหว่างเพลากับห้องเครื่องเยื้องกัน หรือเยื้องกันเพียงบางครั้งทางที่ดีควรเลือกใช้ตลับลูกปืนแบบปรับศูนย์เองได้ (Self Aligning Bearing) สำหรับตำแหน่งของตลับลูกปืนรองหมุนที่ภาระในแนวแกน (Axial Load) ค่อนข้างหนักและมีความเร็วรอบสูง ตลับลูกปืนกันรุน (Thrust Ball Bearing) เป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยแก้ปัญหาได้ดีที่สุด หากเพลาต้องขยับในแนวแกนได้อิสระภายใต้ขอบเขตที่จำกัดก็ต้องใช้ตลับลูกปืนทรงกระบอก (Cylindrical Roller Bearing) ส่วนตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงเรียวซึ่งจัดอยู่ในชนิดแยกส่วนได้มีความสามารถรับภาระได้สูงเหมาะสำหรับภาระแบบผสม (Combiened Load) และสามารถปรับพิกัดความเผื่อได้ จะใช้ในกรณีพิเศษโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์รถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเงื่อนไขการใช้งานกำหนดว่าลูกปืนต้องหยุดแรงที่เกิดจากความเร่ง (Accelating Force) ชั่วขณะ ตัวอย่างเช่น ในชุดเฟือง Planetary Gear Drive หรือ เพลาข้อเหวี่ยง เพื่อให้เหมาะสมควรให้น้ำหนักน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนกับค่าสามารถรับภาระ ส่วนใหญ่ในกรณีเช่นนี้มีความจำเป็นต้องใช้ตลับลูกปืนแบบพิเศษ

- การเลือกโดยคำนึงถึงความเร็วรอบ

เพียงความเร็วรอบสูงๆ เท่านั้นที่มีผลต่อการเลือกชนิดของตลับลูกปืนรองหมุน โดยทั่วๆ ไปความเร็วจะถูกจำกัดด้วยอุณหภูมิซึ่งตลับลูกปืนจะได้รับเมื่อใช้งาน ผลที่มีต่อค่าความสามารถรับภาระของตลับลูกปืนจะปรากฏเมื่ออุณหภูมิตลับลูกปืนสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้ามหากอุณหภูมิอยู่ต่ำกว่านี้ก็ยากที่จะได้รับการหล่อลื่นของตลับลูกปืนในเกณฑ์ที่น่าพอใจได้ อุณหภูมิขณะใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับความเสียดทานในตลับลูกปืน ดังนั้นความเสียดทานในตลับลูกปืนจึงเป็นตัวที่ถือเป็นหลักที่ดีเมื่อมองในแง่ความเร็วที่อนุญาต (Allowable Velocity) สำหรับคุณสมบัติของรูปร่างแต่ละชนิด เช่นตลับลูกปืนรับแรงในแนวรัศมีแบบลูกปืนทรงกลมและตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอก สามารถใช้กับความเร็วรอบสูงๆ ได้ดีกว่าตลับลูกปืนชนิดอื่นๆ เพราะว่ามีความเสียดทานน้อยมาก

การหล่อลื่นและปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นมีผลมากต่อความเสียดทานในตลับลูกปืนเมื่อมีความเร็วสูงและมีผลต่ออุณหภูมิในตลับลูกปืนด้วย ดังนั้นต้องให้มีวิธีการหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับตลับลูกปืนแต่ละชนิดด้วย สำหรับตลับลูกปืนรับแรงในแนวรัศมีหลายๆ ชนิด วัสดุและรูปร่างของเข็มขัดรัดลูกปืน มีความสำคัญมากที่ความเร็วรอบสูงๆ เข็มขัดแบบเหล็กแผ่นอัดขึ้นรูปในกรณีปกติสำหรับความเร็วธรรมดามีข้อดี เนื่องจากมีน้ำมันน้อยและมีความยืดหยุ่นสูง

เข็มขัดแบบทรงตันทำจากทองเหลืองซึ่งปกติจะถูกหมุนอยู่บนแหวนตัวหนึ่งของตลับลูกปืน สามารถใช้กับความเร็วรอบสูงได้ดี ความเร็วรอบที่สูงเป็นพิเศษก็ต้องใช้เข็มขัดรัดเป็นพิเศษทั้งในด้านวัสดุและลักษณะรูปร่าง เข็มขัดรัดแบบปกติของตลับลูกปืนรับแรงในแนวแกนแบบลูกปืนทรงกลมส่วนใหญ่ทำจากเหล็กแผ่น เข็มขัดรัดแบบทรงตันปกติจะไม่ช่วยให้จำกัดความเร็วรอบสูงขึ้นมากนัก เนื่องจากมีข้อประกอบอื่นๆ ที่เป็นตัวกำหนดความเร็วรอบอนุญาตอีก

- การเลือกโดยคำนึงถึงพิกัดการสวม การประกอบและการบำรุงรักษา

พิกัดการสวมที่ตลับลูกปืนต้องใช้ในการประกอบไม่มีผลต่อการเลือกชนิดของตลับลูกปืนโดยตรง ถ้าเงื่อนไขในการใช้งานต้องการการสวมอัดสำหรับอัดแหวนตัวในรวมทั้งแหวนตัวนอกต้องให้ตลับลูกปืนตัวใดตัวหนึ่งเป็นชนิดที่รับภาระในแนวแกนได้ สำหรับในกรณีที่เพลามีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่สืบเนื่องมาจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ตลับลูกปืนตัวที่สวมต้องเป็นตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอก ตัวอย่างการใช้งานที่เห็นได้คือ มอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้สำหรับลูกปืนที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาระมากระทำในทิศทางที่ไม่แน่นอนและเพลามีสัดส่วนค่อนข้างยาว และมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก บางกรณีระยะห่างระหว่างตลับลูกปืนและอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีความสำคัญมากเช่น ลูกกลิ้งสำหรับตากแห้งของเครื่องทำกระดาษ การยืดตัวเนื่องจากความร้อนอาจมีมากจนต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้มีความสามารถในการขยับตัวที่เหมาะสมของห้องเครื่องรองรับตลับลูกปืนทั้งสอง ข้อแตกต่างบางประการระหว่างตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกลมและทรงกระบอก ประกอบด้วยข้อแตกต่างทางปฏิบัติที่ว่า ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกลมไม่จำเป็นต้องหล่อลื่นดีมากนัก เครื่องจักรทุกเครื่องที่ทางด้านเทคนิคไม่ต้องมีการบำรุงรักษามากนักหรือทำงานภายใต้เงื่อนไขอื่นๆ ซึ่งอนุญาตให้หยุดเครื่องไม่ได้เลย ถ้าเป็นไปได้ควรใช้ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกลม

สำหรับเครื่องจักรกลซึ่งจำเป็นต้องแยกชิ้นส่วนออกจากกันบ่อยๆ ทางที่ดีควรใช้ตลับลูกปืนที่ประกอบเข้าออกง่าย ตลับลูกปืนชนิดที่ยึดอยู่ด้วยตัวเองไม่ได้ เช่นตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอก ตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงเรียวหรือตลับลูกปืนแยกชิ้นได้ (Separable Ball Bearing) สามารถใช้ในกรณีเช่นนี้ได้ดีโดยเฉพาะอย่าง ถ้าต้องการสวมอัดรวมทั้งวิธียึดตลับลูกปืนบนปลอกยึด (Adapter Sleeve) ส่วนใหญ่จะใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการช่วยให้การใส่และการถอดตลับลูกปืนง่ายขึ้น ถ้าตลับลูกปืนยากที่จะเข้าไปได้ถึงตำแหน่งที่ต้องการในขณะประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลแต่ละชิ้นเข้าด้วยกัน การใช้ตลับลูกปืนแบบปรับศูนย์ด้วยตัวเองจึงไม่เหมาะสม เพราะแหวนตัวนอกมักจะเอียงไปมาง่าย ทำให้ยากต่อการสอดใส่เข้าในตลับลูกปืน

- การเลือกโดยคำนึงถึงมาตรฐาน

สำหรับผู้ผลิตและผู้ใช้ตลับลูกปืนมีความต้องการที่จะให้มีคุณภาพของตลับลูกปืนสูงและมีราคาต่ำ ข้อต้องการทั้งสองนี้ดูเหมือนว่าตรงข้ามกันอยู่ แต่สามารถที่จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อผลิตเป็นจำนวนมาก จะเป็นไปได้ถ้าผู้ใช้และผู้ผลิตตกลงกันกำหนดขนาดตลับลูกปืนที่ผลิตออกมาเป็นจำนวนจำกัด

การเลือกตลับลูกปืนที่มีขนาดมาตรฐาน และการผลิตที่สำหรับผู้ผลิตเป็นขนาดปกติมีความสำคัญทั้งในด้านหลักเศรษฐกิจและเทคนิคมากกว่าผู้ใช้บางคนคิด ข้อนี้ส่วนหนึ่งสืบเนื่องมาจากความยุ่งยาก ที่ไม่ได้ตรวจสอบความเหมาะสมของชิ้นส่วนย่อย ที่ไม่ได้ทดสอบทางทฤษฎีมาก่อน และอีกส่วนหนึ่งต้องใช้เครื่องจักรกลและเครื่องมือชนิดพิเศษในการผลิตเป็นจำนวนมาก

เปรียบเสมือนเป็นกฎพื้นฐานทั่วๆ ไป กล่าวได้ว่าควรใช้ตลับลูกปืนขนาดมาตรฐานก่อนชนิดพิเศษเสมอ ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ขนาดพิกัดความเผื่อ หรือตลับลูกปืนแบบใดแบบหนึ่งก็ดี นอกเหนือไปจากกฎนี้ สามารถจะนำมาพิจารณาก็ได้ถ้าต้องการลักษณะพิเศษอื่นๆ ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

สรุปการเลือกใช้ตลับลูกปืนควรจะเลือกใช้ให้ถูกต้องตามลักษณะงานเพื่อที่จะได้รับประสิทธิภาพการใช้งานสูง กล่าวคือ มีอายุการใช้งานที่นาน ไม่สูญเสียกำลังไปกับความเสียดทานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และประหยัดราคา ในการเลือกใช้ควรพิจารณาจากภาระที่ใช้งาน ความเร็วรอบ การประกอบและการบำรุงรักษา เพราะสิ่งเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อชนิดและขนาดของตลับลูกปืน

## 2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและการนำมาผลิต

**2.6.1 โลหะแผ่น (Metal Sheet)** ใช้ทำฝาปิดด้านข้างตัวแท่นรองรับเครื่องโม่

โลหะแผ่น ใช้ในงานช่างทั่วไป หมายถึง โลหะแผ่นทุกชนิดที่มีความหนาไม่เกิน 3/16 นิ้ว โลหะที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะพิเศษเฉพาะตัวแตกต่างกันออกไป ดังนั้นการทำงานแต่ละประเภท จำเป็นจะต้องศึกษา และเลือกใช้วัสดุหรือโลหะให้เหมาะสมกับคุณภาพของงาน และคุณสมบัติของงานด้วย จึงจะทำให้ผลงานที่ได้เป็นที่น่าพอใจและมีคุณค่ายิ่งขึ้น

