

เครื่องบดกะลามะพร้าว  
COCONUT SHELL-GRINDING MACHINE



โดย

นายชัชวาล กิตติคุณผดุง

นายวรพจน์ สิทธาโนมัย

นายวิรัช เงามะบุญพัฒนา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ชินรัชย์ เขียรพงษ์

ร.พ.  
ร.358ค  
2547

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...61508  
วัน,เดือน,ปี... 18 ก.ค. 2549

b. 11579857  
i.

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องบดกะลามะพร้าว

COCONUT SHELL-GRINDING MACHINE

ผู้จัดทำ

- |              |              |              |          |
|--------------|--------------|--------------|----------|
| 1. นายชัชวาล | กิตติคุณผดุง | รหัสประจำตัว | 44010677 |
| 2. นายวรพจน์ | สิทธิโนมัย   | รหัสประจำตัว | 44010817 |
| 3. นายวรัท   | เงาะบุญพัฒน์ | รหัสประจำตัว | 44010819 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ชินรัชย์ เขียรพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องบดกะลามะพร้าว

|                                           |              |          |
|-------------------------------------------|--------------|----------|
| นายชัชวาล                                 | กิตติคุณผดุง | 44010677 |
| นายวรพจน์                                 | สิทธิโนมัย   | 44010817 |
| นายวรัท                                   | เงาะบุญพัฒน์ | 44010819 |
| ผศ.ดร. ชินรัชย์ เรือรพษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา |              |          |
| ปีการศึกษา 2547                           |              |          |

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพลาสติกได้กลายมาเป็นวัสดุที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพลาสติกสามารถนำมาใช้งานตามความต้องการของผู้บริโภค โดยมีรูปแบบให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสมได้อย่างหลากหลาย ซึ่งคุณสมบัติของพลาสติกนั้นจะขึ้นอยู่กับ โครงสร้างและสารเติมแต่งที่ใช้เป็นส่วนประกอบในพอลิเมอร์ที่ใช้ทำการผลิตพลาสติก และเนื่องจากมีความเป็นไปได้เป็นอย่างยิ่งในการนำเอาเศษของกะลาเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมอร์ ดังนั้น โครงงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการออกแบบและสร้างเครื่องบดกะลามะพร้าว โดยเครื่องจะทำการบดและลดขนาดของกะลามะพร้าวด้วยหลักการของแรงกระแทก(Impact) โดยใบมีดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะกระแทกกับกะลามะพร้าวที่มีความเร็วต่ำมาก เนื่องจากการถ่ายทอดพลังจะส่งผลให้กะลามะพร้าวแตกออกเป็นเล็กๆได้ในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Coconut Shell-Grinding Machine

Chatchawan Kittikunpadung 44010677

Worapoj Sittanomai 44010817

Varat Ngowabunpat 44010819

Assist. Prof. Dr.Chinaruk Thianpong Advisor

## ABSTRACT

Nowadays, plastics become very important materials that can provide consumers want and need. Plastics' versatility allows it to be used in everything. The plastic properties strongly depend on the polymer structure. By changing molecular structure and adding some additives, these properties can be altered. Since there are possibilities that the particles of coconut shell can be the additive to strengthen the polymer's structure. Therefore, this project aimed to design and build a coconut shell-grinding machine which accomplishes size reduction by impacting a slow moving target (coconut shell piece) with rapidly moving blades. The transfer of energy that results from this collision breaks the target (coconut shell piece) into many pieces.

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ชินรักษ์ เชียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางตลอดการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณ เพื่อนในภาควิชา ที่ช่วยในการหาข้อมูล และให้คำปรึกษาในการทำปริญญาานิพนธ์ และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องแต่ไม่สามารถลงนามที่นี้ได้หมดทุกคน

|           |              |
|-----------|--------------|
| นายชัชวาล | กิตติคุณผดุง |
| นายวรพจน์ | สิทธิา โนมัย |
| นายวรัท   | เงาะบุญพัฒนา |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

|                                     | หน้าที่ |
|-------------------------------------|---------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                     | I       |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                  | II      |
| กิตติกรรมประกาศ                     | III     |
| สารบัญ                              | IV      |
| สารบัญตาราง                         | VI      |
| สารบัญภาพ                           | VII     |
| บทที่ 1 บทนำ                        | 1       |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา               | 1       |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ          | 1       |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ                | 1       |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน             | 2       |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ   | 2       |
| บทที่ 2 ข้อมูลมะพร้าว               | 3       |
| 2.1 พันธุ์มะพร้าว                   | 3       |
| 2.1.1 มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง           | 3       |
| 2.1.2 มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย         | 3       |
| 2.2 การเก็บผล                       | 4       |
| บทที่ 3 ทฤษฎีการออกแบบและการคำนวณ   | 6       |
| 3.1 การออกแบบเพลลา                  | 6       |
| 3.1.1 วัสดุเพลลา                    | 6       |
| 3.1.2 ขนาดของเพลลา                  | 7       |
| 3.1.3 การพิจารณาในการออกแบบ         | 7       |
| 3.1.4 การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME | 8       |
| 3.2 การเชื่อม                       | 11      |
| 3.2.1 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า            | 11      |
| 3.2.2 การเชื่อมด้วยแก๊ส             | 11      |
| 3.2.3 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร         | 12      |
| 3.2.4 การตัดในรอยเชื่อม             | 14      |
| 3.2.5 การบิดในรอยเชื่อม             | 15      |
| 3.3 โรลลิงแบร์ริง                   | 17      |
| 3.3.1 มิติมาตรฐานของโรลลิงแบร์ริง   | 18      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                | หน้าที่ |
|------------------------------------------------|---------|
| 3.3.2 อายุการใช้งานของแบร่ริง                  | 18      |
| 3.3.3 การประเมินค่าการใช้งานและแรง             | 19      |
| 3.3.4 แรงสมมูล                                 | 22      |
| 3.3.5 ตัวประกอบใช้งาน                          | 23      |
| 3.4 สายพานล้ิม                                 | 24      |
| 3.4.1 ขนาดสายพานและสายพานล้ิม                  | 24      |
| 3.4.2 กลศาสตร์ของสายพานล้ิม                    | 26      |
| 3.4.3 การทำให้เกิดแรงค้ิ่งชั้นค้ินในสายพานล้ิม | 28      |
| 3.4.4 การค้ินวณหาขนาดของสายพานล้ิม             | 30      |
| บทที่ 4 การค้ินวณค้ิ่งส่วนเครื่องจักรกล        | 34      |
| 4.1 ทำการทดสอบความค้ิ่งแรงของกะลามะพร้าว       | 34      |
| 4.2 การค้ินวณหาขนาดของค้ิ่งค้าล้ิ่ง            | 34      |
| 4.3 การค้ินวณสายพานส่งค้าล้ิ่ง                 | 35      |
| 4.4 การค้ินวณหาขนาดเพลลา                       | 37      |
| บทที่ 5 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องบดกะลา        | 40      |
| 5.1 วิธีกรทดสอบ                                | 40      |
| 5.2 ผลการทดสอบ                                 | 43      |
| บทที่ 6 วิจารณ์และสรุปลผลการทดลอง              | 45      |
| 6.1 สรุปลและบทวิจารณ์                          | 45      |
| 6.2 แนวทางการพัฒนาต่อ                          | 45      |
| ภาคผนวก แบบส่วนประกอบเครื่องบดกะลามะพร้าว      | 46-51   |

## สารบัญตาราง

|                                                                          | หน้าที่ |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|
| ตารางที่ 2-1 แสดงพื้นที่ปลูก, จำนวนผลผลิตและราคาเฉลี่ยของมะพร้าวในประเทศ | 4       |
| ตารางที่ 2-2 แสดงวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น                                | 5       |
| ตารางที่ 3-1 มิติมาตรฐานและแรงประเมนของโรลลิงแบร์ริง                     | 21      |
| ตารางที่ 3-2 มิติมาตรฐานและแรงประเมนของโรลลิงแบร์ริง                     | 23      |
| ตารางที่ 3-3 ตัวประกอบของสายพาน                                          | 23      |
| ตารางที่ 3-4 ขนาดสายพานลิ้มและล้อสายพานตามมาตรฐาน                        | 25      |
| ตารางที่ 3-5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ $d_p$ ของล้อสายพานตามมาตรฐาน     | 26      |
| ตารางที่ 3-6 ตัวประกอบใช้งาน                                             | 29      |
| ตารางที่ 3-7 ค่าตัวประกอบ $k_2$                                          | 30      |
| ตารางที่ 3-8 ตัวประกอบใช้งาน $N_s$ สำหรับสายพานลิ้ม                      | 32      |
| ตารางที่ 3-9 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส $N_a$ สำหรับสายพานลิ้ม         | 33      |
| ตารางที่ 5-1 แสดงผลการทดสอบการบดกะลาแห้ง                                 | 41      |
| ตารางที่ 5-2 แสดงผลการทดสอบการบดกะลาสด                                   | 42      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

|                                                                       | หน้าที่ |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|
| รูปที่ 3-1 เพลายู่ภายใต้แรงต่างๆ                                      | 8       |
| รูปที่ 3-2 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า                                         | 11      |
| รูปที่ 3-3 การเชื่อมแก๊ส                                              | 11      |
| รูปที่ 3-4 รอยเชื่อมมุม                                               | 12      |
| รูปที่ 3-5 รอยเชื่อมชนิดต่างๆ                                         | 12      |
| รูปที่ 3-6 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร                                      | 12      |
| รูปที่ 3-7 รอยเชื่อมรับแรงดัด                                         | 14      |
| รูปที่ 3-8 หน้าตัดรอยเชื่อม                                           | 15      |
| รูปที่ 3-9 รอยเชื่อมรับแรงบิด                                         | 15      |
| รูปที่ 3-10 ส่วนต่างๆของบอลเบร็ง                                      | 17      |
| รูปที่ 3-11 ขอบเขตของมิติสำหรับอนุกรมมิติของเบร็งต่างๆ                | 18      |
| รูปที่ 3-12 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน                             | 24      |
| รูปที่ 3-13 แรงบนสายพานลิ่ม                                           | 26      |
| รูปที่ 3-14 แรงในสายพานลิ่ม                                           | 27      |
| รูปที่ 3-15 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ่ม           | 31      |
| รูปที่ 4-1 แสดงแกนกลางของเครื่องบด                                    | 39      |
| รูปที่ 5-1 ภาพเครื่องบดกะลามะพร้าว                                    | 40      |
| รูปที่ 5-2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพการบด  | 43      |
| รูปที่ 5-3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความสามารถในการบด | 43      |
| รูปที่ 5-4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าไฟฟ้า          | 44      |
| รูปที่ 5-5 แสดงผลกะลาที่บดได้                                         | 44      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่ง ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น เพราะพลาสติกนั้นสามารถนำมาใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง อาทิเช่น ไม้ เหล็ก เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา มีความทนทานสูงและมีขอบข่ายการใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีราคาถูก นอกจากนี้เรายังสามารถผลิตพลาสติกให้มีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้ โดยขึ้นกับการเลือกใช้วัตถุดิบ ปฏิกริยาเคมีกระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้อย่างมากมาย

ในความเป็นจริงแล้ว พลาสติกคือ การรวมตัวกันของพอลิเมอร์จำนวนมาก ดังนั้นคุณสมบัติของพลาสติกจะขึ้นอยู่กับ ชนิดรูปแบบและคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่ประกอบกันขึ้นเป็นพลาสติกนั่นเอง โดยเราสามารถกำหนดและปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้โดยการเติมสารเติมแต่ง(Additives) เช่น สารเพิ่มความแข็งแรง เพื่อให้พลาสติกสามารถคงสภาพอยู่ได้ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างเครื่องย่อยกะลามะพร้าว เพื่อนำเศษมะพร้าวไปเป็นสารเติมแต่งในการเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงให้แก่พอลิเมอร์ โดยปริมาณการผลิตของเครื่องจะเหมาะสำหรับการนำไปทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์ โดยอัตราการบดเท่ากับ 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ออกแบบและทำการสร้างเครื่องบดกะลามะพร้าว

1.3.2 ทำการทดลองบดกะลามะพร้าว จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากขนาดของเศษกะลามะพร้าวที่บดเสร็จแล้ว

1.3.3 ปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวเครื่อง

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

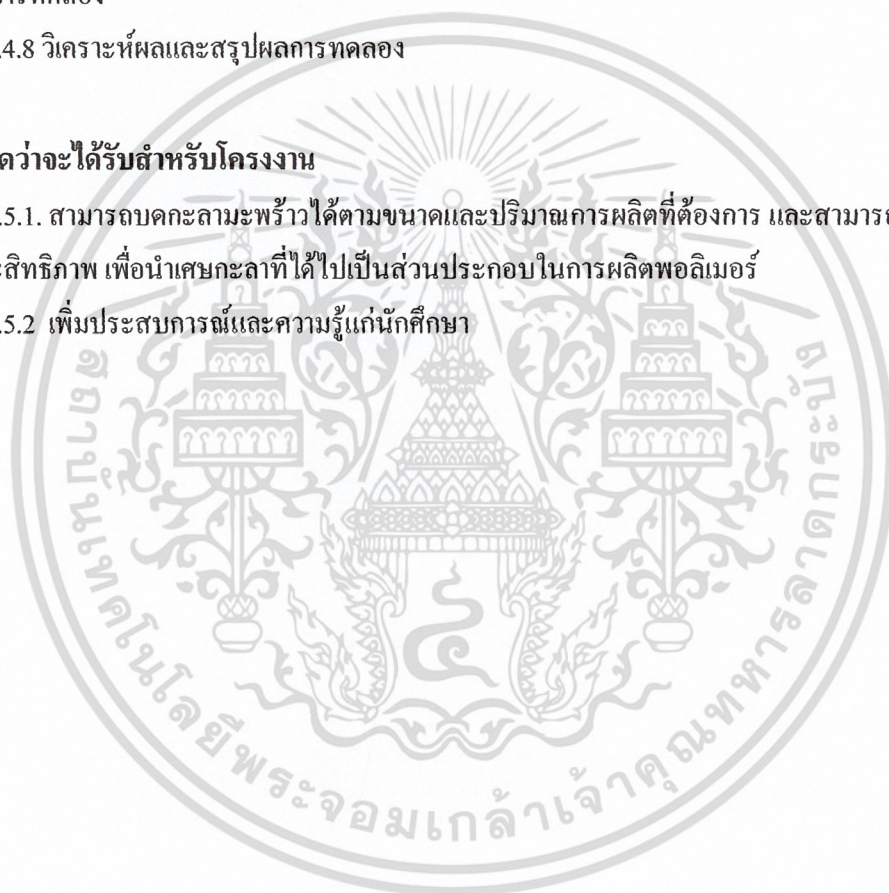
- 1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติและลักษณะต่างๆของกะลามะพร้าว
- 1.4.2 ทำการทดสอบความแข็งแรงของกะลามะพร้าว
- 1.4.3 ทำการออกแบบ รูปแบบของเครื่องบดในเบื้องต้น
- 1.4.4 ทำการคำนวณ เพื่อทราบขนาดของวัสดุ, อุปกรณ์ และระบบส่งกำลัง
- 1.4.5 เริ่มทำการ Machine
- 1.4.6 ทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน
- 1.4.7 ทำการทดสอบเครื่องบดกะลามะพร้าว และทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องและ

บันทึกผลการทดลอง

- 1.4.8 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

#### 5. ผลที่คาดว่าจะได้รับสำหรับโครงการ

- 1.5.1. สามารถบดกะลามะพร้าวได้ตามขนาดและปริมาณการผลิตที่ต้องการ และสามารถบดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำเศษกะลาที่ได้ไปเป็นส่วนประกอบในการผลิตพอลิเมอร์
- 1.5.2 เพิ่มประสบการณ์และความรู้แก่นักศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ข้อมูลเกี่ยวกับมะพร้าว

มะพร้าว (Coconut) เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย และจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินเป็นกลาง ลักษณะดินร่วนปนทราย มีฝนกระจายสม่ำเสมอตลอดปี คนไทยคุ้นเคยกับมะพร้าวมาเป็นเวลานาน และมะพร้าวยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จากทุกส่วนของมัน เช่น ผลอ่อนใช้รับประทานสด (น้ำและเนื้อ) เนื้อมะพร้าวจากผลแก่นำไปปรุงอาหารและขนมหลายชนิด และใช้สกัดน้ำมัน กากที่เหลือใช้เลี้ยงสัตว์ น้ำมันมะพร้าวใช้ประกอบอาหาร เนยเทียม และสบู่ เปลือกมะพร้าวนำไปแยกเอาเส้นใยใช้ทำเชือก วัสดุทำเบาะและที่นอน มะพร้าวใช้ทำวัสดุเพาะชำต้นไม้ ใบมะพร้าวทั้งอ่อนและแก่ ตลอดจนก้านใบใช้มุงหลังคา เครื่องจักสาร ไม้กวาดทางมะพร้าว ใช้ทำรั้วและเชื้อเพลิง ลำต้นแก่ใช้ในการก่อสร้างประดิษฐ์เครื่องมือ ยอดอ่อนใช้เป็นอาหาร จันทน์ (ช่อดอก) มีน้ำหวานรอมมาคิมเป็นน้ำผลไม้หรือทำน้ำตาล หมักทำเหล้าและน้ำส้ม รากใช้ทำยา สีย้อมผ้า และเชื้อเพลิง กะลาใช้ทำภาชนะ ตักดวงของเหลว (กระจำ กระบวย ฯลฯ) ทำกระดุม เครื่องประดับ เครื่องดนตรี (ซอฮู้) ทำเชื้อเพลิง และถ่านกัมมันต์ (มีคุณสมบัติในการดูดซับสูง)

