

เครื่องย่อยขวดพลาสติก  
PLASTIC GRINDING MACHINE



นาย สรสุพล ไพรีแก้ว  
นาย สุรพงษ์ พิศลยบุตร

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 50165  
วัน,เดือน,ปี 2 1 เม.ย. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องย่อยขวดพลาสติก  
PLASTIC GRINDING MACHINE

โดย

นาย สรสุพล โพธิ์แก้ว

นาย สุรพงษ์ พิศลยบุตร



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องย่อยขวดพลาสติก

PLASTIC GRINDING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นาย สรสุพล โปธิ์แก้ว รหัสประจำตัว 42010654
2. นาย สุรพงษ์ พิศลยบุตร รหัสประจำตัว 42010671



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ทวี เทศเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องย่อยขวดพลาสติก

นายสรสุพล โปธิแก้ว 42010654  
 นาย สุรพงษ์ พิศลยบุตร 42010671  
 รศ. ทวี เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

เนื่องจากขวดพลาสติกที่ใช้แล้วในปัจจุบัน ได้สร้างปัญหาต่างๆ ต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งขวดพลาสติกที่รอกลับเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล นั้นยังทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บและขนส่งเป็นอย่างมาก ปริมาณอันมหาศาลนี้ จึงได้ถูกคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้น โดยการศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและคำนวณเครื่องย่อยขวดพลาสติก ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดปริมาณเนื้อที่ในการจัดเก็บขวดพลาสติกก่อนเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล อีกทั้งเครื่องย่อยขวดพลาสติกนี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับขยะประเภทอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับพลาสติกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Plastic Grinding Machine

Sornsupon Pokaew

Surapong Pisonyabutra

Tawee Thaedjaroen Advisor

### ABSTRACT

Used plastic bottles always cause the environmental problems. A large space is required to store them while waiting for the recycle process. There are also problems in transporting used bottles due to their large volumes. In order to reduce the storing space of used plastic bottles, Plastic Grinding Machine, is designed and built. This Plastic Grinding Machine can also be used with others recycle materials that have similar properties to plastic.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ ทวี เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ คุณมณฑา ช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำงานทุกด้าน ที่คณะผู้วิจัยติดขัดหรือไม่สามารถทำเองได้ และขอขอบคุณ อาจารย์โสภณ ที่คอยให้ความช่วยเหลืออย่างดีมาโดยตลอด รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย สรสุพล โปธิแก้ว

นาย สุรพงษ์ พิศลยบุตร



## สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
ตารางสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	3
1.5 วิธีการศึกษา	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไป	6
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก	6
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมูลฝอย	8
2.3 สถานการณ์ด้านการจัดการมูลฝอยพลาสติก	14
2.4 ธุรกิจการซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสีย	16
2.5 วัฏจักรเกิดกับการย่อยสลาย : แนวทางแก้ไขปัญหายยะพลาสติกในปัจจุบัน	19
2.6 แนวทางแก้ไขปัญหายยะพลาสติก	22
2.7 สรุปลักษณะข้อเสียด้าน	23
2.8 เครื่องย่อยพลาสติก	23
2.9 แบบของเครื่องย่อยพลาสติก	23
บทที่ 3 ลักษณะของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	26
3.1 ลักษณะเครื่องย่อยขวดพลาสติก	26
3.2 หลักการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	29
3.3 ส่วนประกอบของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	30
3.4 การออกแบบส่วนตัวของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	30
3.5 การออกแบบส่วนของเพลาคับและเพลาดาม	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6	สมรรถนะของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	32
บทที่ 4	ทฤษฎีการคำนวณ	33
4.1	โซ่	33
4.2	เฟืองโซ่	38
4.3	โซ่มาตรฐาน	42
4.4	การคำนวณหาขนาดโซ่	45
4.5	ลิ้ม	52
4.6	ชนิดของลิ้ม	53
4.7	การให้ชื่อลิ้ม	55
4.8	ความเค้นที่รอยต่อด้วยลิ้ม	56
4.9	การออกแบบเพลลา	60
4.10	วัสดุเพลลา	61
4.11	ขนาดของเพลลา	61
4.12	การพิจารณาในการออกแบบเพลลา	61
4.13	การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ AMSE	62
4.14	ความแข็งแรงทางด้านการบิด	66
4.15	เฟืองตรง	66
4.16	มาตรฐานการบอกขนาดของฟัน	68
4.17	โรตลิ่งแบร์ริง	70
4.18	ชนิดของแบร์ริง	73
4.19	การใช้แบร์ริงคู่	75
4.20	การบรรจุลูกกลิ้ง	79
4.21	มิติมาตรฐานของโรตลิ่งแบร์ริง	79
4.22	ความเสียดทานของโรตลิ่งแบร์ริง	80
4.23	อายุใช้งานของแบร์ริง	81
4.24	ประเมินค่าอายุใช้งานและแรง	82
4.25	แรงสมมูล	83
4.26	ตัวประกอบใช้งาน	89
4.27	อายุใช้งานโดยสังเขป	89
บทที่ 5	การออกแบบและการคำนวณ	91
5.1	การหาแรงกดสูงสุดที่ขวดสามารถยุบตัวได้	91
5.2	การออกแบบขนาดของมอเตอร์	91

5.3	การคำนวณอัตราการป้อนชิ้นงาน	93
5.4	การคำนวณขนาดของโซ่และเฟืองโซ่	93
5.5	การหาจำนวนข้อโซ่(1)	94
5.6	การหาจำนวนข้อโซ่(2)	95
5.7	การหาจำนวนข้อโซ่(3)	96
5.8	แรงที่เฟืองกระทำกับเพลลา	97
5.9	แรงที่ลูกกลิ้งกระทำกับเพลลา	98
5.10	แรงที่ชุดใบมีดกระทำกับเพลลา	99
5.11	การหาค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนเพลลา	100
5.12	การหาเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา	101
5.13	การคำนวณอายุการใช้งานของแบร์ริง	102
บทที่ 6	การทดสอบเครื่องย่อยขวดพลาสติก	103
6.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	103
6.2	วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	103
6.3	วิธีการทดสอบ	105
6.4	การทดสอบหาสมรรถนะในการทำงานของ อุปกรณ์ย่อยขวดพลาสติก	105
บทที่ 7	สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ	110
7.1	การทดลองใช้และการแก้ไขปรับปรุง	110
7.2	ปัญหาที่พบในการวิจัย	112
7.3	ผลการทดสอบเครื่องย่อยขวดพลาสติก	114
7.4	สมรรถนะในการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	114
7.5	สรุป	115
7.6	ข้อมูลจำเพาะทางด้านเทคนิค	115

## สารบัญภาพ

		หน้าที่
รูปที่ 2-1	แสดงคุณลักษณะของเทอร์โมเซตติงพลาสติก	7
รูปที่ 2-2	แสดงคุณลักษณะของเทอร์โมพลาสติก	7
รูปที่ 2-3	แสดงการจำแนกชนิดของมูลฝอย	9
รูปที่ 2-4	แผนภูมิแสดงการคาดการณ์ปริมาณมูลฝอยทั่วประเทศในอีก 5 ปีข้างหน้า	10
รูปที่ 2-5	ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีข้อห้ามมิให้ใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกในชีวิตประจำวัน	15
รูปที่ 2-6	ตารางสัญลักษณ์ของ สบท.	15
รูปที่ 2-7	กระบวนการรีไซเคิลที่โรงงานพลาสติกมหาคุณ	19
รูปที่ 2-8	ภาพแสดงขยะก่อนรีไซเคิล	21
รูปที่ 2-9	แสดงเครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ	24
รูปที่ 2-10	เครื่องย่อยพลาสติกแบบ ไม่ตัด	24
รูปที่ 2-11	แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องย่อยพลาสติกแบบ ไม่ตัด	25
รูปที่ 3-1	แสดงส่วนรีดของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	27
รูปที่ 3-2	แสดงส่วนตัดของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	27
รูปที่ 3-3	แสดงส่วนคั่นกำลังของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	28
รูปที่ 3-4	แสดงส่วนรองรับของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	29
รูปที่ 3-5	แสดงใบมีดตัด	30
รูปที่ 3-6	แสดงลักษณะของเพลลาและชุดใบมีดบนเพลลา กับ ส่วนใบมีดนอก	31
รูปที่ 3-7	แสดงลักษณะของเพลลาและชุดใบมีด	31
รูปที่ 4-1	แสดงการวางเฟืองโซ่ 2 เฟืองที่ขบกันอย่างเหมาะสมและไม่เหมาะสม	34
รูปที่ 4-2	เพลลาของเฟืองโซ่อยู่ใน แนวระดับ โซ่โรลเลอร์ : 1 สลัก, 2 แผ่นต่อต้านนอกและด้านใน, 3 บูชที่อัดแน่นกับแผ่นต่อต้านใน, 4 โรลเลอร์หมุนได้อิสระบนบูช	35
รูปที่ 4-3	โซ่โรลเลอร์สองชั้นและสามชั้น	36
รูปที่ 4-4	ข้อต่อสำหรับโซ่โรลเลอร์ จากด้านซ้ายต่อด้วยคอตเตอร์พิน ต่อด้วยสปริงรูปตัวยู และต่อด้วยข้อต่อแบบพิเศษ	36
รูปที่ 4-5	โซ่บูช	37
รูปที่ 4-6	โซ่พิน	37
รูปที่ 4-7	โซ่ชนิดอื่น (ก) detachable joint chain (ข) steel pin chain	38
รูปที่ 4-8	เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูช	38
รูปที่ 4-9	การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ขนาดส่งกำลัง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-10	เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟัน	39
รูปที่ 4-11	การส่งกำลังจากเฟืองโซ่ไปยังโซ่โรลเลอร์	40
รูปที่ 4-12	การแยกแรงหนีศูนย์กลาง $F_c$ ออกเป็นแรงย่อย $F_{ct}$	41
รูปที่ 4-13	แผนภูมิที่ใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบ B	51
รูปที่ 4-14	ลิมส์เหลี่ยมผืนผ้าและลิมส์เหลี่ยมจัตุรัส	53
รูปที่ 4-15	ลิมส์เหลี่ยมผืนผ้าและลิมส์เหลี่ยมจัตุรัสแบบเรียว	54
รูปที่ 4-16	ลิมแบน	54
รูปที่ 4-17	ความเค้นบนลิม	57
รูปที่ 4-18	แรงบนรอยต่อด้วยลิม	57
รูปที่ 4-19	เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ	63
รูปที่ 4-20	การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง	67
รูปที่ 4-21	ผลของค่าไดอะมิทรีลพิตซ์ต่อขนาดของฟันเฟือง สำหรับค่าวงกลม พิตซ์ที่กำหนด เมื่อ ไดอะมิทรีลพิตซ์เล็กลง ขนาดของฟันเฟืองจะโตขึ้น	69
รูปที่ 4-22	การทำงานของฟันเฟืองที่ขบกัน	70
รูปที่ 4-23	ส่วนต่างของบองแบริง	71
รูปที่ 4-24	บองแบริงชนิดต่าง	73
รูปที่ 4-25	โรลเลอร์แบริงชนิดต่าง	75
รูปที่ 4-26	การติดตั้งแบริง	76
รูปที่ 4-27	การติดตั้งแบริงชนิด angular contact หันหลังชนกัน ของชุดแบริง เคลื่อนตัวได้ ในแนวแกนภายในกล่องแบริง การฟรีโหลตทำได้ โดยลือควงแหวนในชนกัน	77
รูปที่ 4-28	การติดตั้งแบริงชนิด angular contact หันหน้าชนกัน ชุดแบริงจะยึดอยู่ระหว่างบ่าเพลลากับแป้นเกลียว การฟรีโหลตทำได้โดยการขันหมุดเกลียวจนกระทั่งวงแหวนนอกชนกัน	78
รูปที่ 4-29	การติดตั้งแบริงชนิด angular contact เรียงตามกัน มีจุดประสงค์ เพื่อใช้รับแรงที่มีค่าสูงในทิศทางเดียว (ทิศทางตามลูกศร) เมื่อ ติดตั้งถูกต้องและแม่นยำ แบริงทั้งสองจะรับแรงเท่ากัน	78
รูปที่ 4-30	ขั้นตอนในการประกอบบองแบริงชนิดมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก	79
รูปที่ 4-31	ขอบเขตของมิติสำหรับอนุกรมมิติของแบริงต่างๆ	80
รูปที่ 5-1	แรงที่กระทำบนเฟือง	97
รูปที่ 5-2	ขนาดเพลลา	99
รูปที่ 5-3	ขนาดใบมีด	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-4(ก)	แรงที่เกิดขึ้นที่เพลา	100
รูปที่ 5-4(ข)	แทนค่าแรงที่เกิดขึ้นที่เพลา	100
รูปที่ 5-5(ก)	แรงที่เกิดขึ้นที่เพลา	101
รูปที่ 5-5(ข)	แทนค่าแรงที่เกิดขึ้นที่เพลา	101
รูปที่ 6-1	แสดงมิติของขุด	104
รูปที่ 6-2	แสดงผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบ	104
รูปที่ 6-3	เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า	105
รูปที่ 6-4	เศษพลาสติกจากการย่อย	107
รูปที่ 6-5	เศษกระดาษหลังจากการย่อย	108
รูปที่ 6-6	เศษกล่องนมจากการย่อย	108
รูปที่ 6-7	กล่องโฟม	109
รูปที่ 7-1	แสดงเครื่องทดสอบ	111
รูปที่ 7-2	แสดงลักษณะที่กินเศษพลาสติก	112
รูปที่ 7-3	แสดงที่กินเศษพลาสติก	112
รูปที่ 7-4	กราฟแสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของขยะแต่ละประเภท	113
รูปที่ 7-5	กราฟแสดงความเปรียบเทียบน้ำหนัก	113
รูปที่ 7-6	กราฟแสดงสมรรถนะเครื่องย่อยขวดพลาสติก	114
รูปที่ 7-7	เครื่องย่อยขวดพลาสติก	116
รูปที่ 7-8	เครื่องย่อยขวดพลาสติก	116
รูปที่ 7-9	เครื่องย่อยขวดพลาสติก	117
รูปที่ 7-10	เครื่องย่อยขวดพลาสติก	117
รูปที่ 7-11	เครื่องย่อยขวดพลาสติก	118
รูปที่ 7-12	เครื่องย่อยขวดพลาสติก	118
รูปที่ 7-13	เครื่องย่อยขวดพลาสติก	119

## สารบัญตาราง

หน้าที่

ตาราง 2-1	แสดงองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช วันที่ 18 สิงหาคม 2537	12
ตาราง 2-2	ราคาขายวัสดุที่นำกลับมารีไซเคิลที่แหล่งทิ้งขยะมูลฝอย	17
ตาราง 2-3	ราคาวัสดุรีไซเคิล	18
ตาราง 2-4	ปริมาณบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก	20
ตาราง 4-1(ก)	โซ่โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976(E)	42
ตาราง 4-1(ก)(ต่อ)	โซ่โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976(E)	43
ตาราง 4-1(ข)	มวลของโซ่โรลเลอร์ตามความยาว	43
ตาราง 4-2	โซ่ฟันตามมาตรฐาน DIN 8190-1954	44
ตาราง 4-3	ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่กระทำสม่ำเสมอ	46
ตาราง 4-4	ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกปานกลาง	47
ตาราง 4-4	ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกปานกลาง(ต่อ)	48
ตาราง 4-5	ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกมาก	49
ตาราง 4-6	จำนวนฟันของเฟืองโซ่	50
ตาราง 4-7	ระยะระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ C	52
ตาราง 4-8	ขนาดมาตรฐานของสปลายน ISO/R 14	56
ตาราง 4-9	ขนาดระบุของเฟลามาตรฐาน ISO/R775-1969	61
ตาราง 4-10	ค่าตัวประกอบความล่า	65
ตาราง 4-11	ขนาดเฟืองมาตรฐาน	69
ตาราง 4-12	มาตรฐานของฟันเฟือง	70
ตาราง 4-13	มาตรฐานของฟันเฟือง	71
ตาราง 4-14	ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	80
ตาราง 4-15	ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง	85
ตาราง 4-15	ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง(ต่อ)	86
ตาราง 4-16	แรงประเมนและตัวประกอบ X และ Y สำหรับ single-row, spherical roller bearings	87
ตาราง 4-17	ตัวประกอบของการกระทำ	88
ตาราง 4-18	ตัวประกอบของสายพาน	88
ตาราง 4-19	ตัวประกอบของเฟือง	88
ตาราง 4-20	แนวทางในการเลือกอายุใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ	90
ตาราง 6-1	แสดงผลการทดสอบการย่อยขวดพลาสติก(PE)	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่

ตาราง 6-2	แสดงผลการทดสอบการย่อยกระดาษลัง	106
ตาราง 6-3	แสดงผลการทดสอบการย่อยกล่องนม	107
ตาราง 7-1	แสดงการทดลองใช้และการแก้ไขปรับปรุง	110
ตาราง 7-2	แสดงสมรรถนะการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก	114
ตาราง 7-3	ข้อมูลจำเพาะทางด้านเทคนิค	115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางสัญลักษณ์

$R_A^x$	คือ แรงปฏิกิริยาในแนวแกน x ที่กระทำที่จุด A
$R_A^y$	คือ แรงปฏิกิริยาในแนวแกน y ที่กระทำที่จุด A
$R_D^x$	คือ แรงปฏิกิริยาในแนวแกน x ที่กระทำที่จุด D
$R_D^y$	คือ แรงปฏิกิริยาในแนวแกน y ที่กระทำที่จุด D
$V_{ab}$	คือ แรงเฉือนบนเพลาในช่วง ab
$M_{ab}$	คือ โมเมนต์บิดในคานช่วง ab
$V_{bc}$	คือ แรงเฉือนบนเพลาในช่วง bc
$M_{bc}$	คือ โมเมนต์บิดในคานช่วง bc
$V_{cd}$	คือ แรงเฉือนบนเพลาในช่วง cd
$M_{cd}$	คือ โมเมนต์บิดในคานช่วง cd
$V_{de}$	คือ แรงเฉือนบนเพลาในช่วง de
$M_{de}$	คือ โมเมนต์บิดในคานช่วง de
$\sigma_{\max}$	คือ ค่าความเค้นมากที่สุด
$\sigma_{\min}$	คือ ค่าความเค้นน้อยที่สุด
$\sigma_M$	คือ ค่าความเค้นเฉลี่ย
$\sigma_a$	คือ ค่าความเค้นส่วนเปลี่ยน
$\tau_a$	คือ ค่าความเค้นเฉือนส่วนเปลี่ยน
$\tau_m$	คือ ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ย
$K$	คือ ตัวประกอบความเค้นหนานแน่น
$K_f$	คือ ตัวประกอบความเค้นหนานแน่นจริง
$\sigma_u$	คือ ความต้านแรงดึงอัลติเมต
$\sigma_y$	คือ ความต้านแรงดึงคราก
$\sigma'_n$	คือ ขีดจำกัดความทนทาน
$\sigma_n$	คือ ค่าความต้านแรงทนทาน
$K_a$	คือ ตัวประกอบของผิว
$K_b$	คือ ตัวประกอบของขนาด
$\tau_y$	คือ ความต้านแรงเฉือนคราก
$N$	คือ ค่าความปลอดภัย
$d$	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
$F_a$	คือ แรงที่กระทำกับเบริงในแนวแกน
$C_o$	คือ แรงสถิตย์ประเมน
$C$	คือ แรงพลวัตประเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F_R$	คือ แรงที่กระทำกับเบร้งในแนวรัศมี
$P$	คือ แรงสมมูล
$X$	คือ ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี
$Y$	คือ ตัวประกอบแรงรุน
$V$	คือ ตัวประกอบการหมุน
$L_{10}$	คือ อายุการใช้งานจริงของเบร้ง
$N_s$	คือ ตัวประกอบความปลอดภัย
$M_\omega$	คือ อัตราทดของสายพาน
$D_P$	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพานอันใหญ่
$d_P$	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพานอันเล็ก
$L_P$	คือ ความยาวพิตช์ของสายพาน
$N_a$	คือ ตัวประกอบแก้ไขส่วน โท้งสัมพัทธ์
$N_s$	คือ ตัวประกอบใช้งาน
$P_R$	คือ กำลังงานที่สายพานลิ้ม 1 เส้นส่งได้
$z$	คือ จำนวนเส้นของสายพานลิ้ม
$\alpha_1$	คือ มุมสัมพัทธ์ของสายพาน
$V$	คือ ความเร็วของสายพาน
$n$	คือ ความเร็วรอบของล้อสายพาน
$F$	คือ แรงที่กระทำกับสายพานขณะส่งกำลัง
$W_P$	คือ กำลังงานที่ต้องการส่ง
$K_1$	คือ ตัวประกอบใช้งาน
$F_i$	คือ แรงดึงในสายพานขณะหยุดนิ่ง
$N_1$	คือ ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติกเป็นวัตถุปัจจัยที่สำคัญทางอุตสาหกรรม เกิดขึ้นเมื่อสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นผลงานทางวิชาการวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการผสมสารเคมี ต่อมาได้พัฒนามาใช้ในกิจการทหารและภาคอุตสาหกรรม

ปัจจุบันพลาสติกกำลังได้รับความนิยมและเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ดังจะเห็นได้จากเครื่องใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติหลายประการ สามารถใช้แทนวัสดุประเภทอื่นๆ ได้ดีโดยมีคุณภาพทัดเทียม นอกจากนั้นยังมีน้ำหนักเบาทำให้สะดวกต่อการขนย้าย พลาสติกบางประเภทยังสามารถบิดงอได้โดยไม่เกิดความเสียหาย สามารถทนต่อกรด ด่างและน้ำมัน ได้ดี ประการสำคัญก็คือกรรมวิธีการผลิตไม่ก่อยุ่งยาก จึงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีราคาถูกกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุประเภทอื่น ประกอบกับอุปนิสัยในการอุปโภคของมนุษย์ที่เปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของอารยธรรมในยุคสมัย จึงทำให้เกิดการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกมากขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก จะเป็นที่ยอมรับถึงประโยชน์อย่างมหาศาลก็ตาม พลาสติกก็กำลังก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน ทั้งที่ปัญหาที่เกิดจากพิษของพลาสติกโดยตรงนั้นแทบจะไม่มี แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันก็คือ พลาสติกได้ถูกระบุว่าเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพลาสติกเป็นวัตถุที่ยากต่อการกำจัดหรือย่อยสลายด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ ต้องใช้เวลานานนับร้อยนับพันปีในการย่อยสลาย นอกจากนั้นการนำขยะพลาสติกไปกำจัดด้วยวิธีการต่างๆ ถ้าทำไม่ถูกวิธีอาจเป็นผลร้ายต่อสภาพแวดล้อมได้อีก

การทิ้งขยะพลาสติกนอกจากจะทำให้เกิดภาพที่ไม่น่าดูแล้วยังทำให้บริเวณดังกล่าวขาดความเป็นระเบียบเรียบร้อยและความสวยงามอีกด้วย นอกจากนั้นยังเป็นสาเหตุที่ทำให้ท่อระบายน้ำเกิดการอุดตัน เกิดน้ำเน่าเสียและน้ำท่วมในชุมชนได้ การกำจัดขยะพลาสติกด้วยวิธีการฝังกลบ อาจทำให้เกิดอุปสรรคต่อการไหลเวียนของน้ำ การซ่อนไซของรากพืชเพื่อหาอาหาร จึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวไม่เหมาะสมกับการเกษตร และยังต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง เนื่องจากต้องใช้พื้นที่มาก การนำขยะพลาสติกไปเผารวมกับขยะประเภทอื่นแม้ว่าจะสามารถทำได้ แต่ถ้าความร้อนในการเผาไม่สูงพอ ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาก๊าซพิษขึ้นได้ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการหลอมตัวติดกับเตาเผาอันจะก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ติดตามมา แม้ว่าปัญหาดังกล่าวจะสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้เตาเผาที่อุณหภูมิสูงก็ตาม แต่ก็ต้องใช้เงินลงทุนอย่างมหาศาล สาเหตุต่างๆ เหล่านี้อาจเป็นผลสืบเนื่องที่ก่อให้เกิดปัญหาในด้านอื่นๆ ติดตามมา ไม่ว่าจะเป็นปัญหาในด้านสุขภาพอนามัย เป็นสาเหตุสำคัญต่อการเกิดโรคมะเร็งไข้เจ็บ ปัญหาด้านความเป็นระเบียบเรียบร้อยของชุมชน การนำพลาสติกที่ย่อยสลายได้ง่ายมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามพลาสติกก็ยังมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ เพราะจะเหมาะกับการใช้งานบางประเภทเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการที่จะนำพลาสติกที่ใช้แล้วจากกองมูลฝอยเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่นั้น จะเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูงเพราะผลิตภัณฑ์พลาสติกส่วนใหญ่จะเป็นบรรจุภัณฑ์ จึงค่อนข้างจะมีปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการขนส่งและการทำความสะอาด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมากแต่น้ำหนักเบา ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการขนส่ง เป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในกานขนส่งต่อเที่ยวสูง นอกจากนั้นลักษณะของผลิตภัณฑ์จะยากต่อการทำความสะอาดส่วนที่อยู่ด้านในอีกด้วย จึงทำให้โรงงานที่รับซื้อต้องเพิ่มขึ้นตอนในขบวนการทำความสะอาดวัสดุเข้าไปอีก เหล่านี้ล้วนเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ราคาซื้อพลาสติกเหล่านี้ต้องลดต่ำลง จากการศึกษาของสำนักวิจัยความสะอาด กรุงเทพมหานคร เมื่อปี 2543 พบว่าราคาซื้อขวดพลาสติกที่แหล่งกำจัดมูลฝอยจะมีราคาเพียงกิโลกรัมละ 4.20-5.30 บาท ในขณะที่การซื้อที่ร้านรับซื้อของเก่า จะตกประมาณกิโลกรัมละ 4.50 บาท เท่านั้น จะเห็นได้ว่าเป็นราคาที่ค่อนข้างต่ำมาก จึงเป็นเหตุให้ขาดแรงจูงใจในการคัดแยกขยะ อันเป็นผลสืบเนื่องทำให้ค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะมูลฝอยและปัญหาต่างๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดขนาดบรรจุภัณฑ์ด้วยการย่อ ย จึงไม่เพียงแต่จะช่วยแก้ปัญหาในการขนส่งวัสดุเหล่านี้ลดลงเท่านั้น แต่จะช่วยให้ปัญหาในการทำความสะอาดลดลงได้อีกด้วย เนื่องจากจะช่วยให้สารละลายสามารถเข้าทำความสะอาด ได้โดยสะดวก ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมด้วยการใช้เครื่องมือกลในการลดขนาดของวัสดุก่อนการจำหน่าย นอกจากจะเป็นการลดความเหนื่อยยากที่เกิดจากการทำงานลงได้ทางหนึ่งแล้วยังช่วยให้เกิดแรงจูงใจในการคัดแยกมูลฝอยเพื่อหมุนเวียนนำกลับมาผลิตใหม่ได้ จึงเป็นการลดปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้เป็นอย่างดี