โลหะแผ่นที่นำมาใช้งานส่วนมาก ได้แก่ เหล็ก ซึ่งรีดออกมาเป็นแผ่น ๆ มีขนาดความหนาหลายขนาดต่างกัน และยังมีการเคลือบผิวด้วยโลหะต่าง ๆ อาทิเช่น เคลือบผิวด้วย ตะกั่วสังกะสี หรือ ดีบุก เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ยังมีการเอาโลหะผสมมาใช้อีกหลายชนิด เช่น ทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น

โลหะแผ่นโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้คือ

1. โลหะแผ่นเปลือย (Bare Metal or Uncoated)
2. โลหะเคลือบผิว (Coated Metal)

โลหะแผ่นเปลือย ส่วนมากจะเป็นโลหะแผ่นประเภทไม่ใช่เหล็ก (Non-Ferrous Metal) เช่น แผ่นอลูมิเนียม แผ่นทองแดง แผ่นทองเหลือง เป็นต้น

โลหะแผ่นเคลือบ จะทำเป็นโลหะแผ่นประเภทเหล็ก (Ferrous Metal) เสียก่อนแล้วจึงนำไปเคลือบผิวด้วยโลหะตามต้องการ เช่น เหล็กอาบสังกะสีหรือดีบุก เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งจะทำให้โลหะนั้นอายุการใช้งานได้นานขึ้น

ดังนั้นการใช้งานโลหะแผ่นเคลือบกับโลหะแผ่นเปลือยจึงแตกต่างกันมาก การนำโลหะแผ่นเปลือยไปใช้งานอื่นๆ เช่น นำไปเชื่อม ขัดผิว ตะไบ หรือกระบวนการอื่นๆ ที่ต้องเสียผิวหน้าของงานก็จะไม่ทำให้เกิดผลเสียหายในการกัดกร่อนแต่อย่างใด แต่สำหรับโลหะเคลือบแล้วผิวหน้าของงานไม่ควรได้รับอันตรายใดๆ เลย เพราะถ้าผิวหน้าของโลหะเสียหาย โลหะที่ผสมเคลือบผิวอยู่หลุดออกไปจะเป็นเหตุให้โลหะนั้นสูญเสียคุณสมบัติในด้านการคงทนต่อการกัดกร่อนได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.2 สแตนเลส (Stainless Steel)** ใช้ทำจานโม่ เพลา และตัวถังเครื่องโม่

สแตนเลส เป็นโลหะเปลือยประเภท Ferrous Metal ซึ่งมีส่วนประกอบด้วยเหล็ก โครเมียม นิเกิล และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย สแตนเลสมีหลายชนิดสามารถที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการได้ โดยปกติผิวของสแตนเลสจะมีสีคล้ายเงินและมีลักษณะเป็นมัน

สแตนเลสนิยมใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ภาชนะใส่อาหาร หรืองานเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมอย่างละเอียดที่ต้องการความสวยงามให้ได้ดีทั้งภายนอกภายในตัวอาคาร โดยไม่ต้องการทาสีหรือเคลือบผิวหน้าเพื่อต้องการกัดกร่อนด้วยวัสดุอื่นใดทั้งสิ้น คุณสมบัติทางกายภาพของสแตนเลสก็เหมือนโลหะผสมชนิดอื่นๆ ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของธาตุต่างๆ ที่ผสมลงไป สแตนเลสเป็นโลหะมีราคาแพงแต่อายุการใช้งานจะนานมาก ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีและเสียค่าบำรุงรักษาถูกอีกด้วย เมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่นๆ ดังนั้นในการทำงานควรเลือกสแตนเลสให้เหมาะสมกับการทำงานด้วย

**2.6.3 เหล็กอาบสังกะสี (Galvanized Steel)** ใช้ทำภาชนะบรรจุ (Hopper)

ในสภาพบรรยากาศปกติสังกะสีเป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก ดังนั้นจึงนิยมนำไปเคลือบแผ่นเหล็ก เพื่อช่วยให้แผ่นเหล็กมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ถ้าสังกะสีที่ใช้เคลือบผิวเหล็กลอกหรือหลุดไป ก็จะทำให้เกิดสนิมขึ้นกับแผ่นเหล็กได้

ความคงทนต่อการกัดกร่อนของเหล็กอาบสังกะสี จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของสังกะสีที่เกาะเคลือบผิวอยู่ ถ้ามีคุณภาพดีจะสามารถดัดโค้งงอและพับให้เกิดความแข็งแรงได้โดยที่สังกะสีไม่กระเทาะหรือร่อนออกจากผิวเปลือกเหล็กได้ง่าย และไม่เกิดการฉีกขาดเมื่อพับหลายๆ ครั้ง

การใช้งานในบรรยากาศปกติ จะมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 5-10 ปี โดยไม่ทาสีหรือป้องกันการกัดกร่อนแต่อย่างใด แต่ถ้านำไปใช้ในงานในบรรยากาศที่มีการกัดกร่อน เช่น ไอน้ำ กรด หรือที่มีความชื้นมากๆ ควรจะต้องทาสี

## 2.7 วิเคราะห์การทำความสะอาดและบำรุงรักษา

การทำความสะอาดส่วนใหญ่จะเน้นที่ตัวบด (Mill) ภาชนะรองรับ (Outlet) และภาชนะบรรจุ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ต้องทำงานตลอดเวลา และอาจเกิดการตกค้างอยู่ภายในได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้ ดังนั้นการทำความสะอาดส่วนเหล่านี้ต้องทำให้สะอาดมากที่สุดการบำรุงรักษา ส่วนใหญ่ก็เป็นพวกกลไกการทำงาน เช่น การบำรุงรักษามอเตอร์ การถอดเปลี่ยนสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาน การอัดจารบีในตัวหล่อลื่น เป็นต้น เพราะฉะนั้นเราสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

- การเลือกใช้วัสดุที่สามารถทำความสะอาดและรักษาได้ง่าย
- เลือกใช้ระบบหรือชิ้นส่วนที่บำรุงรักษาทำความสะอาดได้ง่าย
- ออกแบบให้ส่วนที่จำเป็นต้องทำความสะอาดบ่อยๆ สามารถ ถอด ปรับ หรือ ประกอบเข้าได้โดยสะดวก
- จัดวางตำแหน่งของระบบและชิ้นส่วนประกอบ ให้มีความสัมพันธ์ในการทำงาน การถอด ปรับ ติดตั้ง และประกอบลำดับตามความสำคัญของชิ้นส่วนนั้นๆ
- ส่วนที่จำเป็นต้อง ถอด ปรับ หรือ ประกอบ แต่ทำได้ลำบาก ทำความสะอาดไม่สะดวก ก็ควรจะมีส่วนปกปิดให้มิดชิด เพื่อป้องกันสิ่งสกปรก
- ชิ้นส่วนที่สำคัญถ้าถอดยาก ก็ควรใช้งานอย่างระมัดระวัง และปฏิบัติตามคำแนะนำในการใช้ชิ้นส่วนนั้นอย่างระมัดระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ

## 3.1 แนวทางการออกแบบ

เครื่องบดโม่สำหรับงานระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน [9] (แบบเปียก) ใช้บดย่อยเมล็ดธัญพืชที่มีขนาด 2-7.5 มิลลิเมตร อันได้แก่ เมล็ดข้าว เมล็ดถั่ว อัตราการผลิต 25-30 กิโลกรัม/ชั่วโมง ภาชนะบรรจุแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ภาชนะบรรจุเมล็ดธัญพืช ความจุ 10.8 ลิตร (8 กิโลกรัม) และภาชนะบรรจุน้ำ ความจุ 7.2 ลิตร (6-7 กิโลกรัม) นำพาเมล็ดสู่ส่วนการบดด้วยน้ำหนักของเมล็ดเอง ควบคุมอัตราการไหลด้วยลิ้นเปิดปิด และนำพาน้ำสู่ส่วนการบดด้วยระบบแรงดัน ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาว์ลเปิดปิด บดย่อยโดยอาศัยแรงอัดและแรงบิด ลักษณะเป็นจานกลมสองจานประกบกันวางตัวในแนวนอน จานบดอยู่ติดกับที่ จานล่างเป็นตัวหมุน และสามารถปรับขึ้นลงได้ หมุนด้วยอัตราเร็ว 100-1100 รอบต่อนาที เส้นผ่านศูนย์กลางของจานบด 30-35 เซนติเมตร ระบบต้นกำลังมอเตอร์กระแสสลับ 220 โวลท์ แบบสปริตเฟส ขนาด 0.5-1 แรงม้า ส่งกำลังด้วยสายพาน ขนาดสัดส่วนของเครื่อง ความสูง 91.55-122.64 เซนติเมตร ความลึกไม่เกิน 72.81 เซนติเมตร และความกว้างไม่เกิน 151.65 เซนติเมตร ความปลอดภัยในการใช้งาน ป้องกันไฟรั่วและไฟดูด ด้วยระบบตัดไฟเองและการต่อสายดินช่วยป้องกันการที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป ทำให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานนานขึ้น ส่วนที่หมุนหรือส่วนที่อาจก่อให้เกิดอันตราย ได้แก่ สายพาน จานบดย่อย ต้องมีส่วนปกปิดหรือตัวถังปกคลุม การทำความสะอาดโดยการเปิดหรือถอดส่วนปกปิดออกเพื่อทำความสะอาด จานบดย่อย ทางไหลออก ระยะระหว่างจานโม่สามารถปรับเพื่อความสะดวกในการทำความสะอาด การซ่อมบำรุงรักษาก็ต้องเปิดหรือถอดส่วนปกคลุมออกก่อน ได้แก่ มอเตอร์ สายพาน วัสดุที่นำมาทำการผลิตมีรายละเอียดดังนี้ ภาชนะบรรจุวัตถุดิบและน้ำทำด้วยสแตนเลส จานบดย่อยทำด้วย คอปเปอร์อัลลอย ตัวถังหรือส่วนปกปิดทำด้วยเหล็กฉากเป็นโครงเหล็กแผ่นปิดทับชุบเคลือบสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 ทฤษฎีการออกแบบ

### 3.2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบสายพานลิ่ม

$$W_p = Z(F_1 - F_2)V \tag{3.1}$$

โดยที่ V = ความเร็วของสายพาน เป็น m/s

Z = จำนวนสายพาน

ความยาวพิตช์โดยประมาณของสายพานลิ่มหาค่าได้จากสมการ

$$L_p \cong 2C + 1.57(D_p + d_p) + \left[(D_p - d_p)^2/4C\right] \tag{3.2}$$

$$C = p + \sqrt{(p^2 - q)} \tag{3.3}$$

โดยที่

$$p = 0.25L_p - 0.393(D_p + d_p)$$

$$q = 0.125(D_p - d_p)^2$$

$$\alpha = \pi - 2\sin^{-1}\left[(D_p - d_p)/2C\right] \quad \text{rad}$$

$$F_I = (k_1 F + zk_2 V^2)\sin(\alpha/2)$$

### 3.2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเพลาตัน

$$d^3 = (16/\pi\tau)\left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2\right]^{1/2} \tag{3.4}$$

## 3.3 การคำนวณ

ใช้สายพานลิ่ม และใช้ INDUCTION MOTOR ความเร็วรอบ 1440 rpm ,$W_p$=2Hp=1.492KW

ทำงานวันละไม่เกิน 10 ชั่วโมง , $n_p$=989 rpm

จากสมการ (3.1) $W_p = T2\pi n/60$ ดังนั้น $T = W_p \times 60/2\pi n$

$= 1492 \times 60 \times 1000 / 2\pi \times 1440$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = 9894 \text{ N.mm}$$