#### 2.1 พันธุ์มะพร้าว

มะพร้าวถูกแบ่งโดยอาศัยเกณฑ์การเจริญเติบโตของลำต้น อายุที่เริ่มให้ผล การบานของดอก ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลักๆ ได้แก่

2.1.1 มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง เป็นมะพร้าวที่นิยมปลูกในปัจจุบัน มะพร้าวประเภทนี้เป็นมะพร้าวเศรษฐกิจส่วนใหญ่ปลูกเป็นสวนอาชีพ เพื่อใช้เนื้อจากผลแก่ไปประกอบอาหาร หรือนำไปทำมะพร้าวแห้ง ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช มะพร้าวต้นสูงมีลักษณะลำต้นใหญ่ สูง มีทางยาว จะเริ่มให้ผลเมื่ออายุ 5-6 ปี มะพร้าวพันธุ์นี้มีอายุยืนและให้ผลผลิตนานประมาณ 70-80 ปี ผลจะมีขนาดต่างๆกัน ทั้งผลขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มะพร้าวพันธุ์สูงมีชื่อพันธุ์เรียกตามภาษาพื้นบ้านหลายพันธุ์ เช่น มะพร้าวใหญ่ มะพร้าวกลาง มะพร้าวปากจก มะพร้าวทะเลทราย มะพร้าวเปลือกหวาน

2.1.2 มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย เป็นมะพร้าวที่มีลำต้นขนาดเล็ก ซึ่งมะพร้าวประเภทนี้ มีการผสมตัวเองค่อนข้างสูง จึงมักให้ผลดกและไม่ค่อยกลายพันธุ์ ส่วนใหญ่นิยมปลูกไว้เพื่อรับประทานผลอ่อน เพราะในขณะที่ยังไม่แก่ อายุประมาณ 4 เดือน เนื้อจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม และน้ำมีรสหวาน บางพันธุ์น้ำมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม ลำต้นเล็ก ต้นเตี้ย โตเต็มที่สูงประมาณ 12 เมตร ทางใบสั้น ให้ผลผลิตประมาณ 35-40 ปี มะพร้าวประเภทต้นเตี้ยมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป เช่น เปลือกสีเขียวเหลือง นวล (สีงาช้าง) น้ำตาลแดง หรือสีส้ม น้ำมีรสหวาน มีกลิ่นหอม มะพร้าวต้นเตี้ยทุกพันธุ์จะมีผลขนาดเล็ก เมื่อผลแก่มีเนื้อบางและน้อย ได้แก่พันธุ์ นกคุ้ม หมูสีเขียว หมูสีเหลือง หรือนาฬิกา มะพร้าวเตี้ย น้ำหอม และมะพร้าวไฟ ซึ่งในปัจจุบันมะพร้าวน้ำหอมกำลังเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง ที่

นิยมใช้ในการบริโภคสดและส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ ตลอดจนใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องคัม

## 2.2 การเก็บผล

มะพร้าวออกดอกโดยเฉลี่ยปีละ 12 ครั้ง ถ้าได้รับการดูแลดีก็จะติดผลทุกครั้ง ได้ผลผลิตทุกเดือน เดือนละ 1 ทะลาย แต่ตามปกติจะเก็บผลมะพร้าวได้ไม่เท่ากันในแต่ละเดือน เดือนที่ให้ผลผลิตน้อยคือช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม ต่อจากนั้นจะเก็บผลมะพร้าวได้มากขึ้นเรื่อยๆ ช่วงที่เก็บผลได้มากที่สุดคือเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ผลมะพร้าวจะเริ่มแก่เมื่ออายุประมาณ 11 เดือน จนอายุ 12 เดือน ก็จะแก่เต็มที่ ลักษณะผลแก่สังเกตได้จากผิวของเปลือก จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีกำมพู หรือสีน้ำตาล และปริมาณน้ำในผลจะน้อยลง ดังนั้นเมื่อเขย่าผลดูก็จะได้ยินเสียงน้ำโคลน มะพร้าวในทะลายเดียวกันจะแก่ไม่พร้อมกัน จึงควรเลือกเก็บผลจากต้นมะพร้าวที่ผลมะพร้าวแก่หมดแล้ว เกษตรกรนิยมสอยมะพร้าวทุกๆ 45-60 วันแล้วแต่ปริมาณผลมะพร้าวในสวน การสอยส่วนใหญ่นิยมใช้ไม้ไผ่ลำยาวๆ ที่มีตะขอผูกติดไว้ที่ปลายลำ ใช้ตะขอเกี่ยวทะลายที่มีผลแก่แล้ว คึงกระตุกให้ผลหลุดตกลงมา แต่ถ้าต้นมะพร้าวสูงมากๆ เกษตรกรมักใช้ลิงเก็บผลมะพร้าวแทน ใน 1 วันจะเก็บผลมะพร้าวได้ประมาณ 600 ผล

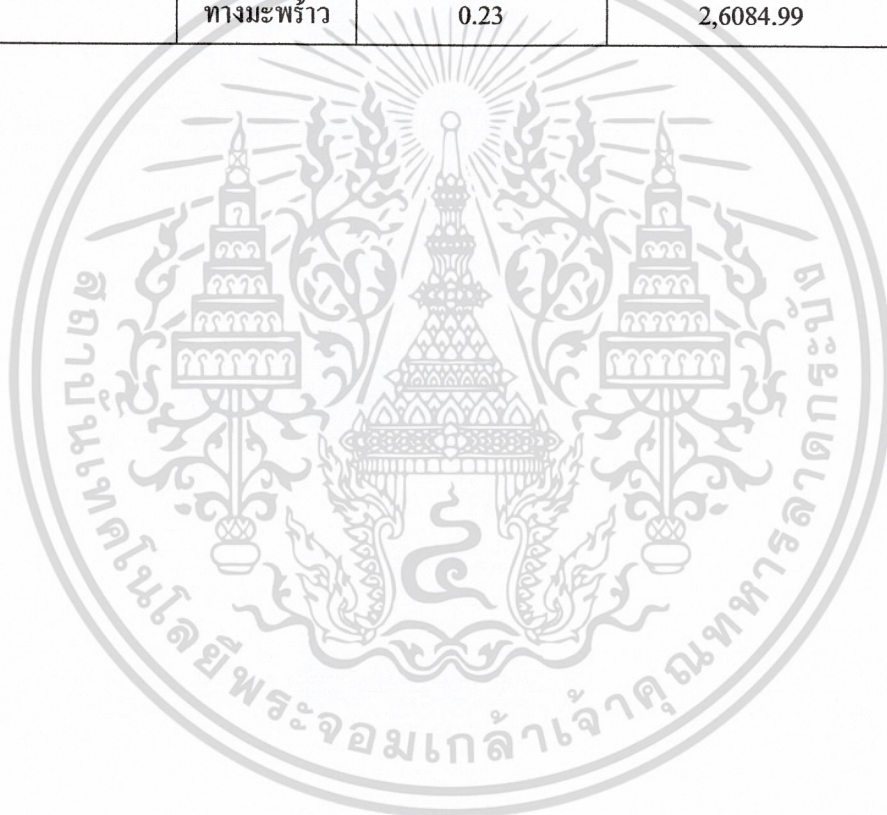
ตารางที่ 2-1 แสดงพื้นที่ปลูก, จำนวนผลผลิตและราคาเฉลี่ยของมะพร้าวในประเทศไทย  
ปี พ.ศ. 2544

| ชนิด<br>มะพร้าว | จำนวน<br>เกษตรกร<br>(ราย) | พื้นที่ปลูก (ไร่) |        | จำนวนผลผลิต  |                     | ราคา<br>เฉลี่ยที่<br>เกษตรกร |
|-----------------|---------------------------|-------------------|--------|--------------|---------------------|------------------------------|
|                 |                           | รวม               | ให้ผล  | รวม<br>(ตัน) | เฉลี่ย<br>(กก./ไร่) | ขายได้<br>(บาท/<br>กก.)      |
| มะพร้าวอ่อน     | 567                       | 9,755             | 9,569  | 18,993       | 1,984.82            | 3.23                         |
| มะพร้าวแก่      | 4,201                     | 88,805            | 86,205 | 94,420       | 1,095.30            | 2.87                         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-2 แสดงวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น

| ผลผลิตต่อปี<br>(ตัน) | วัสดุเหลือใช้    | อัตราส่วน(ต่อ<br>ผลผลิต) | วัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น<br>(ตัน) |
|----------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 113,413              | เปลือก           | 0.36                     | 40,828.68                         |
|                      | กะลามะพร้าว      | 0.16                     | 18,146.08                         |
|                      | ทะลาย<br>มะพร้าว | 0.05                     | 5,670.65                          |
|                      | ทางมะพร้าว       | 0.23                     | 2,6084.99                         |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ทฤษฎีการออกแบบและการคำนวณ

#### 3.1 การออกแบบเพลา

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลังแกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่ยึดหมุน เช่น ล้อ สายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลา ไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตั๊ปชาฟต์ (Stub shaft) หรือบางครั้งเรียก เฮดชาฟต์ (Head shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนที่ยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว ( Line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power transmission shaft) หรือเพลาเมน เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็กชาฟต์ ( Jackshaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (Counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน ( Flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งงอได้ เพลาประเภทนี้ยังอาจจะทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire rope) เพื่อใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงคด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้อาจจะยังมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา ทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนั้นๆ นอกจากนี้เพลาจะต้องมีความแข็งเกร็ง (Rigidity) เพียงพอ เพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะเวลาโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะเวลาโก่งนี้มีผลต่อการเลือกใช้ชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลเบริง (Ball bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

#### 3.1.1 วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้กับเพลาทั่วไปคือ เหล็กกล้าอะลูมิเนียม (Mind steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียว และความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm. มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน

ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะใช้เหล็กกล้าชนิดอื่นๆ

### 3.1.2 ขนาดของเพล

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของเพล ซึ่งเป็นขนาดระบุ (Normal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป และยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบร็งก์ที่ใช้รองรับเพล ด้วยขนาดระบุของเพลดูได้จากตารางขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO/R 775-1969

### 3.1.3 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพล เพื่อให้เพลทนต่อแรงที่มากกระทำอย่างเฉียด ไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว (Cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ต้องการให้มีตำแหน่งที่เที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลที่เกิดขึ้นในขณะการใช้งาน จะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบร็งก์ที่รองรับเพลอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิสัยมุมบิดของเพลในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาวเพล 1 เมตร สำหรับเพลส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1 องศา ต่อความยาวเพล 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในทั่วไปแล้ว จะให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.5 องศา ตลอดความยาวของเพล

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโค้ง เพราะจะต้องใช้ระยะโค้งของเพลที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวยึด ในการกำหนดระยะเบียดระหว่างล้อสายพาน เฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร็งก์สำหรับรองรับเพลให้เหมาะสม ถ้าเพลามีระยะโค้งมากเกินไป จะทำให้ความยาวของฟันเฟือง ส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลง เป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (Contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบร็งก์มารองรับเพลาก็เช่นกัน จำเป็นจะต้องเลือกแบร็งก์ที่มีการอนุญาตให้เอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโค้งของเพลที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร็งก์แบบธรรมดา หรือแบร็งก์แบบปรับแนวได้เอง (Self-aligning bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโค้งเป็นสำคัญ ระยะโค้งดังกล่าวมานี้ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจถือค่าต่อไปนี้ เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะโค้งได้ดังนี้คือ

- สำหรับเพลเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะโค้งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร็งก์ควรจะไม่เกิน 0.08 mm.

- สำหรับเพลที่มีเฟืองตรง (Spur gear) คุณภาพคืออยู่ด้วย ระยะโค้ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.125 mm. และความลาดเอียงของเพล ณ ตำแหน่งนี้ควรจะไม่ต่ำกว่า 0.0286 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเพลามีฟันเฟืองคอกจอก(Bevel gear) คุณภาพดีติดอยู่ ระยะ โกง ๓ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.075 mm.

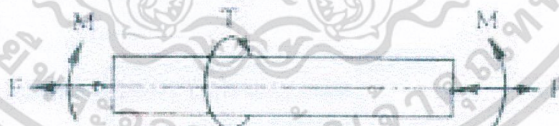
จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลาจจะหามาได้ โดยใช้ความแข็งแรงที่ความต้องการ แทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรองรับแรงภายนอกได้ การหาระยะ โกงของเพล่า ที่มีขนาดเท่ากันตลอด อาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้มาแล้วในวิชา กลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง วิธีพื้นที่ของ โมเมนต์ดัด เป็นต้น

สำหรับเพล่าที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้วอาจล่าช้าและ เสียเวลาโดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรตสองครั้ง เพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (boundary condition) ใหม่ ทุกครั้งที่เพล่าเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน (แต่ก็ยังใช้เวลามาก) คือวิธี graphical integration และ numerical integration

### 3.1.4 การออกแบบเพล่าตามมาตรฐานของ ASME

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีคำนวณหาขนาดของเพล่าส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าเวลาล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพล่าตามมาตรฐานของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะกล่าวถึง ดังต่อไปนี้

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้น หนาแน่นที่เกิดบนเพล่า ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ ในการหาสมการ สำหรับการออกแบบ เพล่า ให้พิจารณาเพล่าดังรูปข้างล่างนี้ ให้เพล่าเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในและภายนอกเท่ากับ  $d_i$  และ  $d$  ตามลำดับความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพล่ามีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3-1 เพล่าอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

$$\text{ความเค้นดึงหรือกด} \quad \sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (3.1)$$

$$\text{ความเค้นดัด} \quad \sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.2)$$

$$\text{ความเค้นเฉือน} \quad \tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการ โกงงอได้ ดังนั้นสมการความเค้นดิ่งหรือคจะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (3.4)$$

เพลส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักรทั้งนี้เพราะเพลหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้ ดังนั้นเพลจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

$$\begin{aligned} \text{ถ้าให้ } C_m &= \text{ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการค้ด} \\ C_t &= \text{ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด} \end{aligned}$$

ดังนั้น สมการ (3.3) จะกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.5)$$

และ

$$\tau = \frac{16C_t T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.6)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดิ่งรวม คือ  $\sigma = \sigma_a + \sigma_b$

$$\text{จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด} \quad = \left[ \tau_{xy}^2 + \left[ \frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

แทนค่าสมการลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่ จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1 - K^4)} \left[ (C_t T)^2 + \left\{ \frac{\alpha F d (1 + K)^2}{8} + C_m M \right\}^2 \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

$$\text{โดยที่ } K = \frac{d_i}{d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่มีแรง  $F$  กระทำอยู่ด้วย สมการจะจัดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (3.9)$$

หรือในกรณีของเพลาดัด  $K = \frac{d_i}{d} = 0$  เมื่อแทนค่าลงในสมการก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (3.10)$$

นอกจากนี้ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่า เพลาซึ่งมีโซ่อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\begin{aligned} \tau_d &= 55 \text{ N/mm}^2 && \text{สำหรับเพล่าที่ไม่มีร่องลึ้ม} \\ \tau_d &= 41 \text{ N/mm}^2 && \text{สำหรับเพล่าที่มีร่องลึ้ม} \end{aligned}$$

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพล่าที่บอกถึงหมายเลขของโลหะหรือส่วนผสมของโลหะ ให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน จากสมการ โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณ คือ

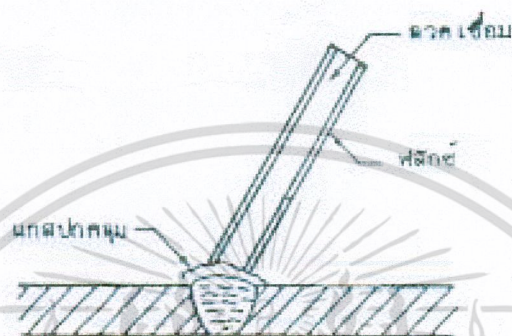
$$\tau_d = 0.3\tau_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\tau_y \quad (3.11)$$

และถ้าเพล่ามีร่องลึ้ม ให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการความแข็งแรงทางด้านกรบิต

## 3.2 การเชื่อม

### 3.2.1 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า

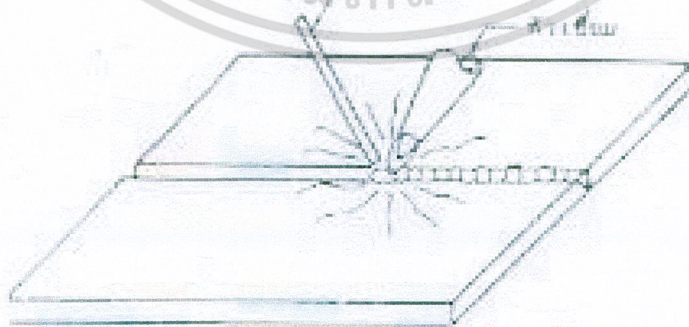
การเชื่อมวิธีนี้มักเรียกกันทั่วไปว่า การเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้ลวดเชื่อม (Electrode) เป็นตัวนำไฟฟ้า และในขณะเดียวกัน โลหะลวดเชื่อมก็จะละลายลงไป ณ รอยที่ต้องการเชื่อมดังรูป ลวดเชื่อมมักจะห่อหุ้มไว้ด้วยสารชนิดหนึ่งเรียกว่า ฟลักซ์ (Flux) ซึ่งจะระเหยกกลายเป็นแก๊สในขณะที่ทำการเชื่อม แก๊สนี้จะช่วยป้องกันการเกิด ออกซิเดชัน (Oxidation) ที่รอยเชื่อม ซึ่งทำให้คุณภาพของรอยเชื่อมดีขึ้น