เครื่องย่อยขวดพลาสติก (Plastic Grinding Machine) จัดเป็นหนึ่งในเครื่องมือในกระบวนการนำขยะพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมารีไซเคิล (Recycle) เป็นเครื่องมือขั้นต้นในกระบวนการผลิตที่ใช้ในการลดขนาดพลาสติกก่อนที่จะนำไปหลอมและตัดเม็ด เครื่องมือประเภทนี้จัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการหลอมละลายและต่อคุณภาพของพลาสติกที่หลอมละลายในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกใหม่ เครื่องมือประเภทนี้ในระยะแรกๆ ได้มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อนำเศษพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ ปัจจุบันได้มีการผลิตใช้เองภายในประเทศ ซึ่งก็มีคุณภาพทัดเทียมและมีราคาถูกกว่ามาก ประกอบกับความต้องการในการแก้ปัญหาขยะพลาสติกที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เครื่องมือประเภทนี้ จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตเกือบทุกประเภทที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์พลาสติก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- (1) เพื่อออกแบบและจัดสร้างเครื่องย่อยขวดพลาสติกต้นแบบ
- (2) เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องย่อยขวดพลาสติกต้นแบบ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- (1) สร้างเครื่องย่อยขวดพลาสติกต้นแบบ
- (2) บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วที่ทำจากเทอร์โมพลาสติกที่มีปริมาตรสุทธิไม่เกิน 950 ซีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

### (1) มูลฝอย

พระราชบัญญัติสาธารณสุขพุทธศักราช 2535 เรื่องการกำจัดมูลฝอย สิ่งปฏิกูลและเปรอะเปื้อน ให้ความหมายของคำว่า มูลฝอย ไว้ดังนี้

มูลฝอย หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร ภาชนะบรรจุหรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น

### (2) พลาสติก

พลาสติก คือ สารสังเคราะห์ (Synthetic Materials) ที่มีมนุษย์คิดขึ้นมาประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคลอรีน สมาคมวิศวกรรมพลาสติก (SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกไว้ดังนี้

พลาสติก คือ วัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คงรูปเมื่อผ่านวิธีการผลิต และมีลักษณะอ่อนตัวในขณะที่ทำการผลิต โดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัดหรือทั้งสองอย่าง

(ก) เทอร์โมพลาสติก คือ พลาสติกที่มีคุณสมบัติเหนียว ยืดตัวได้ดี เมื่อจุดไฟจะเผาไหม้โดยมีควันไฟน้อยและหลอมเหลว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก มีชื่อเรียกว่า พลาสโทเมอร์

(ข) เทอร์โมเซตติง คือ พลาสติกที่ยืดตัวน้อย แข็งเมื่อจุดไฟจะมีควันไฟมากและเผาไหม้หมดไปกับเปลวไฟ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ดูโรเมอร์

### (3) มูลฝอยพลาสติก

มูลฝอยพลาสติก (Plastic Waste) หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติกซึ่งในขณะนั้นคนไม่ต้องการและทิ้งไป เป็นมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ยาก หรือย่อยสลายไม่ได้เลย อาทิเช่น ขวดกระป๋อง ถัง หรือแผ่นฟิล์ม เป็นต้น

### (4) การรีไซเคิล

การรีไซเคิล (Recycle) หมายถึง การนำสิ่งใดสิ่งหนึ่งเข้าสู่กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเพื่อนำกลับมาสู่กระบวนการขึ้นรูปใหม่ โดยต้องมีการปรับปรุงสูตรการขึ้นรูป เพื่อให้ได้คุณภาพเทียบเท่าของเดิมที่ใช้อยู่

### (5) บรรจุภัณฑ์, หีบห่อ, ภาชนะบรรจุ

บรรจุภัณฑ์, หีบห่อ, ภาชนะบรรจุ (Package) หมายถึง สิ่งซึ่งทำหน้าที่รองรับหรือห่อหุ้มผลิตภัณฑ์เพื่อทำหน้าที่ป้องกันผลิตภัณฑ์จากความเสียหายต่างๆ และช่วยอำนวยความสะดวกในการลำเลียงขนส่ง เก็บรักษา

### (6) ขวดพลาสติก

ขวดพลาสติก (Plastic Bottle) เป็นภาชนะกลวงทำจากเทอร์โมพลาสติก เช่น HDPE, LDPE, PVC, PP, PS, และ PC โดยการฉีดหรือเป่าแบบ ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ผง หรือเม็ด ขวดพลาสติกมีน้ำหนักเบา มีความต้านทานต่อการแตกละเอียด สามารถออกแบบได้อย่างอิสระ ใช้พลังงานต่ำ ปิดผนึกได้ดี และไม่ก่อให้เกิดเสียงดังมากในการบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### (7) การย่อยพลาสติก

การย่อย หมายถึง การลดขนาดของพลาสติกแข็งโดยวิธีกล ในการย่อยจะทำให้ได้พลาสติกที่มีขนาดเล็กแตกต่างกันตามต้องการ เหตุผลที่จำเป็นต้องย่อยพลาสติกมีหลายอย่าง เช่น เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสเมื่อทำการผสม ทำให้อบแห้งได้ดี ป้อนเข้าเครื่องได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายได้เร็ว

### (8) เครื่องย่อยพลาสติก

เครื่องย่อยพลาสติก คือ เครื่องมือกลที่ใช้ในการลดขนาดพลาสติกแข็ง เพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ เครื่องย่อยมีหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่ เครื่องรีดย่อย โมตี โมกวน โมตัด และโมแทงตี โดยเครื่องรีดย่อยจะใช้แรงอัด โมตัดใช้การตัดเฉือน ส่วนโมแทงตีใช้การตีให้กระจายและการเสียดสี

### (9) สมรรถนะ

สมรรถนะ (Performance) ความหมายตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2525 ได้ให้ไว้ว่า ความสามารถ สมรรถนะของเครื่องย่อยพลาสติก จึงเป็นคุณสมบัติหรือความสามารถในการทำงานของเครื่องเพื่อผลิตพลาสติกออกมา สำหรับหน่วยนิยมนับเป็นปริมาณต่อหน่วยเวลา

## 1.5 วิธีการศึกษา

ในขั้นตอนการเตรียมการ จะให้ข้อมูลจากที่มีผู้ศึกษาไว้แล้ว (Secondary Data) ส่วนการวิเคราะห์และอภิปรายผลจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ (Primary Data) ขั้นตอนการศึกษามีดังนี้

### 1.5.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

#### (a) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

- ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของขวดพลาสติก
- เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อนำมาผลิตประเภทพลาสติกกลับมาผลิตใหม่
- ทฤษฎีการหาสมรรถนะและค่าใช้จ่ายในการทำงานของอุปกรณ์ลดขนาดพลาสติก
- การคาดการณ์ปริมาณของขยะมูลฝอย องค์ประกอบทางกายภาพและวิธีกำจัด
- อัตราค่ากระแสไฟฟ้า

#### (b) วางแผนการทดสอบ

- กำหนดตัวแปรที่จะทำการทดสอบ คือ ชนิดและปริมาณของมูลฝอยพลาสติก
- กำหนดเครื่องมือในการเก็บข้อมูล เช่น แบบบันทึกข้อมูล นาฬิกาจับเวลา เครื่องวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เครื่องชั่งน้ำหนัก
- กำหนดลำดับขั้นในการทดสอบ เช่น การเตรียมวัสดุ การทดสอบ ฯลฯ
- กำหนดวิธีวิเคราะห์ผล โดยใช้ค่าอัตราส่วนร้อยละ , ค่าเฉลี่ย , สมรรถนะในการทำงานของอุปกรณ์ลดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ดำเนินการทดสอบตามลำดับขั้นที่กำหนดไว้ในขั้นเตรียมการ

### 1.5.3 ขั้นตอนการประมวลผลและการอภิปรายผล

### 1.5.4 ขั้นตอนการสรุปและเสนอแนะ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์ลดขนาดขวดพลาสติกใช้แล้วให้สามารถทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- (2) เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการตัดสินใจในการลงทุนทำธุรกิจการรีไซเคิลพลาสติก
- (3) ได้เครื่องย่อยขวดพลาสติกต้นแบบ
- (4) เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเครื่องย่อยขวดพลาสติกต้นแบบที่มีสมรรถนะสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ความรู้ทั่วไป

### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติกหรือที่เรียกว่า “โพลิเมอร์” (Polymer) เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นมาตามกระบวนการที่เรียกว่า “โพลิเมอร์ไรเซชัน” (Polymerization) ซึ่งเป็นการก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้หน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า “โมโนเมอร์” (Monomer) เกิดการรวมตัวเชื่อมต่อกัน ทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้นและแปรสถานะทางกายภาพจากเดิมที่อาจจะอยู่ในรูปของก๊าซหรือของเหลว กลายเป็นของแข็งซึ่งจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ

พลาสติกสามารถจำแนกตามคุณสมบัติและตามลักษณะทางการค้าได้ ดังนี้

#### 2.1.1 พลาสติกจำแนกตามคุณสมบัติ

พลาสติกจำแนกตามคุณสมบัติเมื่อได้รับความร้อนได้เป็น 2 ประเภทคือ เทอร์โมเซตติง และเทอร์โมพลาสติก

##### (1) เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) พลาสติกชนิดนี้จะมีรูปทรงที่ถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ความดันหรือตัวเร่งปฏิกิริยา การขึ้นรูปทำได้ยาก และไม่สามารถหลอมเหลวเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังมีความคงทนสูง รวมถึงการใช้งานยังอยู่ในวงแคบ ทำให้ในปัจจุบันมีการใช้งานในอุตสาหกรรมเพียงไม่กี่ประเภท พลาสติกประเภทนี้ได้แก่ เมลามีน ฟีนอลิก ยูเรียฟอร์มมาดีไฮด์ โพลีเอสเตอร์ที่ไม่อิ่มตัว เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องครัวต่างๆ เช่น ถ้วยชาม หม้อหุง กระจุม ชิ้นส่วนปลั๊กไฟ พลาสติกหล่อ เช่น ชิ้นส่วนในเครื่องบิน ที่คาดผม เป็นต้น เทอร์โมเซตติงมีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่สำคัญและใช้กันอยู่ทั่วไปมีดังนี้คือ อะมิโน (Amino) ฟีนอลิก (Phenolic) โพลีเอสเตอร์ (Unsaturated Polyester Resin) ซิลิโคน (Silicone) ยูรีเทน (Uretane) หรือโพลียูรีเทน (Polyurethane)

##### (2) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้วเปรียบเสมือนน้ำแข็งเมื่อทำให้เย็นน้ำจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็จะละลาย และเมื่อทำให้เย็นก็จะกลับมาแข็งตัวอีกครั้ง และจะกลับไปกลับมาไม่มีที่สิ้นสุดเรียกว่า “Plastics With a Memory” พลาสติกประเภทนี้เมื่อได้รับความร้อน หรือความดันระหว่างขบวนการขึ้นรูปจะเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพ กล่าวคือเมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนนุ่มและเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัว โดยที่โครงสร้างทางเคมีจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ทำให้พลาสติกประเภทนี้มีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับสู่กระบวนการซ้ำๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่ายต้นทุนการผลิตต่ำ และมีหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ปัจจุบันมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ของเด็กเล่น ดอกไม้ประดิษฐ์ ชิ้นส่วนรถยนต์ และผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ พลาสติกประเภทนี้ที่สำคัญได้แก่ โพลีเอทิลีน

(PE) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีสไตรีน (PS) โพลีเอทิลีนฟทาเลต (PET) ฯลฯ

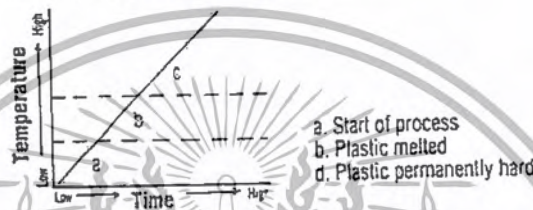
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญและใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปได้แก่ อะซีทัล (Acetals) อะครีริก (Acrylic) ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbons) โพลีเอไมด์ (Polyimide) หรือ ไนลอน (Nylon) โพลีโอเลฟิน (Polyolefin) โพลีเอทีลีน (Polyethylene) โพลีสไตรีน (Polystyrene) เอบีเอส (ABS) ไวนิล (Vinyl) เซลลูโลซิก (Cellulose) โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ไอโอโนเมอร์ (Ionomer) โพลีเอไมด์ (Polyamide) โพลีซัลโฟน (Polysulphone) เอทีลีน ไวนิลอะซิเตต (EVA) โพลีเอสเตอร์ (Polyester)

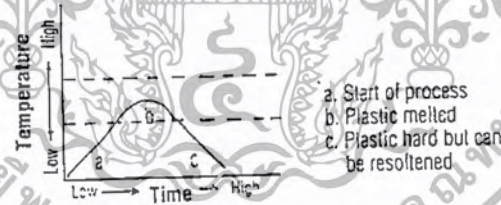
คุณลักษณะของเทอร์โมเซตติ้งและเทอร์โมพลาสติก ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2-1 และ 2-2 ตามลำดับ

Example of a Thermoset Processing Heat-Time Profile Cycle



รูป 2-1 แสดงคุณลักษณะของเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก

Example of a Thermoplastic Processing Heat-Time Profile Cycle



รูป 2-2 แสดงคุณลักษณะของเทอร์โมพลาสติก

ที่มา : Designing with Plastics and Composites : A Handbook

ในประเทศไทยนิยมใช้พลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติกกันมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากความสามารถในงานหลายประเภท โดยเฉพาะงานด้านบรรจุภัณฑ์ พลาสติกที่มีการผลิตในรูปแบบต่างๆ เช่น

โพลีเอทีลีน (PE) ผลิตเป็นถุงพลาสติกชนิดร้อนและชนิดเย็น ขวด ถัง กระจสบ พลาสติก และแผ่นพลาสติกประเภทอ่อนนุ่ม เป็นต้น

โพลีโพรพิลีน (PP) นิยมผลิตมาในรูปถุงใส่อาหาร เสื้อผ้าสำเร็จรูป กระจสบพลาสติก ปูนซีเมนต์ น้ำตาล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) และ โพลีสไตรีน (PS) นิยมผลิตถังบรรจุผักสด ผลไม้ และเนื้อสดบางชนิด เป็นต้น

เนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลายประการของพลาสติกโดยเฉพาะต้นทุนต่ำ ประกอบกับบรรจุภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้การใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมขยายตัวอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างไม่หยุดยั้ง ส่งผลให้เกิดปัญหาทางมลภาวะตามมา ซึ่งกระทบต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากมีขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้อุดตันลำคลอง

พลาสติกธรรมดาทั่วไป (Commodity Plastics) ซึ่งมีราคาไม่สูงนัก ขึ้นรูปง่าย มีคุณสมบัติทางกลและทางเคมีในระดับปานกลาง หาได้ง่าย เช่น โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน โพลีไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น

พลาสติกชนิดพิเศษ (Specialty Plastics) มีคุณสมบัติดีเด่นหลายประการใช้กับงานเฉพาะอย่าง เช่น เทฟลอน (Teflon) เป็นต้น

พลาสติกวิศวกรรม (Engineering Plastics) มีราคาสูงแต่คุณสมบัติทางกลที่ดีมาก ทนทานต่อความร้อนได้สูง ใช้กับงานด้านวิศวกรรม เช่น โพลีคาร์บอเนต ไนลอน เอซีเอส เป็นต้น

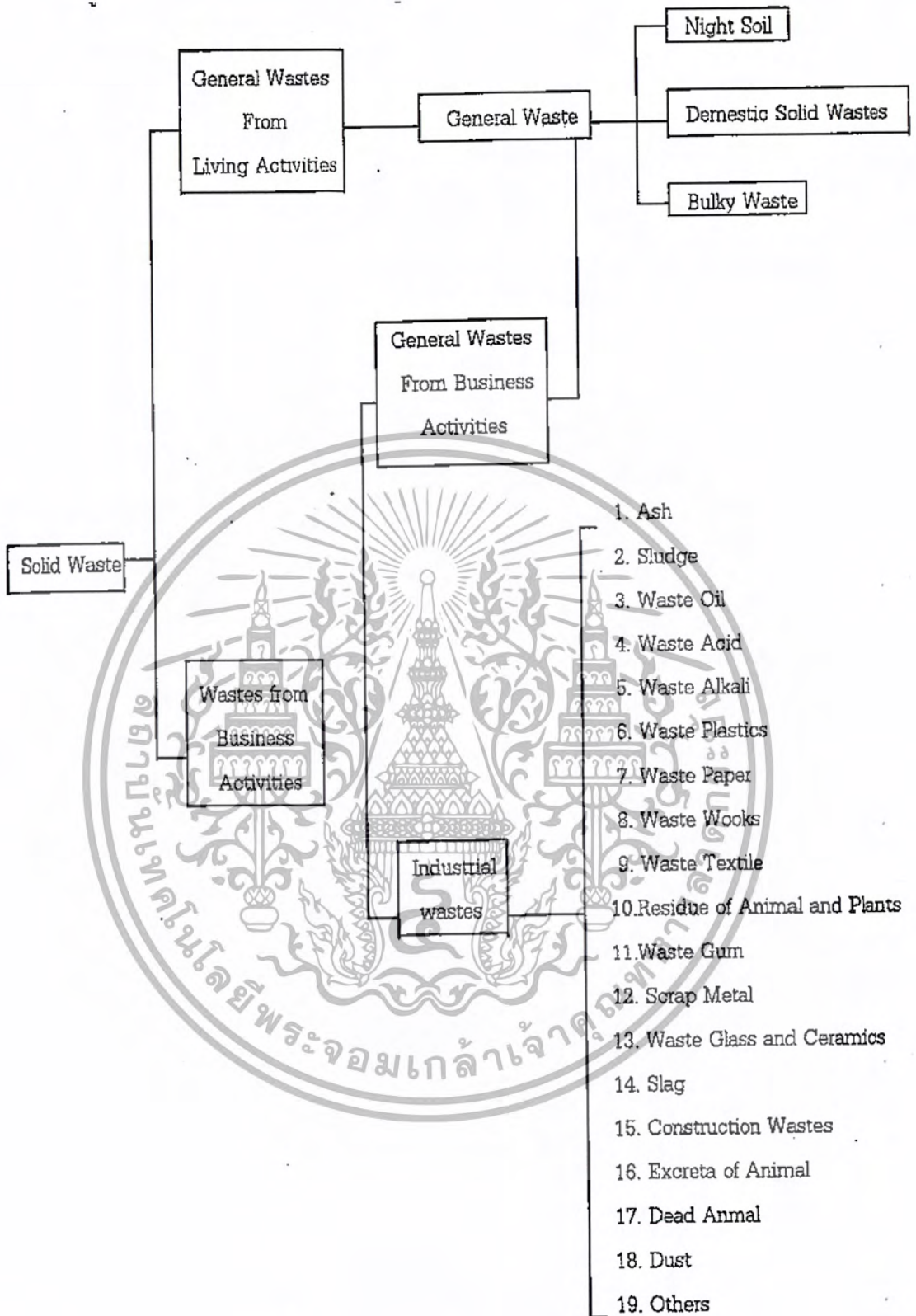
## 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมูลฝอย

### 2.2.1 ประเภทของมูลฝอย

มูลฝอยอาจถูกจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ มูลฝอยโดยทั่วไป และมูลฝอยจากงานอุตสาหกรรม

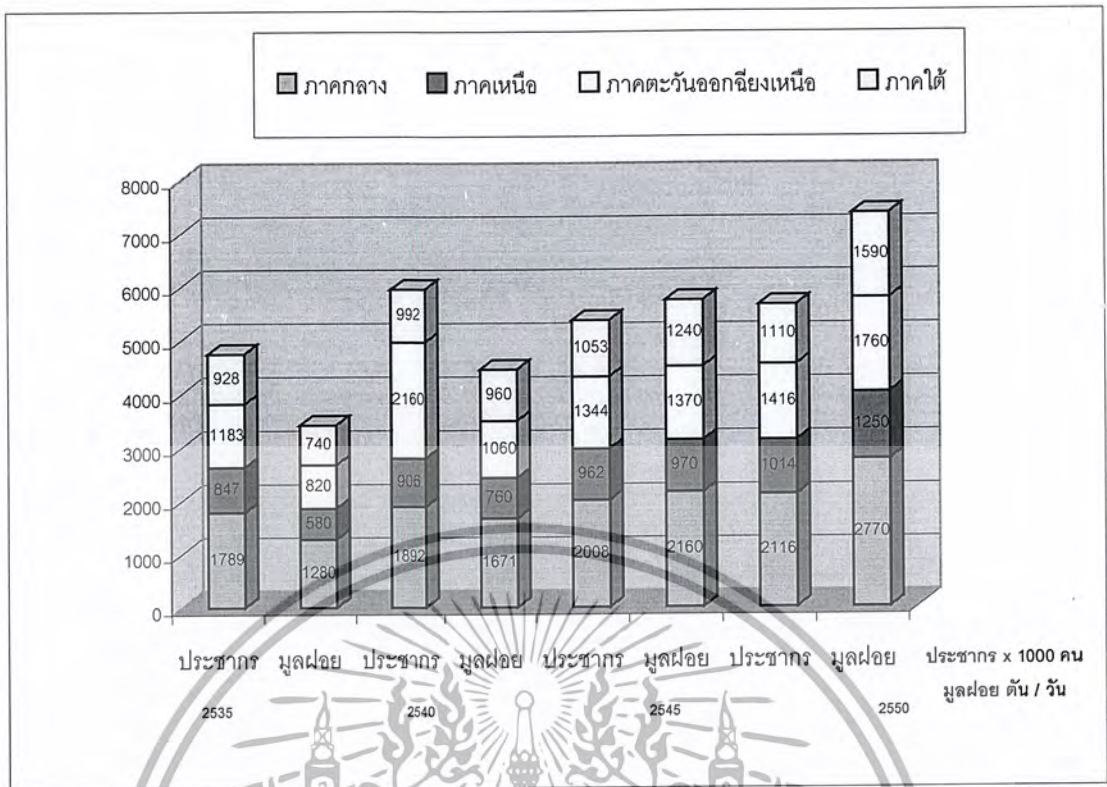
มูลฝอยโดยทั่วไป (General Wastes) ซึ่งเกิดขึ้นจากการดำรงชีพ (Living Activities) และการดำเนินธุรกิจ (Business Activities) ส่วนหนึ่ง

มูลฝอยจากงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastes) ซึ่งเป็นอีกส่วนหนึ่งของมูลฝอยที่เกิดจากการดำเนินธุรกิจเช่นกัน



รูปที่ 2-3 แสดงการจำแนกชนิดของมูลฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 แผนภูมิแสดงการคาดการณ์ปริมาณมูลฝอยทั่วประเทศในอีก 5 ปีข้างหน้า

จากรูปที่ 2-4 จะเห็นได้ว่าปัจจุบัน (ปี 2535) ปริมาณมูลฝอยที่เกิดในเขตเทศบาลของภาคกลาง มีจำนวนสูงสุดคือ วันละประมาณ 1,280 ตัน รองลงมาได้แก่ เทศบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ วันละประมาณ 820 ตัน ภาคใต้มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นวันละ 740 ตัน และเทศบาลในภาคเหนือมีมูลฝอยเกิดขึ้นน้อยที่สุด วันละ 580 ตัน ปริมาณมูลฝอยรวมของเทศบาลทั่วประเทศเท่ากับประมาณ 3,420 ตันต่อวัน โดยมีปริมาณมูลฝอยที่ตกค้าง ซึ่งไม่ได้จัดเก็บและก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อมนั้น จากการสำรวจพบว่าเทศบาลมีอัตรามูลฝอยตกค้างเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 22 ดังนั้นคาดว่าในปี 2535 มีมูลฝอยตกค้างในเขตเทศบาลทั่วประเทศจะมียอดรวมประมาณ 753 ตันต่อวัน จากการคาดการณ์ในระยะ 15 ปีข้างหน้าคือในปี 2550 จะมีปริมาณมูลฝอยที่เกิดในเขตเทศบาลทั่วประเทศเพิ่มขึ้นอีกเกินกว่าหนึ่งเท่าตัว คือประมาณวันละ 7,370 ตัน และคาดว่าจะมีมูลฝอยตกค้างประมาณวันละ 1,620 ตัน

วิธีการกำจัดมูลฝอย พบว่าเทศบาลเกือบทั้งหมดได้ใช้วิธีการกำจัดมูลฝอยแบบเทกองบนพื้นหรือในหลุมแล้วเผาหรือใช้ดินกลบทับ ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และไม่ถูกสุขลักษณะ เทศบาลส่วนใหญ่ได้นำมูลฝอยติดเชื้อจากสถานพยาบาลไปกำจัดรวมกับมูลฝอยชุมชนในสถานที่กำจัดมูลฝอย ทำให้มีการปนเปื้อนและเป็นอันตรายจากการแพร่กระจายของเชื้อโรค ต่อสภาพแวดล้อมมากขึ้น ปัจจุบันมีจำนวนเทศบาลไม่มากนักที่ได้ดำเนินการกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ ได้แก่

เทศบาลเมืองขอนแก่น นครราชสีมา และสงขลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 มูลฝอยจากสุขาภิบาล

อัตราการผลิตมูลฝอยของสุขาภิบาลทั่วประเทศ แยกตามรายภาค ปรากฏว่าสุขาภิบาลในภาคกลางมีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.624 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน และต่ำสุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่ากับ 0.535 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 7 ส่วนปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดของชุมชนในเขตสุขาภิบาลทั่วประเทศ รวมทั้งการคาดการณ์ในอนาคต 15 ปีข้างหน้า ปัจจุบันปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตสุขาภิบาลของภาคกลาง มีจำนวนสูงสุดวันละ 1,610 ตัน รองลงมา คือ สุขาภิบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นวันละ 1,230 ตัน ภาคเหนือมีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นวันละประมาณ 920 ตัน และสุขาภิบาลในภาคใต้ซึ่งมีจำนวนประชากรน้อยที่สุด มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นเพียงวันละประมาณ 370 ตัน ปริมาณมูลฝอยรวมในเขตสุขาภิบาลทั่วประเทศ วันละประมาณ 4,140 ตัน ปริมาณมูลฝอยที่ตกค้างในเขตสุขาภิบาลทั่วประเทศเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 39 ดังนั้นจะมีปริมาณมูลฝอยตกค้างรวมวันละประมาณ 1,615 ตัน ในปี 2550 ปริมาณมูลฝอยในเขตสุขาภิบาลคาดว่าจะมีมูลฝอยตกค้างอีกวันละประมาณ 3,480 ตัน หากประสิทธิภาพในการจัดเก็บมูลฝอยยังคงเหมือนเดิม