จากตาราง ภาคผนวก ข.8 เป็นงานปานกลาง ได้ $N_S = 1.1$

และจากรูปที่ 2.8 ได้สายพานแบบ B

เลือกล้อสายพาน จากตาราง ได้ $d_p = 125$ mm

อัตราการทด $= n_1 / n_2 = 1440 / 989 = 1.5$

$$D_p = d_p \times \text{อัตราการทด} = 80 \times 1.5 = 187.5$$

การคำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน

$$C_{max} = 2( d_p + D_p ) = 2( 125+187.5) = 625$$

$$C_{min} = 0.7( d_p + D_p ) = 0.7( 125+187.5) = 219$$

ทดลองเลือกใช้ $C = 250$

หาความยาวพิตช์โดยประมาณจากสมการ (3.2)

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + [(D_p + d_p)/4C]^2$$

$$= ( 2 \times 250 ) + 1.57 ( 187.5+125 ) + [( 187.5+125 )^2 / ( 4 \times 250 )]^2$$

$$= 991 \text{ mm}$$

จากตารางภาคผนวก ข.10 เลือกใช้สายพาน $L_p = 1016$ mm

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคำนวณได้จากสมการ (3.3)

$$C \approx p + \sqrt{p^2 - q}$$

$$P \approx 0.25 L_p - 0.393 ( D_p + d_p )$$

$$= (0.25 \times 1016 ) - 0.393 ( 187.5+125 )$$

$$= 131.9$$

$$q \approx 0.125 ( D_p - d_p )^2$$

$$= 0.125 ( 187.5-125)^2$$

$$= 488.3$$

$$C = 160.72 + \sqrt{( 131.9 )^2 - 488.3}$$

$$= 262 \text{ mm}$$

มุมสัมผัสของสายพาน

$$\alpha = \pi - 2\sin^{-1} [ ( D_p - d_p ) / 2C ] \text{ rad}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \pi - 2\sin^{-1}\left[ (187.5-125) / 2 \times 262 \right] \text{ rad}$$

$$= 187^{\circ}$$

ความเร็วสายพาน $v = \pi d_p n = (80/1000)(1440/60) = 9.42$ m/s

$$v^2 = 88.8$$

แรงดึงสายพานในขณะส่งกำลัง

$$F = W_p / v$$

$$= 1.492(1000) / 9.42$$

$$= 158.4 \text{ N}$$

จากตาราง ได้ $K_1 = 1.5$

$K_2 = 0.217$

$\text{Sin } \alpha/2 = 0.9969$

แรงดึงขั้นต้นในสายพาน

$$F_I = (K_1 F + Z K_2 v^2) \sin\alpha/2$$

$$= \left[(1.5 \times 158.4) + (1 \times 0.217 \times 88.8)\right] 0.9969$$

$$= 256.07 \text{ N}$$

คำนวณหาขนาดของเพลาโดยเพลาไม่มีร่องลิ่ม ยาว 600 mm. , $\tau_d = 55$ N/mm$^2$ จากตารางภาคผนวก ข. 2 เป็นงานปานกลาง ได้ $C_t = 10$ , $C_m = 1.5$

แรงดึงขณะส่งกำลัง $F = 256.07$ N

$$M = FL$$

$$= 256.07 \times 300$$

$$= 47520 \text{ N.mm}$$

หาขนาดเพลาจากสมการ (3.4)

$$d^3 = 16/\pi\tau \left[ (C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2}$$

$$d^3 = 16/\pi(55) \left[ (10 \times 9894)^2 + (1.5 \times 47520)^2 \right]^{1/2}$$

$$d = 22.4 \text{ mm}$$

เลือกขนาดเพลามาตรฐานจากตารางภาคผนวก ข.1 ได้ $d = 25$ มิลลิเมตร

สรุป ใช้สายพานลิ่มชนิด B

สายพานยาว 1016 มิลลิเมตร = 41 นิ้ว

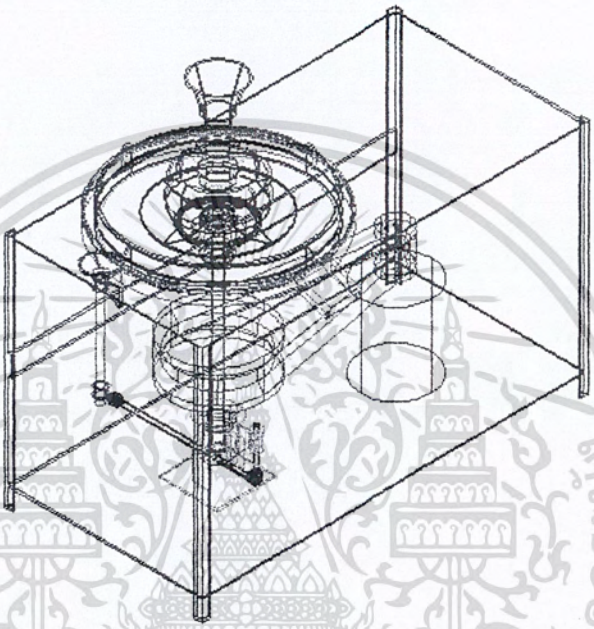
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| ความกว้างสายพาน | 14 | มิลลิเมตร |
| ความสูงสายพาน | 11 | มิลลิเมตร |
| Clearance Volume | 3.5 | มิลลิเมตร |
| Pulley เส้นผ่าศูนย์กลาง | 125 | มิลลิเมตร |
| เพลาตันเส้นผ่าศูนย์กลาง | 25 | มิลลิเมตร |
| Ball Bearing ขนาด | 25 | มิลลิเมตร |

## 3.4 สรุปผลการออกแบบ

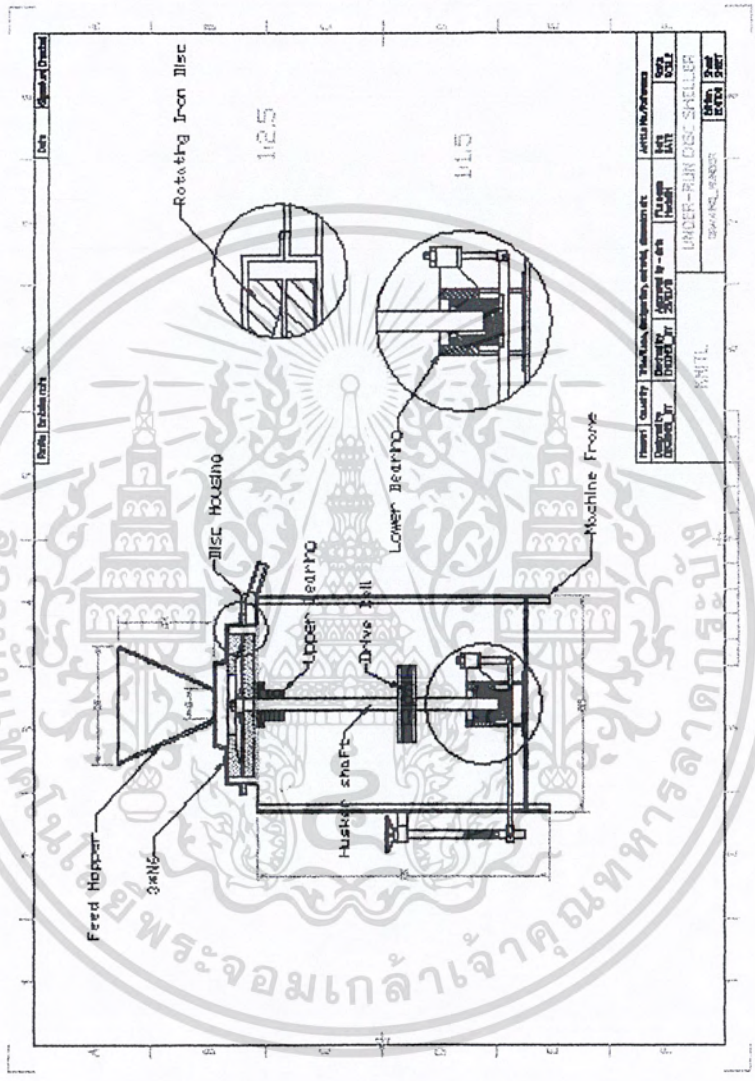
- ออกแบบเครื่องโม่ชนิดจานนอนเนื่องจากในการป้อนวัตถุดิบดีกว่าแบบจานตั้งเพราะว่า Hopper อยู่เหนือจานโม่ เวลาป้อนวัตถุดิบจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกช่วยทำให้เนื้อมะขามลงมาอยู่ในจานโม่ โดยไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้เนื้อมะขามเข้าไปอยู่ในจานโม่
- จานโม่ใช้เป็นสแตนเลสกัดลาย (ในการออกแบบจริงจะใช้โลหะทำเป็นจานโม่แทนสแตนเลส เนื่องจากสแตนเลสมีราคาแพง และเนื่องจากเป็นการสร้างเพื่อใช้ในการทดลองเท่านั้น ไม่ได้ใช้งานจริง)
- ระบบมอเตอร์ต้นกำลังชนิด Repulsion & Repulsion Induction Motors ขนาด 2 แรงม้า
- ระบบส่งกำลังใช้สายพานลิ่มแบบ "B" ยาว 41 นิ้ว เนื่องจากบำรุงรักษาและซ่อมแซมได้ง่าย ราคาถูกและหาได้ง่าย มีอัตราการทดรอบได้สูง ไม่มีเสียงรบกวน ล้อสายพานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร เพลาตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร
- การหล่อลื่นใช้ Ball Bearing เนื่องจากรับแรงในแนวแกนและแนวรัศมีได้ดี ประกอบและบำรุงรักษาง่าย ราคาถูก
- ตัวถังเครื่องใช้สแตนเลส (ในการออกแบบจริงจะใช้โลหะทำเป็นตัวถังเครื่องแทนสแตนเลสเนื่องจากสแตนเลสมีราคาแพง และเป็นการสร้างเพื่อใช้ในการทดลองเท่านั้นไม่ได้ใช้งานจริง) เพราะว่ามีอายุการใช้งานสูง แข็งแรง ทนทาน ทำความสะอาดง่าย ไม่เป็นอันตราย
- Hopper ใช้เหล็กอาบสังกะสี ที่เรียกว่า Zinggrip
- แท่นวางเครื่องใช้เหล็กกล่อง เนื่องจากสะดวกในการผลิตและประกอบ ต้นทุนการผลิตต่ำ แข็งแรง ทนทาน รับน้ำหนักได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.1 ลักษณะเครื่องโม่บดที่ออกแบบ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.2 ภาพหน้าตัดของเครื่องโม่บดที่ออกแบบ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# วิธีการทดลอง

เครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียกที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ เพื่อให้เครื่องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานจานโม่ที่เหมาะสมที่ใช้ในการ ทดลอง

ตอนที่ 2 การหาประสิทธิภาพของเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก

โดยจะนำไปเปรียบเทียบกับการค่าที่ได้จากการทดลองที่ยอมรับของผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด

**ตอนที่ 1 การหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง**

อุปกรณ์

1. ชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้น
2. มะขามเปียกแกะเม็ด
3. ตะแกรงขนาด 20 ช่องต่อ 1 ตารางนิ้ว (mesh)
4. เครื่องชั่ง
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องปรับความถี่ (Inverter)

ขั้นตอนการทดลอง

1. แช่มะขามเปียกแกะเม็ดในน้ำที่อัตราส่วนมะขามเปียก 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 2.5 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. กำหนดความเร็วรอบในการทดลอง โดยการปรับค่าจากเครื่องปรับความถี่ 3 ระดับคือ 20, 25 และ 30 เฮิร์ต (Hz) ได้ความเร็วรอบ คือ 676, 989 และ 1759 รอบต่อนาที และตั้งระยะห่างระหว่างจานโม่ไว้ 3 ระดับในแต่ละความเร็วรอบคือ 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร

3. ทำการทดลองโดยนำมะขามเปียกแช่น้ำ 500 กรัม โม่เป็นเวลา 5 นาทีโดยใช้ชุดทดลอง ที่ออกแบบสร้างขึ้น

4. นำน้ำมะขามเปียกที่โม่ได้มาหาเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด และนำมากรองผ่านตะแกรงขนาด 20 ช่องต่อตารางนิ้ว ชั่งน้ำหนักกากมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรง และน้ำหนักมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรง แล้วคำนวนหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรงต่อน้ำหนักมะขามเปียกทั้งหมดคูณด้วย100 (เปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกกรอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดลองซ้ำในแต่ละการทดลองจำนวน 3 ครั้ง

5.ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง โดยจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiments) และแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design:CRD)

**ตอนที่ 2 การหาประสิทธิภาพของเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก**

**ตอนที่ 2.1 การทดลองหาค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาด**

อุปกรณ์

1. มะขามเปรี้ยวสำเร็จรูปตราตลาดไทย
2. เนื้อมะขามเปียกตราระย้า
3. ตะแกรงขนาด 20 ช่องต่อตารางนิ้ว
4. เครื่องชั่ง

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำน้ำมะขามเปียกสำเร็จรูป 500 กรัม มากรองผ่านตะแกรงขนาด 20 ช่องต่อตารางนิ้ว ชั่งน้ำหนักกากมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรงและน้ำหนักมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรงคำนวนหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรงต่อน้ำหนักมะขามเปียกทั้งหมดคูณด้วย100 (เปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกกรอง)
2. ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้งต่อ 1 ผลิตภัณฑ์

**ตอนที่ 2.2 การหาประสิทธิภาพของเครื่อง**

อุปกรณ์

1. ชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้น
2. มะขามเปียกแกะเม็ด
3. ตะแกรงนาด 20 ช่องต่อตารางนิ้ว
4. เครื่องชั่ง
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องปรับความถี่

ขั้นตอนการทดลอง

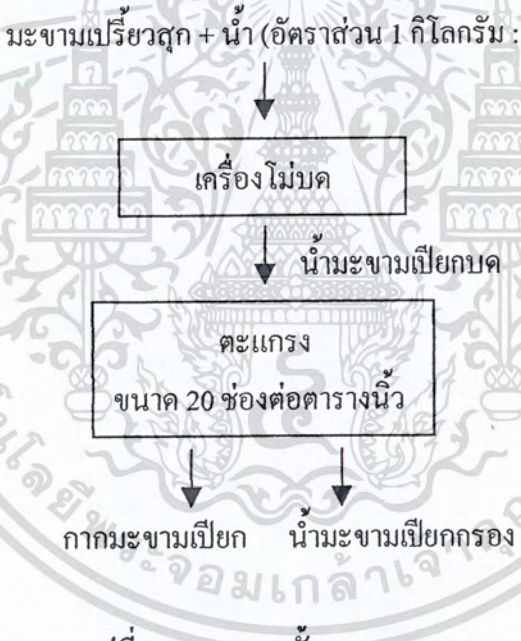
1. ตั้งค่าความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 1
2. หาเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรงร่อนต่อน้ำหนักมะขามเปียกทั้งหมดคูณด้วย 100 (เปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด)

4. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 20 ครั้ง

5. หาค่าประสิทธิภาพของเครื่องโม่โดยทำการทดลอง 20 ตัวอย่าง กำหนดช่วงเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกกรอง คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นับจำนวนตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกกรองอยู่ในเกณฑ์ต่อจำนวนตัวอย่างที่ทดลองทั้งหมด




**รูปที่ 4.1 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

## 5.1 ผลการทดลองเพื่อหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมในการทดลอง

จากการทดลองโดยจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล และแบบสุ่มสมบูรณ์ แล้วทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม IRRI STAT ได้ผลดังนี้

**1. ผลของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด**

จากตารางภาคผนวกที่ ง.1 พบว่า ความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 1% แสดงว่า ความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด แต่ความเร็วรอบ×ระยะห่างระหว่างจานโม่ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 1%

**ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด โดยวิธี DMRT (จากการทดลอง 3 ซ้ำ)**

| ระยะห่างระหว่างจานโม่ (มิลลิเมตร) | ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) 676 | 989 | 1759 | ระยะห่างระหว่างจานโม่เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 82.000 a | 82.667 a | 78.667 ab | 81.111 a |
| 4 | 84.000 a | 81.333 a | 79.333 a | 81.556 a |
| 6 | 78.667 b | 77.667 b | 76.000 b | 77.444 b |
| ความเร็วรอบเฉลี่ย | 81.556 | 80.556 | 78.000 | 80.037 |

*หมายเหตุ สัญลักษณ์ตัวห้อยเดียวกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างในเชิงสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. ผลของระยะห่างระหว่างจานโม่ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด**

จากการวิเคราะห์พบว่า สามารถจำแนกการทดลอง ที่ให้ผลเหมือนกันในเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 % ดังนี้

- ที่ความเร็วรอบ 676 และ 989 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างจานโม่ 6 มิลลิเมตร ให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดน้อยกว่า ที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 2 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกัน

- ที่ความเร็วรอบ 1759 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างจานโม่ 6 มิลลิเมตร ให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดแตกต่างกับที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 4 มิลลิเมตร แต่ไม่แตกต่างกับที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 2 มิลลิเมตร โดยที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 2 และ 4 มิลลิเมตรให้ผลไม่ต่างกัน

**3. ผลของความเร็วรอบต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด**

จากการวิเคราะห์พบว่า สามารถจำแนกการทดลอง ที่ให้ผลเหมือนกันในเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 % พบว่า ความเร็วรอบในช่วงที่ทำการทดลองมีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดไม่แตกต่างกัน

## 5.2 ผลการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่

**1. ผลของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่**

จากภาคผนวกที่ ง.3 พบว่าความเร็วรอบมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5% แสดงว่าความเร็วรอบมีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่ แต่ระยะห่างระหว่างจานโม่และ ความเร็วรอบ×ระยะห่างระหว่างจานโม่ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่ โดยวิธี DMRT (จากการทดลอง 3 ซ้ำ)**

| ระยะห่างระหว่างจานโม่ (มิลลิเมตร) | ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) | | | ระยะห่างระหว่างจานโม่เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | 676 | 989 | 1759 | |
| 2 | 10.000 a | 8.000 a | 6.000 a | 8.000 a |
| 4 | 8.667 a | 8.667 a | 6.667 a | 8.000 a |
| 6 | 10.000 b | 8.667 a | 6.000 a | 8.222 a |
| ความเร็วรอบเฉลี่ย | 9.556 | 8.444 | 6.222 | 8.074 |

*หมายเหตุ สัญลักษณ์ตัวห้อยเดียวกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างในเชิงสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

**2. เมื่อพิจารณาผลของความเร็วรอบต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่**

จากการวิเคราะห์พบว่า สามารถจำแนกการทดลอง ที่ให้ผลเหมือนกันในเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 % พบว่า ที่ความเร็วรอบ 676 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างจานโม่ 6 มิลลิเมตร ให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่มากกว่า ที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 2 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลการทดลองในเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 % จึงเลือกความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมคือ ใช้ความเร็วรอบ 676 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างจานโม่ 4 มิลลิเมตร เพราะ

1. เมื่อพิจารณาที่แต่ละความเร็วรอบพบว่าที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 6 มิลลิเมตร มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด แตกต่างจากที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 2 และ 4 มิลลิเมตร โดยที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 2 และ 4 มิลลิเมตร มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดและต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่ไม่แตกต่างกัน และจากการทดลองที่ระยะห่างระหว่างจานโม่ 2 มิลลิเมตร บางครั้งจานโม่หยุดหมุนเนื่องจากระยะห่างระหว่างจานโม่แคบเกินไป ทำให้เนื้อมะขามเปียกเข้าไปอัดแน่นในจานโม่

2. เมื่อพิจารณาที่แต่ละระยะห่างระหว่างจานโม่พบว่าความเร็วรอบในช่วงที่ทำการทดลองมีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกความเร็วรอบ 676 รอบต่อนาที เพราะอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและการสึกหรอของชิ้นส่วนน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 ผลการทดลองหาค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาด

จากตารางภาคผนวกที่ ค.1 พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดตราตลาดไทยมีค่าเฉลี่ย 85.84 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดตราระย้ามีค่าเฉลี่ย 85.00 เปอร์เซ็นต์

## 5.4 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องโม่บด

จากการทดลองหาประสิทธิภาพเครื่องโดยทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 676 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างจานโม่ 4 มิลลิเมตร ทำการทดลองหาเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด จำนวน 20 ครั้ง กำหนดช่วงเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดคือ 84.7± 2.38 นั่นคือช่วงเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดที่ 82.32-87.08 พบว่าจะมีจำนวนตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบด อยู่ในช่วงกำหนด จำนวน 16 ตัวอย่าง ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียกเมื่อใช้เปอร์เซ็นต์ น้ำมะขามเปียกบดเป็นตัวเกณฑ์ตัดสินคิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ และจากการนำเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกบดที่ทดลองเปรียบเทียบกับท้องตลาดจะให้ผลใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปผลการทดลอง

## 6.1 สรุปและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ความเร็วรอบที่เหมาะสม 676 รอบต่อนาที

ระยะห่างระหว่างจานโม่ 4 มิลลิเมตร

ประสิทธิภาพในการโม่บดมะขามเปียก 80 เปอร์เซ็นต์

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. น้ำมะขามเปียกที่ผ่านเครื่องโม่ไม่ออกจากเครื่องหมดทำให้ต้องหาเปอร์เซ็นต์น้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่

2. ที่ความเร็วรอบต่ำจานโม่จะหยุดหมุนเนื่องจากเนื้อมะขามมีความหนืดจึงต้องหยุดเครื่องค่าที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อน

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง ควรมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องทดลองดังนี้

1. ถ้าทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวนมากจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
2. ครีบกวาดใต้จานโม่ควรให้มีขนาดใหญ่พอที่จะกวาดเนื้อมะขามที่ใต้จานโม่ออกจากเครื่องจนหมด
3. ที่ครอบจานโม่ควรทำด้วยวัสดุที่แข็งแรงและไม่เป็นสนิม
4. ทางออกของน้ำมะขามเปียกที่ผ่านการโม่บดแล้วควรทำให้มีความลาดเอียงเพื่อให้น้ำมะขามเปียกไหลออกมาด้วยแรงโน้มถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของมะขาม [12] เนื้อมะขามมีรสหวานและเปรี้ยว เพราะประกอบด้วยทั้งน้ำตาล (30 – 40%) และกรดอินทรีย์เช่น citric, tartaric, acetic และ ascorbic (Vitamin C) เนื้อมะขามเป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญมี Calcium มากกว่าผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากมะขามมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยแต่มีโปรตีนและน้ำตาลสูง สีของเนื้อจึงเข้มเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน

**ตาราง ก.1 องค์ประกอบของมะขาม (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่ทานได้)**

| องค์ประกอบ | ค่าที่แสดง |
|---|---|
| water ( % ) | 31.4 |
| Food energy ( Calories ) | 239.0 |
| Protein ( grams ) | 2.8 |
| Fat ( grams ) | 0.6 |
| Carbohydrates ( grams ) | |
| Total | 62.5 |
| Fiber | 5.1 |
| Ash ( grams ) | 2.7 |
| Calcium ( Milligrams ) | 74.0 |
| Phosphorous ( Milligrams ) | 113.0 |
| Iron ( Milligrams ) | 2.8 |
| Sodium ( Milligrams ) | 51.0 |
| Potassium ( Milligrams ) | 781.0 |
| Vitamin A ( Intl . Units ) | 30.0 |
| Thiamine ( Milligrams ) | 0.34 |
| Ribofiavin ( Milligrams ) | 0.14 |
| Niacin ( Milligrams ) | 1.2 |
| Ascorbic acid ( Milligrams ) | 2.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

**ตาราง ข.1 ขนาดระบุของเพลาตันตามมาตรฐาน ISO/R775-1969**

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

**ตาราง ข.2 ค่าตัวประกอบความล้า**

| ชนิดของแรงกระทำ | $C_m$ | $C_t$ |
|---|---|---|
| เพลาอยู่นิ่ง : | | |
| แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ | 1.0 | 1.0 |
| แรงกระตุก | 1.5-2.0 | 1.5-2.0 |
| เพลาหมุน : | | |
| แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ | 1.5 | 1.0 |
| แรงกระตุกอย่างเบา | 1.5-2.0 | 1.0-1.5 |
| แรงกระตุกอย่างแรง | 2.0-3.0 | 1.5-3.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ข.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ $d_p$ (มิลลิเมตร) ของล้อสายพานลิ่มตามมาตรฐาน ISO/R 52-1975(E) และ ISO/R 253-1962(E)**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 60 | 100 | 170 | 280 | 500 | 900 | 1900 |
| 28 | 63 | 106 | 180 | 300 | 530 | 1000 | 2000 |
| 31.5 | 67 | 112 | 190 | 315 | 560 | 1060 | 2240 |
| 35.5 | 71 | 118 | 200 | 355 | 600 | 1120 | 2500 |
| 40 | 75 | 125 | 212 | 375 | 630 | 1250 | |
| 45 | 80 | 132 | 224 | 400 | 670 | 1400 | |
| 50 | 85 | 140 | 236 | 425 | 710 | 1500 | |
| 53 | 90 | 150 | 250 | 450 | 750 | 1600 | |
| 56 | 95 | 160 | 265 | 475 | 800 | 1800 | |

**ตาราง ข.4 ตัวประกอบใช้งาน $k_1$**

| $k_1$ | สภาวะการทำงาน |
|---|---|
| 1.3 | งานเบา ทำงานคงที่ |
| 1.5 | งานปานกลาง |
| 2.0 | งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง |

**ตาราง ข.5 ค่าตัวประกอบ $k_2$**

| หน้าตัดสายพาน | $k_2$ |
|---|---|
| Y | 0.049 |
| Z | 0.126 |
| A | 0.217 |
| B | 0.385 |
| C | 0.637 |
| D | 1.332 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ข.6 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานลิ่ม (มิลลิเมตร) ตามมาตรฐานISO/R 52-1975(E) ISO/R 256-1962(E)**

| หน้าตัดสายพาน | | | Y | Z | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $l_p$ | | | 5.3 | 8.5 | 11 | 14 | 19 | 27 | 32 |
| h | | | 4 | 6 | 8 | 11 | 14 | 19 | 25 |
| $b_w$ | | | 5.3 | 8.5 | 11 | 14 | 19 | 27 | 32 |
| $b_1$ | | | 6.3 | 9.7 | 12.7 | 16.3 | 22 | 32 | 40 |
| c | | | 1.6 | 2 | 2.8 | 3.5 | 4.8 | 8.1 | 12 |
| e | | | 8 ± 0.3 | 12 ± 0.3 | 15 ± 0.3 | 19 ± 0.4 | 25.5 ± 0.5 | 37 ± 0.6 | 44.5 ± 0.7 |
| f | | | 6 ± 0.5 | 8 ± 0.6 | 10 ± 0.6 | 12.5 ± 0.8 | 17 ± 1 | 24 ± 2 | 29 ± 2 |
| $t_{min}$ | | | 7 | 11 | 14 | 18 | 24 | 28 | 33 |
| 32° | สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ $d_p$ | $\phi$ | ≤ 63 | – | – | – | – | – | – |
| 34° | | | – | 63 – 80 | 90 – 118 | 140 – 190 | 224 – 315 | – | – |
| 36° | | | 63 | – | – | – | – | ≤ 500 | ≤ 630 |
| 38° | | | – | > 80 | > 118 | > 190 | > 315 | > 500 | > 630 |
| $b_2$ | จำนวนร่องบนล้อสายพาน | 1 | 12 | 16 | 20 | 25 | 34 | 48 | 58 |
| | | 2 | 20 | 28 | 35 | 44 | 59.5 | 85 | 102.5 |
| | | 3 | 28 | 40 | 50 | 63 | 85 | 122 | 147 |
| | | 4 | 36 | 52 | 65 | 82 | 110.5 | 159 | 191.5 |
| | | 5 | 44 | 64 | 80 | 101 | 136 | 196 | 236 |
| | | 6 | 52 | 76 | 95 | 120 | 161.5 | 233 | 280.5 |
| | | 7 | 60 | 88 | 110 | 139 | 187 | 270 | 325 |
| | | 8 | | 100 | 125 | 158 | 212.5 | 307 | 369.5 |
| | | 9 | | 112 | 140 | 177 | 238 | 344 | 411 |
| | | 10 | | 124 | 155 | 196 | 263.5 | 381 | 458.5 |
| | | 11 | | 136 | 170 | 215 | 289 | 418 | 503 |
| | | 12 | | 148 | 185 | 234 | 314.5 | 455 | 547.5 |
| $d_{p_{min}}$ | | | 28 | 50 | 80 | 125 | 200 | 355 | 500 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.7 ตัวประกอบใช้งาน $N_s$ สำหรับสายพานลิ่ม

| ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ | ชนิดของอุปกรณ์ขับ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ตัวประกอบใช้งานนี้พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ตัวอย่างเช่น ทำงานในสภาวะแวดล้อมเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าขึ้นอีกได้ในกรณีพิเศษ | มอเตอร์กระแสสลับ: normal torque, squirrel cage, synchronous and split phase.<br>มอเตอร์กระแสตรง: shunt wound<br>เครื่องยนต์สันดาปภายใน: ที่มีหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm | | | มอเตอร์กระแสสลับ: high torque, high slip, repulsion-induction, single phase, series wound and slip ring.<br>มอเตอร์กระแสตรง: series wound และ compound wound.<br>เครื่องยนต์สันดาปภายใน: ที่มีหนึ่งลูกสูบ ความเร็วรอบต่ำกว่า 600 rpm เพลาเมน คลัตช์ | | |
| | ชั่วโมงทำงานต่อวัน | | | ชั่วโมงทำงานต่อวัน | | |
| | ≤ 10 | 10–16 | > 16 | ≤ 10 | 10–16 | > 16 |
| งานเบา : เครื่องกวนของเหลว, เครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบแบบหอย-โข่ง, พัดลมที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kW, สายพานลำเลียงงานเบา | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| งานปานกลาง : สายพานลำเลียงทรายหรือเมล็ดพืช, เครื่องผสมของข้นเหนียว, พัดลมที่มีกำลังสูงกว่า 7.5 kW, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เพลาเมน, เครื่องซักผ้า, เครื่องมือกล Punches Presses - shears, เครื่องพิมพ์, positive displacement rotary pumps, เครื่องเขย่า | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.7 ตัวประกอบใช้งาน $N_s$ สำหรับสายพานลิ่ม (ต่อ)

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| งานหนัก : เครื่องทำอิฐ, bucket elevators, exciters, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบแบบลูกสูบ, สายพานลำเลียง, hammer mills, paper mill beaters, | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
| positive displacement blowers, เครื่องบด, เครื่องเลื่อย และเครื่องจักรกลงานไม้, เครื่องทอผ้า | | | | | | |
| งานหนักพิเศษ : Crushers(Gyratory-Jaw-Roll), mills(Ball-Rod-Tube) รอกไฟฟ้า rubber calenders-extruders-mills. | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |

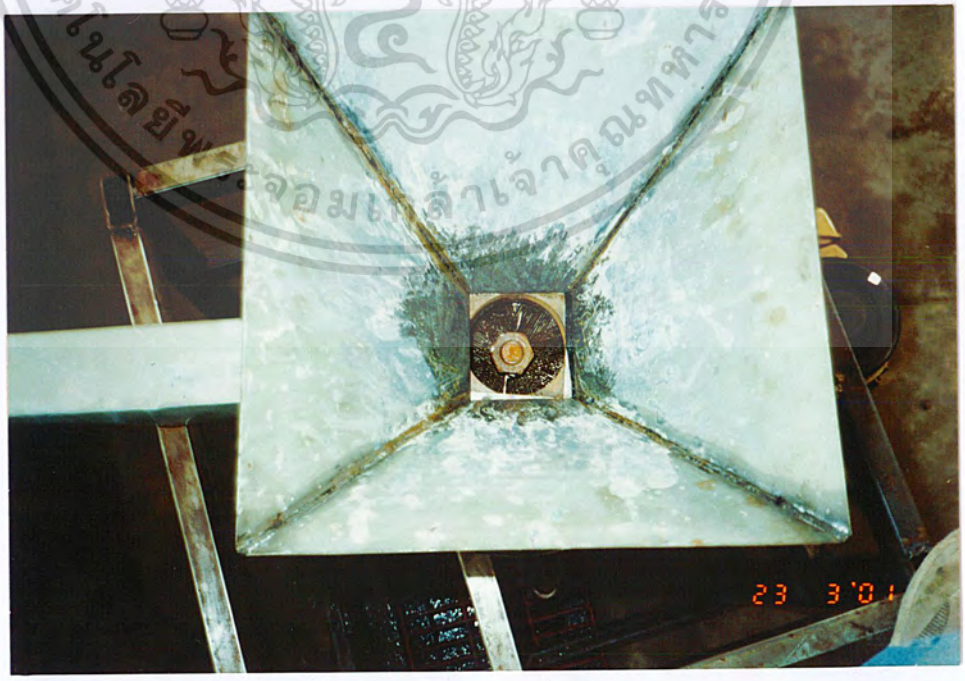
ตาราง ข.8 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส $N_a$ สำหรับสายพานลิ่ม

| $\frac{D_p - d_p}{C_p}$ | ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha \simeq$ | $N_a$ |
|---|---|---|
| 0 | 180 | 1 |
| 0.15 | 170 | 0.98 |
| 0.35 | 160 | 0.95 |
| 0.5 | 150 | 0.92 |
| 0.7 | 140 | 0.89 |
| 0.85 | 130 | 0.86 |
| 1.0 | 120 | 0.82 |
| 1.15 | 110 | 0.78 |
| 1.3 | 100 | 0.73 |
| 1.45 | 90 | 0.68 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