รูปที่3-2 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า

### 3.2.2 การเชื่อมด้วยแก๊ส

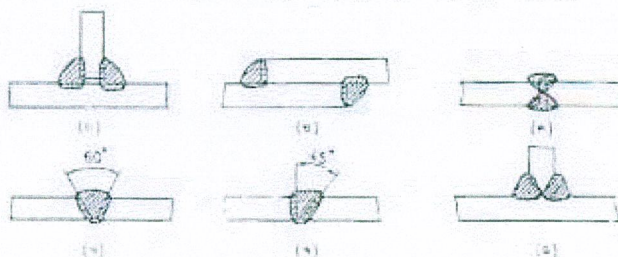
ใช้การเผาไหม้ระหว่างส่วนผสมของแก๊สออกซิเจนกับไฮโดรเจน หรือแก๊สออกซิเจนกับอะเซทิลีน (Acetylene) เป็นตัวให้ความร้อน แก๊สทั้งสองชนิดนี้จะผสมกันในหัวเชื่อม (Torch) ในการเชื่อมจะปรับส่วนผสมของแก๊สทั้งสองให้มีอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง ซึ่งจะได้อุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะละลายโลหะได้ จากนั้นจึงทำการเผาชิ้นงานที่จะเชื่อมให้ร้อน แล้วจึงใช้เปลวไฟละลายลวดเชื่อมลงไปยังรอยเชื่อมดังรูป



รูปที่3-3 การเชื่อมแก๊ส

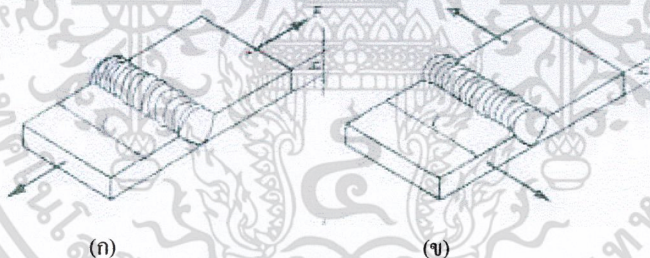
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของรอยเชื่อมที่นิยมใช้กันทั่วไปจะมี การเชื่อมมุมและการเชื่อมต่อน (Butt weld) ความหนาของรอยเชื่อมมุมไม่จำเป็นต้องเท่ากับความหนาของแผ่นโลหะ โดยปกติแล้วผิวบนของรอยเชื่อมมุมจะมีลักษณะดังเส้นประดังรูป



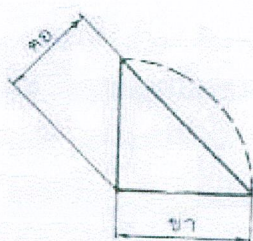
รูปที่3-4 รอยเชื่อมมุม

ส่วนเกินนี้เรียกว่า ส่วนเสริม (Reinforcement) ซึ่งถ้าไม่ต้องการให้มีก็อาจจะตะไบออกไปได้ ขนาดของรอยเชื่อมมุมจะบอกด้วยขนาดของขา ว่ามีความยาวเท่าใด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะเชื่อมให้มี ความยาวของขาเท่ากัน ส่วนขนาดของคอค (throat) เป็นขนาดที่จะใช้ในการคำนวณซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป



รูปที่3-5 รอยเชื่อมชนิดต่างๆ

3.2.3 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร



รูปที่3-6 รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร แสดงถึงรอยต่อชนที่รับแรงดึงและแรงเฉือน โดยปกติแล้วรอยเชื่อมจะมีความต้านแรงของแผ่นโลหะที่จะนำมาเชื่อมต่อกัน ดังนั้นประสิทธิภาพของรอยเชื่อมจะมีลักษณะเข้าใกล้ 100% สำหรับแรงที่รอยเชื่อมในรูป รอยเชื่อมรับแรงสมมาตร (ก) ควรรับได้ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = \frac{\sigma_y Lh}{N} \quad (3.12)$$

โดยที่  $N$  เป็นค่าความปลอดภัย

ในกรณีที่รอยต่อชนรับแรงเฉือนดังในรูป รอยเชื่อมรับแรงมีสมมาตร (ข) แรงที่รอยเชื่อมควรได้รับสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = \frac{\tau_y Lh}{N} \quad (3.13)$$

ในกรณีของรูป รอยเชื่อมมุม (ก) รอยเชื่อมมักจะขาดในแนวของคอ ดังในรูป (ค) ดังนั้น พื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณก็คือพื้นที่ของรอยเชื่อมที่คอ ถึงแม้ว่ารอยเชื่อมจะมีส่วนเสริมหนุนขึ้นมา ซึ่งช่วยเพิ่มกำลังของรอยต่อขึ้นไปอีก แต่ก็ไม่ได้ให้นำมาคิดในการคำนวณหาความแข็งแรงของรอยเชื่อม จากรูป (ค) จะเห็นได้ว่า

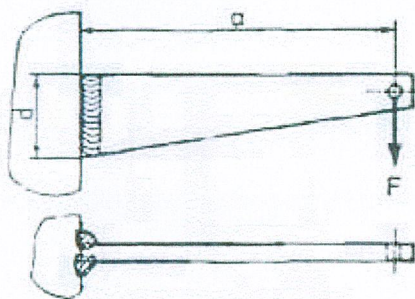
$$t = h \cos 45^\circ = 0.707h$$

ดังนั้นแรง  $F$  ที่รอยเชื่อมในรูป รอยเชื่อมมุม (ก) ควรได้รับ คือ

$$F = \frac{\tau_y 2tL}{N} \quad (3.14)$$

ในกรณีของรูป รอยเชื่อมมุม (ข) แรงกระทำตั้งฉากกับแนวรอยเชื่อม ดังนั้นจะเกิดทั้งความเค้นดึงและความเค้นเฉือนขึ้นในรอยเชื่อม นอกจากนี้การที่แรงไม่ได้กระทำอยู่ในแนวเดียวกัน ยังก่อให้เกิดความเค้นดัดขึ้นอีก การวิเคราะห์รอยเชื่อมอย่างละเอียดจะกระทำได้ยากมาก และก็จะไม่ให้อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การใช้งานอีกด้วย ในทางปฏิบัติจะสมมติให้รอยเชื่อมขาด เนื่องจากการเฉือนที่คอเช่นเดียวกับกรณีของรูป (ก) ดังนั้น สมการ (3.16) ก็ยังคงใช้กับกรณีหลังได้ถ้าใช้ค่าความต้านแรงดึงต่ำสุดในการออกแบบรอยเชื่อม ค่าความปลอดภัยที่แนะนำให้ใช้กับแรงชนิดอยู่นิ่งประมาณ  $N = 3.75$  ถ้ามีแรงกระทำก็ต้องเพิ่มค่าความปลอดภัยขึ้นอีก

### 3.2.4 การตัดในรอยเชื่อม



รูปที่ 3-7 รอยเชื่อมรับแรงดัด

จากรูปที่ 3-7 แสดงถึงชิ้นงานซึ่งรับแรงที่ทำให้เกิดการดัดขึ้นในรอยเชื่อม การคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อมต่อประเภทนี้ จะยังมีความยากลำบากมากกว่ารอยเชื่อมที่ได้กล่าวมาแล้ว และจะเรียกได้ว่าไม่ว่าจะหาค่าตอบที่แน่นอนได้ ในทางปฏิบัติจึงต้องมีการใช้ข้อมูลต่างๆ เพื่อให้สามารถทำการคำนวณได้

สำหรับรอยเชื่อมในรูปจะเกิดทั้งความเค้นดัด เนื่องจากโมเมนต์ดัด และความเค้นเฉือนตรง (Direct shear) ขึ้นในรอยเชื่อม ในการคำนวณก็จะสมมติให้เกิดการแตกหักขึ้นที่คอเสมอ และยังคงสมมติให้รอยเชื่อมในกรณีนี้

ความเค้นเฉือน 
$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.15)$$

ความเค้นดัด 
$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.16)$$

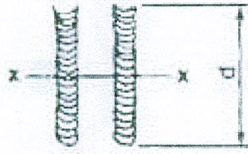
โดยที่  $A =$  พื้นที่ของคอ

$$M = Fa$$

$$C = d/2$$

สำหรับการหาค่า  $I$  ของรอยเชื่อม ให้พิจารณารูปหน้าตัดของรอยเชื่อม จะได้ว่า โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนศูนย์กลาง  $xx$  คือ

$$I = 2.itd^3 \quad (3.17)$$



รูปที่3-8 หน้าตัดรอยเชื่อม

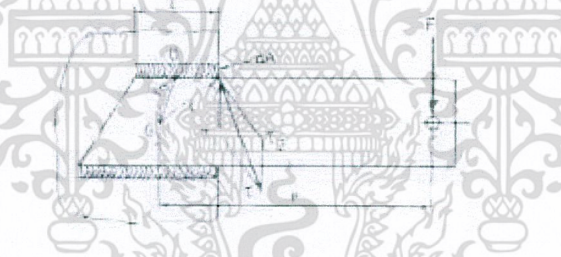
ดังนั้น โมเมนต์ความเฉื่อยต่อหน่วยความกว้าง (Unit moment of inertia) คือ

$$I_u = \frac{d^3}{6} \quad (3.18)$$

ค่า  $I$  ของรอยเชื่อมชนิดต่างๆแสดงอยู่ในตาราง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า  $I$  ดังนี้

$$I = \eta I_u = 0.707 I_u \quad (3.19)$$

### 3.2.5 การบิดในรอยเชื่อม



รูปที่3-9 รอยเชื่อมรับแรงบิด

เมื่อรอยเชื่อมต่อรับแรงในลักษณะดังรูป รอยเชื่อมรับแรงบิด รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อมจะประกอบด้วยความเค้นเฉือนตรง (Primary shear) อันเนื่องมาจากแรงเฉือนโดยตรง และความเค้นเฉือนบิด (Secondary shear) อันเนื่องมาจากการที่แรง  $F$  ทำให้เกิดการบิดในชิ้นงาน สำหรับความเค้นเฉือนตรงสามารถคำนวณได้โดยวิธีการทั่วไป คือ

$$\tau_1 = \frac{F}{A} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $A$  เป็นพื้นที่ของคอคของรอยเชื่อม ทั้งหมดที่รับแรงเฉือน และมีทิศทางตามแรงเฉือน  $F$  ส่วนความเค้นเฉือนบิดสามารถคำนวณได้โดยใช้สมมติฐานดังนี้ คือ

1. ให้  $O$  เป็นจุดศูนย์กลางของแต่ละรอยเชื่อม
2. ให้  $G$  เป็นจุดศูนย์กลางรวมของรอยเชื่อมทั้งหมด โดยคิดให้รอยเชื่อมมีลักษณะเป็นเส้นแล้ว ให้คิดว่าแรง  $F$  ทำให้เกิดโมเมนต์  $Tr$  ซึ่งพยายามหมุนชิ้นงาน ทั้งหมดรอบจุดศูนย์กลางรวม  $G$
3. สมมติให้ค่าความเค้นเฉือนบิดมีความแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากตำแหน่งบนรอยเชื่อมไปยังจุดศูนย์กลางรวม  $G$  ดังนั้นค่าจะมากที่สุด ที่ตำแหน่งไกลจาก  $G$  สุด

ให้พิจารณาพื้นที่เล็ก  $dA$  บนรอยเชื่อม ความเค้นเฉือนจะกระทำตั้งฉากกับระยะทาง  $r$  ดังในรูป รอยเชื่อมรับแรงบิด

โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (Polar moment of inertia) ของรอยเชื่อมรอบจุด  $G$  ซึ่งให้แทนด้วย  $J$  ดังนั้นสมการ 3.21 จึงกลายเป็น

$$\tau_2 = \frac{Tr}{J} \quad (3.21)$$

แบบนี้ทำให้สามารถรวมความเค้นเฉือนตามทิศทางได้โดยใช้สมการ

$$\tau = (\tau_1^2 + \tau_2^2 + 2\tau_1\tau_2 \cos\theta)^{1/2} \quad (3.22)$$

โดยที่  $\theta$  เป็นมุมระหว่าง  $\tau_1$  และ  $\tau_2$

สำหรับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่เรียวยาวรอบจุดศูนย์กลางของตัวเองจะประมาณได้จาก

$$J_0 = \frac{AL^3}{12} \quad (3.23)$$

หรือ

$$J = J_0 + Ar_0^2 \quad (3.24)$$

โดยที่  $A$  เป็นพื้นที่ของคอค =  $tL$

ในทำนองเดียวกันกับเรื่องการตัด ถ้าให้  $J_u$  เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วต่อหน่วยความกว้าง

$$J = tJ_u = 0.707hJ_u \quad (3.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

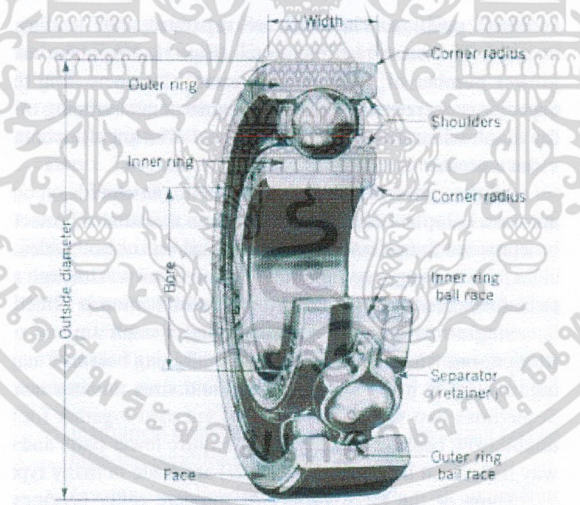
และจากสมการ (3.23)

$$J_u = L \left( \frac{L^2}{12} + r_o^2 \right) \quad (3.26)$$

การใช้  $J_u$  นี้ บางครั้งจะมีประโยชน์มาก ทั้งนี้เพราะค่า  $J_u$  ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของรอยเชื่อม

### 3.3 โรลลิ่งแบร์ริง

โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling bearing) หมายถึงแบร์ริงชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบร์ริงที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding contact) เนื่องจากแบร์ริงชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริกชันแบร์ริง (Anti-friction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบร์ริง (Ball bearing) หรือดัลบลูกปืน ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลมลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงจากวงแหวนหนึ่งแล้วส่งผ่านแรงไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน

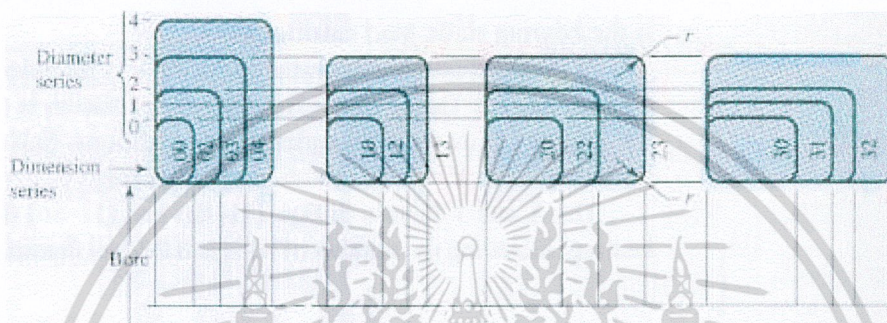


รูปที่ 3-10 ส่วนต่างๆของบอลแบร์ริง

เนื่องจากการใช้โรลลิ่งแบร์ริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไป สมาคมผู้ผลิตโรลลิ่งแบร์ริง (AFBMA (1): Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาดและหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการเลือกแบร์ริงเหล่านี้ขึ้น จากมาตรฐานนี้ทำให้ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสามารถเลือกแบร์ริงจากแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตหนึ่ง และทำการเปลี่ยนแปลงแบร์ริงนี้โดยการเลือกอีกผู้ผลิตหนึ่งได้ โดยที่แบร์ริงที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากัน

### 3.3.1 มิติมาตรฐานของโรลลิงแบร์ริง

การกำหนดมาตรฐานของแบร์ริง ทำให้ผู้ผลิตสามารถที่จะผลิตแบร์ริงได้ราคาถูกลงทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ได้สะดวก และทำให้การดูแลรักษาตลอดจนการเก็บแบร์ริงสำรองกระทำได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้เองสมาคม AFBMA ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์มาตรฐานของแบร์ริงชนิดต่างๆ จึงร่วมกับสมาคมเกี่ยวกับโรลลิ่งแบร์ริงอื่นๆ จัดทำมาตรฐานให้เข้ากับขององค์กรการมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) มาตรฐานนี้จะบอกถึงมิติภายนอกของแบร์ริง คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก - ภายใน และความหนา ส่วนมิติภายในแบร์ริงให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตจะออกแบบ



รูปที่ 3-11 ขอบเขตของมิติสำหรับอนุกรมมิติของแบร์ริงต่างๆ

มาตรฐานดังกล่าวนี้ จะเห็นได้จากรูปที่ 3-11 ซึ่งประกอบด้วยอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter series) เรียงเบอร์จาก 8 9 0 1 2 3 และ 4 โดยที่อนุกรม 8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด และอนุกรม 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตที่สุด ส่วนความหนาบอกได้ด้วยอนุกรมความหนา (Width series) เรียงเบอร์จาก 8 0 1 2 3 4 5 และ 6 โดยที่อนุกรม 8 บางที่สุดและอนุกรม 6 หนาที่สุด ดังนั้น มาตรฐานของแบร์ริงจึงบอกได้โดยรวมเบอร์ของอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง กับอนุกรมความหนาเข้าด้วยกันอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น แบร์ริงที่อยู่อนุกรม 03 หมายถึงแบร์ริงที่มีอนุกรมความหนา 0 และอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เป็นต้น จากรูปที่ 3-11 จะเห็นได้ว่าผู้ออกแบบเครื่องจักรกลสามารถที่จะเลือกใช้แบร์ริงที่มีความหนาตามต้องการได้ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (คือการกำหนดอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง) ก็สามารที่จะเลือกแบร์ริงที่มีความหนาต่างๆกันได้