วิธีการกำจัดมูลฝอยของสุขาภิบาลทั่วประเทศทั้งหมด จากการสำรวจพบว่าใช้การเทกองบนพื้นหรือในหลุม และเผาทิ้งเป็นครั้งคราว เพื่อลดปริมาณให้น้อยลง บางแห่งได้ไกลบเพื่อปิดมูลฝอย ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่ไม่ถูกสุขลักษณะ การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อได้นำไปกำจัดรวมกับมูลฝอยทั่วไปของชุมชน

## 2.2.3 มูลฝอยจากนิคมอุตสาหกรรม

ลักษณะการเกิดมูลฝอยในโครงการนิคมอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่ มูลฝอยในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม (เขตอุตสาหกรรมส่งออกและเขตอุตสาหกรรมทั่วไป) และมูลฝอยจากเขตพื้นที่งานพาณิชย์กรรมและเขตที่พักอาศัยสำหรับลักษณะมูลฝอยนั้นในเขตพาณิชย์กรรมและที่พักอาศัยจะมีลักษณะเหมือนกับมูลฝอยของชุมชนทั่วไป ส่วนลักษณะมูลฝอยในเขตอุตสาหกรรมจะแปรผันกับประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่เข้าไปประกอบการในนิคมฯ นั้นๆ ซึ่งอาจจะมีมูลฝอยหรือของเสียที่เป็นอันตราย (hazardous waste) รวมอยู่ด้วย ในด้านปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในนิคมอุตสาหกรรมที่ดำเนินการแล้วรวม 12 แห่ง จากการสำรวจคาดว่าปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นรวม 523 ตันต่อวัน และเมื่อนิคมอุตสาหกรรมทั้งหมด 18 แห่ง เปิดดำเนินการทุกโครงการ คาดว่าปริมาณมูลฝอยจะเกิดขึ้นรวม 678 ตันต่อวัน

วิธีการกำจัดมูลฝอยทั้งหมดภายในนิคมฯ โดยเฉพาะมูลฝอยทั่วไปที่เกิดขึ้นในพื้นที่พาณิชย์กรรมและที่อยู่อาศัย มูลฝอยหรือวัสดุเหลือใช้จากขบวนการผลิต เป็นภาระหน้าที่ของแต่ละนิคมฯ ในการเก็บรวบรวมและกำจัดมูลฝอยหรือของเสียเหล่านั้น วิธีการกำจัดมูลฝอยที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

สำหรับองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2537 ที่สำรวจโดย บริษัท ซีคอก จำกัด พบว่าในมูลฝอยประเภทเผาไหม้ได้ กระจายและฝ้ามี่จำนวนลดลง ในขณะที่พลาสติก ยาง หนัง ผัก ผลไม้ และเศษอาหารมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่วนมูลฝอย

ประเภทที่เผาไม่ได้ แก้วและโลหะ จะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ไม่มีจำนวนลดลง รายละเอียดดังกล่าวได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2-1

องค์ประกอบของมูลฝอย	น้ำหนัก(กก.)	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
1.กระดาษ	132.5	17.75
2.พลาสติก	116.2	15.56
3.ผ้า	16.7	2.23
4.แก้ว	47.4	6.35
5.โลหะ	35.2	4.71
6.กระเบื้องเซรามิก	3.1	0.41
7.ไม้	3.4	0.45
8.ยาง หนึ่ง	38.4	5.14
9.ผัก ผลไม้ และเศษอาหาร	271.7	36.39
10.อื่นๆ	82.2	11.01
รวม	746.8	100

ตารางที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช วันที่ 18 สิงหาคม 2537

จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ, (2537) พบว่ามีมูลฝอยที่เป็นบรรจุภัณฑ์ ณ สถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช คิดเป็นร้อยละ 26.8 โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถจำแนกโดยเรียงตามลำดับได้ดังนี้คือ

พลาสติก	ร้อยละ 11.88
กระดาษ	ร้อยละ 6.58
แก้ว	ร้อยละ 4.64
โลหะ	ร้อยละ 3.24
ผ้า	ร้อยละ 0.26
กระเบื้องเซรามิก	ร้อยละ 0.21

เมื่อวิเคราะห์ตามชนิดของพลาสติกที่เป็นบรรจุภัณฑ์พบว่า พลาสติกชนิด PP (Polypropylene) มีจำนวนสูงสุด คือร้อยละ 4.42 ในจำนวนดังกล่าวเป็น ถุงร้อน ถุงกระสอบ

พลาสติก	ร้อยละ 5.45
กระดาษ	ร้อยละ 3.06
แก้ว	ร้อยละ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะ	ร้อยละ 1.27
กระเบื้องเซรามิก	ร้อยละ 0.09

เมื่อวิเคราะห์ตามชนิดของพลาสติกที่เป็นบรรจุภัณฑ์ พบว่าพลาสติกชนิด PE (Polyethylene) มีจำนวนสูงที่สุด คือร้อยละ 2.61 ในจำนวนดังกล่าวเป็น ถุงเย็น ขวดน้ำดื่มเป็นส่วนใหญ่ พลาสติกที่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีจำนวนรองลงมาคือ พลาสติก PP (Polypropylene) ซึ่งมีจำนวนร้อยละ 1.13 ซึ่งได้แก่ ถุงร้อน ถุงกระสอบพลาสติก ขวดบรรจุน้ำยาสระผม ขวดบรรจุน้ำยาทำความสะอาดเป็นส่วนใหญ่

สำหรับองค์ประกอบมูลฝอยที่ไม่ใช่บรรจุภัณฑ์ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช สรุปตามลำดับได้ดังนี้

ผัก ผลไม้ และเศษอาหาร	ร้อยละ 36.39
กระดาษ	ร้อยละ 11.17
ยาง หนึ่ง	ร้อยละ 5.14
พลาสติก	ร้อยละ 3.68
ผ้า	ร้อยละ 1.97
แก้ว	ร้อยละ 1.71
โลหะ	ร้อยละ 1.47
ไม้	ร้อยละ 0.45
กระเบื้องเซรามิก	ร้อยละ 0.20
อื่นๆ	ร้อยละ 11.01

สำหรับพลาสติกที่ไม่ใช่บรรจุภัณฑ์ที่พบร้อยละ 3.68 นั้น แบ่งออกเป็นพลาสติกชนิด PVC เช่น ฉนวนสายไฟฟ้า เศษผ้าปูโต๊ะ เป็นต้น จำนวนร้อยละ 0.89 พลาสติกชนิด PE เช่น แผ่นฟิล์มคลุมอาหาร จำนวนร้อยละ 0.67 พลาสติกชนิด PP เช่น พลาสติกคลุมสินค้า หลอด เป็นต้น จำนวนร้อยละ 0.75 พลาสติกชนิด PS เช่น ของเด็กเล่น เศษไม้บรรทัด เป็นต้น จำนวนร้อยละ 0.43 พลาสติกชนิด EPS เช่น โฟมกันกระแทก จำนวนร้อยละ 0.43 ที่เหลือเป็นพลาสติกชนิด Thermosetting Plastic เช่น พื้นรองเท้า รองเท้าฟองน้ำ อีกร้อยละ 0.51

องค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยหนองแขม พบว่ามี ผัก ผลไม้ และ เศษอาหารมากที่สุด โดยพบมากถึงร้อยละ 63.73 โดยน้ำหนักรองลงมาคือพลาสติกร้อยละ 8.63 และ กระดาษร้อยละ 7.54

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบมูลฝอยที่เป็นบรรจุภัณฑ์ พบว่ามีมูลฝอยที่จัดเป็นบรรจุภัณฑ์คิดเป็น ร้อยละ 12.04 โดยน้ำหนักซึ่งสามารถจำแนกโดยจัดตามลำดับได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเศษพลาสติกที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก โรงงานในกลุ่มนี้ได้แก่ โรงงานผลิตของเด็กเล่น โรงงานผลิตท่อน้ำ โรงงานผลิตโฟม โรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ โรงงานผลิตภาชนะพลาสติกบรรจุเครื่องดื่ม เป็นต้น ของเสียจากโรงงานเหล่านี้ส่วนใหญ่คือ

**เศษ PVC แข็ง** (บางโรงงานมีมากถึง 150 ตัน/เดือน) บางโรงงานจะนำไปขายแก่ผู้มารับซื้อในราคา 40,000 บาท/ตัน แต่บางโรงงานจะนำมาใช้ในการผลิตใหม่

**เศษ PVC อ่อน** (บางโรงงานมีมากถึง 40 ตัน/เดือน) ทางโรงงานจะนำไปขายแก่ผู้มารับซื้อในราคา 35,000 บาท/ตัน

**เศษพลาสติก PP** (บางโรงงานมีมากถึง 3 ตัน/เดือน) ทางโรงงานจะนำไปขายแก่ผู้มารับซื้อในราคา 16,000 บาท/ตัน

**เศษพลาสติก PE** (บางโรงงานมีมากถึง 9 ตัน/เดือน) ทางโรงงานจะนำมาใช้ในการผลิตใหม่เกือบทั้งหมด มีส่วนน้อยที่ขายให้แก่ผู้มารับซื้อ

**เศษโฟม (พลาสติก)** (บางโรงงานมีมากถึง 4 ตัน/เดือน) ทางโรงงานจะนำมาบดให้ละเอียดแล้วขายแก่ผู้มารับซื้อในราคา 17,000 บาท/ตัน

**เศษพลาสติก LDPE** (บางโรงงานมีมากถึง 1 ตัน/เดือน) ทางโรงงานจะนำไปขายแก่ผู้มารับซื้อในราคา 16,000 บาท/ตัน

**เศษด้านข้างและหนังเทียมที่เสีย** (บางโรงงานมีมากถึง 5 ตัน/เดือน) ทางโรงงานจะนำไปขายแก่ผู้มารับซื้อในราคา 1,000 บาท/ตัน

### 2.3 สถานการณ์ด้านการจัดการมูลฝอยพลาสติก

ปัจจุบันปริมาณมูลฝอยพลาสติกกำลังเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากพลาสติกกำลังเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การปฏิเสธการใช้ผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติกไม่เพียงแต่จะทำให้ต่อสู้อุบัติภัยธรรมชาติอันมีจำนวนจำกัดไปเพียงแต่อย่างเดียว แต่ยังจะส่งผลให้น้ำหนักและปริมาตรของขยะมูลฝอยเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและราคาของบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้กับชีวิตประจำวันของมนุษย์ได้เพิ่มสูงขึ้นมาก เพ็ชรพร (2536) รายงานว่าในประเทศเยอรมันนี้ ได้เคยมีผู้วิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นถ้ามีข้อห้ามมิให้ใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกในชีวิตประจำวัน พบว่าน้ำหนักของขยะจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 404 ปริมาตรของขยะเพิ่มขึ้นร้อยละ 256 ราคาของบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 201 และการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 212 ดังรูปที่ 2-5



## 2.4 ธุรกิจการซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสีย

จากรายงานของหุททัย (2534) พบว่า ธุรกิจนี้มีได้มีเฉพาะในประเทศเท่านั้น แต่เป็นระบบที่มีการใช้ทั่วไปทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น และประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย เป็นต้น การซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสีย (Waste Material Exchange) ส่วนใหญ่จะดำเนินการโดยเอกชน สำหรับในประเทศไทยดำเนินการโดยกลุ่มเอกชน 5 กลุ่ม ได้แก่

1. ร้านรับซื้อของเสี่ย่อย (Small scale recycle shops) ส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ใกล้เคียงกับสถานที่ทิ้งมูลฝอยของเทศบาล หรือสุขาภิบาล จะทำหน้าที่รับซื้อวัสดุจากเจ้าหน้าที่เก็บขนมูลฝอย และผู้ซุกซุกมูลฝอย เช่น ขวด แก้ว เศษกระดาษ เศษพลาสติก เศษโลหะ ฯลฯ ที่คัดแยกมาจากกองมูลฝอย
2. สามล้อรับซื้อวัสดุเหลือใช้ตามบ้าน (3 - wheelers) ทำหน้าที่รับซื้อวัสดุเหลือใช้จากตามบ้านต่างๆ แล้วนำไปขายต่อให้แก่ร้านรับซื้อของเก่าต่อไป
3. ร้านรับซื้อของเก่า (Junk shops) จะมีการจดทะเบียนการค้าถูกต้องตามกฎหมาย เพื่อทำหน้าที่รับซื้อ ขวด กระดาษ เศษพลาสติก เศษโลหะจากสามล้อรับซื้อวัสดุเหลือใช้ และผู้ที่ซุกซุกมูลฝอยตามถังรองรับมูลฝอย แล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพวัสดุดังกล่าวเล็กน้อย เช่น ล้างขวดให้สะอาด แยกกระดาษออกเป็นหมวดหมู่ ทำความสะอาดพลาสติก เป็นต้น หลังจากนั้นจะนำไปขายต่อให้แก่โรงงานอุตสาหกรรม
4. พ่อค้ารับซื้อของเก่ารายใหญ่ (Wholesaler) จะทำสัญญากับ โรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ โรงงานผลิตแก้ว โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โรงงานผลิตเหล็กและลวดเหล็ก ฯลฯ ในการจัดหา ขวด แก้ว กระดาษ พลาสติก โลหะ และอื่นๆ ตามปริมาณ ชนิด และคุณภาพที่โรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวต้องการ หลังจากนั้น wholesaler จะออกไปกว้านซื้อวัสดุดังกล่าวจากร้านรับซื้อของเสี่ย่อย และร้านรับซื้อของเก่า พร้อมทั้งทำการปรับปรุงคุณภาพวัสดุนั้นจนได้ปริมาณ ชนิด และคุณภาพตามที่ต้องการแล้วจัดส่งให้โรงงานอุตสาหกรรม เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าต่อไป
5. โรงงานอุตสาหกรรม (Industry) โรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ในระบบ Waste Material Exchange จะทำหน้าที่รับซื้อวัสดุเหลือใช้ และของเสียจากกระบวนการผลิตมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าหรือขายต่อไปยังโรงงานอื่นๆ ที่สามารถได้ประโยชน์จากของเสียดังกล่าวได้

ในการนำพลาสติกกลับมารีไซเคิลใหม่พบว่าไม่เพียงแต่จะเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อมและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติลงเท่านั้น แต่ยังทำให้เกิดรายได้กับผู้ที่เกี่ยวข้องกับวงการธุรกิจซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสียอีกด้วย จากรายงานของ Pimie (1989) พบว่าของเสียนำกลับมารีไซเคิลได้ที่พนักงานขนขยะมูลฝอยกักกลับคืนมาได้จะอยู่ระหว่าง 50-150 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยรายได้ในแต่ละวันจะอยู่ระหว่าง 30-300 บาทต่อคน

สำหรับราคาขายวัสดุที่นำกลับมารีไซเคิลได้ที่แหล่งทิ้งขยะมูลฝอย ซึ่งสำรวจโดยสำนักการศึกษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2-2

วัสดุ/กก.	ราคาขาย (บาท)
ขวดพลาสติก	4.00-5.50
ขวดแตก	0.20-0.30
ขวดแม่โจง (สีขาว)	0.70-0.80
ขวดเบียร์ (สีน้ำตาล)	0.10-0.20
เหล็ก	1.50-1.60
อลูมิเนียม	14.70-17.70
ทองแดง	39.70-49.70
กระดาษที่ใช้เขียน	3.20-3.30
หนังสือพิมพ์	1.30-1.80
เศษกระดาษ	0.80-1.10
กระดาษแข็ง	1.20-1.40

ที่มา : สำนักวิชาการความสะอาด กรุงเทพมหานคร (1992)

ตาราง 2-2 ราคาขายวัสดุที่นำกลับมารีไซเคิลที่แหล่งทิ้งขยะมูลฝอย

ในกรุงเทพมหานคร ราคาขายของวัสดุแต่ละชนิดในแต่ละระดับของกระบวนการรีไซเคิลจะแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2-2 โดยทั่วไปผู้ใหญ่จะมีรายได้จากการขายวัสดุที่รวบรวมมาได้ประมาณ 30-150 บาทต่อวัน ส่วนเด็กจะมีรายได้ประมาณ 50-80 บาทต่อวัน จากรายงานของ ERL, 1989 ประมาณร้อยละ 41.9 ของผู้เก็บขนขยะมูลฝอย จะมีรายได้ประมาณ 30-60 บาทต่อวัน ขณะที่อีกร้อยละ 36.7 มีรายได้ประมาณ 65-90 บาทต่อวัน ส่วนที่เหลือจะมีรายได้ประมาณ 100-120 บาทต่อวัน เฉลี่ยประมาณ 75 บาทต่อวัน ประมาณร้อยละ 45.3 ทั้งครอบครัวจะมีรายได้เฉลี่ยต่อปี 10,000-50,000 บาท ขณะที่อีกร้อยละ 42 จะมีรายได้อยู่ในช่วง 50,000-100,000 บาท ส่วนที่เหลือจะมีรายได้มากกว่าปีละ 100,000 บาทราคาวัสดุรีไซเคิลได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2-3

วัสดุ	ราคา(บาท/กก.)	
	รับซื้อตามบ้าน	ร้านรับซื้อของเก่า
กระดาษ		
หนังสือพิมพ์	1	1.50-2.00
กระดาษที่ใช้เขียน		3.5
เศษกระดาษ		1.00-1.30
กระดาษแข็ง		1.50-1.70
ขวด		
เบียร์ (สีน้ำตาล)		0.30-0.40
แม่โขง (สีขาว)	0.5	1
แตก	0.2	0.5
โลหะ		
เหล็ก		1.8
อลูมิเนียม		15.00-18.00
ทองแดง		40.00-50.00
พลาสติก		
ขวด	4	5.5
กระเบื้อง	5	
กระป๋อง	3	

ที่มา : สำนักวิจัยความสะอาด กรุงเทพมหานคร

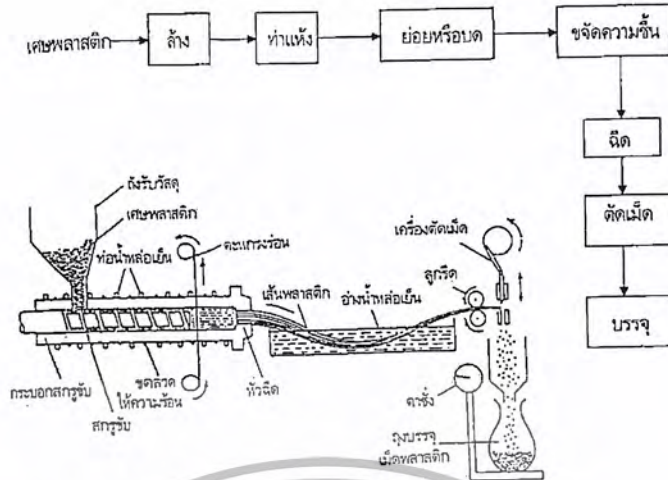
ตารางที่ 2-3 ราคาวัสดุรีไซเคิล

กระบวนการรีไซเคิลพลาสติกที่โรงงานพลาสติกมหาคุณ ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 2-7

การใช้ประโยชน์จากพลาสติกเก่า จะช่วยให้โรงงานลดค่าใช้จ่ายในการผลิตลงได้ จากการศึกษาของ Lohani (1984) พบว่าอัตราส่วนของผลประโยชน์เทียบกับค่าใช้จ่ายในการผลิต (Benefit/Cost Ratio, B/C Ratio) โดยการนำของเสียมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต มีค่าสูงกว่า B/C Ratio ของการผลิตโดยการนำวัตถุดิบบริสุทธิ์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต กล่าวคือ การนำของเสียพลาสติกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต 100% จะมีค่า B/C Ratio เท่ากับ 1.57 ในขณะที่การนำวัตถุดิบบริสุทธิ์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต 100% จะมีค่า B/C Ratio เท่ากับ 0.81 ค่า B/C Ratio ที่มีค่าสูงแสดงว่าผลประโยชน์ที่ได้รับสูงกว่าค่าใช้จ่าย

ค่า B/C Ratio ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-7 กระบวนการรีไซเคิลที่โรงงานพลาสติกมหาคุณ

## 2.5 รีไซเคิลกับการย่อยสลาย : แนวทางแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติกในปัจจุบัน

เมื่อปี 2513 ได้มีการค้นพบพลาสติก (Polymer) ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยพลาสติกหรือโพลิเมอร์เป็นสารสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นตามขบวนการ โพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้นและแปรสถานะทางกายภาพจากเดิมที่อาจจะอยู่ในรูปของก๊าซหรือของเหลว กลายเป็นของแข็งซึ่งจะมีคุณสมบัติที่ใสแทน ไม้และแก้วได้

การพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทยได้ส่งผลให้เกิดการตื่นตัวในวงการอุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอย่างมากซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกด้วย การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลมาจากพลาสติกมีคุณสมบัติสามารถผลิตเป็นเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันและดัดแปลงให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ขนส่งสะดวก เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม พลาสติกก็ยังมีข้อเสียตามมาคือ ไม่สามารถทำลายให้สลายได้อย่างรวดเร็ว จนก่อให้เกิดขยะพลาสติกกลายเป็นมลพิษทั่วไป

ปัญหามลพิษพลาสติกนับวันจะรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปริมาณการใช้พลาสติกของคนไทยในปัจจุบันมีถึงปีละ 9 แสนตัน โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ ซึ่งมีปริมาณขยะพลาสติกมากถึงวันละ 700 ตัน การแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติกจึงเป็นเรื่องจำเป็น แต่เนื่องจากยังไม่มีวิธีการกำจัดขยะพลาสติกที่เหมาะสม การแก้ไขปัญหานี้จึงต้องอาศัยวิธีที่จะบรรเทาขยะพลาสติกลง อันได้แก่ การนำพลาสติกใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ เรียกว่า รีไซเคิล และการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้

### 2.5.1 พลาสติก : มากด้วยประโยชน์ แต่โทษมหันต์

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบรรจุภัณฑ์พลาสติกมี

ปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ดังตาราง) ซึ่งพลาสติกที่นำมาใช้มี 2 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภท	ปี 2533		ปี 2534		ปี 2535			ปี 2536		
	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	สัดส่วน (ร้อยละ)	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	ปริมาณ (ตัน)	สัดส่วน (ร้อยละ)	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	ปริมาณ (ตัน)	สัดส่วน (ร้อยละ)	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
ถุง	146,635	197,220	67.79	34.5	297,212	68.1	50.7	321,860	66.44	8.29
กระสอบ	43,901	49,501	17.01	12.76	80,980	18.56	63.59	87,800	18.12	8.42
โฟม	4,300	4,800	1.65	11.63	5,250	1.2	9.38	5,670	1.17	8
อื่นๆ	31,452	39,425	13.55	25.35	52,977	12.14	34.37	69,095	14.26	30.42
รวมทั้งสิ้น	226,288	290,946	100	28.57	436,419	100	50	484,425	100	11

#### ตารางที่ 2-4 ปริมาณบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มีคุณสมบัติที่พิเศษสำคัญคือ เมื่อได้รับความร้อนถึงจุดหนึ่งก็จะหลอมเหลว อีกทั้งสามารถนำกลับมาหลอมและผลิตเป็นเครื่องใช้ได้อีก (Recycle) ซึ่งพลาสติกประเภทนี้มี 5 ชนิด คือ

1.1 พีโอ (Polyethylene:PE) เป็นพลาสติกที่มีผู้นิยมใช้กันมากสามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องใช้ได้หลายชนิด เช่น ถุงพลาสติกใส่ของ ดอกไม้พลาสติก ถังน้ำมันพืช

1.2 พีพี (Polypropylene:PP) เป็นพลาสติกที่มีผู้นิยมใช้เช่นเดียวกับ พีโอ เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก แต่ที่แตกต่างกันคือ ความคงทนต่อไขมัน ได้ดีกว่า ทนความร้อนได้สูงกว่า ดังนั้นจึงนิยมใช้ผลิตเป็นถังร้อน แผ่นฟิล์มถนอมอาหาร

1.3 พีวีซี (Polyvinylchloride:PVC) เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็ง สามารถทนต่อไขมันและแอลกอฮอล์ได้ดี สามารถทนต่อความร้อน ได้สูงใกล้จุดเดือด แต่ไม่สามารถทนต่อแสงแดด เหมาะสำหรับทำภาชนะบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำมันพืช หรือเครื่องดื่มน้ำที่มีแอลกอฮอล์

1.4 พีส (Polystyrene:PS) เป็นพลาสติกที่มีลักษณะโปร่งใสแต่เปราะ คุณสมบัติพิเศษคือ สามารถทนกรดและด่างได้ดี แต่รับแรงกระแทกได้ไม่มาก ถ้านำไปผสมสารบางชนิดจะทำให้สามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น แต่จะไม่โปร่งใส ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ ภาชนะถ้วยชาม ของเด็กเล่น ฉนวนไฟฟ้า และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

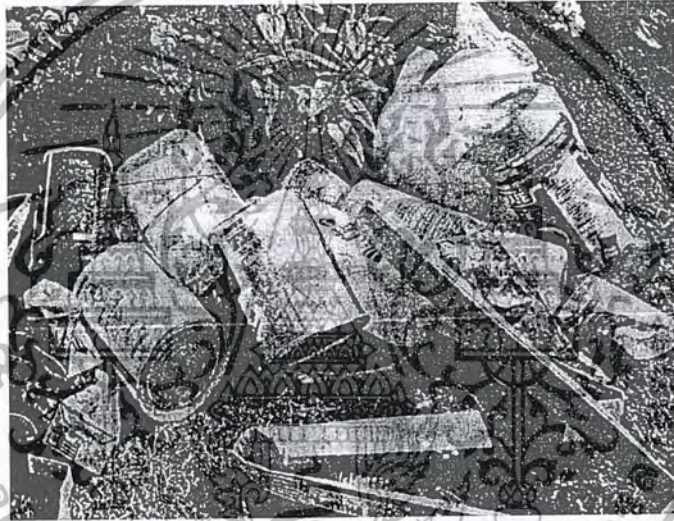
1.5 อีพีส (Expandable Polystyrene:EPS) เป็นพลาสติกที่มีขั้นตอนการผลิตแยกมาจาก PS สามารถนำมาผลิตเป็นโฟม (Foam) เรียกว่า พีสโฟม (PS Foam) โฟมดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผลิตถ้วยไอศกรีม กระบะใส่อาหารสำเร็จรูปประเภทฟาสต์ฟู้ด (Fast Food) ถึงเก็บของสดหรือถังน้ำแข็ง เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษในการรักษาอุณหภูมิได้ดี มีน้ำหนักเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เทอร์โมเซตติ้งพลาสติก (Thermosetting Plastic) เป็นพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่คุณสมบัติพิเศษคือ สามารถทนต่อการเปลี่ยนของอุณหภูมิและปฏิกิริยาทางเคมีได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ที่เขียนหูหรี ซึ่งรู้จักกันมากในชื่อของ เมลามีน (Melamine) นอกจากนี้ยังมีพวกใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่ทอเป็นเสื้อผ้า ผ้าใบไฟเบอร์กลาส หลังคารถยนต์ เป็นต้น