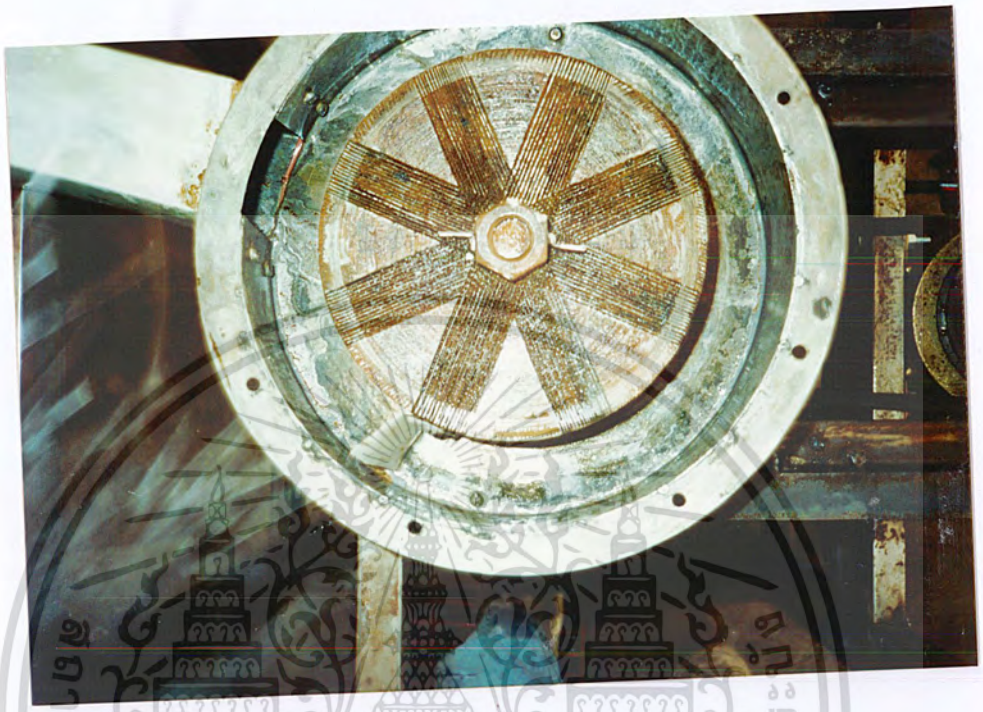
# ภาคผนวก ค.
## ภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียกที่ออกแบบ

**รูปที่ ค. 1 ภาพแสดงเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก**



**รูปที่ ค. 2 ภาพแสดง Hopper**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

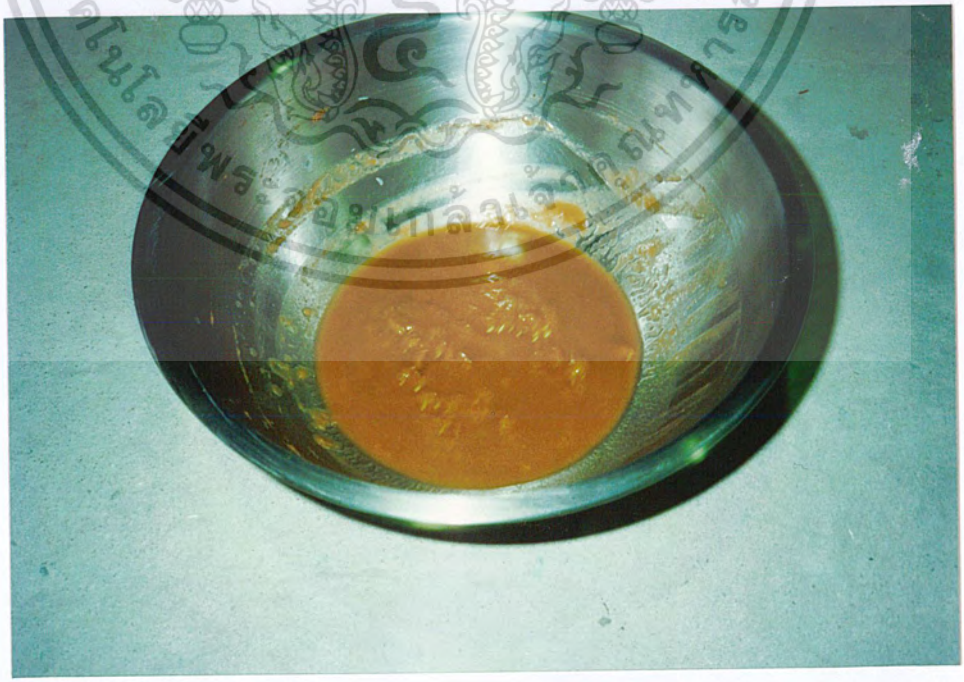


รูปที่ ค. 3 ภาพแสดงจานโม่ล่าง

รูปที่ ค. 4 ภาพแสดงจานโม่บน

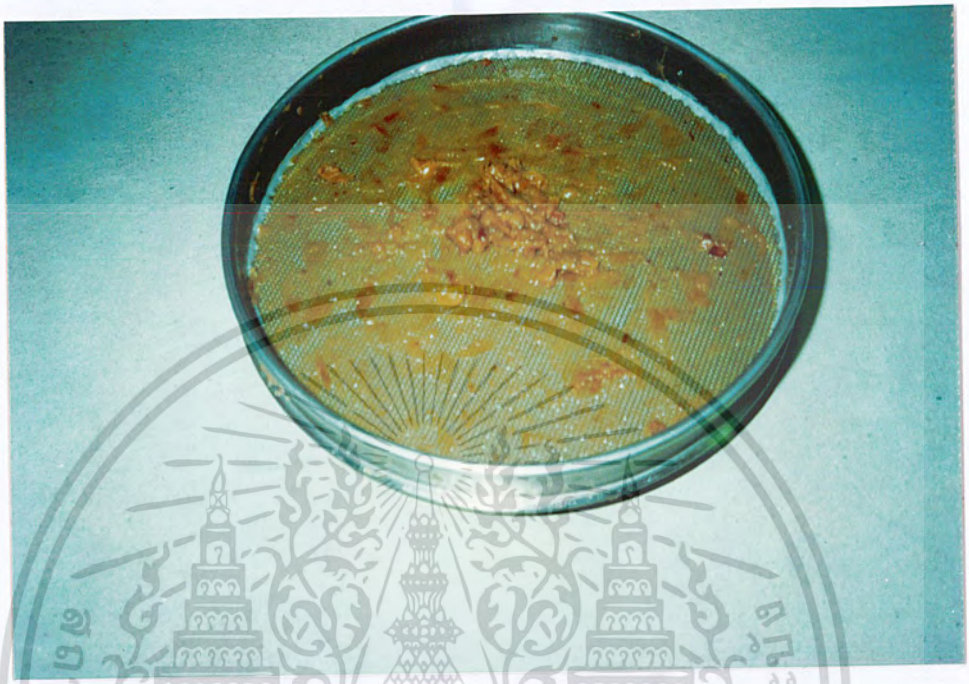
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค. 5 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกที่ผ่านการโม่บด



รูปที่ ค. 6 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรง

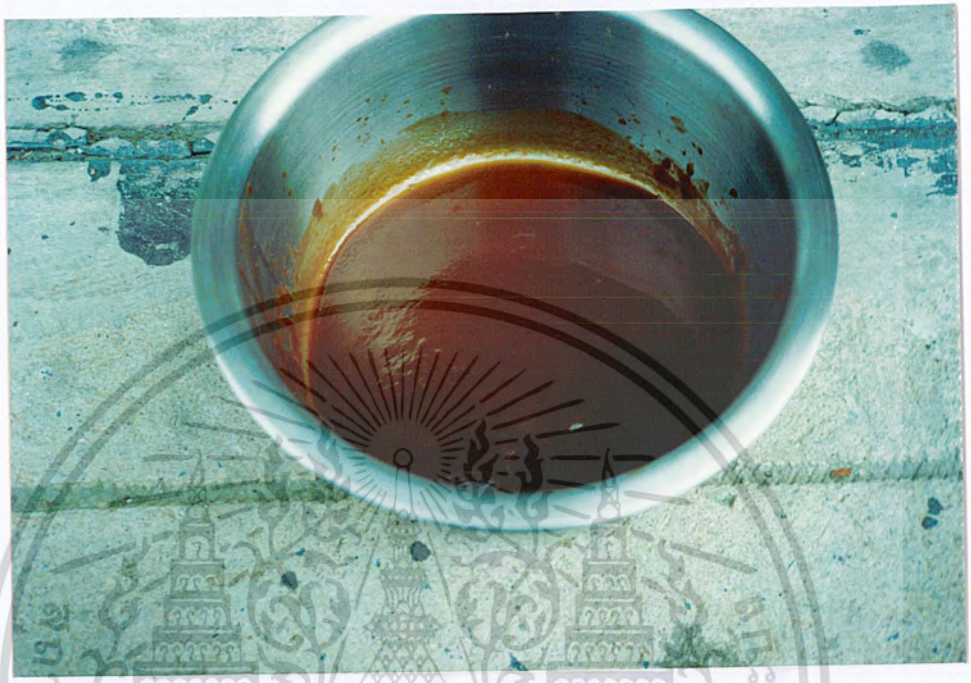
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



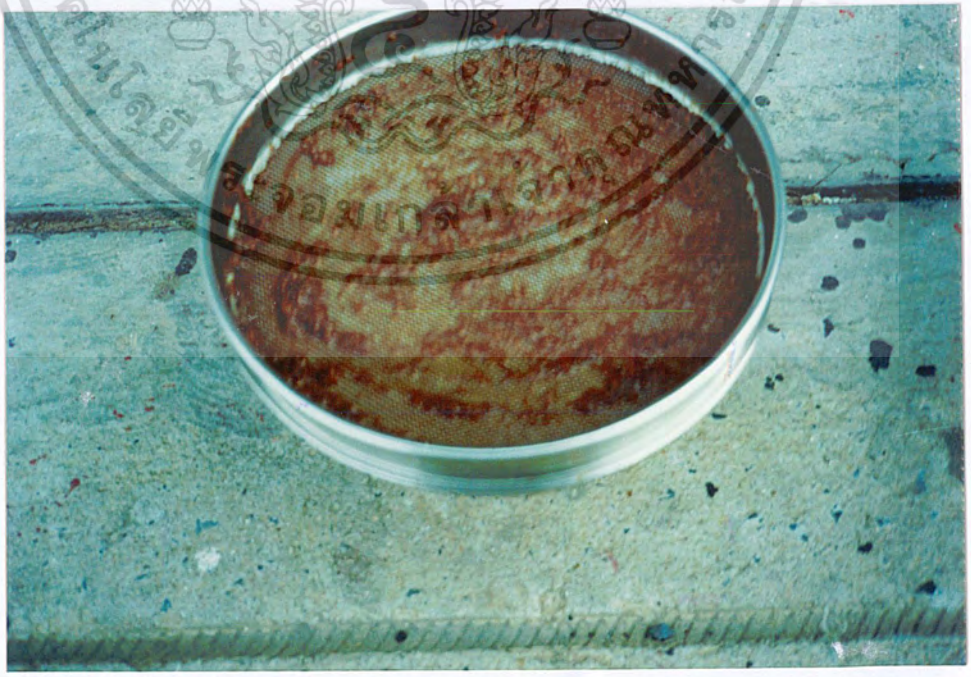
รูปที่ ค. 7 ภาพแสดงกากมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรง

รูปที่ ค. 8 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

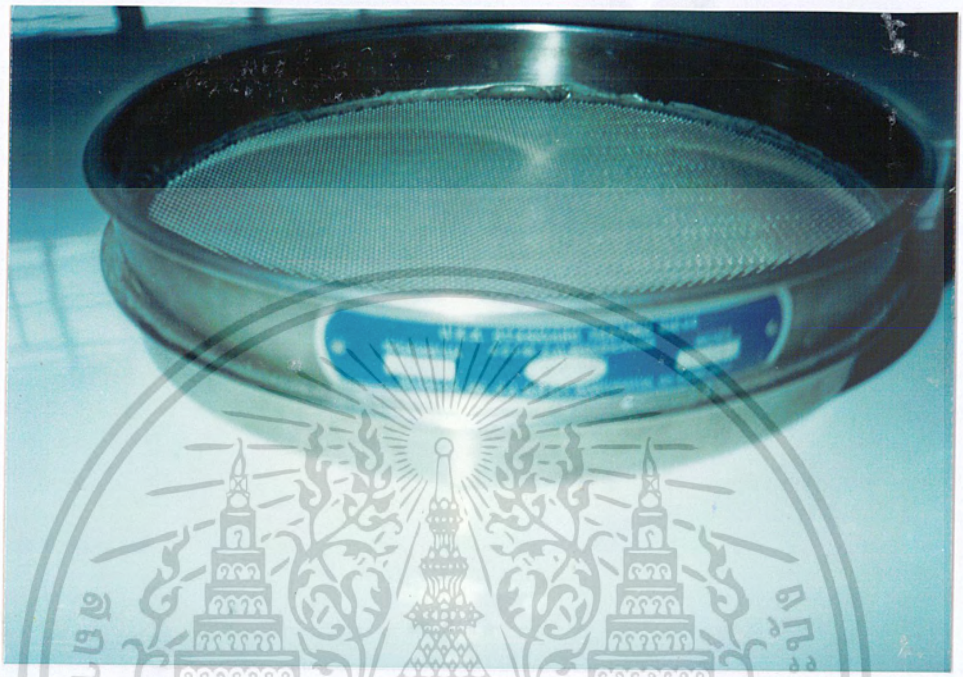


**รูปที่ ค. 9 ภาพแสดงน้ำมะขามเปียกสำเร็จรูปที่ผ่านตะแกรง**



**รูปที่ ค .10 ภาพแสดงกากมะขามเปียกสำเร็จรูปที่ไม่ผ่านตะแกรง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ ค. 11 ภาพแสดงลักษณะตะแกรงขนาด 20 ช่องต่อตารางนิ้ว**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

**ตาราง ง.1 การทดลองหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกกรอง**

| ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) | ระยะห่างระหว่างจานโม่ (มิลลิเมตร) | นน.น้ำมะขามเปียกบด (กรัม) | | | นน.น้ำมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรง (กรัม) | | | นน.น้ำมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรง (กรัม) | | | เปอร์เซ็นต์โดย นน.ของน้ำมะขามเปียกกรอง | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 676 | 2 | 450.00 | 460.00 | 440.00 | 90.00 | 83.00 | 70.00 | 360.00 | 377.00 | 370.00 | 80.00 | 81.96 | 84.09 |
| 676 | 4 | 460.00 | 460.00 | 450.00 | 74.00 | 83.00 | 63.00 | 386.00 | 377.00 | 387.00 | 83.91 | 81.96 | 86.00 |
| 676 | 6 | 460.00 | 440.00 | 450.00 | 110.00 | 88.00 | 90.00 | 350.00 | 352.00 | 360.00 | 76.09 | 80.00 | 80.00 |
| 989 | 2 | 460.00 | 460.00 | 460.00 | 74.00 | 83.00 | 83.00 | 386.00 | 377.00 | 377.00 | 83.91 | 81.96 | 81.96 |
| 989 | 4 | 450.00 | 460.00 | 460.00 | 81.00 | 92.00 | 83.00 | 369.00 | 368.00 | 377.00 | 82.00 | 80.00 | 81.96 |
| 989 | 6 | 460.00 | 460.00 | 450.00 | 115.00 | 101.00 | 90.00 | 345.00 | 359.00 | 360.00 | 75.00 | 78.04 | 80.00 |
| 1759 | 2 | 470.00 | 470.00 | 470.00 | 103.00 | 94.00 | 103.00 | 367.00 | 376.00 | 367.00 | 78.09 | 80.00 | 78.09 |
| 1759 | 4 | 470.00 | 460.00 | 470.00 | 103.00 | 92.00 | 94.00 | 367.00 | 368.00 | 376.00 | 78.09 | 80.00 | 80.00 |
| 1759 | 6 | 470.00 | 480.00 | 460.00 | 122.00 | 115.00 | 101.00 | 348.00 | 365.00 | 359.00 | 74.04 | 76.04 | 78.04 |

**ตาราง ง.2 ค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาด**

**ตาราง ง.2.1 ค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาดตราตลาดไทย**

| นน.น้ำมะขามเปียก (กรัม) | นน.กากมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรง (กรัม) | นน.น้ำมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรง (กรัม) | เปอร์เซ็นต์โดย นน.ของน้ำมะขามเปียกกรอง |
|---|---|---|---|
| 500.00 | 60.00 | 440.00 | 88.00 |
| 500.00 | 75.00 | 425.00 | 85.00 |
| 500.00 | 65.00 | 435.00 | 87.00 |
| 500.00 | 80.00 | 420.00 | 84.00 |
| 500.00 | 74.00 | 426.00 | 85.20 |
| เฉลี่ย | 70.80 | 429.20 | 85.84 |

**ตาราง ง.2.2 ค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาดตราระย้า**

| นน. น้ำมะขามเปียก (กรัม) | นน. กากมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรง (กรัม) | นน. น้ำมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรง (กรัม) | เปอร์เซ็นต์โดย นน.ของน้ำมะขามเปียกกรอง |
|---|---|---|---|
| 500.00 | 70.00 | 430.00 | 86.00 |
| 500.00 | 73.00 | 427.00 | 85.40 |
| 500.00 | 69.00 | 431.00 | 86.20 |
| 500.00 | 78.00 | 422.00 | 84.40 |
| 500.00 | 85.00 | 415.00 | 83.00 |
| เฉลี่ย | 75.00 | 425.00 | 85.00 |

**ตาราง ง.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกกรอง ที่ความเร็วรอบ 676 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างจานโม่ 4 มิลลิเมตร**

| นน.น้ำมะขามเปียกบด (กรัม) | นน.กากมะขามเปียกที่ไม่ผ่านตะแกรง (กรัม) | นน.น้ำมะขามเปียกที่ผ่านตะแกรง (กรัม) | เปอร์เซ็นต์โดย นน.ของน้ำมะขามเปียกกรอง |
|---|---|---|---|
| 470.00 | 75.00 | 395.00 | 84.04 |
| 460.00 | 64.40 | 395.60 | 86.00 |
| 450.00 | 63.00 | 387.00 | 86.00 |
| 480.00 | 76.80 | 403.20 | 84.00 |
| 460.00 | 92.00 | 368.00 | 80.00 |
| 460.00 | 64.40 | 395.60 | 86.00 |
| 470.00 | 56.40 | 413.60 | 88.00 |
| 450.00 | 72.00 | 378.00 | 84.00 |
| 460.00 | 64.40 | 395.60 | 86.00 |
| 440.00 | 70.40 | 369.60 | 84.00 |
| 470.00 | 84.60 | 385.40 | 82.00 |
| 460.00 | 55.20 | 404.80 | 88.00 |
| 470.00 | 75.20 | 394.80 | 84.00 |
| 460.00 | 85.00 | 375.00 | 81.52 |
| 480.00 | 75.00 | 405.00 | 84.38 |
| 470.00 | 65.80 | 404.20 | 86.00 |
| 440.00 | 70.40 | 369.60 | 84.00 |
| 460.00 | 64.40 | 395.60 | 86.00 |
| 470.00 | 84.60 | 385.40 | 82.00 |
| 470.00 | 75.00 | 395.00 | 84.04 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.4 การทดลองหาความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างจานโม่ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่บด

| ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) | ระยะห่างระหว่างจานโม่ (มิลลิเมตร) | นน.น้ำมะขามเปียกที่เข้าเครื่องโม่บด (กรัม) | | | นน.น้ำมะขามเปียกที่ออกจากเครื่องโม่บด (กรัม) | | | เปอร์เซ็นต์โดย นน.ของน้ำมะขามเปียกที่ออกจากเครื่องโม่บด | | | เปอร์เซ็นต์โดย นน.ของน้ำมะขามเปียกที่ติดค้างในเครื่องโม่บด | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 676 | 2 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 450.00 | 460.00 | 440.00 | 90.00 | 92.00 | 88.00 | 10.00 | 8.00 | 12.00 |
| 676 | 4 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 460.00 | 460.00 | 450.00 | 92.00 | 92.00 | 90.00 | 8.00 | 8.00 | 10.00 |
| 676 | 6 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 460.00 | 440.00 | 450.00 | 92.00 | 88.00 | 90.00 | 8.00 | 12.00 | 10.00 |
| 989 | 2 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 460.00 | 460.00 | 460.00 | 92.00 | 92.00 | 92.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 |
| 989 | 4 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 450.00 | 460.00 | 460.00 | 90.00 | 92.00 | 92.00 | 10.00 | 8.00 | 8.00 |
| 989 | 6 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 460.00 | 460.00 | 450.00 | 92.00 | 92.00 | 90.00 | 8.00 | 8.00 | 10.00 |
| 1759 | 2 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 470.00 | 470.00 | 470.00 | 94.00 | 94.00 | 94.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
| 1759 | 4 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 470.00 | 460.00 | 470.00 | 94.00 | 92.00 | 94.00 | 6.00 | 8.00 | 6.00 |
| 1759 | 6 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 470.00 | 480.00 | 460.00 | 94.00 | 96.00 | 92.00 | 6.00 | 4.00 | 8.00 |