### 3.3.2 อายุการใช้งานของแบร์ริง

การเสียหายของแบร์ริงเกิดจาก ความล้า ซึ่งก็แสดงว่าอายุการใช้งานของแบร์ริงมีระยะเวลาที่จำกัด ขึ้นอยู่กับค่าของความเค้นที่กระทำซ้ำ จากผลการทดลองของ Lundberg และ Palmgren ซึ่งได้ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับประเมินค่ามาตรฐานของ AFBMA พบว่าอายุการใช้งาน  $L$  เป็นสัดส่วนกลับกับแรงในแนวรัศมี  $P$  ในกรณีที่มีทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน  $P$  จะเป็นแรงในแนวรัศมีสมมูล (Equivalent radial load) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป นั่นคือ สมการ (3.27)

$$L \propto \frac{1}{P^k} \quad (3.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าคงที่  $k = 3$  สำหรับบอลเบร้ง  
 $K = 10/3 = 3.33$  สำหรับโรลเลอร์เบร้ง

อายุการใช้งาน  $L$  นี้มักจะนับเป็นจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วรอบของเพลอันหนึ่ง หรือนับเป็นจำนวนล้านรอบ  $mr$  (Millions of revolution) จากสมการ (3.29) จะเห็นได้ว่า

$$\frac{L_1}{L_2} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^k \quad (3.28)$$

จากสมการ (3.30) จะเห็นได้ว่าแรงลดลง หนึ่งเท่าแล้วอายุการใช้งานของบอลเบร้งจะเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ

$$\frac{L_1}{L_2} = 2^3 = 8 \text{ เท่า}$$

สำหรับโรลลิ่งเบร้ง อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอีก

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

ดังนั้น ผู้เลือกใช้โรลลิ่งเบร้งจึงต้องระมัดระวังในการคำนวณหาขนาดของแรงที่กระทำต่อเบร้งให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด

### 3.3.3 การประเมินค่าอายุการใช้งานและแรง

ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการผลิตและควบคุมคุณภาพของโรลเลอร์เบร้งอย่างทันสมัย แต่ก็ปรากฏว่าเบร้งชนิดเดียวกันที่ผลิตออกมาภายใต้วิธีการและเครื่องมือขึ้นเดียวกัน จะมีอายุใช้งานแตกต่างกันไปมาก ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความยากลำบากในการควบคุมความกลมของลูกกลิ้ง และความเรียบของผิวหน้าลูกกลิ้งสมาคม AFBMA ได้ตั้งนิยามและจัดตั้งวิธีการเลือกเบร้งขึ้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. อายุการใช้งานของโรลลิ่งเบร้ง หมายถึง จำนวนรอบ ( หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่ ) ซึ่งเบร้งหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง
2. อายุประเมิน ( Rating life ) ของโรลลิ่งเบร้ง จำนวนหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ หมายถึง จำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งเบร้ง 90% จากจำนวนนี้สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า และใช้แทนด้วยอายุใช้งาน  $L_{10}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ผลิตบางบริษัทอาจจะใช้อายุใช้งานเฉลี่ย ( Median life) เป็นอายุประเมินก็ได้ อายุใช้งานเฉลี่ยนี้หมายถึงจำนวนรอบที่ 50% ของแบร์ริงที่เหมือนกัน จำนวนหนึ่งสามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความล้าขึ้นและใช้แทนด้วยอายุใช้งาน  $L_{50}$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $L_{10}$  โดยประมาณคือ

$$L_{50} = 5L_{10} \quad (3.29)$$

3. แรงสถิตประเมิน ( Basic static load rating) หมายถึงแรงในแนวรัศมีที่ทำให้เกิดระยะยวบตัวของลูกกลิ้งและวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่ากับของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งและใช้แทนด้วย  $C_0$  ค่าของ  $C_0$  สำหรับแบร์ริงอนุกรมมิติต่างๆ ดูได้จากตารางมิติมาตรฐานและแรงประเมินของสมาคม AFBMA ค่า  $C_0$  ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแบร์ริง จำนวนแถวของลูกกลิ้งในแบร์ริง จำนวนลูกกลิ้งต่อแถวมุมสัมผัสตลอดจนขนาดของลูกกลิ้งและวงแหวน

4. แรงพลวัตประเมิน ( Basic dynamic load rating) บางครั้งอาจจะเรียกว่า สมรรถนะแรงพลวัต ( Basic dynamic capacity) ของโรตลิ่งแบร์ริง หมายถึงแรงที่กระทำในแนวรัศมี ซึ่งแบร์ริงที่มีลักษณะเหมือนกันจำนวนหนึ่งจะรับได้ โดยมีอายุประเมิน  $L_{10}$  เท่ากับหนึ่งล้านรอบเมื่อวงแหวนอันในเป็นตัวหมุนและวงแหวนอันนอกอยู่นิ่ง และใช้แทนด้วย  $C$  ซึ่งในแสดงอยู่ในตารางมิติมาตรฐานและแรงประเมิน

แรงพลวัตประเมิน  $C$  นี้ เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดแบร์ริงเพื่อให้รับแรงและมีอายุใช้งานได้ตามความต้องการ โดยการเปลี่ยนแรงและอายุใช้งานจริงมาเป็นแรงและอายุการใช้งานที่แสดงได้ในเค็ดตาล็อก (คือแรงในแนวรัศมีที่ทำให้มีอายุประเมินเท่ากับหนึ่งล้านรอบ) หรือในทางกลับกัน คือเลือกแบร์ริงจากเค็ดตาล็อกแล้วเปลี่ยนให้รับแรงได้เท่าที่ ต้องการใช้งานจริง และดูว่าอายุประเมินจะได้ตามอายุใช้งานที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใส่สมการ (3.28) ดังนี้

ให้  $L_{10}$  เป็นอายุการใช้งานจริงซึ่งมีหน่วยเป็นล้านรอบ ( $mr$ ) และ  $P$  เป็นแรงในแนวรัศมีที่แบร์ริงจะต้องรับขณะใช้งานจริง จากสมการ (3.28) จะเห็นว่า

$$\begin{aligned} L_1 &= L_{10} & P_1 &= P \\ L_2 &= 1mr & P_2 &= C \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^k \quad (3.30)$$

จากสมการ (3.30) ทำให้ทราบว่าแบร์ริงที่เลือกมาจากอายุประเมินจำนวนหนึ่งล้านรอบนั้นจะสามารถทำงานได้ที่ล้านรอบขณะใช้งานจริง

ตารางที่ 1-1 มิติมาตรฐานและแรงปะเมินของโรลลิ่งแบร์ริง

| ขนาด<br>D<br>mm | D.D.<br>dia.<br>D<br>mm | ขนาด D1          |                               |       |                                           |       |                                                |        |                                                |       |                                  | ขนาด D2 |                  | ขนาด D3                        |        |                  |                                                 |   |
|-----------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------|-------|----------------------------------|---------|------------------|--------------------------------|--------|------------------|-------------------------------------------------|---|
|                 |                         | จำนวน<br>B<br>mm | Self-aligning<br>Ball Bearing |       | Single-Row<br>Deep-Groove<br>Ball Bearing |       | Angular Contact<br>Small Angle<br>Ball Bearing |        | Angular Contact<br>Steep Angle<br>Ball Bearing |       | Cylindrical<br>Roller<br>Bearing |         | จำนวน<br>B<br>mm | Spherical<br>Roller<br>Bearing |        | จำนวน<br>B<br>mm | Double-Row<br>Non-Filling Notch<br>Ball Bearing |   |
|                 |                         |                  | C <sub>0</sub>                | C     | C <sub>0</sub>                            | C     | C <sub>0</sub>                                 | C      | C <sub>0</sub>                                 | C     | C <sub>0</sub>                   | C       |                  | C <sub>0</sub>                 | C      |                  | C <sub>0</sub>                                  | C |
| 4               | 13                      | 5                | -                             | -     | 0.57                                      | 1.19  | -                                              | -      | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | -      | -                | -                                               | - |
| 5               | 16                      | 5                | -                             | -     | 0.94                                      | 1.85  | -                                              | -      | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | -      | -                | -                                               | - |
| 6               | 19                      | 6                | 0.53                          | 1.94  | 0.94                                      | 1.85  | -                                              | -      | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | -      | -                | -                                               | - |
| 7               | 22                      | 7                | 0.66                          | 2.05  | 1.15                                      | 2.51  | -                                              | -      | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | -      | -                | -                                               | - |
| 8               | -                       | -                | 0.66                          | 2.05  | 1.35                                      | 2.51  | -                                              | -      | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | -      | -                | -                                               | - |
| 9               | 26                      | 8                | 0.93                          | 2.07  | 1.35                                      | 1.84  | -                                              | -      | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | -      | -                | -                                               | - |
| 10              | 30                      | 9                | 1.34                          | 4.23  | 1.96                                      | 3.50  | -                                              | -      | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | -      | -                | -                                               | - |
| 12              | 32                      | 10               | 1.48                          | 4.30  | 3.05                                      | 5.28  | 5.32                                           | 6.56   | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | 14.3   | 3.56             | 5.52                                            | - |
| 15              | 35                      | 11               | 2.01                          | 5.74  | 3.51                                      | 5.87  | 4.09                                           | 6.56   | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | 15.9   | 5.56             | 8.10                                            | - |
| 17              | 40                      | 12               | 2.43                          | 6.10  | 4.45                                      | 7.34  | 5.25                                           | 8.19   | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | 15.9   | 6.36             | 9.03                                            | - |
| 20              | 47                      | 14               | 3.18                          | 7.61  | 6.14                                      | 9.81  | 7.25                                           | 11.00  | -                                              | -     | -                                | -       | -                | -                              | 17.5   | 8.19             | 11.36                                           | - |
| 25              | 52                      | 15               | 4.03                          | 9.14  | 6.92                                      | 10.77 | 9.71                                           | 12.51  | 7.70                                           | 12.84 | 7.21                             | 10.26   | -                | -                              | 20.6   | 12.73            | 16.48                                           | - |
| 30              | 62                      | 16               | 5.83                          | 12.06 | 10.00                                     | 14.94 | 12.51                                          | 17.84  | 11.28                                          | 15.45 | 9.98                             | 11.87   | -                | -                              | 23.8   | 18.33            | 22.87                                           | - |
| 35              | 72                      | 17               | 6.68                          | 12.19 | 13.66                                     | 19.76 | 17.04                                          | 22.86  | 15.26                                          | 20.57 | 15.35                            | 16.25   | -                | -                              | 27.0   | 24.92            | 30.57                                           | - |
| 40              | 80                      | 18               | 8.59                          | 14.82 | 15.66                                     | 22.43 | 21.17                                          | 27.44  | 18.67                                          | 25.74 | 20.74                            | 18.13   | 23               | 43.92                          | 30.7   | 28.61            | 34.13                                           |   |
| 45              | 85                      | 19               | 9.61                          | 16.82 | 17.84                                     | 25.19 | 24.31                                          | 30.78  | 21.23                                          | 27.73 | 22.29                            | 19.91   | 23               | 50.28                          | 33.19  | 30.2             | 32.57                                           |   |
| 50              | 90                      | 20               | 10.55                         | 17.49 | 19.80                                     | 27.01 | 26.09                                          | 32.31  | 22.75                                          | 28.79 | 23.90                            | 21.56   | 22               | 57.60                          | 35.41  | 35.2             | 36.18                                           |   |
| 55              | 100                     | 21               | 13.40                         | 20.60 | 25.03                                     | 31.38 | 29.82                                          | 39.94  | 28.79                                          | 35.64 | 26.86                            | 24.84   | 22               | 66.75                          | 38.14  | 33.3             | 43.83                                           |   |
| 60              | 116                     | 22               | 15.53                         | 23.14 | 30.94                                     | 40.36 | 40.72                                          | 48.50  | 35.53                                          | 43.16 | 31.69                            | 26.07   | 28               | 83.21                          | 49.23  | 35.5             | 56.91                                           |   |
| 65              | 120                     | 23               | 17.22                         | 23.85 | 34.13                                     | 44.03 | 44.93                                          | 51.51  | 41.81                                          | 46.93 | 37.34                            | 26.30   | 31               | 99.68                          | 116.60 | 38.1             | 62.30                                           |   |
| 70              | 125                     | 24               | 18.78                         | 26.65 | 37.42                                     | 48.06 | 49.90                                          | 57.50  | 43.84                                          | 49.50 | 40.39                            | 27.76   | 31               | 105.91                         | 121.00 | 39.7             | 68.53                                           |   |
| 75              | 130                     | 25               | 21.40                         | 29.86 | 41.16                                     | 50.73 | 56.97                                          | 62.30  | 48.95                                          | 54.73 | 46.96                            | 31.00   | 31               | 111.70                         | 125.50 | 41.3             | 75.20                                           |   |
| 80              | 140                     | 26               | 23.54                         | 30.35 | 44.50                                     | 56.02 | 62.74                                          | 69.86  | 54.73                                          | 61.85 | 50.76                            | 37.22   | 33               | 129.00                         | 143.70 | 44.4             | 81.43                                           |   |
| 85              | 150                     | 28               | 28.43                         | 37.82 | 53.40                                     | 64.08 | 72.88                                          | 80.59  | 62.74                                          | 68.97 | 50.73                            | 39.68   | 36               | 162.30                         | 166.40 | 49.2             | 86.77                                           |   |
| 90              | 160                     | 30               | 31.77                         | 43.79 | 60.52                                     | 73.87 | 85.46                                          | 92.56  | 70.31                                          | 77.32 | 61.87                            | 42.27   | 40               | 179.80                         | 193.80 | 52.4             | 98.34                                           |   |
| 95              | 170                     | 32               | 36.85                         | 48.95 | 69.42                                     | 83.66 | 91.67                                          | 100.03 | 77.82                                          | 87.66 | 69.46                            | 43.73   | 43               | 221.10                         | 235.80 | 55.6             | 127.30                                          |   |

### 3.3.4 แรงสมมูล

ในการใช้งานจริง โรลิ่งแบร์ริงอาจจะรับทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกน และวงแหวนในหรือนอกจะเป็นอันที่หมุนก็ได้ ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อีกประการหนึ่ง แคลคูลัสของผู้ผลิตจะกำหนดให้เฉพาะอายุประเมินในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรงและเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริงๆ มาให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่า แรงสมมูล (Equivalent force) เพื่อจะได้ใช้ในการเลือกแบร์ริงจากแคลคูลัสได้ สมาคม AFBMA ได้กำหนดนิยามของแรงสมมูลไว้ดังนี้

แรงสมมูล หมายถึง แรงในแนวรัศมีซึ่งถ้าให้กระทำต่อโรลิ่งแบร์ริง โดยที่วงแหวนในหมุนและวงแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้แบร์ริงมีอายุการใช้งานเท่ากับอายุใช้งานของแบร์ริงที่รับแรงจริง (ซึ่งอาจจะมีทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกนพร้อมกัน) และให้คำนวณได้จากสมการ

$$P = XVF_r + YF_a \quad (3.31)$$

$$P = VF_r \quad (3.32)$$

หรือ

โดยที่

$P$  = แรงสมมูล

$F_r$  = แรงในแนวรัศมี

$F_a$  = แรงในแนวแกนหรือแรงรุน

$V$  = ตัวประกอบการหมุน (rotation factor) มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวงแหวนในหมุนและ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุน ถ้าเป็นบอลแบร์ริง self-aligning ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1 เสมอ

$X$  = ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี (Radial load factor)

$Y$  = ตัวประกอบแรงรุน (Thrust load factor)

ค่าแรงสมมูลที่ใช้ในการเลือกขนาดแบร์ริง ให้ใช้ค่าที่ได้จากสมการ (3.31) และ (3.32) แล้วแต่ว่าค่าไหนจะมากกว่า สำหรับบอลแบร์ริงกันรุนและโรลเลอร์แบร์ริงกันรุน แล้วให้คำนวณค่าแรงสมมูลจากสมการ (3.31) โดยให้  $V = 1$  ส่วน Straight roller bearing นั้นจะใช้รับเฉพาะแรงในแนวรัศมีเท่านั้นจึงให้คำนวณแรงสมมูลจากสมการ (3.32) ค่า  $X$  และ  $Y$  ในตาราง ก. มีค่าลดลงตามลำดับ จึงทำให้สามารถใช้การประมาณค่าแบบเชิงเส้น ในตารางได้

ข้อสังเกต : ค่าของ  $X$ ,  $Y$  และ  $e$  สำหรับแรงหรือ Contact angle นอกเหนือจากตารางให้หาค่าโดยการประมาณค่าแบบเชิงเส้น

$^1C_0$  เป็นแรงสถิตประเมิน;  $^1$  เป็นจำนวนแถวของลูกกลิ้ง (สำหรับ Deep groove-bearings ให้  $^1$  เท่ากับ 1 เสมอ)

$^2$  สำหรับ Single row bearing เมื่อ  $F_a / VF_r < e$  ใช้  $X = 1$  และ  $Y = 0$  เมื่อคำนวณหาแรงสมมูลของแบร์ริงคู่ซึ่งเป็น Single-row angular contact ball bearing ติดตั้งแบบหันหน้าชนกันและหันหลังชนกันให้ถือว่า

เป็น double-row angular-contact ball bearing ถ้าติดตั้งแบบเรียงตามกันให้ถือว่าแต่ละอันเป็น single-row ball bearing

<sup>3</sup> ให้ถือว่า Double-row bearing มีความสมมาตร (Symmetry)