แม้ว่าพลาสติกประเภทต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะมีประโยชน์มากมายแต่ถ้ามนุษย์นำมาใช้ประโยชน์อย่างไม่เหมาะสม ปริมาณขยะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และอาจก่อให้เกิดโทษได้อย่างมากมายเช่นกันซึ่งโทษของขยะพลาสติกพอสรุปได้ดังนี้

1. ด้านสุขภาพอนามัย ขยะพลาสติกหลายประเภทเมื่อนำมาเผาไฟจะก่อให้เกิดก๊าซพิษและสารพิษที่เป็นตัวทำลายเชื้อหุ้มระบบทางเดินหายใจ หรือการนำเอาผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2-8 ภาพแสดงขยะก่อนรีไซเคิล

พลาสติกบางชนิดมาบรรจุอาหาร ไม่ถูกประเภทจะเกิดการละลายของสีและสารเคมีออกมาปะปนกับอาหารก่อให้เกิดอาการเจ็บไข้ได้ป่วย ท้องร่วง และอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดโรครีรังและมะเร็งได้

2. ความเป็นระเบียบเรียบร้อยในชุมชน ขยะพลาสติกบางส่วนถูกทิ้งลงในท่อระบายน้ำทำให้เกิดการอุดตัน หรือสร้างความสกปรกให้กับถนนหนทางและแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น

3. ด้านเกษตรกรรม ขยะพลาสติกที่ฝังถมในดินจะทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการเพาะปลูก เช่น การเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ออกดอกผลไม่ตรงตามฤดูกาล ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรเสียหาย

4. ด้านปัญหาต่อระบบกำจัดมูลฝอย ขยะพลาสติกเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยาก จึงไม่สามารถกำจัดโดยวิธีการหมักทำปุ๋ยได้สำหรับการเผาในเตานั้นใช้กำจัดขยะที่มีพลาสติกปนอยู่ได้แต่ต้องออกแบบเตาเผาพิเศษให้สามารถควบคุมก๊าซพิษที่เกิดจากการเผาพลาสติกได้อย่างดี เพราะก๊าซพิษที่เกิดจากการเผาขยะพลาสติกจะเป็นอันตรายต่อคน สัตว์ ต้นไม้ รวมทั้งก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำและทางอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 แนวทางแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติก

แม้ว่าพลาสติกจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากในชีวิตประจำวัน แต่เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของพลาสติก ซึ่งย่อยสลายได้ยากในระยะเวลาอันสั้น การกำจัดขยะพลาสติกด้วยวิธีการรีไซเคิล และการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นวิธีการที่สำคัญที่สามารถลดปริมาณขยะพลาสติกที่นับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ

**1.รีไซเคิลพลาสติก (Recycle Plastic)** หมายถึง การนำเอาพลาสติกที่ใช้แล้วไปสู่กระบวนการหมุนเวียนผลิตกลับมาใช้ใหม่โดยมีขั้นตอนคือ การนำเศษพลาสติกมาล้างทำความสะอาด แยกประเภท ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปหลอมละลายแล้วรีดเป็นเส้น แล้วตัดเป็นเม็ดเล็กหรือในวงการพลาสติกเรียกว่า เม็ดเก่า เมื่อทำสำเร็จออกมาราคาจะถูกกว่าเม็ดใหม่มาก อย่างไรก็ตาม ในการรีไซเคิลในปัจจุบันที่ช่วยลดปัญหามลพิษพลาสติก สามารถทำได้จำแนก 2 แบบ คือ

**1.1 วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเศษวัสดุเหลือทิ้งจากขบวนการผลิต** ถึงแม้จะผ่านกระบวนการผลิตมาแล้ว แต่ยังคงจัดว่าเป็นพลาสติกขั้นดี เพราะยังไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน ความสะอาดจึงมีมากกว่าเศษพลาสติกจากมูลฝอย ในลักษณะนี้ทางโรงงานผู้ผลิตอาจจะนำมารีไซเคิลเอง หรือขายให้แก่โรงงานรับทำรีไซเคิล

**1.2 เศษพลาสติกจากมูลฝอยที่พบเห็นอยู่ทั่วไป** ซึ่งจะมีคนไปรับซื้อเศษพลาสติก เช่น พลาสติกด้วยน้ำดื่ม ถูพลาสติกที่ใช้แล้ว จากพวกที่ขูดคุ้ยหาพวกเศษพลาสติกจากกองมูลฝอย ผู้ที่ไปรับซื้อชิ้นส่วนใหญ่มักจะเป็นตัวกลางนำเศษพลาสติกไปขายให้กับโรงงานรีไซเคิลอีกครั้งหนึ่ง

**2. การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable Plastic)** การผลิตพลาสติกประเภทนี้เมื่อนำมาใช้แล้ว สามารถย่อยสลายได้ในสิ่งแวดล้อม โดยจะย่อยสลายได้จนกระทั่งอยู่ในรูปแป้งหรือของเหลว ลักษณะของการย่อยสลายจะมี 3 ลักษณะคือ

**2.1 พลาสติกที่ย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable Plastic)** สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น Fungi Bacteria ซึ่งกระบวนการย่อยสลายจะต้องการความร้อน ออกซิเจน และความชื้น เมื่อถูกบริโภคด้วยจุลินทรีย์ ผลที่ได้คือ พลาสติกจะสูญเสียโครงสร้างที่ยาวต่อๆ กัน ทำให้มีลักษณะที่อ่อนนุ่มบางครั้งอาจเกิดการเปลี่ยนสี ชนิดของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ พีพี (Polypropylene) พีวีซี (Polyvinylchloride) พีเอส (Polystyrene)

**2.2 พลาสติกที่ละลายน้ำได้ (Water-soluble Plastic)** เป็นพลาสติกที่ละลายน้ำได้สมบูรณ์ พลาสติกประเภทนี้ได้แก่ Polyvinyl Alcohol, Polyethylene Oxide, Hydroxypropylcellulose พลาสติกเหล่านี้ เมื่อจุ่มลงในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเจลลิ่งๆ บนผิวพลาสติก จากนั้นชั้นเจลเหล่านี้จะละลายน้ำออกไปอย่างรวดเร็ว

**2.3 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable Plastic)** เป็นพลาสติกที่ในปัจจุบันมีการณรงค์ให้ใช้ โดยเริ่มจากห้างสรรพสินค้าหลายแห่งนำมาใช้โดยการสนับสนุนขององค์กรเอกชนต่างๆ สำหรับวัสดุที่ใช้ทำพลาสติกประเภทนี้มีโครงสร้างโมเลกุลที่เหมาะสมต่อการดูดซับพลังงานจากรังสีอุลตราไวโอเล็ต ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกันระหว่างการย่อยสลายแบบต่างๆ ของพลาสติกแล้วการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยสลายด้วยแสงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดต่อสภาพแวดล้อม เพราะกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตสามารถทำได้หลายแบบ ที่สำคัญคือ มีอัตราการย่อยสลายที่เร็วที่สุด เมื่อเทียบกับการย่อยสลายแบบอื่นๆ

สำหรับการกำจัดขยะพลาสติกโดยวิธีการนำไปฝังหรือถมที่ดินและการเผาทำลายจะไม่กล่าวถึง ณ ที่นี้ เนื่องจากวิธีการนำไปฝังหรือถมดิน พลาสติกจะใช้เวลาในการสลายตัวในดินนานหลายปี จึงเป็นอุปสรรคต่อการไหลซึมของน้ำ ทำให้พื้นที่ดังกล่าวไม่เหมาะสมในการทำการเกษตร นอกจากนี้ต้นทุนในการดำเนินการกำจัดขยะด้วยวิธีการนี้ค่อนข้างสูง เพราะต้องใช้พื้นที่ที่เป็นบริเวณกว้างและที่ดินนั้นวันจะมีราคาสูงขึ้นและหาได้ยาก โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ ส่วนวิธีการเผาทำลายแม้จะสามารถกำจัดขยะได้เป็นจำนวนมากก็ตาม แต่ทำได้เฉพาะขยะประเภทที่ไม่ใช่พลาสติกเท่านั้น เนื่องจากในการเผาพลาสติก หากใช้ความร้อนไม่สูงพอจะทำให้เกิดก๊าซพิษชนิดต่างๆ ขึ้น หรือเกิดการหลอมตัวติดกับเตาเผาขยะก็ได้

## 2.7 สรุปและข้อเสนอแนะ

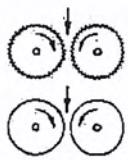
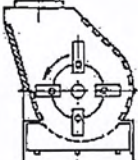

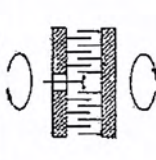

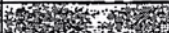




ขยะพลาสติก ถ้ามีปริมาณมากและกำจัดไม่หมดจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม หากใช้วิธีการลดปริมาณขยะพลาสติกโดยการนำกลับมาใช้ใหม่ หรือการผลิตพลาสติกให้เป็นแบบย่อยสลายได้แล้ว สามารถที่จะช่วยลดปัญหาสภาพแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันยังสามารถช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ และลดการตั้งข้อวิพากษ์จากต่างประเทศ ซึ่งจะช่วยบรรเทาปัญหาการเสียเปรียบดุลการค้ากับต่างประเทศ นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมให้เกิดธุรกิจการซื้อขายของเก่าซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจ และช่วยลดอัตราการว่างงานของประชากรได้อีกด้วย

## 2.8 เครื่องย่อยพลาสติก

เครื่องย่อยพลาสติก เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดของพลาสติกแข็งโดยวิธีกล ให้ได้ขนาดตามความต้องการ เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสเมื่อทำการผสม ทำให้อบแห้งได้ดี ป้อนเข้าเครื่องได้อย่างสม่ำเสมอ และหลอมละลายได้รวดเร็ว เป็นต้น

## 2.9 แบบของเครื่องย่อยพลาสติก

เครื่องย่อยพลาสติกมีหลายแบบ แต่ละแบบก็ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับพลาสติกแต่ละชนิด เครื่องย่อยมีหลายแบบแต่ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ เครื่องรีดย่อย โม่ตี โม่ตัด และ โม่แท่งตี ดังรูปที่ 2-9

เครื่อง	เครื่องรีดย่อย	โมตี	โมตีค	โมตีแกงตี
สภาพของพลาสติก				
เปราะ				
เหนียว				
elastic				
เหมาะสำหรับ	PS, PF	PS, PF, PMMA	PVC, PE, PP, PA	PVC, PE, PF

รูปที่ 2-9 แสดงเครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ

### 2.9.1 เครื่องรีดย่อย

เครื่องรีดย่อยจะใช้สำหรับการย่อยพลาสติกแข็งเปราะ เช่น PS และ PF เป็นต้น เครื่องมือชนิดนี้จะใช้แรงอัดในการย่อย

### 2.9.2 โมตี

โมตีจะใช้สำหรับการย่อยพลาสติกแข็งเปราะด้วยเช่นกัน เช่น PS, PF และ PMMA เป็นต้น เครื่องมือชนิดนี้จะใช้การตีในการย่อย

### 2.9.3 โมตีค

โมตีคจะใช้สำหรับการย่อยพลาสติกอ่อนและเหนียว เช่น PVC, PE, PF และ PA เครื่องมือชนิดนี้จะใช้การตัดเฉือนในการย่อย

### 2.9.4 โมตีแกงตี

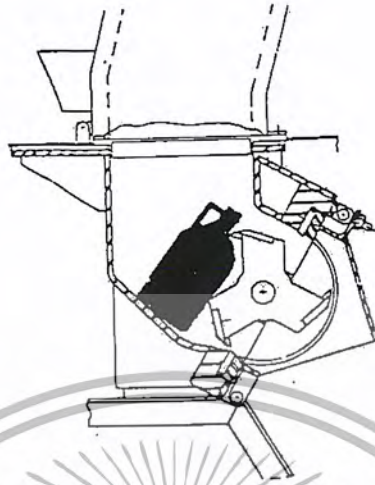
โมตีแกงตีจะใช้สำหรับการย่อยพลาสติกเปราะและเหนียว เช่น PF, PVC และ PE เครื่องมือชนิดนี้จะใช้การตีให้กระจายและการเสียดสีในการย่อย



รูปที่ 2-10 เครื่องย่อยพลาสติกแบบโมตีค (Maskin AB Rapid, Sweden)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการทำงานของเครื่องย่อยพลาสติกแบบไม่ตัดได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องย่อยพลาสติกแบบไม่ตัด

จากการรวบรวมของ Berins ใน Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry, Inc., 1991 พบว่าการลดขนาดของเศษพลาสติกส่วนใหญ่ ปรึ่สกับความสำเร็จจากการใช้เครื่องย่อย (Granulator) ซึ่งมีใบมีดหมุนตัดเศษพลาสติกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย เครื่องย่อยนี้อาจจะวางในตำแหน่งถัดไปหรือวางใต้เครื่องจักรกลแต่ละตัวที่อยู่ในกระบวนการผลิต หรืออาจจะวางที่ตำแหน่งศูนย์กลางที่สะดวกต่อการรับเศษวัสดุที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก็ได้ การป้อนวัสดุเข้าสู่เครื่องย่อยก็อาจทำได้ทั้งการป้อนด้วยมือ หรือการป้อนด้วยสายพานลำเลียงที่มาจากเครื่องจักรกลตัวอื่นที่อยู่ในกระบวนการผลิต เครื่องย่อยที่ใช้กันโดยทั่วไปอาจมีขนาด ตั้งแต่ 1-500 แรงม้า ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของงานที่ทำ การตัดจะเกิดขึ้นระหว่างใบมีดที่หมุนกับใบมีดที่อยู่กับที่ ณ ความเร็วประมาณ 600 รอบต่อนาที เมื่อชิ้นพลาสติกมีขนาดเล็กพอ (เล็กกว่าขนาดของรูตะแกรง) ก็จะร่วงผ่านรูตะแกรงลงสู่ภาชนะที่รองรับอยู่เบื้องล่าง

เครื่องมือลดขนาดหรือเครื่องย่อยพลาสติกนี้ นิยมใช้กันมากในกระบวนการรีไซเคิล เพื่อแปรรูปเศษพลาสติกที่เหลือหลังการผลิตในอุตสาหกรรมและหลังการบริโภค เข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่

## บทที่ 3

### ลักษณะของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

#### 3.1 ลักษณะเครื่องย่อยขวดพลาสติก

##### 3.1.1 ลักษณะโดยรวมของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

เครื่องย่อยขวดพลาสติกเป็นเครื่องที่นำหลักการของการรีด และการตัดเฉือนมาใช้รีด และตัดเฉือนขวดพลาสติก เพื่อเป็นการลดขนาดขวด ทำให้ง่ายต่อการขนส่ง โดยเครื่องย่อยขวดพลาสติก มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

- (1) ส่วนต้นกำลัง เป็นส่วนที่ให้กำลังกับเครื่องรีดและย่อยขวด สามารถแบ่งออกได้ตาม ประเภทต่างๆ คือ
  - (1.1) ชุดต้นกำลังจากคน เป็นการให้แรงจากคนในการป้อนขวดพลาสติกเข้าสู่เครื่อง
  - (1.2) ชุดต้นกำลังจากพลังงานไฟฟ้า ซึ่งก็คือ มอเตอร์ไฟฟ้า
- (2) ส่วนส่งกำลัง เป็นส่วนที่ใช้ในการส่งกำลังจากส่วนต้นกำลัง ไปยังส่วนตัด และส่วนรีดของเครื่อง โดยใช้การส่งกำลังผ่านเฟืองโซ่ เฟือง เป็นต้น
- (3) ส่วนรีดขวด เป็นส่วนที่ใช้ในการรีดขวดให้ระบบ ประกอบด้วยชุดเพลาลูกกลิ้ง 1 ชุด
- (4) ส่วนย่อยขวดพลาสติก เป็นส่วนที่ใช้ในการตัดขวดพลาสติก ประกอบด้วยชุดใบมีด และเพลารองรับชุดใบมีด
- (5) ส่วนรับเศษ จากการย่อยขวดพลาสติก เป็นส่วนสำหรับรองรับเศษพลาสติกที่ผ่านเครื่องย่อยขวดพลาสติกแล้ว

##### 3.1.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

การทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก จะเริ่มจากชุดต้นกำลังผ่านส่วนส่งกำลังเพื่อให้ส่วนของเพลาลูกกลิ้งทำงาน แล้วขวดที่ผ่านกระบวนการรีด จะถูกดึงผ่านลงไปในส่วนตัดทำให้เกิดแรงเฉือน แล้วตกลงสู่ส่วนรองรับเศษจากการย่อย

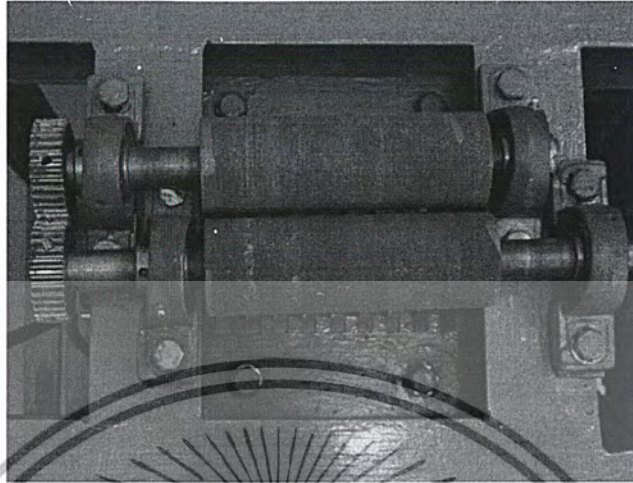
##### 3.1.3 ลักษณะของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

ลักษณะของเครื่องย่อยขวดพลาสติกที่ประดิษฐ์ขึ้นมาในปฏิญญาฉบับนี้ จะมี ส่วนประกอบของเครื่องย่อยขวดพลาสติกเป็นส่วนต่างๆดังนี้

1. ส่วนรีดขวด
2. ส่วนตัด
3. ส่วนต้นกำลัง
4. ส่วนส่งกำลัง
5. ส่วนรองรับเศษที่ย่อยแล้ว
6. ส่วนตัวถังด้านนอก

โดยแต่ละส่วนประกอบจะมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

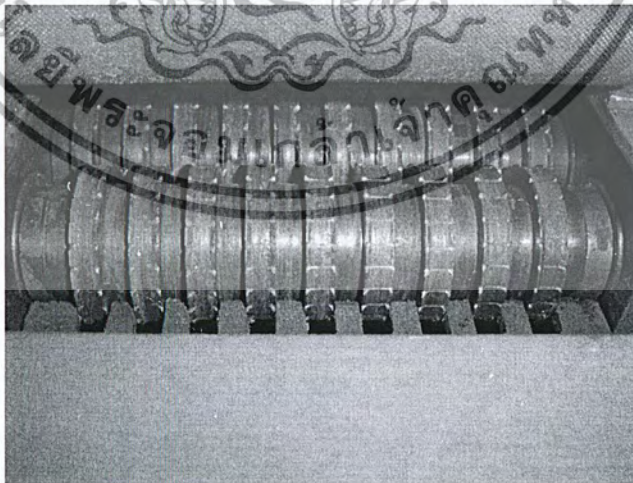
(1) ส่วนรีด



รูปที่ 3-1 แสดงส่วนรีดของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

เป็นส่วนประกอบที่อยู่ภายในเครื่องย่อยขวดพลาสติก มีลักษณะเป็นเพลยาว 2 เพลลา ขึ้นลายเพื่อเพิ่มแรงเสียดทาน ทั้งนี้ เมื่อป้อนขวดพลาสติกเข้าไปทางด้านบนของเครื่อง ลูกกลิ้งจะทำให้รีดและดูดขวดพลาสติกลงสู่ส่วนตัด โดยที่ปลายเพลลาทั้ง 2 จะถูกยึดไว้ด้วยแบริ่ง

(2) ส่วนตัด



รูปที่ 3-2 แสดงส่วนตัดของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

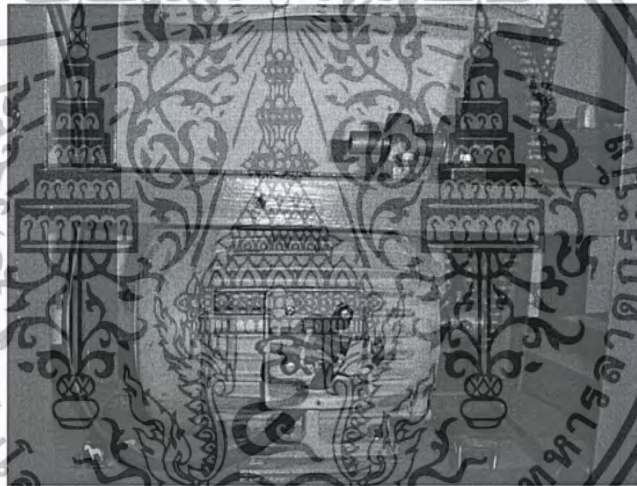
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะคล้ายกับส่วนรีด โดยที่จะประกอบด้วยเพลลาที่เป็นแท่งยาว 2 เพลลา โดยจะนำใบมีดแต่ละใบสวมเข้ากับเพลลา ใบมีดแต่ละใบจะถูกขันด้วยแหวน ซึ่งทั้งใบมีดและแหวนจะถูกยึดด้วยร่องลิ้ม แต่เพลลาจะมีใบมีด 9 ใบ ส่งกำลังจากเพลลาด้วยลิ้มไปสู่แหวน

ข้อดีของการออกแบบแบบนี้คือ เมื่อแหวนตัวใดใช้งานจนเกิดการสึกหรอ จะสามารถเปลี่ยนเฉพาะตัวที่สึกหรอได้และที่แหวนตัดแต่ละวง ยังเซาะร่องทำมุมเพื่อที่จะทำให้การตัดเฉือนใช้แรงน้อยลง และที่เส้นรอบวงของแต่ละแหวนยังกัดเซาะร่องรูปตัววี เพื่อที่จะสามารถดูดชิ้นงานที่ผ่านการรีดแล้วได้ง่ายยิ่งขึ้น

ลักษณะการหมุนของเพลลาทั้งส่วนรีดและส่วนตัดของเครื่องย่อยขวดพลาสติก จะมีลักษณะการหมุนเข้าในทิศทางที่เข้าหากัน เพื่อเป็นการทิ้งเศษลงสู่ส่วนต่อไป การหมุนของเพลลาทั้ง 2 ถูกบังคับโดยการใช้เฟืองเป็นตัวควบคุม

### (3) ส่วนต้นกำลัง



รูปที่ 3-3 แสดงส่วนต้นกำลังของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

เครื่องย่อยขวดพลาสติก จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนต้นกำลัง ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันนี้พลังงานไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ได้ง่าย และสะดวกกว่าการใช้ต้นกำลังแบบอื่นๆ เช่น มอเตอร์ไฮดรอลิก

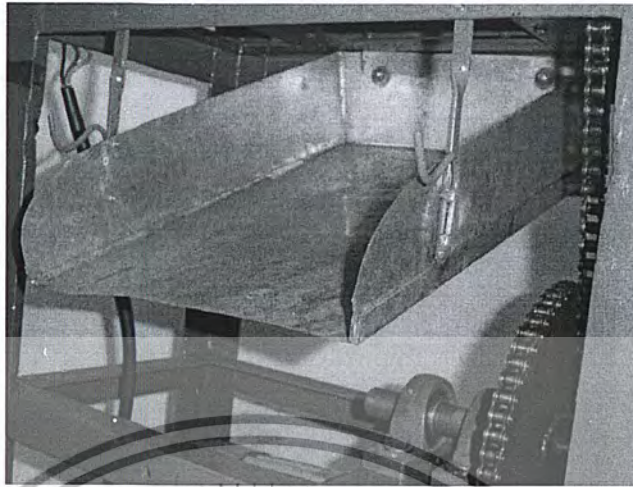
สำหรับการเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้านั้น ได้แสดงไว้ในตารางคำนวณซึ่งเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 5 แรงม้า ความถี่ 50 Hz. แรงเคลื่อน 380 โวลต์

### (4) ส่วนส่งกำลัง

การส่งกำลังจะใช้โซ่และเฟืองโซ่ในการส่งกำลัง ซึ่งมีอัตราทดในแต่ละช่วงดังที่แสดงไว้ในบทการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### (5) ส่วนรองรับเศษที่ย่อยแล้ว



รูปที่ 3-4 แสดงส่วนรองรับเศษของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

เศษของขวดพลาสติกที่ถูกย่อยแล้ว จะหล่นลงสู่ด้านล่างของถาดตัดซึ่งจะมีรางรองรับเศษติดตั้งอยู่ด้านล่าง จากนั้น เศษของขวดพลาสติกจะไหลลงสู่ถังขยะที่รองรับไว้อีกที

### (6) ส่วนตัวถังด้านนอก

เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเครื่องย่อยขวดพลาสติก เพื่อป้องกันอันตรายจากการใช้งาน ทำหน้าที่รองรับและยึดส่วนประกอบต่างๆ ไว้ด้วยกัน ทำจากเหล็กขนาด LDM 50x50

### 3.2 หลักการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

เครื่องย่อยขวดพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องย่อยขวดพลาสติกที่ใช้หลักการรีดตัด ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า อุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีความเหนียวและบิดงอได้ง่ายคือพลาสติกจำพวก PE ตัวเครื่องจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนรีดที่ทำด้วยเหล็กเหนียว ที่ช่องป้อนขวดพลาสติกจะมีขนาดกว้างประมาณ 120x180 มิลลิเมตร ขวดพลาสติกจะถูกดึงด้วยส่วนรีด ทำงานโดยใช้หลักการที่ถูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนเข้าหากัน เมื่อขวดถูกดึงผ่านชุดลูกกลิ้งรีดแล้ว ขวดพลาสติกที่ถูกรีดแบนแล้ว จะผ่านเข้าสู่ส่วนของชุดใบมีด ซึ่งมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับชุดลูกกลิ้งรีด