**ตาราง ง.5 การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องโดยพิจารณาจากน้ำมะขามเปียกบด ที่ความเร็วรอบ 676 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างจานโม่ 4 มิลลิเมตร**

| นน.น้ำมะขามเปียก ที่เข้าเครื่องโม่บด (กรัม) | นน.น้ำมะขามเปียกที่ ออกจากเครื่องโม่บด (กรัม) | เปอร์เซ็นต์ น้ำมะขามเปียก ที่ออกจากเครื่องโม่บด | เปอร์เซ็นต์ น้ำมะขามเปียกที่ติด ค้างในเครื่องโม่บด |
|---|---|---|---|
| 500.00 | 470.00 | 94.00 | 6.00 |
| 500.00 | 460.00 | 92.00 | 8.00 |
| 500.00 | 450.00 | 90.00 | 10.00 |
| 500.00 | 480.00 | 96.00 | 4.00 |
| 500.00 | 460.00 | 92.00 | 8.00 |
| 500.00 | 460.00 | 92.00 | 8.00 |
| 500.00 | 470.00 | 94.00 | 6.00 |
| 500.00 | 450.00 | 90.00 | 10.00 |
| 500.00 | 460.00 | 92.00 | 8.00 |
| 500.00 | 440.00 | 88.00 | 12.00 |
| 500.00 | 470.00 | 94.00 | 6.00 |
| 500.00 | 460.00 | 92.00 | 8.00 |
| 500.00 | 470.00 | 94.00 | 6.00 |
| 500.00 | 460.00 | 92.00 | 8.00 |
| 500.00 | 480.00 | 96.00 | 4.00 |
| 500.00 | 470.00 | 94.00 | 6.00 |
| 500.00 | 440.00 | 88.00 | 12.00 |
| 500.00 | 460.00 | 92.00 | 8.00 |
| 500.00 | 470.00 | 94.00 | 6.00 |
| 500.00 | 470.00 | 94.00 | 6.00 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม IRRI STAT

ANALYSIS OF VARIANCE

COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN

REPLICATION (R) = 3 TREATMENT : 3 x 3

SPEED (S) = 3 GAP (G) = 3

S1 = speed1 G1 = gap1

S2 = speed2 G2 = gap2

S3 = speed3 G3 = gap3

yield (%)

| | | REP1 | REP2 | REP3 |
|---|---|---|---|---|
| S1 | G1 | 80.00 | 82.00 | 84.00 |
| | G2 | 84.00 | 82.00 | 86.00 |
| | G3 | 76.00 | 80.00 | 80.00 |
| S2 | G1 | 84.00 | 82.00 | 82.00 |
| | G2 | 82.00 | 80.00 | 82.00 |
| | G3 | 75.00 | 78.00 | 80.00 |
| S3 | G1 | 78.00 | 80.00 | 78.00 |
| | G2 | 78.00 | 80.00 | 80.00 |
| | G3 | 74.00 | 76.00 | 78.00 |
| REP TOTALS | | 711.00 | 720.00 | 730.00 |
| REP MEANS | | 79.00 | 80.00 | 81.11 |

ANALYSIS OF VARIANCE FOR yield

| SV | DF | SS | MS | F |
|---|---|---|---|---|
| TREATMENT | 8 | 162.9629623 | 20.3703704 | 6.32** |
| SPEED (S) | 2 | 60.5185185 | 30.2592593 | 9.39** |
| GAP (G) | 2 | 91.6296296 | 45.8148148 | 14.22** |
| SxG | 4 | 10.8148148 | 2.7037037 | <1 |
| ERROR | 18 | 58.0000000 | 3.2222222 | |
| TOTAL | 26 | 220.9269630 | | |

CV = 2.2 % ** = significant at 1 % level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SxG TABLE OF MEANS FOR yield (%)

(AVE. OVER 3 REPS)

| | SPEED (S) | | | |
|---|---|---|---|---|
| GAP (G) | speed1 | speed2 | speed3 | G-MEAN |
| gap1 | 82.000 a | 82.667 a | 78.667 ab | 81.111 a |
| gap2 | 84.000 a | 81.333 a | 79.333 a | 81.556 a |
| gap3 | 78.667 b | 77.667 b | 76.000 b | 77.444 b |
| S-MEAN | 81.556 | 80.556 | 78.000 | 80.037 |

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

| Comparison | S.E.D. | LSD (5%) | LSD (1%) |
|---|---|---|---|
| 2-S*G means | 1.466 | 3.079 | 4.219 |
| 2-G means | 0.846 | 1.778 | 2.436 |
| 2-s means | 0.846 | 1.778 | 2.436 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF VARIANCE

COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN

REPLICATION (R) = 3 TREATMENT : 3 x 3

SPEED (S) = 3 GAP (G) = 3

S1 = speed1 G1 = gap1

S2 = speed2 G2 = gap2

S3 = speed3 G3 = gap3

% loss (%)

| | | REP1 | REP2 | REP3 |
|---|---|---|---|---|
| S1 | G1 | 10.00 | 8.00 | 12.00 |
| | G2 | 8.00 | 8.00 | 10.00 |
| | G3 | 8.00 | 12.00 | 10.00 |
| S2 | G1 | 8.00 | 8.00 | 8.00 |
| | G2 | 10.00 | 8.00 | 8.00 |
| | G3 | 8.00 | 8.00 | 10.00 |
| S3 | G1 | 6.00 | 6.00 | 6.00 |
| | G2 | 6.00 | 8.00 | 6.00 |
| | G3 | 6.00 | 4.00 | 8.00 |
| REP TOTALS | | 70.00 | 70.00 | 78.00 |
| REP MEANS | | 7.78 | 7.78 | 8.67 |

ANALYSIS OF VARIANCE FOR % loss

| SV | DF | SS | MS | F |
|---|---|---|---|---|
| TREATMENT | 8 | 57.18518519 | 7.14814815 | 3.71** |
| SPEED (S) | 2 | 51.85185185 | 25.92592593 | 13.46** |
| GAP (G) | 2 | 0.29629630 | 0.14814815 | <1 |
| SxG | 4 | 5.03703704 | 1.25925926 | <1 |
| ERROR | 18 | 34.66666667 | 1.92592593 | |
| TOTAL | 26 | 91.85185185 | | |

CV = 17.2 % ** = significant at 1 % level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SxG TABLE OF MEANS FOR % loss (%)

(AVE. OVER 3 REPS)

| | SPEED (S) | | | |
|---|---|---|---|---|
| GAP (G) | speed1 | speed2 | speed3 | G-MEAN |
| gap1 | 10.000 a | 8.000 a | 6.000 a | 8.000 a |
| gap2 | 8.667 a | 8.667 a | 6.667 a | 8.000 a |
| gap3 | 10.000 a | 8.667 a | 6.000 a | 8.222 a |
| S-MEAN | 9.556 | 8.444 | 6.222 | 8.074 |

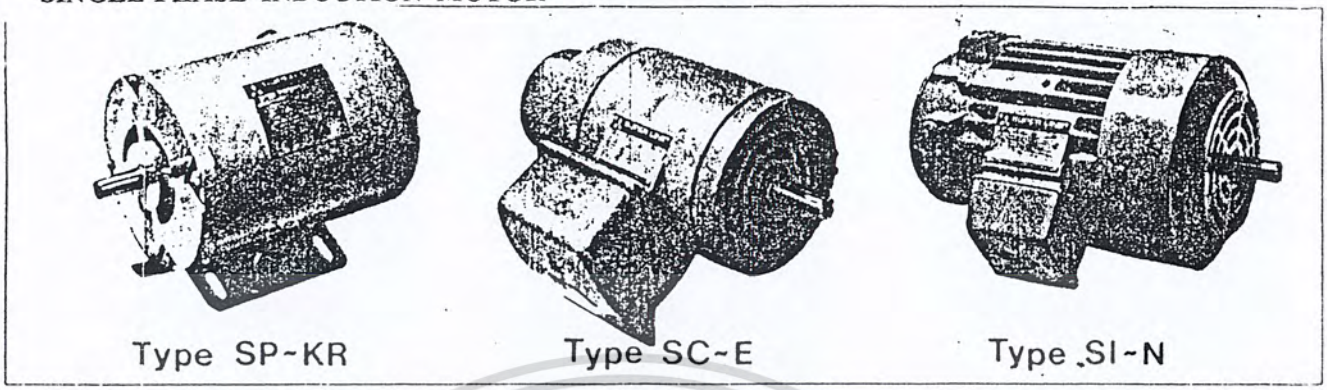
In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

| Comparison | S.E.D. | LSD (5%) | LSD (1%) |
|---|---|---|---|
| 2-S*G means | 1.133 | 2.381 | 3.262 |
| 2-s means | 0.654 | 1.374 | 1.883 |

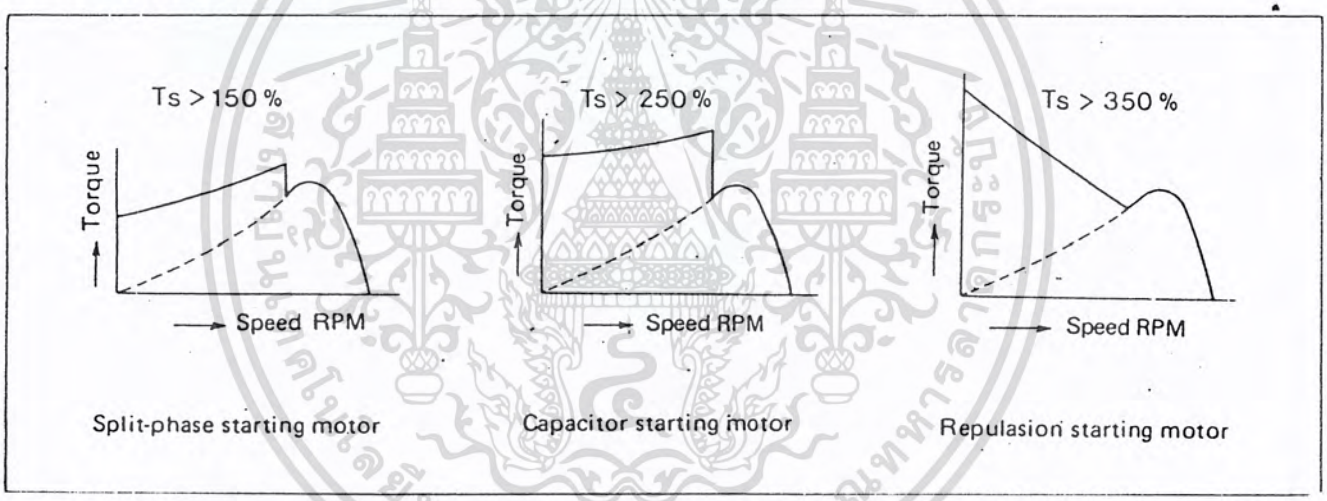
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

**SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR**




## Characteristic Curves




## Standard Specifications

| Type | Split-phase Starting motor | | | Capacitor starting motor | | | | | | Repulsion Starting motor | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Model | SP-KR | | SP-NR | SC-NR | | SC-E | | | | SI-NE | SI-N | |
| Output (HP) | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | 5 | 1/2 | 1 | 1¾ |
| Frame no. | A71 | B71 | 80 | 80 | 90S | 90L | 100L | 112M | 132M | 100L | 100L | 100L |
| No. of poles | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Phase, Voltage | 1 Ø 220V. 50 Hz. | | | | | | | | | | | |
| Full Load Current (A) | 2.8 | 3.1 | 4.6 | 4.1 | 6.9 | 9.6 | 13.0 | 18.8 | 29.0 | 3.5 | 7.6 | 12.0 |
| Full Load speed* (rpm) | 1450 | 1440 | 1450 | 1420 | 1430 | 1450 | 1440 | 1450 | 1450 | 1455 | 1460 | 1450 |
| Net Weight (Kg) | 6.5 | 7.5 | 11.5 | 12 | 19 | 26 | 32 | 43 | 70 | 26.5 | 31 | 40 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้