<sup>4</sup> ค่า  $F_d / C_0$  สูงสุดขึ้นอยู่กับค่าการออกแบบแบริ่ง

<sup>5</sup> สำหรับ  $\alpha = 1$ : และ  $X = 1$

### 3.3.5 ตัวประกอบใช้งาน

แรงที่กระทำต่อแบริ่งจะได้รับการส่งทอดมาจากชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ซึ่งอาจมีความสั่นสะเทือนมากน้อยต่างกันไป อันอาจจะเป็นเหตุให้แบริ่งเสียหายได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการเลือกแบริ่ง จึงควรที่จะเพิ่มค่าแรงสมมูลโดยการคิดถึงลักษณะของการใช้งาน ด้วยการคูณตัวประกอบเหล่านี้กับแรงสมมูลเสียก่อน ตัวประกอบเหล่านี้ได้มาจากประสบการณ์อันยาวนานของผู้ออกแบบเครื่องจักรกลเป็นจำนวนมากตัวประกอบของการกระทบ (Impact factor) ตัวประกอบของสายพาน (Belt factor) และตัวประกอบของเฟือง (Gear factor) ซึ่งรวมเรียกว่าตัวประกอบใช้งาน  $N_s$

ตารางที่ 3-2 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิงแบริ่ง

| ชนิดของแรง        | $N_s$     |                |                                 |
|-------------------|-----------|----------------|---------------------------------|
|                   | บอลแบริ่ง | โรลเลอร์แบริ่ง | ตัวอย่าง                        |
| แรงเรียบสม่ำเสมอ  | 1         | 1              | มอเตอร์ไฟฟ้า<br>เครื่องอัดอากาศ |
| แรงกระทกเล็กน้อย  | 1.5       | 1              | เครื่องตัดโลหะ<br>ปั้นจั่น      |
| แรงกระทกอย่างหนัก | 2.0 - 3.0 | 1.3 - 2.0      | เครื่องบดแร่<br>เครื่องเขย่า    |

ตารางที่ 3-3 ตัวประกอบของสายพาน

| ชนิดของสายพาน        | $N_s$     |
|----------------------|-----------|
| สายพานเส้น (V-belts) | 1.5 - 2.0 |
| สายพานแบน            | 2.0 - 4.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

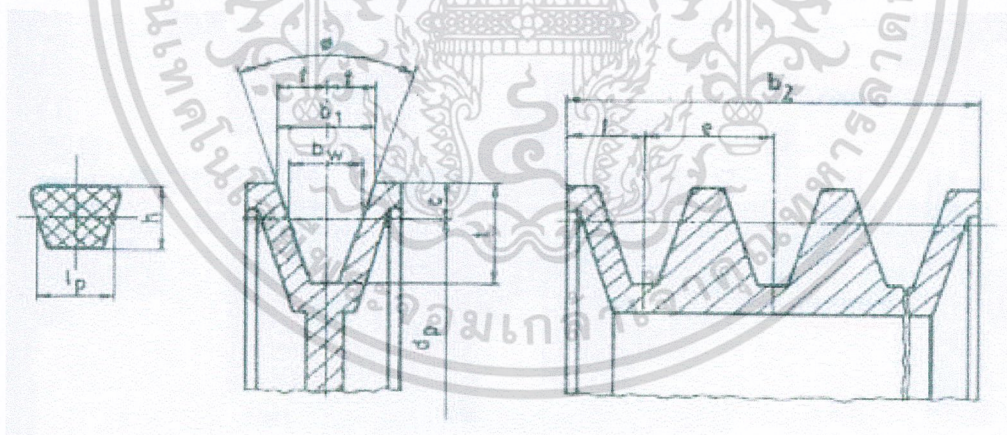
### 3.4 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมากโดยต้องการแรงดึงขึ้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียกว่าร่องรูปลิ่มของล้อยสายพาน ทำให้แรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมี ส่วนโค้งสัมผัสสั้นๆ และ มีแรงดึงขึ้นต้นค่อนข้างต่ำและเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเล็กน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อยสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นได้ด้วย

การขับเคลื่อนด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริงของเพลไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7: 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10:1

#### 3.4.1 ขนาดสายพานและล้อยสายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม มีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิตช์ (Pitch width) และความหนาสายพาน โดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V-belts) มีขนาด SPZ SPA SPB และ SPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อยสายพาน ดูได้จากรูปที่ 3-3 ส่วนขนาดต่างๆ ดูได้จากตาราง 3-5 ที่ และตารางที่ 3-6



รูปที่ 3-12 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อยสายพาน

ตารางที่ 3-4 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานตามมาตรฐาน

ISO / R 52-1957 (E) และ ISO/R 256-1962 (E)

| ขนาดสายพาน |                    | 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             |       |
| $e$        |                    | $8 \pm 0.3$ | $12 \pm 0.3$ | $15 \pm 0.3$ | $19 \pm 0.4$   | $25.5 \pm 0.5$ | $37 \pm 0.6$ | $44.5 \pm 0.7$ |       |
| $f$        |                    | $6 \pm 0.5$ | $8 \pm 0.6$  | $10 \pm 0.6$ | $12.5 \pm 0.8$ | $17 \pm 1$     | $24 \pm 2$   | $29 \pm 2$     |       |
| $t_{min}$  |                    | 7           | 11           | 14           | 18             | 24             | 28           | 33             |       |
| $32^\circ$ | $\phi$             | $\leq 63$   | -            | -            | -              | -              | -            | -              |       |
| $34^\circ$ | สำหรับ<br>เส้นผ่าน | -           | 63 - 80      | 90 - 118     | 140 - 190      | 224 - 315      | -            | -              |       |
| $36^\circ$ | ศูนย์กลาง          | 63          | -            | -            | -              | -              | $\leq 500$   | $\leq 630$     |       |
| $38^\circ$ | คดขี $d_p$         | -           | $> 80$       | $> 118$      | $> 190$        | $> 315$        | $> 500$      | $> 630$        |       |
| $b_2$      | จำนวน              | 1           | 12           | 16           | 20             | 25             | 34           | 48             | 58    |
|            | รองบน              | 2           | 20           | 28           | 35             | 44             | 59.5         | 85             | 102.5 |
|            | ค้อยาย             | 3           | 28           | 40           | 50             | 63             | 85           | 122            | 147   |
|            | พาน                | 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 |
| $d_{pmin}$ |                    | 28          | 50           | 80           | 125            | 200            | 355          | 500            |       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์  $d_p$  ของล้อยายพานตามมาตรฐาน  
ISO / R 52-1957 (E) และ ISO/R 253-1962 (E)

ขนาดเป็น mm

|      |    |     |     |     |     |      |      |
|------|----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 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 |      |

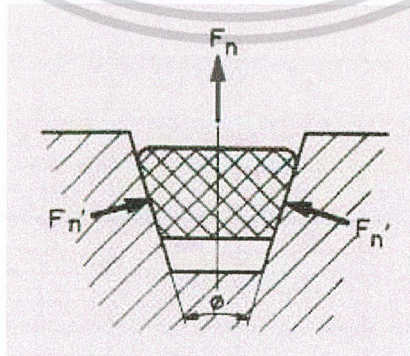
### 3.4.2 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม

ในการขับเคลื่อนสายพานลิ่ม แรงปฏิกิริยา ระหว่างสายพานกับล้อยายพานจะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับล้อยึดสัมผัส ดังรูป 3-4 ให้  $F_n$  เป็นแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของสายพานกับร่องบนล้อยายพาน ดังนั้นจากสมการ  $fF_n = dF$  ของสายพานแบน ในกรณีของสายพานลิ่มจะกลายเป็น  $2fF_n = dF$  แรงปฏิกิริยาของแรง  $F_n$  ทั้งสองแรงคือ

$$F_n = 2F_{n'} \sin \frac{\phi}{2} \quad (3.33)$$

หรือ

$$F_{n'} = \frac{F_n}{2 \sin \frac{\phi}{2}} \quad (3.34)$$

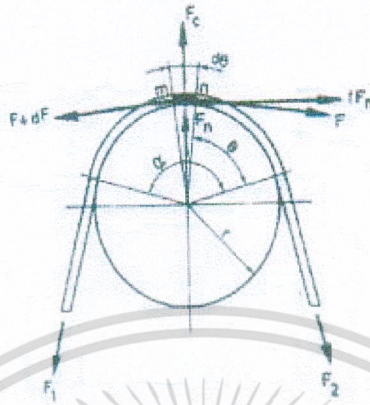


รูปที่ 3-13 แรงบนสายพานลิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า  $F_n$  จะได้

$$\frac{fF_n}{\sin \frac{\phi}{2}} = dF \quad (3.35)$$



รูปที่ 3-14 แรงในสายพานลิม

เมื่อพิจารณารูปที่ 3-5 และแรงรวมในแนวตั้ง จะได้

$$F_c + F_n = \left( F + \frac{1}{2} dF \right) d\theta \quad (3.36)$$

เมื่อกำจัด  $F_n$  ออกจากสมการทั้งสองนี้จะได้

$$dF = \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}} \left( F + \frac{1}{2} dF - \frac{wAv^2}{g} \right) d\theta \quad (3.37)$$

$$\frac{dF}{F + \frac{1}{2} dF - \frac{wAv^2}{g}} = \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}} d\theta \quad (3.38)$$

อินทิเกรตสมการนี้จาก  $\theta = 0$  ถึง Infinity และจาก  $F = F_2$  ถึง  $F = F_1$  จะได้

$$\ln \frac{F - \frac{wAv^2}{g}}{F_2 - \frac{wAv^2}{g}} = e^{\frac{\alpha f}{\sin(\phi/2)}} \quad (3.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\alpha f^1} \quad (3.40)$$

โดยที่  $f^1 = f / \sin(\phi / 2)$

และกำลังที่ส่งได้โดยสายพานลึมหาค่าได้จากสมการ

$$W_p = z(F_1 - F_2)v \quad (3.41)$$

โดยที่  $v$  = ความเร็วของสายพาน เป็น m/s

$z$  = จำนวนสายพาน

ความยาว พิตช์โดยประมาณของสายพานลึมหาค่าได้สมการ

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} \quad (3.42)$$

โดยที่สัญลักษณ์ต่างๆ ยังคงมีความหมายเช่นเดียวกับสายพาน แต่ในกรณีของสายพานลึมหะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์แทน หรือในกรณีที่ทราบความยาวพิตช์แล้วต้องการหารระยะห่างระหว่างศูนย์กลางก็ทำได้โดยใช้สมการ

$$C = p + \sqrt{p^2 - q} \quad (3.43)$$

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

$q = 0.15(D_p + d_p)^2$

### 3.4.3 การทำให้เกิดแรงดึงขั้นต้นในสายพานลึมหะ

การทำให้เกิดแรงดึงขั้นต้นจะช่วยให้การขับเคลื่อนสายพานมีประสิทธิภาพดี และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงขั้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลง ประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลงเนื่องจากการสลิป แต่ถ้าออกแรงดึงขั้นต้นมากเกินไป จะทำให้ขอบสายพานยึดตัวมากเกินไป เกิดความเค้นในสายพานมาก แบริงที่รองรับล้อยสายพานจะรับแรงมากเกินไป จากสมการ (3.46) แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลังคือ

$$F = F_1 - F_2 = \frac{W_p}{v} \quad (3.44)$$

แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากน้ำหนักสายพาน

$$F_c = \frac{wAv^2}{g} = mv^2 \quad (3.45)$$

แรงลัพธ์เนื่องจากการหนีศูนย์กลางคือ

$$F_R = 2 \cdot z \cdot F_c \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.46)$$

โดยที่  $z$  = จำนวนสายพาน

ดังนั้นแรงดึงขั้นต้นในสายพานจึงหาได้จากการรวมแรงดึงในแนวแกนขณะส่งกำลัง กับแรงลัพธ์เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางนั่นคือ

$$F_i = F_w + F_o \quad (3.47)$$

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วิธีหาค่าประมาณของแรงดึงในแนวแกนจากสมการ

$$F_w = k_i \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.48)$$

โดยที่  $k_i$  เป็นตัวประกอบใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะการทำงาน ซึ่งหาค่าได้จากตาราง 3-7 แล้วใช้แรงนี้เป็นแรงดึงขั้นต้น

ตารางที่ 3-6 ตัวประกอบใช้งาน

| $k_i$ | สถานะการทำงาน                      |
|-------|------------------------------------|
| 1.3   | งานเบา ทำงานคงที่                  |
| 1.5   | งานปานกลาง                         |
| 2.0   | งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ซับซ้อนโดยมีระยะระหว่างศูนย์กลางคองที่ หรือไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงดึงในสายพาน ตลอดเวลา ก็จำเป็นจะต้องนำเอาแรงหนีศูนย์กลางมาคิดด้วยจากสมการ

$$F_R = 2 \cdot z \cdot F_c \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F_R = 2 \cdot z \cdot \frac{wAv^2}{g} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.49)$$

ซึ่งเขียนได้ใหม่เป็น

$$F_R = z \cdot k_2 \cdot v^2 \sin \frac{\alpha}{2}$$

ค่า  $k_2$  หาได้จากตาราง 3-8 ดังนั้นแรงดึงขึ้นต้นในสายพานจึงเท่ากับ

$$F_1 = (k_1 F + z k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.50)$$

ตารางที่ 3-7 ค่าตัวประกอบ  $k_2$

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

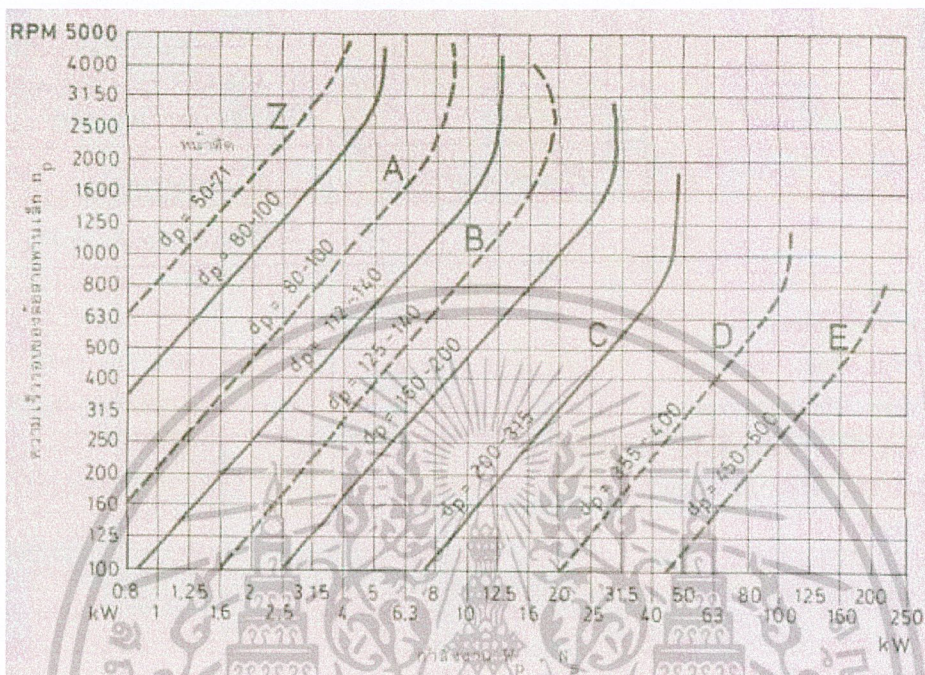
### 3.4.4 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิม

การคำนวณหาขนาดของการส่งกำลังโดยสายพานลิมจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของสายพาน  $d_p$  เป็นพื้นฐาน และในที่นี้ก็จะแสดงวิธีการเลือกขนาดของสายพานลิมตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เช่นเดียวกับในกรณีของสายพานแบน

ในการเลือกขนาดของล้อยสายพาน บริษัทได้แนะนำให้เลือกขนาดของล้อยสายพานให้ได้ที่สุดเท่าที่จะทำได้ ขนาดของสายพานไม่ควรจะเล็กกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3-5 แต่ข้อควรระวังก็คือ ขณะใช้งานปกติความเร็วของสายพานไม่ควรสูงกว่า 30 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาขนาดหน้าตัดโดยประมาณของสายพานลิ่มสำหรับการส่งกำลัง อาจทำได้โดยใช้รูปที่ 3-6 แต่กำลังที่ส่งได้จริงของสายพานจะต้องตรวจสอบจากตารางการกำหนดสมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่ม ซึ่งจะได้อีกกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 3-6 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ่ม

การเลือกขนาดของสายพานลิ่มจะแตกต่างกันไปจากสายพานแบนเล็กน้อยคือ การเลือกขนาดของสายพานลิ่มจะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลิ่มที่ต้องการใช้งานจากกำลังที่ต้องการขับและตัวประกอบที่แก้ไขต่าง ๆ จำนวนเส้นของสายพานลิ่มหาได้จากสมการ

$$z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_1} \quad (3.51)$$

โดยที่  $z$  = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม

$W_p$  = กำลังที่ต้องการส่ง

$N_s$  = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตารางที่ 3-9

$N_a$  = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส หาค่าได้จากตารางที่ 3-10

$N_1$  = ตัวประกอบแก้ไขความยาวของสายพาน (Belt length correction factor) หาค่าได้จาก ตารางที่ 3-11