ในส่วนของชุดใบมีดนั้น จะประกอบด้วยส่วนของใบมีดและแหวนรองใบมีด ซึ่งยึดกับแกนเพลาด้วยลิ่ม แกนเพลานั้น ปลายทั้ง 2 ข้างจะถูกรองรับไว้ด้วยแบร็งแบบลูกปืนกลม ด้านหนึ่งของเพลาก็จะติดตั้งเฟืองโซ่สำหรับโซ่ขับ ใบมีดที่ติดกับแกนเพลาก็จะมีใบมีด 9 ใบ ระหว่างใบมีดจะมีแหวนรองทุกๆ ใบมีด แต่ในปลายทั้ง 2 ข้างของแกนเพลาก็จะติดตั้งแหวนรองเพิ่มขึ้นอีกด้านละ 2 วง ทำให้ใบมีดถูกจัดให้มีช่องว่างระหว่างกันเป็นระยะเท่าๆกัน ช่องว่างดังกล่าวนี้ถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นส่วนที่กำหนดขนาดของพลาสติกที่ถูกย่อย ซึ่งในที่นี่จะมีขนาดของเศษพลาสติกประมาณ 10 มิลลิเมตร

ส่วนความเร็วในการหมุนตัด จะอยู่ประมาณ 90.625 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนประกอบของเครื่องย่อยขวดพลาสติก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- (1) ส่วนของเครื่องย่อยขวดพลาสติก
- (2) ส่วนของตัวโครงสร้าง ซึ่งทำหน้าที่รองรับส่วนของตัวเครื่องย่อย และส่วนที่เก็บเศษพลาสติกจากการย่อย

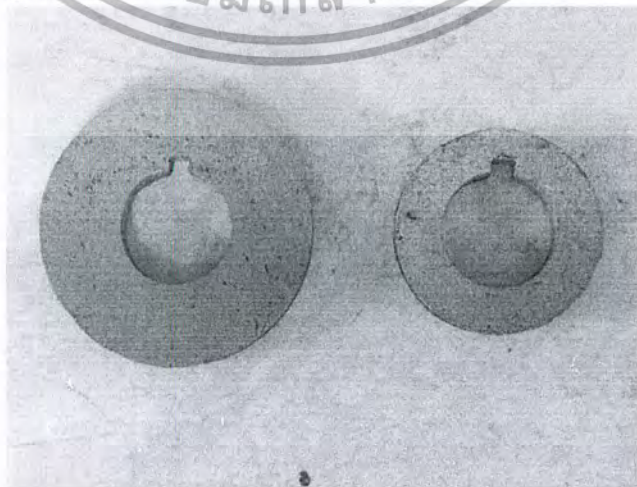
ส่วนของเครื่องย่อยขวดพลาสติกประกอบด้วย

- (1) มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง
- (2) ชุดเพลาลูกกลิ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร จำนวน 2 เพล
- (3) ชุดเพลาลำมิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร จำนวน 2 เพล
- (4) ใบมีด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร จำนวน 19 ใบ
- (5) แบร์ริงชนิด Single Row Deep Groove ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว
- (6) ลูกปิ่นตุ๊กตา (Pillow Block) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 6 ตัว
- (7) เฟือง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง พิตซ์ 60 มิลลิเมตร และ 55 มิลลิเมตร อย่างละ 2 ตัว ตามลำดับ
- (8) เฟืองโซ่ 16 ฟัน จำนวน 4 เฟือง และแบบ 64 ฟัน จำนวน 2 เฟือง
- (9) โซ่ยาว 819.15 มิลลิเมตร มี 86 ข้อ จำนวน 1 เส้น และยาว 1162.05 มิลลิเมตร มี 122 ข้อ จำนวน 1 เส้น และยาว 361.95 มิลลิเมตร มี 38 ข้อ จำนวน 1 เส้น

### 3.4 การออกแบบส่วนตัดของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

ส่วนตัดพลาสติกของเครื่องย่อยขวดพลาสติกนั้น จะมีชุดใบมีดเพื่อใช้ในการตัด ซึ่งโดยทั่วไป ลักษณะของใบมีดจะเป็นวงกลม โดยแบ่งตามลักษณะการติดตั้งชุดใบมีด บนเพลลาได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- (1) ชุดใบมีดกับเพลลาเป็นชิ้นเดียวกัน คือ ส่วนของใบมีดติดกับส่วนของเพลลาที่รองรับชุดใบมีด ทำขึ้นมาจากรัดวัสดุเพียงชิ้นเดียว
- (2) ชุดมีดติดกับเพลลาเป็นอิสระต่อกัน คือ ส่วนของใบมีดติดกับส่วนของเพลลาสามารถแยกออกจากกันได้ ไม่ได้ทำขึ้นมาจากรัดวัสดุเพียงชิ้นเดียวแต่ทำแยกส่วนกัน แล้วนำมาประกอบภายหลัง ใบมีดมีลักษณะดังรูป 3-5

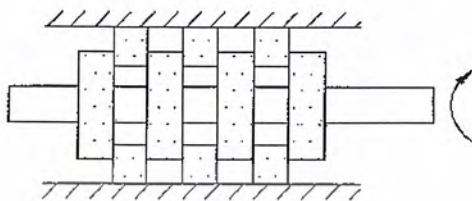


รูป 3-5 แสดงใบมีดตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของส่วนตัดกระดาษในเครื่องย่อยกระดาษตามลักษณะโดยรวมได้เป็นดังนี้

(1) ลักษณะส่วนตัดเป็นเพลลา และชุดใบมีดตัดบนเพลลา มีเพียงชิ้นเดียวส่วนชุดใบมีดอีกหนึ่งชุดติดตั้งไว้ที่ตัวโครงของเครื่องดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 แสดงลักษณะของเพลลาและชุดใบมีดบนเพลลา กับใบมีดส่วนนอก

(2) ลักษณะส่วนตัดเป็นเพลลาและชุดมีดตัดบนเพลลา 2 อัน มีลักษณะเหมือนกัน โดยไม่มีส่วนของใบมีดติดตั้งไว้บนโครงตัวเครื่อง ดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 แสดงลักษณะของเพลลาและชุดใบมีด

### 3.5 การออกแบบส่วนของเพลลาขับและเพลลาตาม

ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ผ่านมา คือชุดพลาสติกถูกดึง ผ่านส่วนตัดของเครื่องย่อยพลาสติก ซึ่งการทำงานลักษณะนี้จะใช้การหมุนของเพลลาเป็นตัวช่วยในการทำงาน จึงควรออกแบบส่วนของเพลลาที่หมุนนั้นให้เหมาะสม โดยแบ่งลักษณะการหมุนของเพลลาในเครื่องย่อย ดังนี้

- (1) ออกแบบให้เพลลาขับ (เพลลาที่รับกำลังมาจากชุดต้นกำลัง) ส่วนเพลลาตามหมุนอิสระ
- (2) ออกแบบให้เพลลาขับ และเพลลาตามหมุนด้วยความเร็วรอบที่เท่ากัน

จากการศึกษาพบว่า ควรใช้การหมุนของเพลลาในลักษณะดังข้อที่ 2 โดยการใส่เฟืองที่มีขนาดเท่ากัน 2 เฟือง ติดตั้งเข้าที่เพลลาทั้งสอง เป็นการถ่ายทอดทิศทางการหมุน ในลักษณะสวนทางกัน มีความเร็วรอบที่เท่ากัน และมีกำลังตัวเพลลาเท่ากัน ทำให้เกิดความสมดุล และความสึกหรอ ชุดใบมีดที่เท่าๆ กัน และการหมุนในลักษณะนี้ยังช่วยให้พลาสติกสามารถเคลื่อนที่ผ่านส่วนตัดได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 สมรรถนะของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

เครื่องย่อยขวดพลาสติกใช้ออกแบบมาเพื่อใช้ในการลดหรือย่อยขวดพลาสติกประเภท PE โดยสามารถย่อยทีละขวด มีความเร็วตัดเท่ากับ 0.28 เมตรต่อวินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ทฤษฎีการคำนวณ

#### 4.1 โซ่

การขับเคลื่อนด้วยโซ่มีข้อดีอยู่มากทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกตาม อัตราทดของการขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับเคลื่อนด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโซ่และเฟืองโซ่

เนื่องจากการขับเคลื่อนด้วยโซ่มีความไวใจได้และถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์ จึงนิยมใช้มาก เช่น ในการส่งกำลังในเรือ เครื่องยนต์ เครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องมือกล และในการขนส่งและขนถ่ายวัสดุ

การขับเคลื่อนด้วยโซ่มีข้อดีอยู่ระหว่างการขับเคลื่อนด้วยสายพานและการขับเคลื่อนด้วยเฟือง ทางด้านราคาสมรรถนะในการส่งกำลังและการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับเคลื่อนได้ในระยะทางไกลกว่าสายพาน และขับเคลื่อนพร้อมกันหลายๆ เลา ซึ่งมีทิศทางการหมุนตามกันหรือสวนทางกันก็ได้

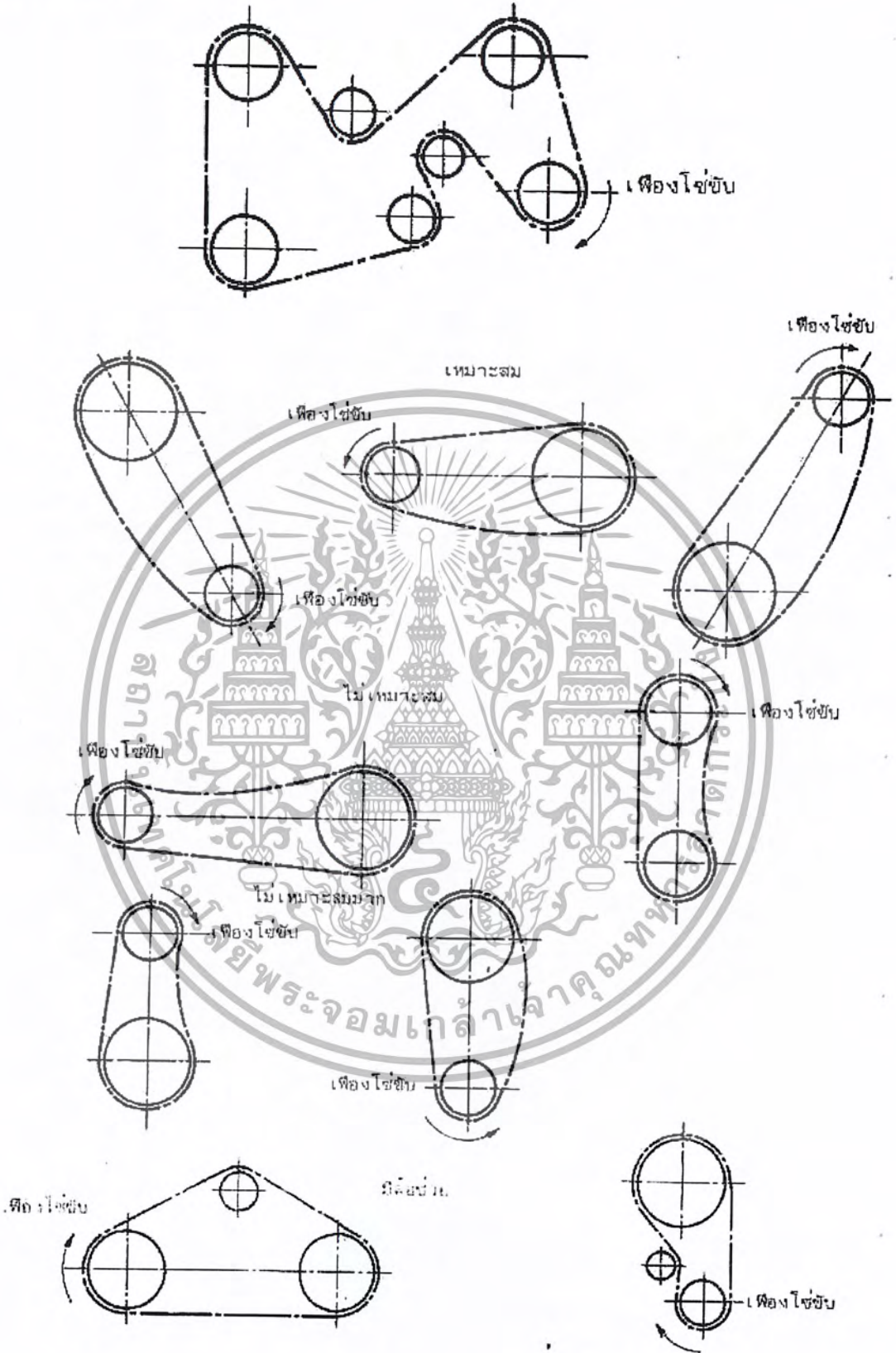
#### ข้อดีของการขับเคลื่อนด้วยโซ่

1. ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง
2. ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขึ้นต้นในโซ่ด้านตึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุการใช้งานของแบร็งที่รองรับเพลามากขึ้น
3. ไม่มีการสลิปในขณะที่ส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
4. มีขนาดกะทัดรัดกว่าสายพาน เมื่อใช้งานด้วยอัตราทดที่เท่ากัน เฟืองโซ่จะมีขนาดเล็กลงกว่าล้อสายพาน และถ้าต้องการกำลังส่งเท่ากัน ความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าสายพาน
5. ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะ เพียงแค่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น
6. ใช้งานได้กับอุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

#### ข้อเสียของการขับเคลื่อนด้วยโซ่

1. มีเสียงดัง
2. เนื่องจากความเร็วรอบสูงจะมีอันตรายเมื่อโซ่ขาด
3. ไม่มีความอ่อนตัวในการส่งกำลัง เลาจะต้องขนานกัน
4. ส่งกำลังแบบครอสไดรว์ไม่ได้
5. มีราคาแพงกว่าการขับเคลื่อนด้วยสายพาน
6. ต้องมีการหล่อลื่น

4.1.1 การใช้งาน



รูปที่ 4-1 แสดงการวางเฟืองโซ่สองเฟืองที่ขับเคลื่อนกันอย่างเหมาะสมและไม่เหมาะสม เพลลาของเฟืองโซ่อยู่ใน

แนวระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4-1 จะพบว่า ในการจับด้วยโซ่อาจจับเพียงหนึ่งเฟืองโซ่หรือหลายเฟืองโซ่ก็ได้ และอาจหมุนในทิศทางเดียวกันกับเฟืองโซ่ขับหรือสวนทางกันก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามมีข้อสมมติฐานว่าเฟืองโซ่จะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน และเพลจะต้องขนานกันและอยู่ในแนวระดับด้วย ความเร็วรอบของเฟืองโซ่สามารถใช้ได้ถึง 20-25 m/s

สิ่งจำกัดในการส่งกำลังด้วยโซ่เมื่อใช้งานด้วยความเร็วปานกลางจนถึงความเร็วสูงก็คือ การสึกหรอของข้อต่อและความต้านแรงล้า (Fatigue Strength) ของวัสดุชิ้นส่วนโซ่ นอกจากนี้แล้ว ถ้าใช้งานด้วยความเร็วสูงจะต้องคำนึงถึงแรงที่เกิดขึ้นในโซ่ เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง ในการจับด้วยการใช้โซ่หลายเส้นขนานกันเป็นสองชั้น (double-strand) หรือสามชั้น (triple-strand) อาจทำให้แรงที่กระทำกับโซ่ไม่กระจายไปเท่าๆ กันตลอดความกว้างของโซ่ และถ้าหล่อลื่นไม่ดีพอ ก็จะเป็นสาเหตุหลายประการสำคัญที่ทำให้โซ่สึกหรอได้มาก

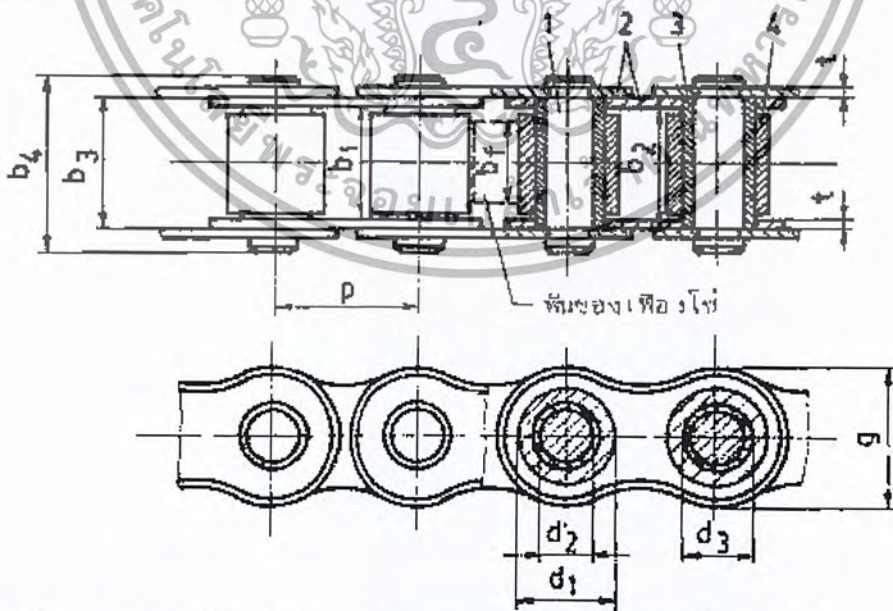
โซ่ที่คล้องอยู่บนเฟืองโซ่จะมีลักษณะคล้ายรูปหลายเหลี่ยมบนเฟืองโซ่ ทำให้แกนของแรงในแนวสัมผัสกับเฟืองโซ่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่ส่งกำลัง นอกจากนี้ ในระหว่างที่โซ่เคลื่อนเข้าหาและเคลื่อนออกจากเฟืองโซ่ ข้อต่อโซ่แต่ละข้อจะเกิดการหมุนเทียบกับข้อต่อ โซ่ข้างเคียงเป็นมุม  $2\alpha$  การหมุนนี้จะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น เป็นทำให้สูญเสียกำลังและโซ่สึกหรอ ผลต่อมาก็คือระยะพิตช์ของโซ่สึกหรอ ผลต่อมาก็คือระยะพิตช์ของโซ่เพิ่มขึ้นจนอาจหลุดออกจากเฟืองโซ่ได้

4.1.2 ชนิดของโซ่

โซ่แบ่งเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 3 ชนิด คือ

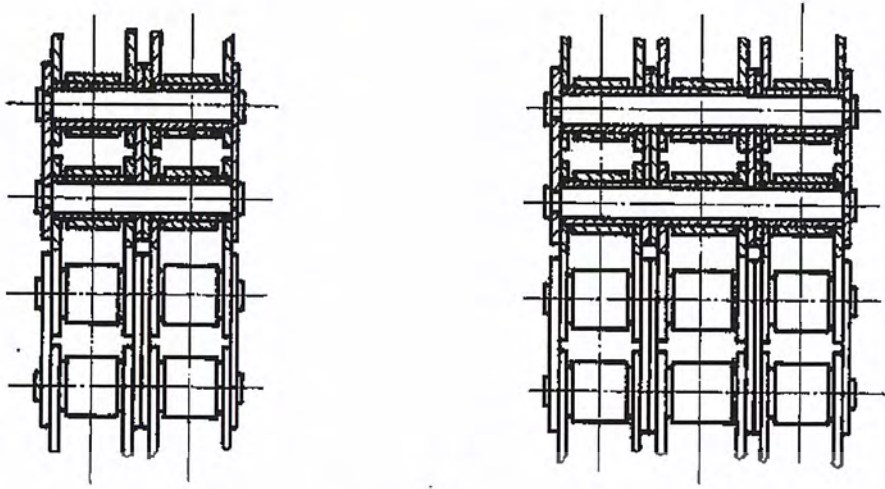
(1) โซ่โรลเลอร์ (roller chains)

โซ่ชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นต่อ (link) ด้านในและด้านนอกยึดด้วยสลักและบุช (bushes) โรลเลอร์กลวงสวมอยู่กับบุช ดังรูป 4-2 เมื่อใช้รับแรงมากอาจใช้แบบสองชั้นและสามชั้น ดังรูป 4-3



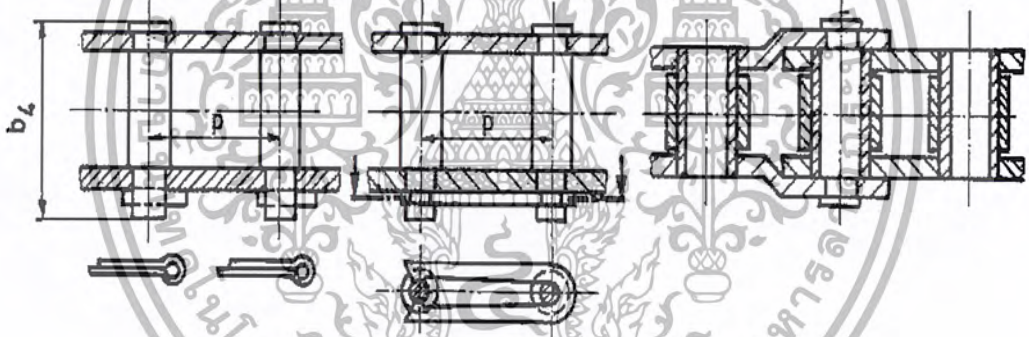
รูปที่ 4-2 โซ่โรลเลอร์ : 1 สลัก, 2 แผ่นต่อด้านนอกและด้านใน, 3 บุชที่อัดแน่นกับแผ่นต่อด้านใน, 4 โรลเลอร์หมุนได้อิสระบนบุช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 โซ่โรลเลอร์สองชั้นและสามชั้น

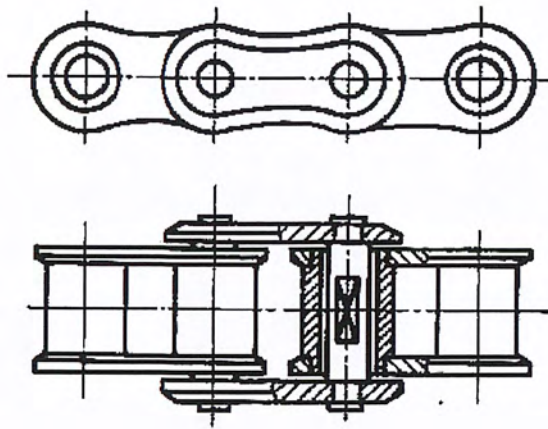
ที่ปลายต่อกันของโซ่ อาจใช้อุปกรณ์ในการต่อดังรูป 4-4



รูปที่ 4-4 ข้อต่อสำหรับโซ่โรลเลอร์ จากด้านซ้ายต่อกับคอตเตอร์พิน ต่อด้วยสปริงรูปตัวยู และต่อกับข้อต่อแบบพิเศษ

4.1.3 โซ่บุช (bushed chains)

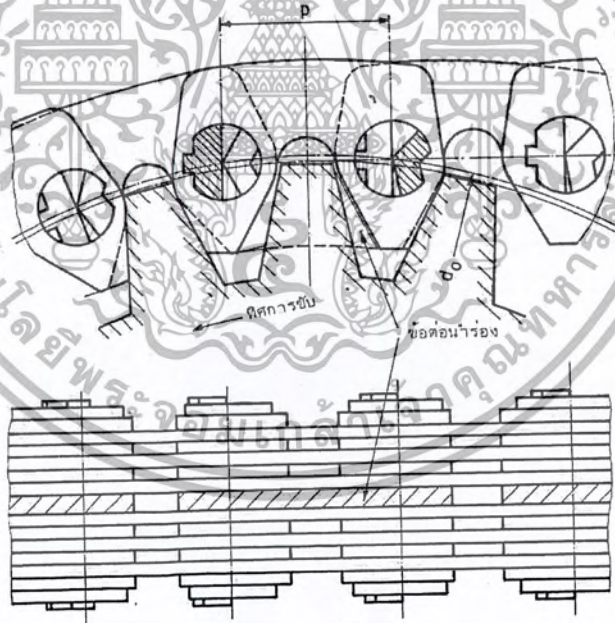
โซ่ชนิดนี้แตกต่างกับโซ่โรลเลอร์ก็ตรงที่ไม่มีโรลเลอร์ ดังรูปที่ 4-5 ดังนั้นจึงสามารถออกแบบให้บุชและสลักมีขนาดใหญ่ได้มากกว่าโซ่โรลเลอร์ โดยที่ระยะพิตช์เท่ากัน โซ่บุชจึงรับแรงได้มากกว่าและแข็งแรงกว่า แต่เนื่องจากการใช้งานจะเกิดเสียงดังและการสึกหรอมาก โดยทั่วไปจึงนิยมใช้โซ่โรลเลอร์มากกว่าโซ่บุช



รูปที่ 4-5 โซ่บุช

4.1.4 โซ่ฟัน (toothed chains)

โซ่ชนิดนี้อาจเรียกว่า silent chain ก็ได้ โซ่ฟันประกอบด้วยแผ่นต่อหลายแผ่นเรียงซ้อนกันและยึดติดกันด้วยสลักดังรูป 4-6



รูปที่ 4-6 โซ่ฟัน

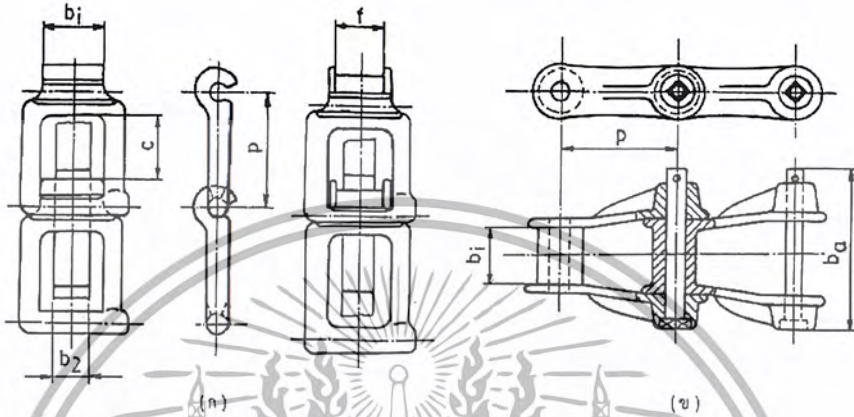
แผ่นต่อแต่ละแผ่นจะมีฟันสองฟัน ในขณะที่ส่งกำลังข้อต่อ โซ่จะทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของข้อโซ่ ทำให้โซ่แนบสนิทกับฟัน จึงมีการสึกหรอน้อย ซึ่งเฟืองโซ่ควรมีฟันไม่น้อยกว่า 12 ฟัน โซ่ฟันใช้ขับเคลื่อนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วสูงกว่าโซ่โรลเลอร์ทำงานได้โดยเกือบจะไม่มีเสียงดัง แต่จะมีน้ำหนักมากกว่าโซ่โรลเลอร์ ราคาแพงกว่าและต้องการให้มีการบำรุงรักษาที่ดีกว่าโซ่โรลเลอร์

4.1.4 โซ่ชนิดอื่น

เมื่อใช้ส่งกำลังด้วยความเร็วต่ำ (ไม่เกิน 2 m/s) หรือทำงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำนัก เช่น ในการขับเคลื่อนกลการเกษตร ก็มักใช้โซ่ที่มีลักษณะเป็นพิเศษดังรูป 4-7

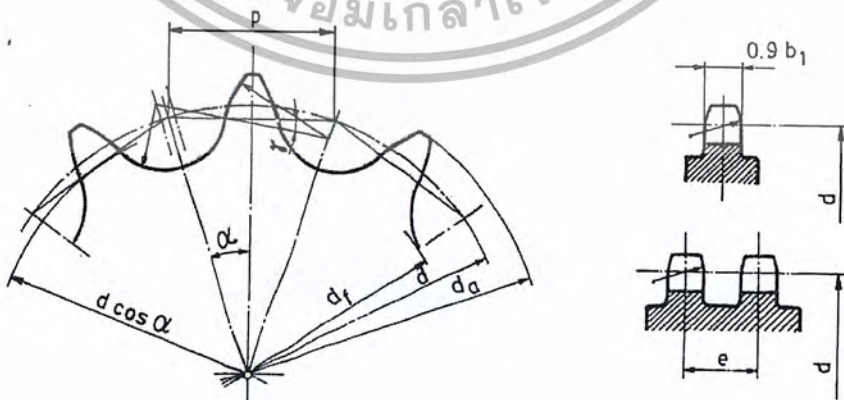


รูปที่ 4-7 โซ่ชนิดอื่น (ก) detachable joint chain (ข) steel pin chain

4.2 เฟืองโซ่

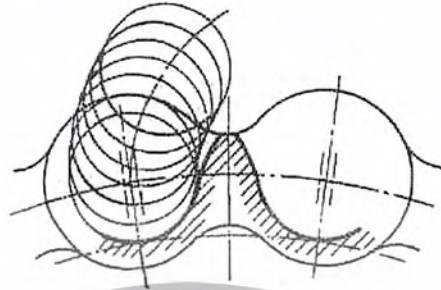
เส้นผ่านศูนย์กลางpitch ของเฟืองโซ่  $s$  ดังรูป 4-8 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่ลากจากจุดศูนย์กลางของข้อต่อโซ่ ซึ่งก็คือวงกลมที่ลากผ่านมุมของรูปหลายเหลี่ยมที่เกิดขึ้นเนื่องจากโซ่คล้องบนเฟืองโซ่ เซอร์คิวลาร์พิตช์  $P_c$  ของวงกลมpitch ซึ่งวัดตามส่วนโค้งของวงกลมpitch จึงมีค่ามากกว่าระยะpitch  $p$  ของโซ่ สำหรับเฟืองโซ่เฟืองหนึ่งจะมีมุมpitch  $\alpha$  เป็นค่าคงที่ ซึ่ง

$$\sin \alpha = \frac{p}{d}$$



รูปที่ 4-8 เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูช

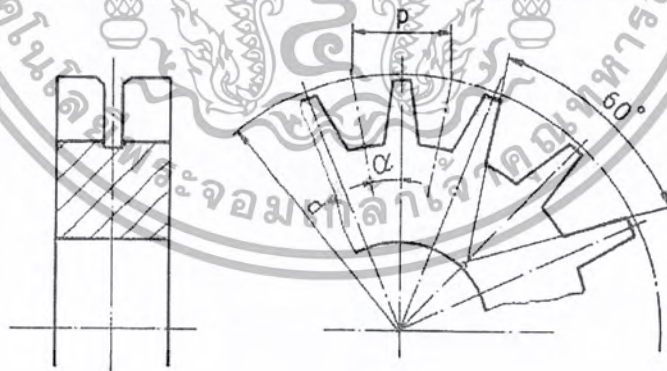
ลักษณะของฟันเฟืองโซ่จะต้องทำให้การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์เป็นไปได้อย่างสะดวก ซึ่งจะเห็นการเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ได้ดังรูป 4-9 นอกจากนี้อาจจะมีลักษณะแตกต่างไปอีกตามความต้องการของบริษัทผู้ผลิต เพื่อให้ได้มุมกด  $\gamma$  ตามความต้องการ



รูปที่ 4-9 การเคลื่อนที่ของโรลเลอร์ขณะส่งกำลัง

เฟืองโซ่สำหรับโซ่โรลเลอร์และโซ่บูชดังรูป 4-10 จะมีมุมกดแตกต่างกันออกไป ถ้ามุมกด  $\gamma$  โดมากจะทำให้โซ่ยึดออกใกล้เคียงกันทุกข้อ แต่จะทำให้โซ่ด้านหย่อนตึงขึ้นและทำให้เกิดเสียงดังขณะขับมากขึ้น

เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟันมีฟันเป็นเส้นตรง มุมระหว่างฟันจะเท่ากับ  $60^\circ$  ปลายฟันจะทำให้มนเพื่อป้องกันการสึกหรอในขณะขับ



รูปที่ 4-10 เฟืองโซ่สำหรับโซ่ฟัน

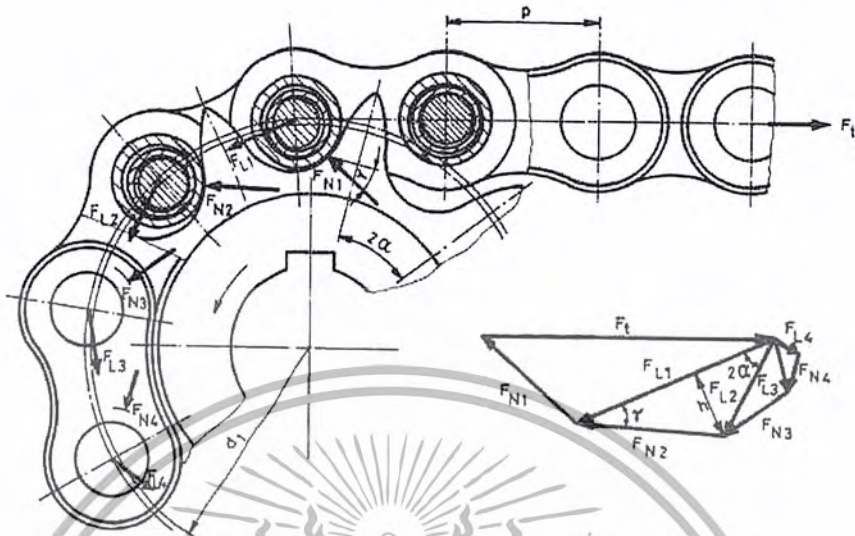
#### 4.2.1 การส่งกำลัง

ในขณะที่ส่งกำลังแรงในแนวสัมผัส  $F_t$  ที่เกิดจากโซ่กระทำกับเฟืองโซ่ มีลักษณะดังรูป 4-11 ซึ่งจะเห็นว่าแรงตามแนวยาวของโซ่  $F_L$  จะลดลงจากฟันหนึ่งไปยังอีกฟันหนึ่ง แผนภาพของแรงในรูป 4-1

สร้างขึ้นได้โดยถือว่าที่ข้อต่อทุกข้อ ผลรวมของแรงบนข้อต่อตามแนวยาว  $F_L$  และในแนวตั้งฉาก  $F_n$  จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องเท่ากับศูนย์ จะเห็นได้ว่ามุมสัมผัสของโซ่กับเฟืองโซ่มีค่าน้อย และมุมกด  $\gamma$  มีค่ามาก จะมีแรงเหลืออยู่ในโซ่ด้านหย่อนมาก (คือแรง  $F_{L4}$  ดังรูป 4-11)



รูปที่ 4-11 การส่งกำลังจากเฟืองโซ่ไปยังโซ่โรลเลอร์

แรงตามแนวยาวของโซ่  $F_t$  เป็นแรงที่ทำให้โซ่ยืด ถ้ามีค่าน้อยโซ่ก็จะยืดน้อยลง มุมที่ข้อต่อโซ่หมุนไปในขณะขับ โดยเฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 180 องศาหารด้วยจำนวนฟัน  $z$  ของเฟืองโซ่ ดังนั้นถ้าจำนวนโซ่มีฟันน้อย มุมหมุนของข้อต่อโซ่จะมีมาก ทำให้เกิดการสึกหรอที่บูชและสลักมากขึ้น และถ้าเฟืองโซ่มีระยะพิชช์เท่ากัน เฟืองโซ่ที่โตกว่าจะส่งกำลังได้น้อยกว่าเฟืองโซ่เล็ก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมีข้อแนะนำสำหรับการเลือกใช้จำนวนฟันของเฟืองโซ่ดังนี้ คือ

ความเร็วต่ำมาก	$Z_{min} =$	12
ความเร็วต่ำ	$Z_{min} =$	17
ความเร็วปานกลาง	$Z_{min} =$	21
ความเร็วสูง	$Z_{min} =$	25
สำหรับการขับเพื่อลดความเร็ว ให้ใช้	$Z_{min} =$	23

โดยปกติมักจะใช้จำนวนฟันของเฟืองโซ่เป็นเลขคี่ และจำนวนข้อต่อโซ่เป็นเลขคู่ เพื่อช่วยให้ความถี่ในการสัมผัสระหว่างฟันของเฟืองโซ่กับข้อต่อโซ่น้อยลง ช่วยให้โซ่มีการสึกหรอสม่ำเสมอ

4.2.2 แรงในแนวสัมผัส

ในการส่งกำลังถ้าโซ่รับแรงสม่ำเสมอและเฟืองโซ่หมุนด้วยความเร็วคงที่ โซ่จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่  $v$  และมีแรงแนวเส้นสัมผัส  $F_t$  ซึ่งจะหาค่าได้จากกำลังที่ส่ง  $P_p$  หรือ โมเมนต์บิดที่ต้องการส่ง  $T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของโซ่หาได้จาก

$$v = \pi \cdot d \cdot n = P_c \cdot z \cdot n \cong p \cdot z \cdot n \quad (4-1)$$

ดังนั้นแรงในแนวสัมผัส

$$F_t = \frac{W_p}{v} \quad (4-2)$$

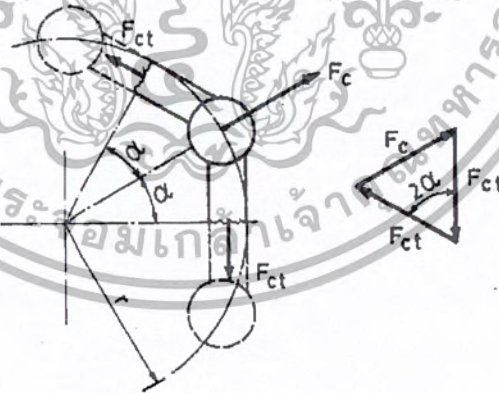
หรือ

$$F_t = \frac{2 \pi n T}{v} \approx \frac{2 \pi n T}{p z n} = \frac{2 \pi T}{p z} = \frac{2 T}{d} \quad (4-3)$$

- โดยที่  $F_t$  = แรงในแนวสัมผัส
- $W_p$  = กำลังงาน
- $T$  = โมเมนต์บิด
- $v$  = ความเร็วรอบของฟันเฟือง
- $z$  = จำนวนฟันของฟันเฟือง
- $n$  = ความเร็วรอบของฟันเฟือง

4.2.3 แรงหนีศูนย์กลาง

ในขณะที่ส่งกำลังที่ข้อต่อของโซ่จะมีแรงหนีศูนย์กลางในแนวรัศมีของเฟืองโซ่  $F_c$  ดังรูป 11.13 ซึ่งมีค่าเท่ากับ



รูปที่ 4-12 การแยกแรงหนีศูนย์กลาง  $F_c$  ออกเป็นแรงย่อย  $F_{ct}$

$$F_c = m r \omega^2 = \frac{m v^2}{r} = \frac{w}{g} v^2 \cdot 2 \sin \alpha$$

(4-4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $F_c$  = แรงหนีศูนย์กลางในแนวนอน  
 $w$  = น้ำหนักโซ่ต่อความยาว 1 เมตร

### 4.3 โซ่มาตรฐาน

องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) ได้กำหนดมาตรฐานของโซ่โรลเลอร์สำหรับใช้ส่งกำลังไว้ใน ISO/R 606-1967 (E) ซึ่งครอบคลุมถึงโซ่โรลเลอร์ตามมาตรฐานอังกฤษ (BS) และมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (ANSI) โดยใช้อักษร B และ A ต่อท้ายเพื่อแสดงถึงที่มาของโซ่จากอังกฤษและสหรัฐอเมริกาตามลำดับ

การให้ชื่อโซ่โรลเลอร์ ISO กำหนดให้ใช้ตัวเลขสองตัวแทนระยะพิตซ์ของโซ่โดยบอกเป็นจำนวนเศษในสิบหกส่วนของหนึ่งนิ้ว ตามด้วยตัวอักษร B หรือ A แล้วตามด้วยตัวเลขหลังขดถึงค (hyphen) ดังนี้คือ 1 แทนโซ่หนึ่งชั้น 2 แทนโซ่สองชั้น 3 แทนโซ่สามชั้น

ขนาดโซ่มาตรฐาน ISO จะดูได้จากตาราง 4-1(ก) และมวลของโซ่ต่อความยาวดูได้จากตาราง 4-1(ข)

โซ่ ISO	พิตซ์ p	ขนาดเป็น mm				แรงแตกหัก kN		
		$d_1$	$b_1$	$d_2$	$b_2$	หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น
		max	min	max	min			
05B	8.00	5.00	3.00	2.31	4.90	4.51	7.85	11.18
06B	9.525	6.35	5.72	3.28	8.66	8.93	16.97	24.92
08A	12.70	7.95	7.95	3.96	11.31	13.83	27.66	41.50
08B	12.70	8.51	7.75	4.45	11.43	17.85	31.20	44.54
10A	15.875	10.16	9.53	5.08	13.97	21.78	43.56	65.33
10B	15.875	10.16	9.65	5.08	13.41	22.27	44.54	66.81
12A	19.05	11.91	12.70	5.94	17.88	31.20	62.39	93.59
12B	19.05	12.07	11.68	5.72	15.75	28.94	57.88	86.82
16A	25.40	15.88	15.88	7.92	22.74	55.62	111.25	166.87
16B	25.40	15.88	17.02	8.28	25.58	42.28	84.56	126.84
20A	31.75	19.05	19.05	9.53	27.59	86.82	173.64	260.46
20B	31.75	19.05	19.56	10.19	29.14	64.55	129.10	193.65
24A	38.10	22.23	25.40	11.10	35.59	124.59	249.17	373.76
24B	38.10	25.40	25.40	14.63	38.05	97.90	195.81	293.71

ตาราง 4-1(ก) โซ่โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976(E)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเป็น mm

ไซ้	พิตช์ p	d <sub>1</sub> max	b <sub>1</sub> min	d <sub>2</sub> max	b <sub>3</sub> min	แรงแตกหัก kN		
						หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น
28A	44.45	25.40	25.40	12.70	37.32	169.12	338.25	507.37
28B	44.45	27.94	30.99	15.90	46.71	129.10	258.20	387.30
32A	50.80	28.58	31.75	14.27	45.34	222.49	444.98	667.47
32B	50.80	29.21	30.99	17.81	45.70	169.12	338.25	507.37
40A	63.50	39.68	38.10	19.84	55.02	347.08	694.16	1041.23
40B	63.50	39.37	38.10	22.89	55.88	262.61	525.23	787.84
48A	76.20	47.63	47.63	23.80	67.95	500.60	1001.21	1501.81
48B	76.20	48.26	45.72	29.24	70.69	400.54	800.99	1201.43
56B	88.90	53.98	53.34	34.32	81.46	542.89	1085.77	-
64B	101.60	63.50	60.96	39.40	92.15	712.01	1423.92	-
72B	114.30	72.39	68.58	44.48	103.94	898.89	1797.78	-

ตาราง 4-1(ก) (ต่อ) ไซ้โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976(E)

ไซ้	มวลของไซ้, kg/m			ไซ้	มวลของไซ้, kg/m			
	หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น		ISO	หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น
06B	0.39	0.74	1.10	06A	0.33	0.65	0.98	
08B	0.68	1.34	1.99	08A	0.61	1.22	1.83	2.44
10B	0.85	1.70	2.55	10A	0.98	1.96	2.95	3.93
12B	1.16	2.31	3.45	12A	1.59	3.05	4.54	6.10
16B	2.71	5.42	8.13	16A	2.50	5.00	7.50	10.00
20B	3.70	7.40	11.10	20A	3.68	7.35	11.03	14.70
24B	6.70	13.75	20.75	24A	5.54	11.07	16.61	22.14
28B	8.25	16.80	25.40	28A	7.52	15.00	22.60	30.10
32B	9.22	18.45	27.67	32A	9.67	19.34	29.02	38.69
40B	15.48	31.55	47.62	40A	15.48	30.95	46.43	61.90
48B	24.71	50.00	75.45	48A				
56B	33.20	67.60		56A				
64B	44.64	89.29		64A				
72B	59.50			72A				

ตาราง 4-1(ข) มวลของไซ้โรลเลอร์ตามความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโซ่ฟันยังมีได้กำหนดเป็นมาตรฐานระหว่างประเทศ ดังนั้นในที่นี้จึงจะใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (DIN) แทนเพื่อประกอบในการคำนวณขนาดโซ่ฟันมาตรฐาน DIN จะดูได้จากตาราง 4-2 การให้ชื่อจะบอกเป็นระยะพิทช์ของโซ่คูณกับความกว้างระบุของโซ่

ขนาดเป็น mm

พิทช์ p	ความกว้าง ระบุ	ความกว้าง ใช้งาน	ความกว้าง ด้านนอก	แรงแตกหัก kN		มวล kg/m
	$b_N$	b	e	A ไม่ชุบแข็ง	B ชุบแข็ง	
12.70	25	23.5	28.0	14.22	28.45	1.3
	30	29.5	34.0	17.66	35.32	1.6
	40	42.0	46.5	25.51	51.01	2.1
	50	48.5	53.0	29.43	58.86	2.6
15.875	25	23.5	28.5	15.70	31.39	1.9
	30	29.5	34.5	20.60	41.20	2.4
	40	42.0	47.0	29.43	58.86	3.2
	50	48.5	53.5	34.34	68.67	3.9
	65	64.0	69.0	45.13	90.25	5.1
19.05	30	29.5	35.0	27.47	54.94	3.0
	40	42.0	48.5	39.24	78.48	3.8
	50	48.5	54.0	46.11	92.21	4.8
	65	64.0	69.5	61.80	123.61	6.2
	75	76.5	82.0	73.58	147.15	7.4
25.40	50	52.0	59.0	85.35	122.63	7.0
	65	64.5	71.5	96.14	137.34	8.5
	75	76.5	83.5	128.51	183.45	10.1
	90	89.0	96.0	137.34	196.20	11.4
	100	101.0	108.0	171.68	245.25	13.2
38.10	65	64.5	72.5	130.47	186.39	13.2
	75	76.5	84.5	171.68	245.25	15.2
	100	101.0	109.0	230.54	329.62	20.2
	125	125.0	133.0	288.41	412.02	25.0
	150	150.0	158.0	377.69	539.55	30.0
50.80	75	78.0	88.0	233.48	333.54	19.5
	100	102.0	112.0	312.94	447.34	25.7
	125	128.0	138.0	391.42	559.17	32.0
	150	152.0	162.0	443.41	633.73	38.2
	175	176.0	186.0	542.49	774.99	44.5

ตาราง 4-2 โซ่ฟันตามมาตรฐาน DIN 8190-1954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การคำนวณหาขนาดของโซ่

ในทางปฏิบัติการคำนวณหาขนาดโซ่จะใช้วิธีเลือกขนาดโซ่จากแค็ตตาล็อกของบริษัทผู้ผลิตโซ่ โดยทำตามคำแนะนำในแค็ตตาล็อกนั้น หลังจากทีเลือกขนาดของโซ่ได้แล้ว อาจตรวจสอบว่าโซ่ใช้งานได้หรือไม่ด้วยสมการ

$$F = \frac{F_b}{N_t}$$

(4-5)

โดยที่  $F_b$  = แรงแตกหักน้อยที่สุดของโซ่  
 $N_t$  = ค่าความปลอดภัยซึ่งควรมีค่าระหว่าง 7 ถึง 15

##### 4.4.1 โซ่โรลเลอร์

ในการเลือกขนาดโซ่จะต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้ คือ

- ก. กำลังงานที่ต้องการส่งเป็น kW
- ข. ความเร็วรอบของเพลาขับและเพลาดำเป็น rpm
- ค. การใช้งาน เช่น ชนิดของอุปกรณ์ขับและอุปกรณ์ที่ต้องการขับ

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมานี้ จึงเริ่มต้นการเลือกขนาดของโซ่ตามขั้นตอนดังนี้ คือ

##### 4.4.1.1 หาจำนวนฟันของพินเนียน (คือจำนวนฟันบนเฟืองโซ่เล็ก)

เพื่อให้โซ่มีอายุใช้งานได้สูงสุด ทำงานได้อย่างราบรื่น และมีสมรรถนะที่อำนวยความสะดวกที่สุด การหาจำนวนฟันบนพินเนียน ควรพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

ในการขับส่วนมากจะใช้จำนวนฟันเป็นเลขคู่ และใช้พินเนียนที่มีฟันเป็นเลขคี่เพื่อให้แน่ใจได้ว่าโซ่และฟันบนพินเนียนจะเกิดการสึกหรออย่างสม่ำเสมอ

โดยทั่วไปถ้าเป็นการขับอย่างสม่ำเสมอพินเนียนไม่ควรมีฟันน้อยกว่า 17 ฟัน เนื่องจากว่าโซ่จะวางตัวบนพินเนียนในลักษณะของรูปหลายเหลี่ยม ทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้จะน้อยมากเมื่อพินเนียนมีจำนวนฟันมากขึ้น

ถ้ามีการกระตุกเล็กน้อยควร ใช้พินเนียนที่มีจำนวนฟันอย่างน้อย 23 ฟัน

พินเนียนควรผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ให้มีความแข็ง HV10-550

4.4.1.2 ตัวประกอบใช้งาน  $N_t$  สำหรับโซ่เพื่อใช้ประกอบในการเลือกขนาดโซ่ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะของการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 1 แรงกระทำสม่ำเสมอ เช่น

เครื่องกวาดและเครื่องผสมของเหลว กิ่งของเหลว

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องเป่าแบบหอยโข่ง

เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง

อุปกรณ์ลำเลียง ลิฟต์ บันไดเลื่อน

เครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องคัม เช่น เครื่องบรรจุขวด เครื่องบรรจุกระป๋อง

เครื่องสูบลมแบบหอยโข่ง แบบเฟือง แบบโรตารี

เครื่องพิมพ์

เครื่องจักรกลงานไม้ชนิดงานละเอียด

ตัวประกอบใช้งานในกลุ่มนี้ดูได้จากตาราง 4-3

โซโรลเลอร์แบบ B				โซโรลเลอร์แบบ A			
จำนวน พินบน ซีเนียน	อุปกรณ์ขับ*			จำนวน พินบน ซีเนียน	อุปกรณ์ขับ**		
	สม่ำเสมอ	กระตุก ปานกลาง	กระตุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
ใช้กับแผนภูมิรูป 11.18				ใช้กับแผนภูมิรูป 11.19			
11	1.72	2.16	2.59	11	1.41	1.41	1.69
12	1.59	1.98	2.38	12	1.28	1.28	1.54
13	1.47	1.84	2.21	13	1.19	1.19	1.43
14	1.35	1.69	2.03	14	1.10	1.10	1.32
15	1.27	1.58	1.90	15	1.00	1.00	1.20
16	1.19	1.49	1.79	16	0.93	0.93	1.11
17	1.12	1.40	1.69	17	0.86	0.86	1.03
18	1.05	1.32	1.58	18	0.81	0.81	0.98
19	1.00	1.25	1.50	ใช้กับแผนภูมิรูป 11.20			
20	0.95	1.19	1.43	19	1.00	1.00	1.20
21	0.91	1.14	1.36	20	0.93	0.93	1.12
22	0.86	1.08	1.29	21	0.88	0.88	1.06
23	0.83	1.03	1.24	22	0.84	0.84	1.01
24	0.79	0.99	1.19	23	0.80	0.80	0.96
25	0.76	0.95	1.14	24	0.75	0.78	0.93
				25	0.75	0.75	0.90

\* สม่ำเสมอ : มอเตอร์ไฟฟ้า

กระตุกมาก : เครื่องยนต์หนึ่งสูบ

กระตุกปานกลาง : เครื่องยนต์หลายสูบ

\*\*

ประเภท I : เครื่องยนต์ต่อผ่านไฮดรอลิคดับปลิง ประเภท II : มอเตอร์ไฟฟ้าหรือกังหัน

ประเภท III : เครื่องยนต์ต่อผ่านอุปกรณ์ทางกล

ตาราง 4-3 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 2 แรงกระทำที่มีการกระตุกปานกลาง เช่น

เครื่องกวาดและเครื่องผสมของเหลวกับของแข็งหรือของผสมที่มีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง

เครื่องเป่าแบบหอยโข่งความดันสูง พัดลมในงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

เครื่องมือวนสายเคเบิล

เครื่องผสมซีเมนต์

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

ที่มีลูกสูบตั้งแต่สามลูกสูบขึ้นไป

อุปกรณ์ลำเลียงและลิฟต์ ที่มีอัตราการลำเลียงไม่สม่ำเสมอ

ปั่นจั่นและรอกขนาดใหญ่

เครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดัด เช่น เครื่องผสมแป้ง เครื่องบด

เครื่องหั่น

เครื่องซักผ้า

เครื่องมือกล เช่น เครื่องรีด เครื่องกลึงและเครื่องกัด

เครื่องอัดและเครื่องตัด

กาวาน

เครื่องจักรที่ใช้ผลิตกระดาษ เช่น เครื่องผสมเยื่อกระดาษ เครื่องรีดกระดาษ

เครื่องสูบลูกสูบแบบลูกสูบ ที่มีลูกสูบตั้งแต่สามลูกสูบขึ้นไป

เตาเผาแบบหมุน

เครื่องรีดโลหะ

เครื่องทอผ้า

เครื่องจักรกลงานไม้ เช่น เครื่องเลื่อยไม้

ตัวประกอบใช้งานในกลุ่มนี้ดูได้จากตาราง 4-4

ไซโรลเลอร์แบบ B				ไซโรลเลอร์แบบ A			
จำนวน พื้นบน สี่เหลี่ยม	อุปกรณ์ขับ *			จำนวน พื้นบน สี่เหลี่ยม	อุปกรณ์ขับ **		
	สม่ำเสมอ	กระตุก ปานกลาง	กระตุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
ใช้กับแผนภูมิรูป 11.18				ใช้กับแผนภูมิรูป 11.19			
11	2.16	2.59	3.02	11	1.69	1.83	1.97
12	1.95	2.38	2.78	12	1.54	1.67	1.79
13	1.84	2.21	2.57	13	1.43	1.55	1.67
14	1.69	2.03	2.36	14	1.32	1.43	1.54