$P_R$  = กำลังสายพานลิ่มหนึ่งลิ่มส่งได้ หาค่าได้จากตารางที่ 3-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-8 ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$  สำหรับสายพานลิ้ม

| ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ                                                                                                                                                                      | ชนิดของอุปกรณ์ขับ                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ตัวประกอบใช้งานนี้พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการขับ แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ตัวอย่างเช่น ทำงานในสภาวะแวดล้อมเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าขึ้นอีกได้ในกรณีพิเศษ | <u>มอเตอร์กระแสสลับ: normal torque, squirrel cage, synchronous and split phase.</u><br><u>มอเตอร์กระแสตรง: shunt wound</u><br><u>เครื่องยนต์สันดาปภายใน: ที่มีหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm</u> | <u>มอเตอร์กระแสสลับ: high torque, high slip, repulsion-induction, single phase, series wound and slip ring.</u><br><u>มอเตอร์กระแสตรง: series wound และ compound wound.</u> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                | เครื่องยนต์สันดาปภายใน: ที่มีหนึ่งลูกสูบ ความเร็วรอบต่ำกว่า 600 rpm เฟลาเมน คลัตช์ |       |      |                    |       |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|--------------------|-------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                | ชั่วโมงทำงานต่อวัน                                                                 |       |      | ชั่วโมงทำงานต่อวัน |       |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | ≤ 10                                                                               | 10-16 | > 16 | ≤ 10               | 10-16 | > 16 |
| <u>งานเบา :</u><br>เครื่องถวนของเหลว, เครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบลมแบบหอยโข่ง, พัดลมที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kW, สายพานลำเลียงงานเบา                                                                                                                  | 1                                                                                  | 1.1   | 1.2  | 1.1                | 1.2   | 1.3  |
| <u>งานปานกลาง :</u><br>สายพานลำเลียงทรายหรือเมล็ดพืช, เครื่องผสมของขี้เหนียว, พัดลมที่มีกำลังสูงกว่า 7.5 kW, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เฟลาเมน, เครื่องชักผ้า, เครื่องมือกด Punches Presses - shears, เครื่องพิมพ์, positive displacement rotary pumps, เครื่องเขย่า | 1.1                                                                                | 1.2   | 1.3  | 1.2                | 1.3   | 1.4  |
| <u>งานหนัก :</u><br>เครื่องทำอิฐ, bucket elevators, exciters, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบลมแบบลูกสูบ, สายพานลำเลียง, hammer mills, paper mill beaters,                                                                                                           | 1.2                                                                                | 1.3   | 1.4  | 1.4                | 1.5   | 1.6  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-9 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส  $N_s$  สำหรับสายพานลิ้ม

| d <sub>p</sub><br>(mm) | m <sub>w</sub> | ความเร็วรอบของล้อสายพานเล็ก n (rpm) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|----------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        |                | 400                                 | 700  | 800  | 950  | 1200 | 1450 | 2000 | 2400 | 2850 | 3200 | 3600 |
| 50                     | 1.00           | 0.13                                | 0.20 | 0.22 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.44 | 0.50 | 0.56 | 0.60 | 0.65 |
|                        | 1.05           | 0.13                                | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.31 | 0.36 | 0.46 | 0.52 | 0.59 | 0.63 | 0.68 |
|                        | 1.20           | 0.14                                | 0.22 | 0.24 | 0.28 | 0.34 | 0.39 | 0.49 | 0.56 | 0.64 | 0.69 | 0.74 |
|                        | 1.50           | 0.15                                | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.35 | 0.41 | 0.52 | 0.60 | 0.68 | 0.73 | 0.79 |
|                        | ≥3.00          | 0.15                                | 0.24 | 0.26 | 0.30 | 0.36 | 0.42 | 0.54 | 0.62 | 0.71 | 0.77 | 0.83 |
| 56                     | 1.00           | 0.16                                | 0.25 | 0.28 | 0.33 | 0.39 | 0.45 | 0.58 | 0.66 | 0.75 | 0.81 | 0.87 |
|                        | 1.05           | 0.17                                | 0.26 | 0.29 | 0.33 | 0.40 | 0.47 | 0.60 | 0.68 | 0.77 | 0.84 | 0.90 |
|                        | 1.20           | 0.17                                | 0.27 | 0.31 | 0.35 | 0.42 | 0.49 | 0.63 | 0.73 | 0.82 | 0.89 | 0.97 |
|                        | 1.50           | 0.18                                | 0.28 | 0.32 | 0.36 | 0.44 | 0.51 | 0.66 | 0.76 | 0.86 | 0.94 | 1.02 |
|                        | ≥3.00          | 0.18                                | 0.29 | 0.32 | 0.37 | 0.45 | 0.53 | 0.68 | 0.78 | 0.89 | 0.97 | 1.05 |
| 63                     | 1.00           | 0.20                                | 0.32 | 0.35 | 0.41 | 0.48 | 0.57 | 0.74 | 0.84 | 0.96 | 1.04 | 1.12 |
|                        | 1.05           | 0.20                                | 0.32 | 0.36 | 0.42 | 0.50 | 0.59 | 0.75 | 0.87 | 0.98 | 1.07 | 1.16 |
|                        | 1.20           | 0.21                                | 0.34 | 0.38 | 0.43 | 0.52 | 0.61 | 0.79 | 0.91 | 1.03 | 1.12 | 1.22 |
|                        | 1.50           | 0.22                                | 0.35 | 0.39 | 0.45 | 0.54 | 0.63 | 0.82 | 0.94 | 1.07 | 1.17 | 1.27 |
|                        | ≥3.00          | 0.22                                | 0.35 | 0.39 | 0.46 | 0.55 | 0.65 | 0.84 | 0.97 | 1.10 | 1.20 | 1.31 |
| 71                     | 1.00           | 0.24                                | 0.39 | 0.43 | 0.50 | 0.61 | 0.71 | 0.91 | 1.05 | 1.19 | 1.30 | 1.40 |
|                        | 1.05           | 0.25                                | 0.39 | 0.44 | 0.51 | 0.62 | 0.72 | 0.93 | 1.07 | 1.22 | 1.32 | 1.43 |
|                        | 1.20           | 0.25                                | 0.41 | 0.45 | 0.52 | 0.64 | 0.74 | 0.97 | 1.12 | 1.27 | 1.38 | 1.50 |
|                        | 1.50           | 0.26                                | 0.42 | 0.47 | 0.54 | 0.65 | 0.77 | 0.99 | 1.15 | 1.31 | 1.43 | 1.55 |
|                        | ≥3.00          | 0.26                                | 0.42 | 0.47 | 0.55 | 0.67 | 0.78 | 1.01 | 1.17 | 1.34 | 1.46 | 1.58 |
| 80                     | 1.00           | 0.29                                | 0.46 | 0.52 | 0.60 | 0.73 | 0.85 | 1.11 | 1.28 | 1.45 | 1.57 | 1.70 |
|                        | 1.05           | 0.29                                | 0.47 | 0.53 | 0.61 | 0.74 | 0.87 | 1.13 | 1.30 | 1.48 | 1.60 | 1.73 |
|                        | 1.20           | 0.30                                | 0.48 | 0.54 | 0.63 | 0.76 | 0.89 | 1.16 | 1.34 | 1.53 | 1.66 | 1.80 |
|                        | 1.50           | 0.30                                | 0.49 | 0.55 | 0.64 | 0.78 | 0.91 | 1.19 | 1.37 | 1.56 | 1.70 | 1.85 |
|                        | ≥3.00          | 0.31                                | 0.50 | 0.56 | 0.65 | 0.79 | 0.93 | 1.21 | 1.40 | 1.59 | 1.74 | 1.88 |
| 90                     | 1.00           | 0.34                                | 0.55 | 0.62 | 0.71 | 0.87 | 1.00 | 1.32 | 1.52 | 1.73 | 1.87 | 2.01 |
|                        | 1.05           | 0.34                                | 0.56 | 0.62 | 0.72 | 0.88 | 1.03 | 1.34 | 1.54 | 1.75 | 1.90 | 2.05 |
|                        | 1.20           | 0.35                                | 0.57 | 0.64 | 0.74 | 0.90 | 1.06 | 1.37 | 1.58 | 1.80 | 1.95 | 2.11 |
|                        | 1.50           | 0.36                                | 0.58 | 0.65 | 0.75 | 0.92 | 1.08 | 1.40 | 1.62 | 1.84 | 2.00 | 2.16 |
|                        | ≥3.00          | 0.36                                | 0.59 | 0.66 | 0.76 | 0.93 | 1.09 | 1.42 | 1.64 | 1.87 | 2.03 | 2.20 |
| 100                    | 1.00           | 0.39                                | 0.63 | 0.71 | 0.82 | 1.01 | 1.16 | 1.53 | 1.76 | 1.99 | 2.15 | 2.31 |
|                        | 1.05           | 0.39                                | 0.64 | 0.72 | 0.83 | 1.02 | 1.18 | 1.55 | 1.78 | 2.01 | 2.18 | 2.34 |
|                        | 1.20           | 0.40                                | 0.65 | 0.73 | 0.85 | 1.04 | 1.22 | 1.58 | 1.82 | 2.06 | 2.23 | 2.40 |
|                        | 1.50           | 0.41                                | 0.66 | 0.74 | 0.86 | 1.05 | 1.24 | 1.61 | 1.85 | 2.10 | 2.28 | 2.45 |
|                        | ≥3.00          | 0.41                                | 0.67 | 0.75 | 0.87 | 1.07 | 1.25 | 1.63 | 1.88 | 2.13 | 2.31 | 2.49 |

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน  $N_s$

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $L_p$ | 424  | 449  | 474  | 494  | 524  | 554  | 584  | 624  | 654  | 704  | 734  | 824  |
| $N_s$ | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.99 | 1.00 |
| $L_p$ | 924  | 1024 | 1144 | 1274 | 1424 | 1624 |      |      |      |      |      |      |
| $N_s$ | 1.03 | 1.06 | 1.08 | 1.11 | 1.14 | 1.17 |      |      |      |      |      |      |

ความยาวพิคอัพที่ใช้  $L_p = L_t + 22(\text{mm})$

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $L_t$ | 375  | 380  | 400  | 425  | 450  | 475  | 500  | 520  | 530  | 560  | 575  | 600  |
|       | 630  | 670  | 710  | 730  | 750  | 775  | 800  | 820  | 850  | 875  | 900  | 930  |
|       | 980  | 1000 | 1060 | 1105 | 1120 | 1170 | 1180 | 1230 | 1250 | 1300 | 1320 | 1400 |
|       | 1450 | 1500 | 1525 | 1580 | 1600 | 1680 | 1700 | 1730 | 1800 | 1830 | 1900 | 2000 |
|       | 2080 | 2240 | 2480 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การคำนวณชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

#### 4.1 ทำการทดสอบความแข็งแรงของกะลามะพร้าว

ทำการทดสอบความแข็งแรงของกะลามะพร้าว โดยวิธี Drop test เพื่อหาพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้กะลามะพร้าวแตก

ทำการ Set การทดลองดังนี้

|                                      |   |                   |                       |
|--------------------------------------|---|-------------------|-----------------------|
| เหล็กที่ใช้ในการทดสอบมวล (m)         | = | 5                 | kg                    |
| ความสูงที่ใช้ในการทดสอบ (h)          | = | 1                 | m                     |
| ขนาดกะลาที่ใช้ในการทดสอบ (A)         | = | 4                 | cm <sup>2</sup>       |
| หมายเหตุ : กะลาที่มีความหนาโดยเฉลี่ย | = | 4                 | mm                    |
| ความหนาแน่น                          | = | 500               | kg/m <sup>3</sup>     |
| พลังงานที่ใช้                        | = | mgh               |                       |
|                                      | = | 5 x 9.81 x 1      |                       |
|                                      | = | 49.05             | Joule                 |
| ความแข็งแรงของกะลา                   | = | $\frac{49.05}{4}$ |                       |
|                                      | = | 12.26             | Joule/cm <sup>2</sup> |

#### 4.2 การคำนวณหาขนาดของต้นกำลัง

โดยขนาดของต้นกำลังจะแปรผันตามปริมาณกำลังการผลิต (Capacity) ซึ่งเราต้องการให้เครื่องบดกะลาที่มีปริมาณการผลิตประมาณ 10-20 kg/hr ดังนั้นสามารถทำการหาต้นกำลังได้ดังนี้

|                       |   |                                                                                |                  |
|-----------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| ต้องใช้กำลังงานประมาณ | = | $\frac{12.26 \times 15}{1 \times 10^{-4} \times 0.004 \times 500 \times 3600}$ |                  |
|                       | = | 1021.88                                                                        | Joule/s or watts |
| $Hp_{design}$         | = | 1.37                                                                           | Hp               |

เมื่อกำหนด Safety Factor = 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Hp_{select} = 2 \times 1.37 = 2.74 \text{ Hp}$$

ดังนั้นเลือกใช้ Motor ขนาด = 3 Hp

#### 4.3 การคำนวณสายพานส่งกำลัง

Diameter of large pulley : D = 6 in  
 Diameter of small pulley : D = 3.5 in  
 Center distance : c = 21.65 in

ความเร็วรอบ Motor = 1450 rev/min

ความเร็วรอบของเครื่องบด =  $\frac{1450 \times 6}{3.5}$   
 = 2485 rev/min

ความเร็วสายพาน =  $\frac{\pi d N}{12}$   
 =  $\frac{\pi (3.5)(2485)}{12}$   
 = 2277 ft/min

Contact Angle:  $\phi = \theta = \pi - 2 \sin^{-1} \left( \frac{D-d}{2c} \right)$

$$= \pi - 2 \sin^{-1} \left( \frac{6-3.5}{2(21.65)} \right)$$

$$= 3.084 \text{ rad}$$

$$\exp(f\phi) = \exp(0.5123\phi)$$

เมื่อ

f = effective coefficient of friction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 0.5123 \\
 \text{แทนค่าได้} \quad \exp(f\phi) &= \exp(0.5123(3.084)) \\
 &= 4.854
 \end{aligned}$$

$$\text{Centrifugal tension: } F_c = k_c \left( \frac{v}{1000} \right)^2$$

$$\begin{aligned}
 F_c &= 0.965 \left( \frac{2277}{1000} \right)^2 \\
 &= 5.003 \quad \text{lbf}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta F &= \frac{63025 H_d}{n(d/2)} \\
 \text{โดย Design Power: } H_d &= H_{\text{nom}} k_s n_d \\
 \text{Nominal Power: } H_n &= 3 \text{ Hp} \\
 \text{Service Factor: } k_s &= 1.1 \text{ (light chock)} \\
 \text{Design Factor: } n_d &= 1 \\
 \text{แทนค่าได้} \quad \Delta F &= \frac{63025 (3)(1.1)(1)}{2485 \left( \frac{3.5}{2} \right)} \\
 &= 47.812 \quad \text{lbf}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_c + \frac{\Delta F \exp(f\phi)}{\exp(f\phi) - 1} \\
 &= 5.003 + \frac{47.812(4.854)}{4.854 - 1}
 \end{aligned}$$

$$= 65.221 \quad \text{lbf}$$

$$F_2 = F_1 - \Delta F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 65.221 - 47.812$$

$$= 17.4081 \quad \text{lbf}$$

$$\text{Transmitted Torque: } T = \frac{[(F_1) - (F_2)]d}{2}$$

$$= 47.812 \times \frac{3.5}{2}$$

$$= 83.671 \quad \text{lbf.in}$$

#### 4.4 การคำนวณหาขนาดเพลา

ใช้วิธีการออกแบบเพลาตาม ASME Code

จากสมการ

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

โดย

$$\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2$$

$$C_t = \text{ตัวประกอบการล้าเนื่องจากการตัด}$$

$$C_m = \text{ตัวประกอบการล้าเนื่องจากการบิด}$$

แทนค่า

$$C_t = 1.5$$

$$C_m = 2$$

แปลงหน่วย

$$T = 83.671 \quad \text{lbf.in}$$

$$= 9457.360 \quad \text{N.mm}$$

โดย

$$M = 64.625 \times 10^3 \quad \text{N.mm}$$

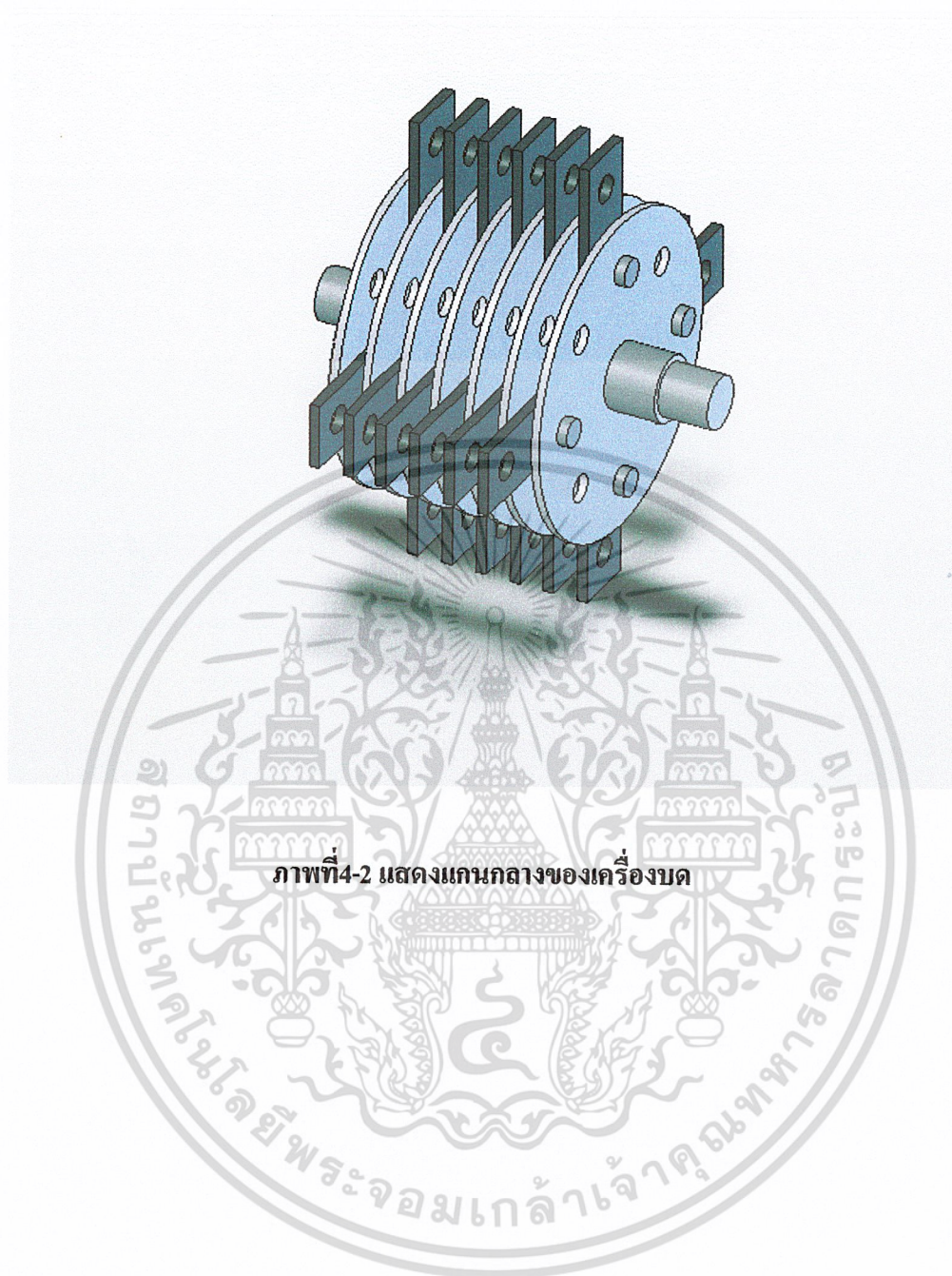
$$d_{allow}^3 = \frac{16}{41\pi} \left[ (1.5 \times 9457.360)^2 + (2 \times 64.625 \times 10^3)^2 \right]^{1/2}$$

$$d_{allow} = 25.28 \quad \text{mm.}$$

กำหนด Safety Factor = 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาพที่4-2 แสดงแกนกลางของเครื่องบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดสอบสมรรถนะของเครื่องบดกะลามะพร้าว