ตาราง 4-4 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซโรลเลอร์แบบ B				โซโรลเลอร์แบบ A			
จำนวน พื้นบน ที่เทียบ	อุปกรณ์ชั้น*			จำนวน พื้นบน ที่เทียบ	อุปกรณ์ชั้น**		
	สม่ำเสมอ	กระทุก ปานกลาง	กระทุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
15	1.58	1.90	2.22	15	1.20	1.30	1.40
16	1.49	1.79	2.08	16	1.11	1.20	1.30
17	1.40	1.69	1.97	17	1.03	1.12	1.21
18	1.32	1.58	1.84	18	0.98	1.06	1.14
19	1.25	1.50	1.75	ใช้กับแผนภูมิรูป 11.20			
20	1.19	1.43	1.67	19	1.20	1.30	1.40
21	1.14	1.36	1.59	20	1.12	1.21	1.31
22	1.08	1.29	1.51	21	1.06	1.15	1.24
23	1.03	1.24	1.45	22	1.01	1.09	1.18
24	0.99	1.19	1.39	23	0.96	1.04	1.12
25	0.95	1.14	1.33	24	0.93	1.01	1.09
				25	0.90	0.97	1.04

ตาราง 4-4 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระทุกปานกลาง(ต่อ)

กลุ่มที่ 3 แรงกระทำที่มีการกระทุกมาก เช่น  
 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น เครื่องเชื่อมไฟฟ้า  
 เครื่องเป่าและพัดลมแบบ positive displacement  
 เครื่องผลิตก้อนอิฐ  
 เครื่องจักรกลในโรงงานน้ำตาล  
 เครื่องขกรถและลากรถ  
 เครื่องบดซีเมนต์  
 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบที่มีลูกสูบหนึ่งหรือสองลูกสูบ  
 อุปกรณ์ลำเลียง ลิฟต์ แบบเลื่อนไปกลับและแบบเขย่า  
 เครื่องบดหิน  
 เครื่องขุดและเครื่องตักดิน  
 เครื่องมือกล เช่น เครื่องในไส  
 เครื่องจักรกลในเมืองแร่  
 เครื่องสูบน้ำมัน  
 เครื่องผลิตกระดาษ เช่น เครื่องบดเยื่อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดอานหิน

เครื่องสูบลูกสูบ ที่มีลูกสูบตั้งแต่หนึ่งหรือสองลูกสูบ

เครื่องรีดโลหะ

ตัวประกอบใช้งานในกลุ่มนี้ดูได้จากตาราง 4-5

โซโรลเลอร์แบบ B				โซโรลเลอร์แบบ A			
จำนวน พื้นบน สี่เหลี่ยม	อุปกรณ์ขับ *			จำนวน พื้นบน สี่เหลี่ยม	อุปกรณ์ขับ **		
	สม่ำเสมอ	กระทุก ปานกลาง	กระทุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
ใช้กับแผนภูมิรูป 11.18				ใช้กับแผนภูมิรูป 11.19			
11	3.02	3.45	3.88	11	1.97	2.11	2.39
12	2.78	3.17	3.57	12	1.79	1.92	2.18
13	2.57	2.94	3.31	13	1.67	1.79	2.02
14	2.36	2.70	3.04	14	1.54	1.65	1.87
15	2.22	2.53	2.85	15	1.40	1.50	1.70
16	2.08	2.38	2.68	16	1.30	1.39	1.57
17	1.97	2.25	2.53	17	1.21	1.29	1.47
18	1.84	2.11	2.37	18	1.14	1.22	1.38
19	1.75	2.00	2.25	ใช้กับแผนภูมิรูป 11.20			
20	1.67	1.90	2.14	19	1.40	1.50	1.70
21	1.59	1.82	2.05	20	1.31	1.40	1.59
22	1.51	1.72	1.94	21	1.24	1.33	1.50
23	1.45	1.65	1.86	22	1.18	1.26	1.43
24	1.39	1.59	1.79	23	1.12	1.20	1.36
25	1.33	1.52	1.70	24	1.09	1.16	1.32
				25	1.04	1.12	1.27

ตาราง 4-5 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระทุกมาก

4.4.1.3 กำหนดหาจำนวนพื้นบนเพื่อโซใหญ่ โดยการคูณจำนวนพื้นบนที่เนี้ยนด้วยอัตราทด ถ้าจำนวนพื้นที่ได้ไม่เหมาะสมให้เลือกใช้เนี้ยนให้มีจำนวนพื้นมากขึ้น และมีอัตราทดตามต้องการ จำนวนพื้นของเฟืองโซที่ใช้กับโซระยะพิตซ์ต่างๆ ดูได้จากตาราง 4-6

เพื่อให้โซมีอายุการใช้งานอย่างอำนวยประโยชน์ที่สุด จำนวนพื้นของเฟืองโซไม่ควรมากกว่า 120 พื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11	12	13	14	15	17	19	20	21	23
25	27	30	38	57	76	95	114	150	

ตาราง 4-6 จำนวนพื้นที่ของเฟืองโซ่

คำนวณหากำลังที่ใช้เลือกโซ่ P ได้โดยการคูณกำลังที่ต้องการส่ง ด้วยด้วยตัวประกอบใช้งาน เพราะฉะนั้น กำลังที่ใช้เลือกโซ่

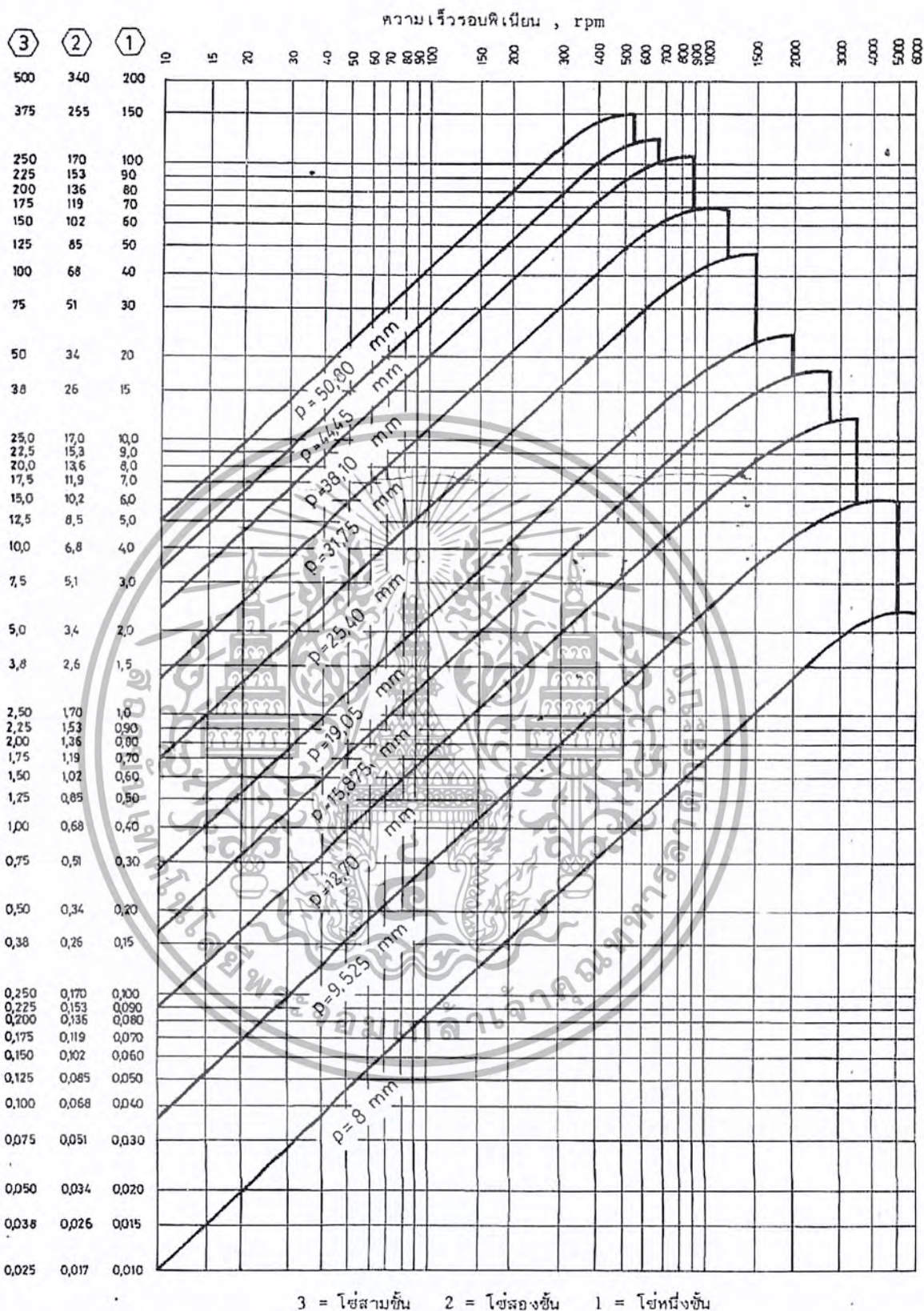
$$P = W_p N_s \quad (4-5)$$

#### 4.4.1.4 เลือกโซ่ที่ต้องการใช้งาน

โดยพยายามเลือกโซ่ที่มีระยะพิตช์น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อน ด้วยการใช้ความเร็วรอบของพินเนียนในการเลือก ซึ่งจะได้อัตราที่ประหยัดที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการให้มีขนาดกระทัดรัด ใช้งานได้ที่ความเร็วสูง และขับได้อย่างราบรื่น ก็ควรเลือกโซ่หลายชั้นที่มีระยะพิตช์น้อย

เมื่อกำลังที่พินเนียนส่งมีค่ามากกว่าค่าในช่องหมายเลข 1 ก็อาจเลือกโซ่หลายชั้นในช่องหมายเลข 2, 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับโซ่ในแผนภูมิทั้งสามที่กล่าวมานี้ ถ้าใช้งานอย่างเต็มที่จะมีอายุการใช้งานประมาณ 15,000 ชั่วโมง

#### 4.4.1.5 กำหนดระยะระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ และความยาวโซ่ เพื่อให้โซ่มีอายุใช้งานอย่างเหมาะสมที่สุด ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ควรอยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 เท่าของระยะพิตช์โซ่



รูปที่ 4-13 แผนภูมิที่ใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ C ที่แนะนำให้ใช้ได้จากราย 4-7

ระยะพิตช์ mm	ระยะห่างระหว่าง ศูนย์กลาง, mm	ระยะพิตช์ mm	ระยะห่างระหว่าง ศูนย์กลาง, mm
9.525	450	38.10	1350
12.70	600	44.45	1500
15.875	750	50.80	1700
19.05	900	63.50	1800
25.40	1000	76.20	2000
31.75	1200		

ตารางที่ 4-7 ระยะระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ C

เมื่อทราบระยะระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่โดยประมาณแล้ว ก็อาจหาจำนวนข้อโซ่ได้จากสมการ

$$x = \frac{2c}{p} + \frac{Z+z}{2} + \left( \frac{Z-z}{2\pi} \right)^2 \frac{p}{c}$$

(4-6)

โดยที่  $x$  = จำนวนข้อโซ่หรือจำนวนพิตช์ของโซ่ (ต้องเป็นเลขคู่)  
 $c$  = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่  
 $p$  = ระยะพิตช์ของโซ่  
 $z$  = จำนวนฟันบนพินเนียน  
 $Z$  = จำนวนฟันบนเฟืองโซ่

#### 4.5 ลิ้ม

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น ล้อสายพาน เฟือง ใบพัด ลูกเบี้ยว และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ส่งหรือรับกำลังจากเพลลา โดยที่จะต้องยึดแน่นกับเพลลาเพื่อให้หมุนไปพร้อมกันกับเพลลา ชิ้นส่วนประเภทนี้อาจส่งแรงบิดและมีการถอดประกอบบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงมักจะยึดติดกับเพลลาโดยใช้ลิ้ม ลิ้มเป็นแท่งโลหะที่ใส่ไว้ในร่องของชิ้นส่วนทั้งสองที่ยึดอยู่ด้วยกัน ซึ่งเรียกว่า ร่องลิ้ม ฉะนั้นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่จะนำมายึดกับเพลลาและเพลลาเองก็ต้องทำร่องลิ้มไว้เพื่อใส่ลิ้ม ลิ้มทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการหมุนสัมพัทธ์ขึ้นระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ในบางครั้งสามารถใช้ลิ้มทำหน้าที่กันมิให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกนของเพลลาด้วย การตัดร่องลิ้มบนเพลลาทำให้ความแข็งแรงของเพลลาลดลง ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของร่องลิ้ม ลิ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

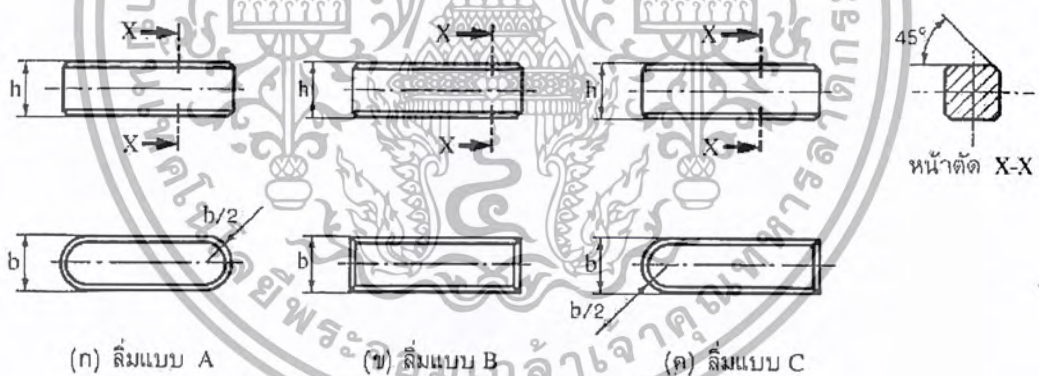
แบ่งออกเป็นหลายชนิด ดังนั้นการเลือกใช้และการติดตั้งจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น กำลังที่จะส่ง ชนิดของพิกัดความถี่ ความมั่นคงของรอยต่อ และราคา ในการส่งกำลังน้อยๆ อาจใช้หมุดเกลียวปรับ (set screw) ขันยึดชิ้นส่วนติดกับเพลากลมได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้ลิ้ม แต่โดยมากมักใช้ลิ้มยึด การใช้หมุดเกลียวปรับมักใช้ยึดลิ้มติดกับร่องลิ้มบนเพลา เพื่อป้องกันชิ้นส่วนเลื่อนตัวในแนวแกนของเพลา

#### 4.6 ชนิดของลิ้ม

ลิ้มแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกันดังนี้คือ

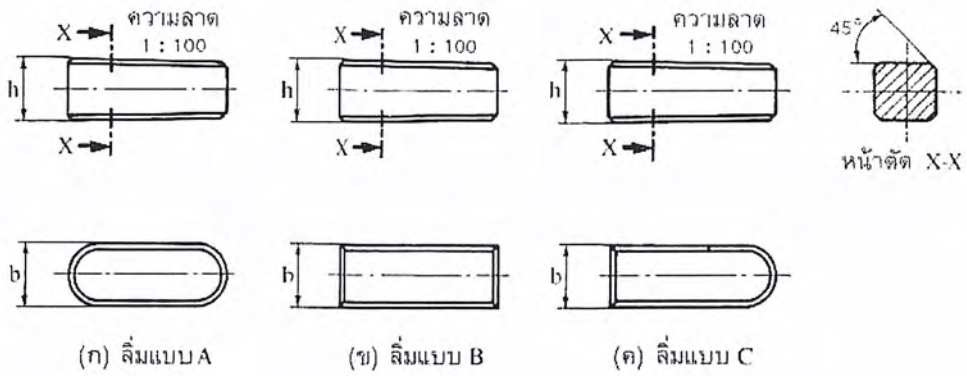
1. ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัส องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศกำหนดขนาดมาตรฐานของลิ้มชนิดนี้ไว้ใน ISO/R 773 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4-14 ลิ้มชนิดนี้จะฝังอยู่ในเพลาค้างหนึ่ง และฝังอยู่ในคุมของเฟือง (hub) ล้อสายพานหรือข้อเหวี่ยงอีกประมาณครึ่งหนึ่งของความหนา ลิ้มชนิดนี้มักใช้กับเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมทั่วไป

ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามลำดับ ถ้ามีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวเรียกว่า เฟิเยเธอร์คีย์ (feather key) มักใช้กับงานที่ต้องการใช้คลุมล้อเลื่อน ไปบนเพลาได้ เพียงแต่ป้องกันมิให้เกิดการหมุนสัมพัทธ์เท่านั้น บางครั้งอาจต้องยึดลิ้มให้ติดกับเพลาด้วยหมุดเกลียวปรับด้วย เช่น ในชุดเฟืองทดของรถยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 4-14 ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัส

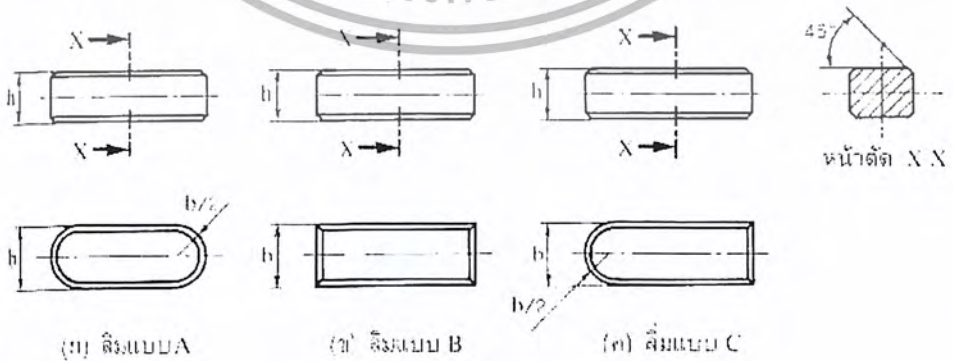
ในบางครั้งเมื่อต้องการให้คลุมล้อติดกับเพลาอย่างแน่นอนอาจเลือกใช้ลิ้มตามมาตรฐาน ISO/R774 ซึ่งเป็นลิ้มเรียวยาวที่มีความลาดประมาณ 1:100 ดังรูปที่ 4-15 โดยทำให้ลาดทางด้านความสูง ส่วนทางด้านกว้างยังคงกว้างเท่าเดิมตลอดความยาว



รูปที่ 4-15 ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบเรียว

ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบเรียวนี้มักจะมีหัวไว้สำหรับตอกอัดเข้าไปในร่องลิ่มและถอดลิ่มออกจากร่องลิ่ม ดังรูปที่ 4-15 (ง) และมักเรียกว่า ลิ่มจุก

2. ลิ่มแบน ลิ่มชนิดนี้มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นกัน แต่มีลักษณะบางกว่าลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยทั่วไป ดังรูปที่ 4-16 ลิ่มชนิดนี้จะใช้เมื่อต้องการให้เพลลาแข็งแรงขึ้น เพราะถ้าใช้ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วจะต้องเจาะร่องลิ่มบนเพลลาลึกมาก ลิ่มชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานเบาหรือเมื่อต้องการใช้ร่องลิ่มบนเพลลาและดูมล้อตื้น เช่น ในกรณีที่ใช้เพลลาทวง ลิ่มแบนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด เช่นเดียวกับลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าคือ มีทั้งชนิดที่พื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวตามมาตรฐาน ISO 2491 และชนิดที่มีความลาด 1:100 ทางด้านความสูงตามมาตรฐาน ISO 2492



รูปที่ 4-16 ลิ่มแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 การให้ชื่อลิ่ม

ลิ่มแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกันและมีขนาดเป็นมาตรฐาน ดังนั้นการเลือกใช้ลิ่มจึงต้องเลือกขนาดตามมาตรฐาน มิใช่คำนวณหาขนาดต่างๆออกมาเอง ขนาดลิ่มมาตรฐานจะดูได้จากตาราง นอกจากนี้ยังกำหนดวิธีการให้ชื่อลิ่มดังนี้

การให้ชื่อลิ่มให้บอกว่าเป็นลิ่มมาตรฐานระหว่างประเทศหมายเลขเท่าใด (ซึ่งจะบอกถึงชนิดของลิ่ม) ตามด้วยเครื่องหมาย – แล้วตามด้วยขนาดความกว้างของลิ่ม \* ความสูงของลิ่ม \* ความยาวของลิ่มเช่น

- ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบ A กว้าง 12 มิลลิเมตร สูง 8 มิลลิเมตร และยาว 70 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า ISO/R 773-A12\*8\*70
- ลิ่มจุกสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบ B กว้าง 18 มิลลิเมตร สูง 11 มิลลิเมตร และยาว 125 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มจุกสี่เหลี่ยมผืนผ้า ISO/R 774-B18\*11\*125
- ลิ่มแบน แบบ B กว้าง 20 มิลลิเมตร สูง 8 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มแบน ISO 2491-B20\*8\*100
- ลิ่มจุกแบน แบบ C กว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 6 มิลลิเมตร และยาว 50 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มจุกแบน ISO 2492-C10\*6\*50
- แฉกเดลิคียังมิได้กำหนดเป็นมาตรฐานโดยองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณต่อไปจะใช้วิธีการให้ชื่อของมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (DIN) และจะใช้ขนาดของลิ่มตามมาตรฐาน DIN 6881 ในตารางที่ 8.1 ด้วย เช่น แฉกเดลิคีย กว้าง 8 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร และยาว 20 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : แฉกเดลิคีย DIN 6881 8\*5\*20
- ลิ่มวงเดือนกว้าง 5 มิลลิเมตร สูง 6.5 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มวงเดือน ISO 3912-5\*6.5
- ลิ่มวงเดือนแบบวิทนี กว้าง 5 มิลลิเมตร สูง 5.2 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มวงเดือนแบบวิทนี ISO 3912-5\*5.2
- แทนเจนเชียลลียูคหนึ่ง มีความหนา e=8 มิลลิเมตร กว้าง b=24 มิลลิเมตร และยาว l=100 มิลลิเมตร ก็ให้ชื่อว่า : แทนเจนเชียลลียูค ISO 3117-8\*24\*100
- สปลายน์ ให้ชื่อ โดยบอกจำนวนฟันสปลายน์ N เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย d และเส้นผ่านศูนย์กลางนอก D เช่น สปลายน์ ISO/R 14 6\*23\*26

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าการเลือกใช้ลิ่มจะต้องเลือกใช้ตามขนาดมาตรฐาน นอกจากนี้แล้วยังต้องเลือกขนาดลิ่มให้สอดคล้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาที่ใช้งานกับลิ่มด้วย ดังตาราง

หมายเหตุ

1. ถ้าเพลลา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 630 มิลลิเมตร อาจคำนวณหาขนาดของลิ่มได้โดยใช้สมการ

$$t = 0.068d \quad (4-7)$$

$$b = \sqrt{t(d-t)} \quad (4-8)$$

2. ถ้าเพลารับแรงกระดุกบ่อยครั้ง หรือเปลี่ยนทิศทางการหมุนบ่อยๆ ต้องใช้ขนาดลิ้มโต กว่าใน ตารางที่ 8.2 ซึ่งคำนวณหาขนาดลิ้มได้โดยใช้สมการ

$$t = 0.1d \quad (4-9)$$

$$b = \sqrt{t(d-t)} \\ = 0.3d \quad (4-10)$$

ขนาดเพลาด	ขนาดเล็ก				ขนาดปานกลาง			
	การให้ชื่อ	Z	D	B	การให้ชื่อ	Z	D	B
11					6 × 11 × 14	6	14	3.0
13					6 × 13 × 16	6	16	3.5
16					6 × 16 × 20	6	20	4.0
18					6 × 18 × 22	6	22	5.0
21					6 × 21 × 25	6	25	5.0
23	6 × 23 × 26	6	26	6.0	6 × 23 × 28	6	28	6.0
26	6 × 26 × 30	6	30	6.0	6 × 26 × 32	6	32	6.0
28	6 × 28 × 32	6	32	7.0	6 × 28 × 34	6	34	7.0
32	8 × 32 × 36	8	36	6.0	8 × 32 × 38	8	38	6.0
36	8 × 36 × 40	8	40	7.0	8 × 36 × 42	8	42	7.0
42	8 × 42 × 46	8	46	8.0	8 × 42 × 48	8	48	8.0
46	8 × 46 × 50	8	50	9.0	8 × 46 × 54	8	54	9.0
52	8 × 52 × 58	8	58	10.0	8 × 52 × 60	8	60	10.0
56	8 × 56 × 62	8	62	10.0	8 × 56 × 65	8	65	10.0
62	8 × 62 × 68	8	68	12.0	8 × 62 × 72	8	72	12.0
72	10 × 72 × 78	10	78	12.0	10 × 72 × 82	10	82	12.0
82	10 × 82 × 88	10	88	12.0	10 × 82 × 92	10	92	12.0
92	10 × 92 × 98	10	98	14.0	10 × 92 × 102	10	102	14.0
102	10 × 102 × 108	10	108	16.0	10 × 102 × 112	10	112	16.0
112	10 × 112 × 120	10	120	18.0	10 × 112 × 125	10	125	18.0

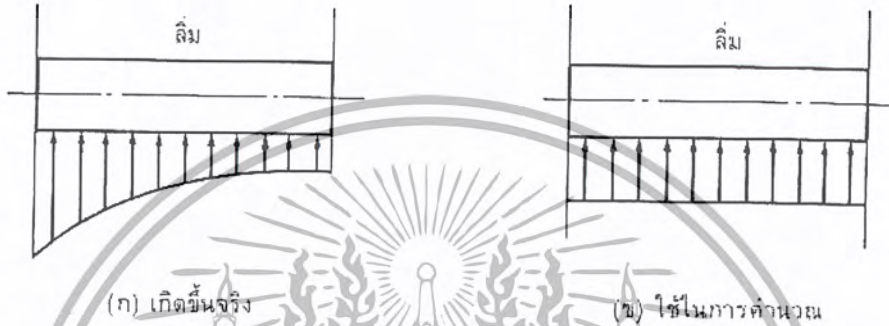
ตารางที่ 4-8 ขนาดมาตรฐานของสปลายน ISO/R 14