#### 5.1 วิธีการทดสอบ

1. บันทึกน้ำหนักของกะลาที่จะใส่เข้าสู่เครื่องบด ซึ่งกำหนดไว้ที่ 4 กิโลกรัม
2. บันทึกค่ามิเตอร์ไฟฟ้าเริ่มต้น
3. นำกะลามะพร้าวเข้าสู่เครื่องบดเพื่อทำการบด (เริ่มทำการจับเวลาโดยกำหนดให้ใช้เวลาในการบดเท่ากับ 0.5 ชม.)
4. เมื่อครบเวลาที่กำหนดจึงนำกะลามะพร้าวที่บดได้ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักของกะลามะพร้าวที่บดได้
5. บันทึกค่ามิเตอร์ไฟฟ้าเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ
6. ทำการเปลี่ยนความเร็วรอบ โดยการเปลี่ยนขนาดของล้อสายพานตัวตาม จากนั้นทำการทดลองซ้ำ (ตั้งแต่ข้อ 1-ข้อ 5) เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของการบดกะลามะพร้าวด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5-1 ภาพเครื่องบดกะลามะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-1 แสดงผลการทดสอบการบดกะลาแห้ง

| ลำดับ | ล้อยาสายพาน<br>ตัวขับ : D (นิ้ว) | ล้อยาสายพาน<br>ตัวตาม : d (นิ้ว) | ความเร็วรอบ<br>การบด<br>(รอบ/นาที) | มวลกะลาที่<br>ถูกใส่:m1<br>(กก.) | มวลกะลาที่<br>บดได้:m2<br>(กก.) | ประสิทธิภาพ<br>การบด <sup>1</sup> | อัตราการ<br>ใช้ไฟฟ้า<br>(หน่วย) | ค่าไฟฟ้า <sup>2</sup><br>(บาท/กก.) | ความ<br>สามารถใน<br>การบด<br>(กก./ชม.) |
|-------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| 1.    | 6                                | 2.5                              | 3480                               | 4                                | 3.22                            | 80.5                              | 0.73                            | 0.6234                             | 6.44                                   |
| 2.    | 6                                | 3                                | 2900                               | 4                                | 3.19                            | 79.75                             | 0.71                            | 0.6121                             | 6.38                                   |
| 3.    | 6                                | 3.5                              | 2485                               | 4                                | 3.15                            | 78.75                             | 0.675                           | 0.5893                             | 6.3                                    |
| 4.    | 6                                | 4                                | 2175                               | 4                                | 3.025                           | 75.625                            | 0.655                           | 0.5955                             | 6.05                                   |
| 5.    | 6                                | 6                                | 1450                               | 4                                | 2.75                            | 68.75                             | 0.61                            | 0.6100                             | 5.5                                    |

หมายเหตุ : เวลาที่ใช้ทำการทดลองเท่ากับ 0.5 ชม.

1 : ประสิทธิภาพการบดคำนวณจาก  $\frac{m_2}{m_1} \times 100\%$

2 : ค่าไฟฟ้าคำนวณโดยกำหนดให้ อัตราการใช้ ไฟฟ้า 1 unit = 2.75 บาท (โดยประมาณ)

ตารางที่ 5-2 แสดงผลการทดสอบการบดกะลาสด

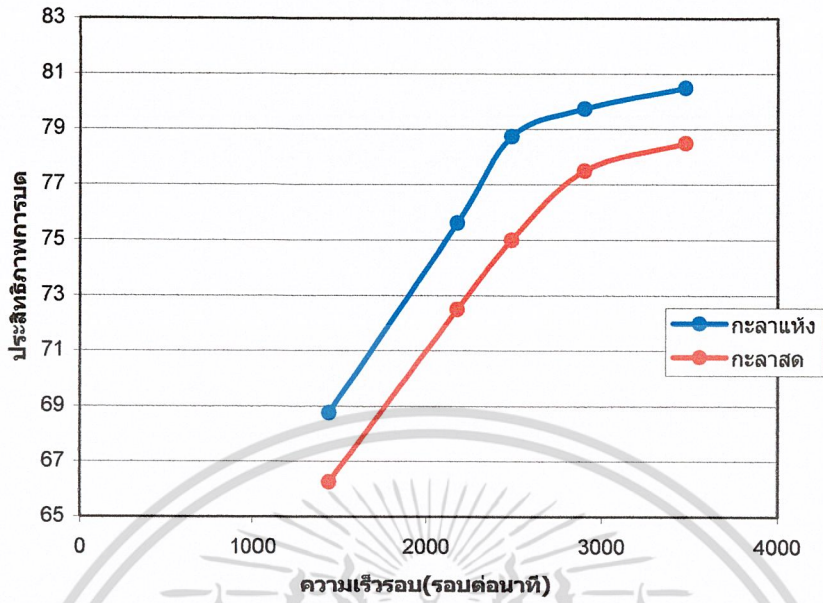
| ลำดับ | ล้อยาสายพาน<br>ตัวขับ : D (นิ้ว) | ล้อยาสายพาน<br>ตัวตาม : d (นิ้ว) | ความเร็วรอบ<br>การบด<br>(รอบ/นาที) | มวลกะลาที่<br>ถูกใส่:m1<br>(กก.) | มวลกะลาที่<br>บดได้:m2<br>(กก.) | ประสิทธิภาพ<br>การบด <sup>1</sup> | อัตราการ<br>ใช้ไฟฟ้า<br>(หน่วย) | ค่าไฟฟ้า <sup>2</sup><br>(บาท/กก.) | ความ<br>สามารถใน<br>การบด<br>(กก./ชม.) |
|-------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| 1.    | 6                                | 2.5                              | 3480                               | 4                                | 3.14                            | 78.5                              | 0.72                            | 0.6286                             | 6.28                                   |
| 2.    | 6                                | 3                                | 2900                               | 4                                | 3.10                            | 77.5                              | 0.70                            | 0.6210                             | 6.20                                   |
| 3.    | 6                                | 3.5                              | 2485                               | 4                                | 3.00                            | 75                                | 0.65                            | 0.5958                             | 6.00                                   |
| 4.    | 6                                | 4                                | 2175                               | 4                                | 2.90                            | 72.5                              | 0.63                            | 0.5974                             | 5.80                                   |
| 5.    | 6                                | 6                                | 1450                               | 4                                | 2.65                            | 66.25                             | 0.60                            | 0.6226                             | 5.30                                   |

หมายเหตุ : เวลาที่ใช้ทำการทดลองเท่ากับ 0.5 ชม.

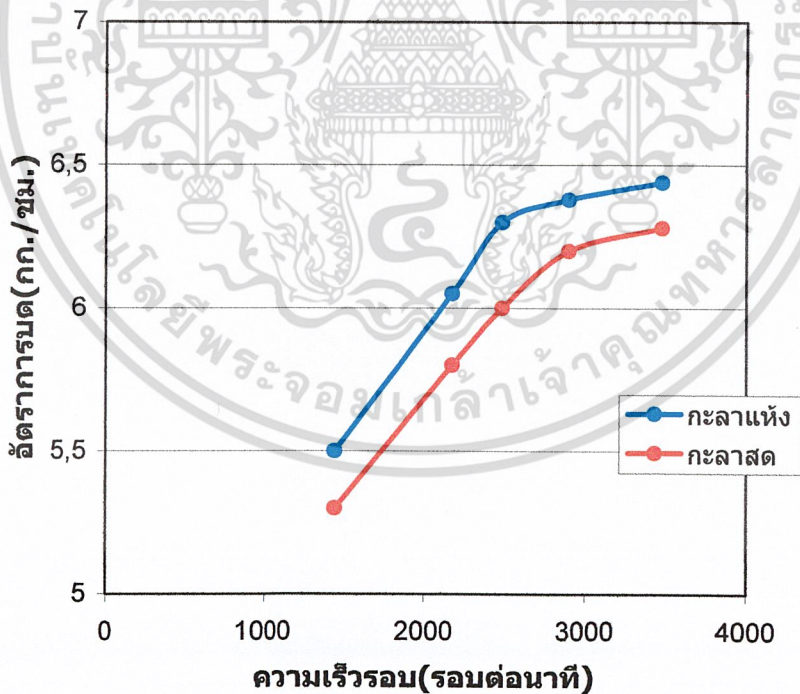
1 : ประสิทธิภาพการบดคำนวณจาก  $\frac{m_2}{m_1} \times 100\%$

2 : ค่าไฟฟ้าคำนวณโดยกำหนดให้ อัตราการใช้ ไฟฟ้า 1 unit = 2.75 บาท (โดยประมาณ)

## 5.2 ผลการทดสอบ

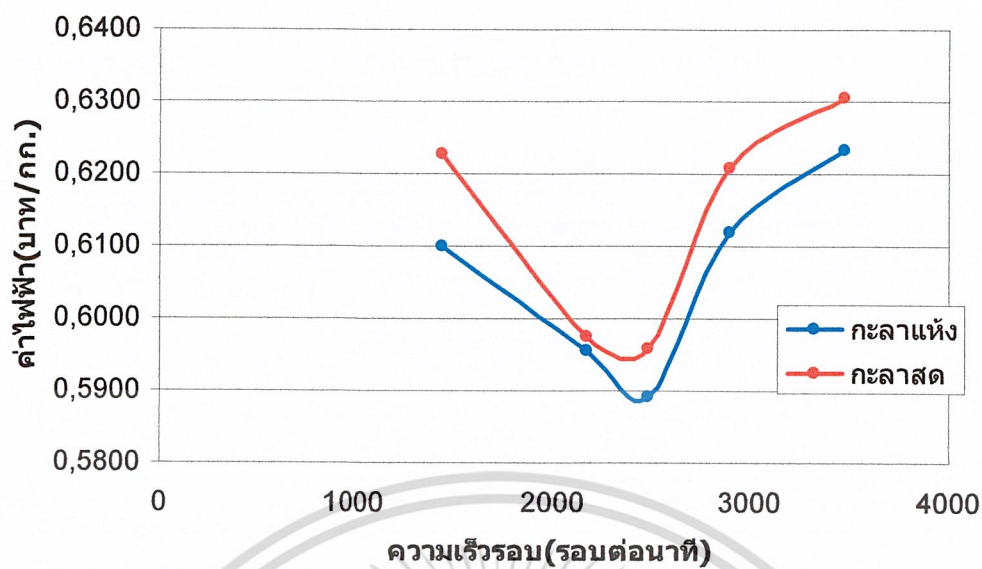


รูปที่ 5-2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพการบิด



รูปที่ 5-3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความสามารถในการบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าไฟฟ้า



รูปที่ 5-5 แสดงผงกะลาที่บดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

#### 6.1 สรุปและบทวิจารณ์

จากผลการทดสอบปรากฏว่า เครื่องบดกะลามะพร้าวสามารถทำการบดและลดขนาดของกะลามะพร้าวได้ตามต้องการ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1.ขนาดของเศษกะลามะพร้าวที่เครื่องบดสามารถบดได้จะมีขนาดที่เล็กกว่า 3 มิลลิเมตร (ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูตะแกรง) ซึ่งเป็นไปตามความต้องการ
- 2.จากการทดสอบพบว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องบดกะลามะพร้าวเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ ความสามารถในการบดดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่เครื่องบดกะลามะพร้าวมีความเร็วรอบเท่ากับ 2485 รอบต่อนาที เครื่องบดสามารถบดกะลามะพร้าวได้ด้วยอัตราการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 6.3 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นจุดที่ต้นทุนในการบด (ค่าไฟฟ้า) ต่ำที่สุด ซึ่งเท่ากับ 0.5937 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นจึงเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสม

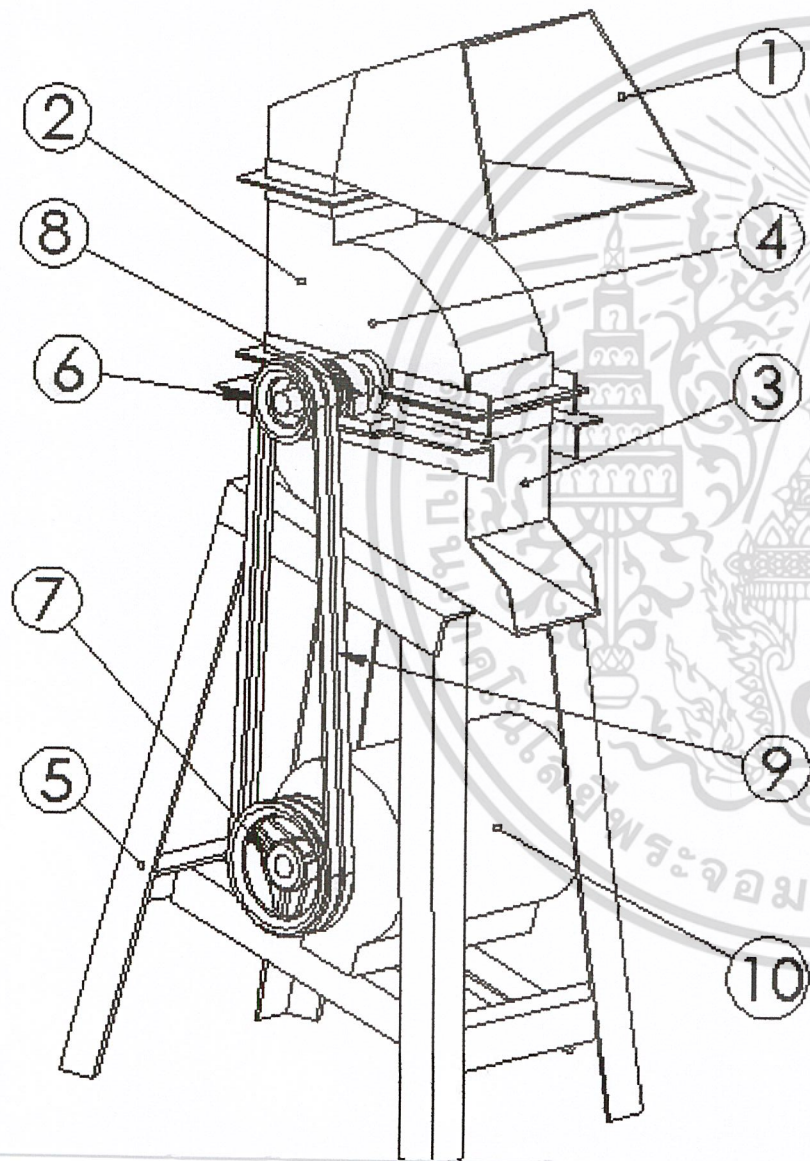
#### 6.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

- 1.ในกรณีที่ต้องการให้ขนาดของเศษกะลาที่บดได้เล็กลง ก็สามารถเปลี่ยนตะแกรงที่มีขนาดรูที่เล็กลง ตามขนาดที่ต้องการ
- 2.ออกแบบระบบคัดแยกเพิ่มเติมในกรณีที่ต้องการให้ขนาดของเศษกะลามะพร้าวที่บดได้มีคุณภาพขนาดที่ดียิ่งขึ้น
- 3.ออกแบบระบบลำเลียงแบบอัตโนมัติเพิ่มเติมเพื่อใช้สำหรับป้อนกะลามะพร้าวเข้าสู่เครื่องบด
- 4.ควรออกแบบหรือทำการแก้ไขเพื่อลดความดังของเสียงซึ่งจะเกิดขึ้นในขณะที่เครื่องกำลังทำการบด
- 5.ในกรณีที่ต้องการลดขนาดของต้นกำลังลงอาจสามารถทำได้โดยการติดตั้ง Flywheel เพิ่มเติมได้

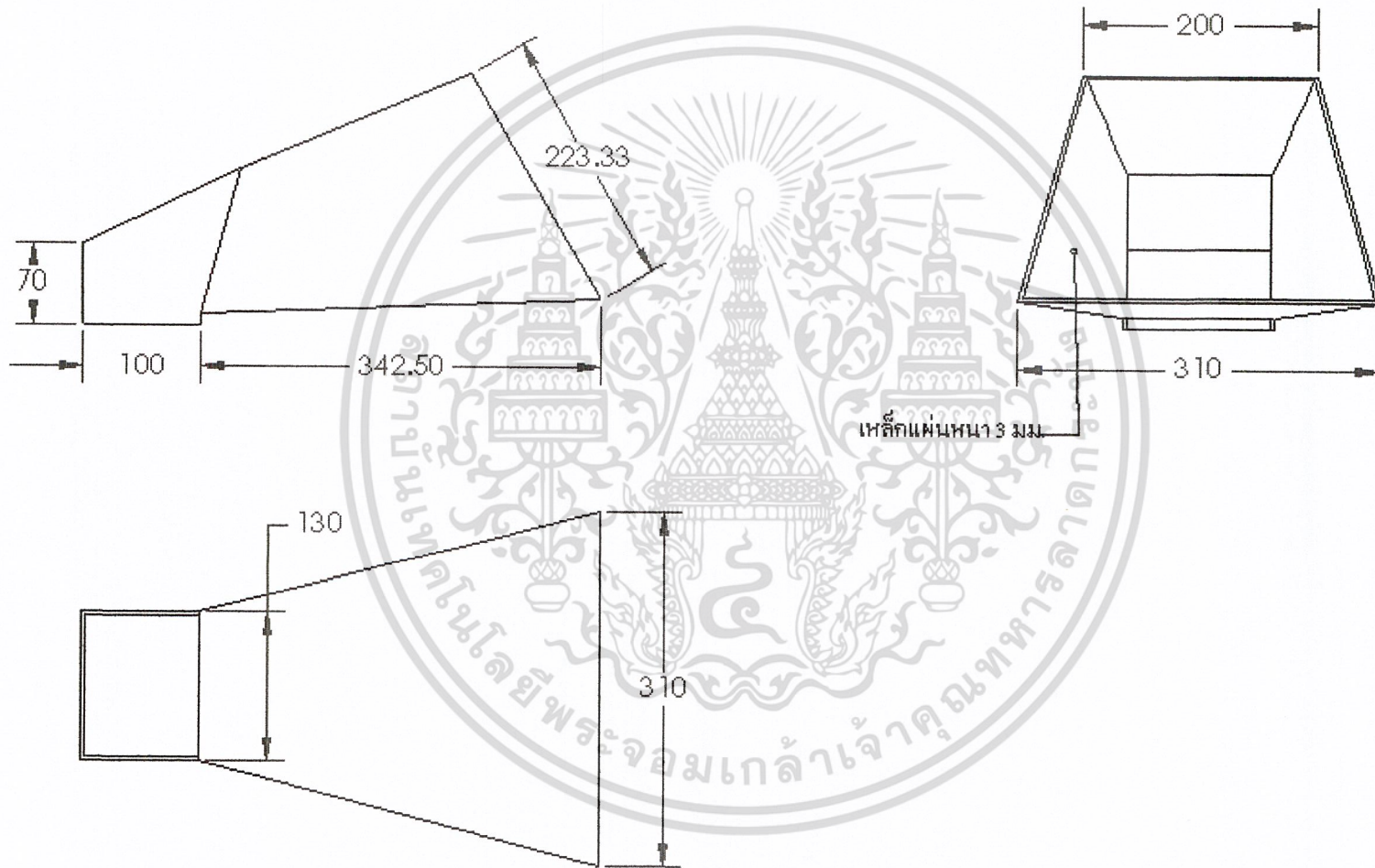
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



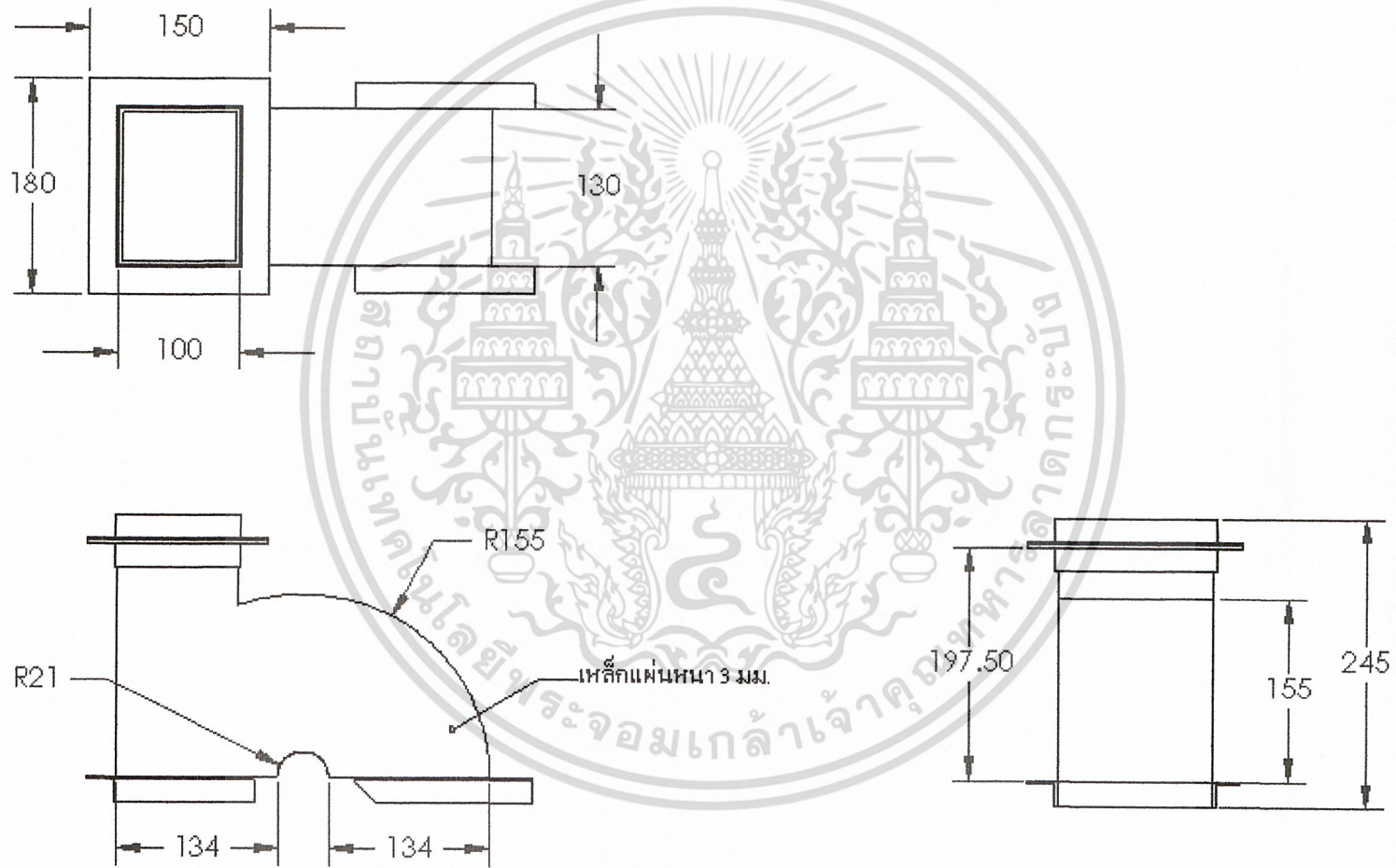
เอกสาร์นั้เป็นเอกสาร์นั้ที่สงวนไว้สําหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร์นั้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



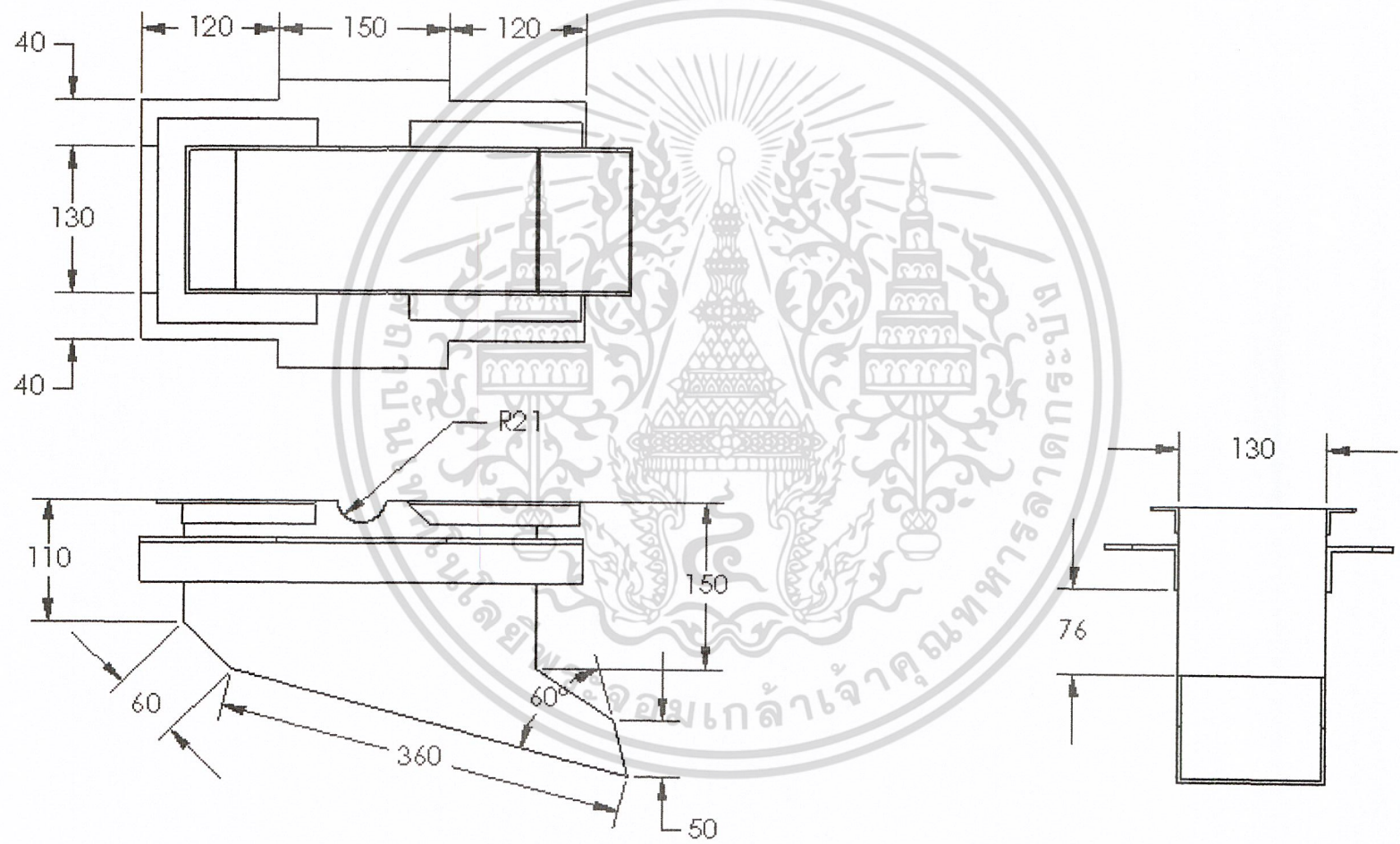
| เครื่องบดกะลามะพร้าว |                                      | มาตราส่วน 1 : 8 |                    |
|----------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------|
| ลำดับ                | ชื่อส่วนประกอบ/ชิ้นส่วน              | จำนวน           | วัสดุที่ใช้        |
| 1                    | ฮอปเปอร์                             | 1               | เหล็กแผ่นหนา 3 มม. |
| 2                    | ตัวเครื่องส่วนบน                     | 1               | เหล็กแผ่นหนา 3 มม. |
| 3                    | ตัวเครื่องส่วนล่าง                   | 1               | เหล็กแผ่นหนา 3 มม. |
| 4                    | ชุดตี                                |                 | -                  |
| 5                    | โครงสร้างเครื่อง                     |                 | เหล็กฉากหนา 5 มม.  |
| 6                    | ล้อยางพานขนาด $\varnothing$ 3.5 นิ้ว | 1               | -                  |
| 7                    | ล้อยางพานขนาด $\varnothing$ 6 นิ้ว   | 1               | -                  |
| 8                    | โรลเลอร์เบริง                        | 2               | -                  |
| 9                    | สายพานหน้าตัด V                      | 2               | -                  |
| 10                   | มอเตอร์ 3 แรงม้า                     | 1               | -                  |



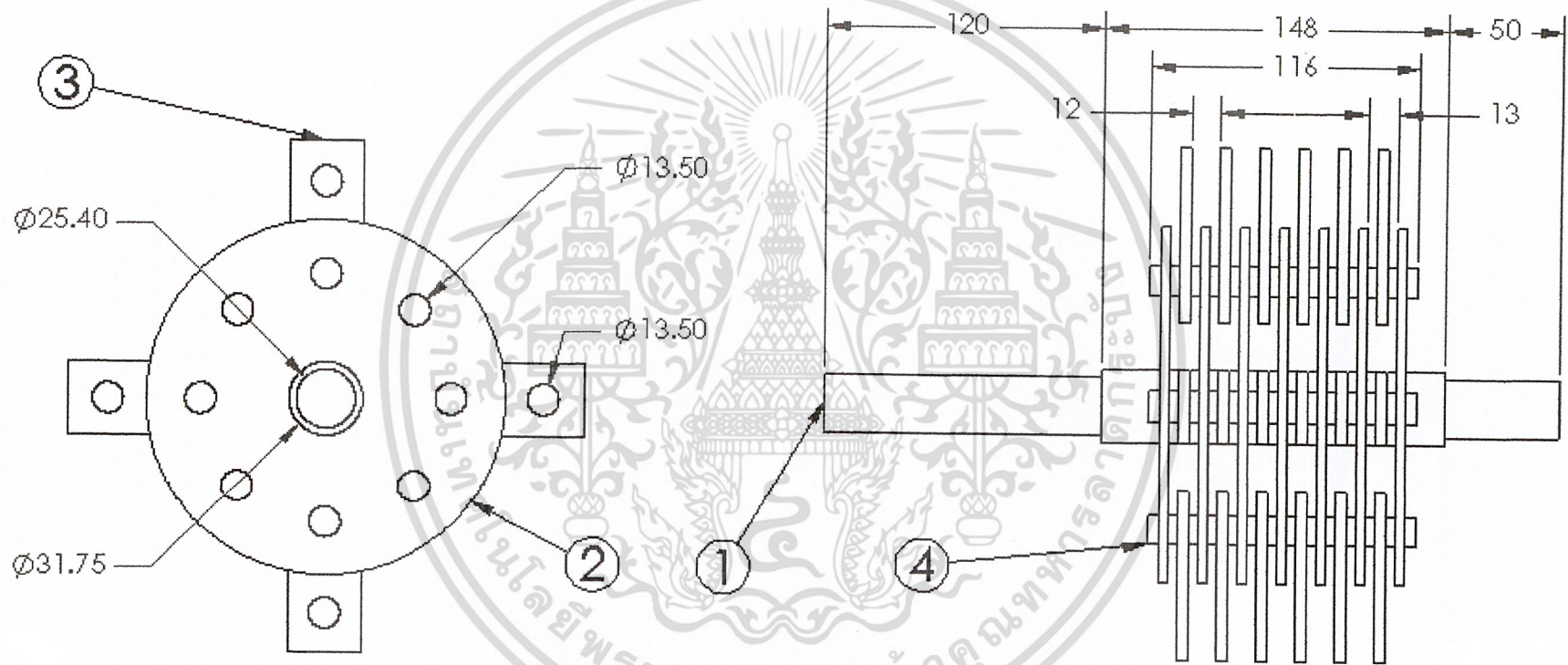
| ชื่อส่วนประกอบ/ชิ้นส่วน | จำนวน | วัสดุที่ใช้        | มาตราส่วน 1 : 5 |
|-------------------------|-------|--------------------|-----------------|
| ฮอปเปอร์                | 1     | เหล็กแผ่นหนา 3 มม. |                 |



| ชื่อส่วนประกอบ/ชิ้นส่วน | จำนวน | วัสดุที่ใช้        | มาตราส่วน 1 : 5 |
|-------------------------|-------|--------------------|-----------------|
| ตัวเครื่องส่วนบน        | 1     | เหล็กแผ่นหนา 3 มม. |                 |



| ชื่อส่วนประกอบ/ชิ้นส่วน | จำนวน | วัสดุที่ใช้        | มาตราส่วน 1 : 5 |
|-------------------------|-------|--------------------|-----------------|
| ตัวเครื่องส่วนล่าง      | 1     | เหล็กแผ่นหนา 3 มม. |                 |



| ชุดที่ |                         | มาตราส่วน 1 : 2.5 |                                   |
|--------|-------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| ลำดับ  | ชื่อส่วนประกอบ/ชิ้นส่วน | จำนวน             | วัสดุที่ใช้                       |
| 1      | เพลลา                   | 1                 | -                                 |
| 2      | แผ่นเหล็กตัดกลม         | 7                 | เหล็กแผ่น $\phi 155$ มม.หนา 4 มม. |
| 3      | ใบมีด                   | 24                | เหล็กแผ่น 32x75 มม.หนา 5 มม.      |

## บรรณานุกรม

- [1] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke and Richard G. Budynas; “Mechanical Engineering Design”, Seventh Edition, International Edition 2003.
- [2] R.C. Hibbeler; “Mechanics of Materials”, Fourth Edition, Prentice Hall, Inc. 2000
- [3] ดร. วรวิทย์ อิงพากรณ์, ชาญ ถนัดงาน, “การออกแบบเครื่องจักรกล”, เล่มที่ 1-2, ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), ปี พ.ศ. 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้