#### 4.8 ความเค้นที่รอยต่อด้วยลิ้ม

เมื่อใช้ลิ้มต่อเพลากับคูลเพื่อส่งโมเมนต์บิด ความเค้นที่เกิดขึ้นในลิ้มจะเป็นแบบสามมิติและมีความยุ่งยากในการคิดคำนวณมาก ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากแรง 2 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แรงเนื่องจากการสวมอัดลึกลงในร่องลึ้ม เช่น การสวมอัดลึ้มแบบธรรมดาหรือแบบเรียว แรงเหล่านี้ทำให้เกิดความเค้นอัดขึ้นในลึ้มซึ่งไม่อาจหาค่าที่แน่นอนของแรงเหล่านี้ได้
2. แรงเนื่องจากการส่งโมเมนต์บิด ทำให้เกิดความเค้นอัดและความเค้นเฉือนในลึ้ม  
แรงที่กระทำตามแนวขวางของลึ้มจะไม่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวลึ้ม แต่จะมีค่ามากในบริเวณใกล้กับจุดที่รับ โมเมนต์บิด ทั้งนี้เนื่องมาจากการบิดระหว่างเพลากับคูล้อ เพราะเพลามีความแข็งตึงบิด (torsional stiffness) น้อยกว่าคูล้อ มีผู้ทำการทดลองหาลักษณะการกระจายความเค้นตลอดความยาวลึ้ม พบว่ามีลักษณะดังรูปที่ 4-17(ก)

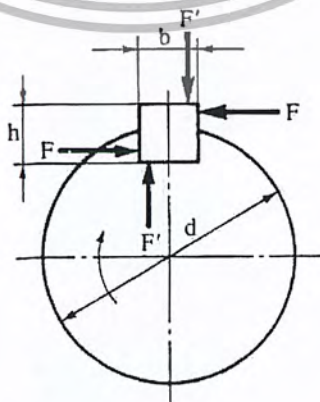


รูปที่ 4-17 ความเค้นบนลึ้ม

ในการหาความเค้นที่เกิดขึ้นในลึ้มนั้น เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงมักจะใช้ข้อสมมติฐาน ดังนี้คือ

- ก. แรงที่กระจายตลอดความยาวของลึ้มมีค่าสม่ำเสมอ
- ข. ไม่คิดแรงที่เกิดจากการสวมอัดลึ้ม

จากสมมติฐานดังกล่าวทำให้คำนวณหาขนาดของลึ้มได้ง่ายขึ้น ในทางปฏิบัติการคำนวณหาขนาดลึ้มมักจะเป็นการคำนวณหาความยาวของลึ้มเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากลึ้มมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็นมาตรฐานอยู่แล้ว พร้อมทั้งขนาดของลึ้มที่เหมาะสมกับเพลานขนาดต่างๆก็หาได้จากตาราง



รูปที่ 4-18 แรงบนรอยต่อด้วยลึ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารอบต่อด้วยลิมิตรูปที่ 4-18 ให้  $F$  เป็นแรงที่กระทำกับลิมิตเนื่องจากโมเมนต์บิด และ  $F'$  เป็นแรงที่กดลิมิตไว้ไม่ให้ลิมิตเอียง โมเมนต์บิดเพลทำให้ดุมลิมิตมีแรงต้านทาน  $F$  เกิดขึ้นซึ่งกระทำในแนวตั้งฉากกับลิมิต สมมติว่าแรงนี้กระทำที่จุดกึ่งกลางของลิมิตส่วนที่โผล่พ้นขึ้นจากเพลลา ดังนั้นจึงหาแรง  $F$  ได้จากสมการ

$$T = F \left[ \frac{d}{2} + \frac{h}{4} \right] \approx \frac{Fd}{2} \quad (4-11)$$

จากข้อสมมติฐานที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อคิดว่าลิมิตขาดเนื่องจากแรงเฉือน ฉะนั้น

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{bltd}{2} \quad (4-12)$$

โดยที่  $T$  คือ โมเมนต์บิดบนเพลลา  
 $F$  คือ แรงที่กระทำกับลิมิต  
 $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา  
 $b$  คือ ความกว้างของลิมิต  
 $l$  คือ ความยาวของลิมิต  
 $T$  คือ ความเค้นเฉือนบนลิมิต

แต่เมื่อคิดว่าลิมิตโดนอัดแตก

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{hl\sigma_c d}{4} \quad (4-13)$$

โดยที่  $h$  คือ ความสูงของลิมิต  
 $\sigma_c$  ความเค้นอัดบนลิมิตหรือเพลลาหรือดุมลิมิต

เนื่องจากโมเมนต์บิดบนเพลลามีค่าเท่ากัน ดังนั้นจากสมการที่ 4-12 และสมการที่ 4-13

$$\frac{bltd}{2} = \frac{hl\sigma_c d}{4}$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ค่าความเค้นเฉือนที่วัสดุรับได้จะมีค่าประมาณ  $\frac{1}{2}$  ของความเค้นอัดที่วัสดุรับได้ นั่นคือ  $t = 0.5 \sigma_c$  เมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้ว่า

$$b = h$$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลิมิตสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นลิมิตที่ดีที่สุด เพราะสามารถรับแรงเฉือนและแรงอัดได้เท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาทางด้านความแข็งแรงของเพลลาแล้วจะเห็นว่าไม่เหมาะสม เนื่องจากร่องลิมิตของลิมิตสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะต้องเจาะลงไปบนเพลลามาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงไม่นิยมใช้ลิมิตชนิดนี้เท่าใดนัก ยกเว้นในกรณีที่ใช้กับเพลลาขนาดเล็กเท่านั้น

ในกรณีที่ลิมิตเพลลา และดุมลิมิต ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน ให้ทำการคำนวณในสมการที่ 4-13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ค่าความเค้นอัดของวัสดุที่มีความต้านแรงอัดน้อยที่สุด

ถ้าลิ่มและเพลาทำวัสดุชนิดเดียวกัน ก็สามารถจะหาความยาวของลิ่มได้โดยถือว่าลิ่มและเพลารับโมเมนต์บิดเท่ากัน ดังนั้น

$$T = \frac{bl\pi d}{2} = \frac{\pi d^3}{16} \tau$$

เพราะฉะนั้น

$$l = \frac{\pi d^2}{8b} \quad (4-14)$$

ถ้าสมมติให้ลิ่มมีความกว้างประมาณ  $\frac{d}{4}$  จะได้

$$L = \frac{\pi d}{2} = 1.57d \quad (4-15)$$

นั่นก็คือ ความยาวของลิ่มควรมีค่าประมาณ 1.57 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล

โดยทั่วไปแล้วกรรมวิธีการออกแบบจะเริ่มต้นด้วยการหาขนาดของเพลที่ใช้ จากนั้นจึงเลือกขนาดลิ่มมาตรฐานที่ใช้กับเพลที่ต้องการจาดตาราง แล้วจึงคำนวณหาความยาวของลิ่ม โดยใช้สมการที่ 4-12 และสมการที่ 4-13 และเลือกให้ความยาวค่ามาก จากนั้นจึงใช้ความยาวของคุมลือให้เท่ากับความยาวของลิ่ม แม้ว่าจะยาวเกินความต้องการ ไม่บ้างก็ตาม ขนาดของคุมลือโดยประมาณซึ่งใช้กันอยู่ในชิ้นงานทั่วไปจะดูได้จากตาราง ถ้าต้องการใช้ลิ่มยาวมากกว่าค่าในตาราง แล้ว ควรเลือกใช้ลิ่มสองอันวางห่างกัน 180 องศา เมื่อแรงที่กระทำไม่สมมาตรจะต้องยึดลิ่มให้แน่นกับร่องลิ่มหรือใช้ลิ่มแบบเรียว การใช้ลิ่มแบบเรียวจะช่วยให้รอยต่อยึดได้แน่นและถอดออกได้ง่าย โดยทั่วไปมักจะเจาะร่องลิ่มบนคุมลือให้มีความเรียวเล็กน้อยแล้วตอกอัดลิ่มให้แน่น การตอกอัดลิ่มนี้จะทำให้เกิดความเค้นขึ้นบนคุมลือและเพล ซึ่งอาจทำให้รอยต่อเสียหายได้ แต่ในเวลาเดียวกันก็มีข้อดีคือทำให้เกิดแรงเสียดทานอย่างมากระหว่างเพลกับคุมลือทำให้ส่งกำลังได้ดีขึ้น และแรงเสียดทานนี้อาจมีค่าสูงมากพอจนทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนลิ่มเนื่องจากการส่งโมเมนต์บิดมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 4-12 และสมการที่ 4-13

ในทางปฏิบัติพบว่าค่าความยาวลิ่มที่คำนวณได้จากสมการที่ 4-13 มักจะมีค่ามากกว่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 4-12 ดังนั้นการคำนวณหาความยาวลิ่มจึงมักจะใช้สมการที่ 4-13 เป็นหลัก ความเค้นอัดบนลิ่มคือ

$$\sigma_c = \frac{4T}{dhl_c} \leq \sigma_{cd} \quad (8.10)$$

ดังนั้นจึงหาความยาวประสิทธิภาพ (effective length) ของลิ่ม  $l_e$  ได้จากสมการ

$$L_e \geq \frac{4T}{dh\sigma_{cd}} \quad (8.11)$$

โดยที่  $L_e$  คือความยาวประสิทธิภาพของลิ้ม

$\sigma_{cd}$  คือค่าความเค้นอัดใช้งานของวัสดุ

#### 4.9 การออกแบบเพลา

แม้ว่าจะได้กล่าวถึงทฤษฎีในการออกแบบเพลามาแล้วในบทความก่อนหน้า แต่เนื่องจากว่าเพลาคือชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลาดังกล่าว โดยเฉพาะ เพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งาน

เพลา (shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลา ไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

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

สตับชาฟต์ (stub shaft) หรือบางครั้งเรียกว่า เฮดชาฟต์ (head shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเข้ากับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว (line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (power transmission shaft) หรือเพลาเมน (main shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ แจ็คชาฟต์ (jackshaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งงอได้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (cable) ลวดสปริงหรือลวดเคเบิล (wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลารับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาสีหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลามีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนี้เพลายังจะต้องมีความแข็งแรง (rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาคืออยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะ โกง (deflection) ของเพลาที่เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลาดังกล่าว เพราะถ้าเพลามีระยะ โกงมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (critical speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลานเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะ โกงนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลเบริง (ball bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับการใช้เพลาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.10 วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระดุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

#### 4.11 ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (nominal size) ใน ISO /R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลลาด้วยขนาดระบุของเพลลา ดูได้จากตารางที่ 4-9

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

ตาราง 4-9 ขนาดระบุของเพลลามาตรฐาน ISO/R775-1969

#### 4.12 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลลาเพื่อให้เพลลาทนต่อแรงที่มากกระทำอย่างเดียวนั้นไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลาถูกเบียด (cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบริ่งที่รับรองเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิด

ของเพลลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาวเพลลา 1 เมตร [1] สำหรับเพลลาตั้งกำลังทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการบริการ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1 องศา ต่อความยาวเพลลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ในกรณีของเพลลาถูกเบียดสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้ให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.5 องศา ตลอดความยาวของเพลลา

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะ โกง เพราะจะต้องใช้ระยะ โกงของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (clearance) ระหว่างลือสะพาน เพื่ออง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของเบริงสำหรับรองรับเพลลาให้เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะ โกงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้ อัตราส่วนการขบ (contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกเบริงมารองรับเพลลาที่เช่นกันจำเป็นจะต้องเลือกเบริงชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะ โกงของเพลลาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นเบริงแบบธรรมดาหรือเบริงแบบปรับแนวได้เอง (self-aligning bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะ โกงเป็นสำคัญ

ระยะ โกงดังกล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะ โกงได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลลาเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะ โกงระหว่างจุดที่รองรับด้วยเบริงควรจะไม่เกิน 0.08 มิลลิเมตร/เมตร

สำหรับเพลลาที่มีเฟืองตรง (spur gear) คุณภาพดีอยู่ด้วย ระยะ โกง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 มิลลิเมตร และความลาดเอียงของเพลลา ณ ตำแหน่งนี้ควรจะไม่เกินกว่า 0.0286 องศา

สำหรับเพลลาที่มีเฟืองคอกจอก (bevel gear) คุณภาพดีดีอยู่ ระยะ โกง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.075 มิลลิเมตร

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลลาอาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะ โกงของเพลลาที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้มาแล้วในวิชาแคลคูลัสวัสดุ เช่น วิธีอินทิเกรตสองครั้ง (double integration) วิธีพื้นที่ของโมเมนต์ดัด (moment area) เป็นต้น และจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

สำหรับเพลลาที่มีขนาดไม่เท่ากันตลอด (stepped shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้วอาจจะล่าช้าและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (boundary condition) ใหม่ทุกครั้งเมื่อเพลลาเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน (แต่ก็ยังใช้เวลามาก) คือวิธี graphical integration และ numerical integration สำหรับวิธีแรกนี้ผู้อ่านอาจจะหาดูได้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 4 ส่วนวิธีหลังนี้เหมาะกับการใช้เครื่องคำนวณไฟฟ้าช่วยในการคำนวณ ซึ่งก็จะไม่กล่าวถึงในที่นี้อีกเช่นกัน สำหรับผู้ที่สนใจอาจจะหาดูได้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 5 หรือ 6 ซึ่งได้แสดงขั้นตอนสำหรับการคำนวณไว้แล้วอย่างละเอียด

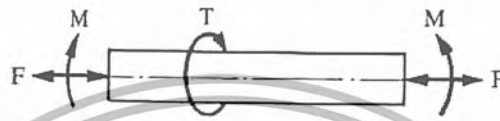
4.13 การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ AMSE

ก่อนปี พ.ศ.2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็น โค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (AMSE) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการออกแบบเพลตามาคัดของ AMSE ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในรูปที่ 4-19 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ  $d_i$  และ  $d$  ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลลามีดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 4-19 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นดึงหรือกด  $\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)}$  (4-16)

ความเค้นดัด  $\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)}$  (4-17)

ความเค้นเฉือน  $\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)}$  (4-18)

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการโก่งงอ (buckling) ได้ ดังนั้นสมการที่ (4-16) จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (4-19)$$

เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ AMSE ใช้วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor)

ถ้าให้  $C_m$  = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

$C_t$  = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ (4-17) และสมการที่ (4-18) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (4-20)$$

และ

$$\tau_{xy} = \frac{16C_i T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (4-21)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (4-22)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[ \tau_{xy}^2 + \left[ \frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2}$$

แทนค่าสมการที่ (4-19), (4-20), (4-21) และสมการที่ (4-22) ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(l - K^4)} \left[ (C_i T)^2 + \left[ \frac{\alpha F d (l + K^2)}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \quad (4-23)$$

โดยที่  $K = d_i/d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (4-23) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(l - K^4)} \left[ (C_i T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (4-24)$$

หรือในกรณีของเพลตตัน  $K = d_i/d = 0$  เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (4-24) ก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left[ (C_i T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (4-25)$$

ค่าตัวประกอบความต้านทานเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่

4-11

ชนิดของแรง	$C_m$	$C_t$
เพลายู้ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาทมุน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ตาราง 4-10 ค่าตัวประกอบความล้ม

สำหรับตัวประกอบของการโค้งงอ AMSE ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \quad \text{เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง} \quad (4-26)$$

$$\alpha = \frac{L}{L - 0.0044(L/k)} \quad \text{เมื่อ } L/k \leq 115 \quad (4-27)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y (L/k)^2}{\pi^2 n E} \quad \text{เมื่อ } L/k > 115 \quad (4-28)$$

โดยที่  $n = 1.00$  เมื่อปลายเป็นแบบ SS  
 $n = 2.25$  เมื่อปลายเป็นแบบ CC  
 $n = 1.60$  เมื่อปลายเพลาลูกขึ้นเป็นบางส่วน (partially restrained)  
 $L =$  ความยาวจริงของเพล

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (4-27) เป็นสมการของสูตรเส้นตรง (straight line formular) และสมการที่ (4-28) เป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ AMSE ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลามีโซ่อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2 \quad \text{สำหรับเพลที่ไม่มีร่องลิ่ม}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ (4-29) โดยเลือกใช้ค่าน้อยมากำนวนคือ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\sigma_u \quad (4-29)$$

และถ้าเพลลามีร่องลึ่มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการที่ (4-29)

#### 4.14 ความแข็งเกร็งทางด้านการบิด

สำหรับเพลลาที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad จะหาค่าได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (4-30)$$

สำหรับเพลลากลมตัน  $J = \frac{\pi d^4}{32}$  ดังนั้น จึงหาค่ามุมบิดเป็นองศาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \quad (4-31)$$

ถ้าเป็นเพลลากลมกลวง

$$\theta = \frac{584TL}{(I - K^4)Gd^4} \quad (4-32)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลลามีความแข็งเกร็งตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรที่จะใช้สมการที่ (4-32) นี้ตรวจสอบมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

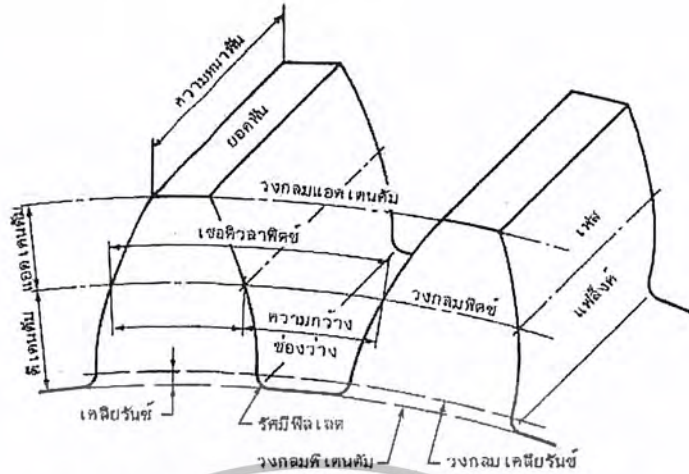
#### 4.15 เฟืองตรง

เฟืองตรง(spur gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรทั่วไป โดยทั่วไปทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่งที่ขนานกัน ส่วนมากเฟืองขับ (driving gear) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (driven gears) และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พิเนียน (pinion) ส่วนเฟืองใหญ่เรียกว่าเฟือง แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ เนื่องจากเฟืองที่ผลิตและใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ยังคงใช้ระบบอังกฤษอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็จำเป็นต้องการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลที่ชำรุดเสียหาย ฉะนั้นเฟืองในระบบอังกฤษก็ยังคงต้องผลิตออกมาอีกเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงการออกแบบหรือการเลือกขนาดเฟือง ทั้งในระบบหน่วยอังกฤษและระบบหน่วย เอสไอ ควบคู่กันไป

##### 4.15.1 คำจำกัดความ

ในการให้คำจำกัดความเรียกชื่อส่วนต่างๆ ของเฟืองให้พิจารณารูป 4-20 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-20 การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง

วงกลมพิตช์ (pitch circle) เป็นมิติหลักในการเรียกขนาดของเฟือง โดยบอกขนาดของเฟืองด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ ในทางทฤษฎีแล้วเฟืองคู่ที่ขบกันจะต้องมีเส้นสัมผัสกัน ณ วงกลมพิตช์

เซอคิวลาพิตช์ (circular pitch) เป็นระยะที่วัดบนวงกลมพิตช์ จากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังอีกจุดหนึ่ง ณ ตำแหน่งเดียวกันบนฟันถัดไป จากรูป 4-20 จะเห็นได้ว่าระยะนี้มีค่าเท่ากับผลรวมของความกว้างฟันและความกว้างของช่องว่างระหว่างฟัน

โมดูล (module) เป็นอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของพิตช์กับจำนวนฟันบนเฟือง หน่วยที่ใช้วัด โมดูล คือ มิลลิเมตร โมดูลนี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟืองในระบบหน่วยเอสไอ

ไดอะมิทริคพิตช์ (diametral pitch) เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันบนเฟืองกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ ฉะนั้นจึงเป็นส่วนกลับของโมดูล ไดอะมิทริคพิตช์นี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟืองในระบบอังกฤษ ซึ่งกำลังได้รับการเปลี่ยนแปลงให้เป็นระบบหน่วยเอสไออยู่ ดังนั้นความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์จึงใช้บอกเป็นนิ้ว

แอดเดนดัม (addendum) หรือช่วงสูงบน เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (top land) ถึงวงกลมพิตช์

ดีเดนดัม (dedendum) หรือช่วงสูงล่าง เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างโคนฟัน (bottom land) ถึงวงกลมพิตช์

เคลียร์รันช์ (clearance) ในการที่เฟืองสองอันขบกัน ดีเดนดัมของเฟืองหนึ่งต้องมีค่ามากกว่าแอดเดนดัมของอีกเฟืองหนึ่ง เพื่อที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันขึ้น ผลต่างระหว่างค่า ดีเดนดัมและแอดเดนดัมนี้เรียกว่า เคลียร์รันช์

แบ็คแลช (backlash) คือ ผลต่างระหว่างความกว้างช่องว่างระหว่างฟันเฟืองหนึ่งกับความกว้างของฟันเฟืองอีกอันหนึ่งที่ขบกัน โดยวัดตามแนวเส้นวงกลมพิตช์ ฉะนั้นในการขับด้วยเฟืองที่มีแบ็คแลช เฟืองขับจะสามารถหมุนไปได้เป็นมุมเล็กน้อยก่อนที่เฟืองตามจะหมุนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของฟันเฟือง (face width) คือความหนาของฟันเฟืองวัดในทิศทางเดียวกับแนวแกนของเฟือง

แฟล็งก์ (flank) คือผิวทางด้านข้างของฟันเฟือง ซึ่งอยู่ระหว่างวงกลมพิตช์กับวงกลมดีเดนดัม

อัตราทด (velocity ratio) คืออัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อเฟืองตาม

$$m_{\omega} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (4-33)$$

โดยที่  $\omega$  = ความเร็วเชิงมุม, rad/s

$n$  = ความเร็วรอบ, rpm

$d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์, mm หรือ in

$N$  = จำนวนฟัน

อัตราส่วนเฟือง (gear ratio)  $m_g$  คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองต่อจำนวนฟันของพีเนียน ถ้าพีเนียนเป็นตัวขับแล้ว

$$m_g = m_{\omega} = \frac{N_2}{N_1}$$

#### 4.16 มาตรฐานการบอกขนาดของฟัน

ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่า คำนี้นี้สำหรับบอกขนาดของฟันเฟือง อาจจะบอกเป็นพิตช์ในระบบหน่วยอังกฤษ หรือบอกเป็นโมดูลในระบบหน่วยเอสไอ จากคำจำกัดความที่ผ่านมาจะได้ว่า

ไดอะมิตรัลพิตช์ 
$$P = \frac{N}{d} \quad (4-34)$$

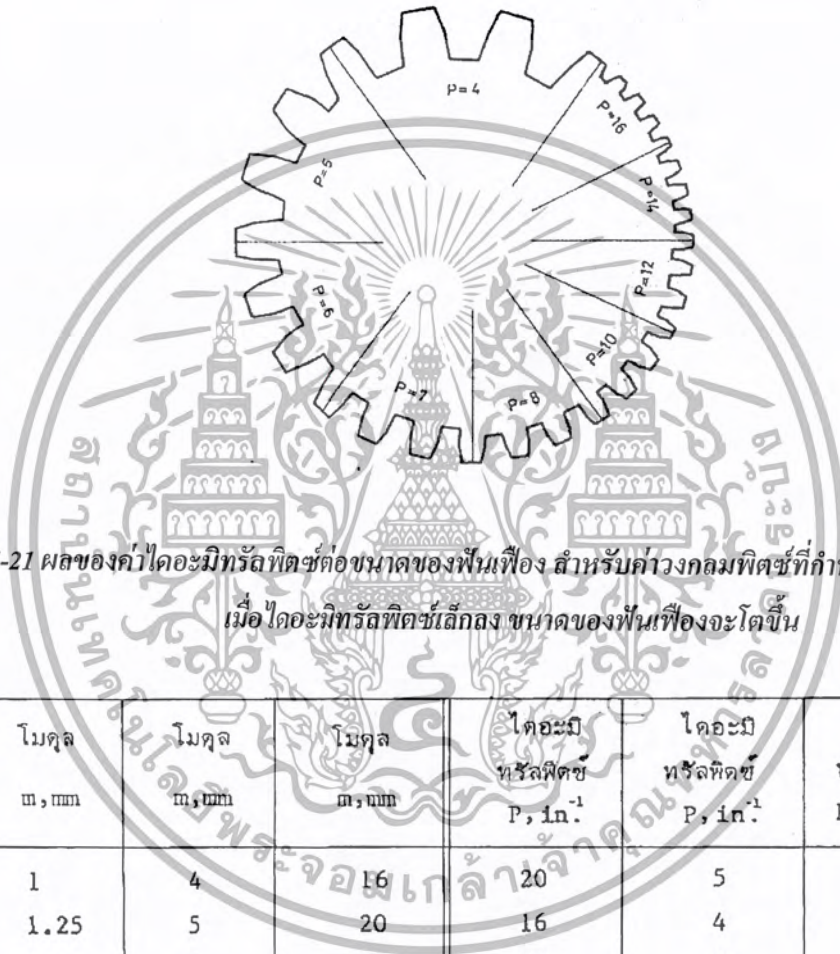
โดยที่  $d$  มีหน่วยเป็น in

โมดูล 
$$m = \frac{d}{N} \quad (4-35)$$

โดยที่  $d$  มีหน่วยเป็น mm.

และเซอกิวลาพิตช์ 
$$p = \frac{\pi d}{n} = \pi m \quad (4-36)$$

สำหรับเฟืองที่ผลิตโดยวิธีการหล่อ ควรจะใช้ค่าเซอคิวลาพิตซ์ ทั้งนี้เพราะจะทำให้สามารถทำแบบหล่อได้สะดวก ส่วนเฟืองที่ผลิตด้วยการตัดกลึง มักจะเรียกเป็นไดอะมิทรีลพิตซ์หรือ โมดูล เพราะมีอุปกรณ์ในการตัดฟันเฟืองเป็นมาตรฐานอยู่แล้ว ดังในตาราง 4-12 สังเกตได้ว่า เมื่อขนาดโมดูลโตขึ้น ความหนาของฟันเฟืองก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนขนาดของไดอะมิทรีลพิตซ์โตขึ้น ความหนาฟันเฟืองจะลดลง ดังรูป 4-21



รูปที่ 4-21 ผลของค่าไดอะมิทรีลพิตซ์ต่อขนาดของฟันเฟือง สำหรับค่าวงกลมพิตซ์ที่กำหนด  
เมื่อ ไดอะมิทรีลพิตซ์เล็กลง ขนาดของฟันเฟืองจะโตขึ้น

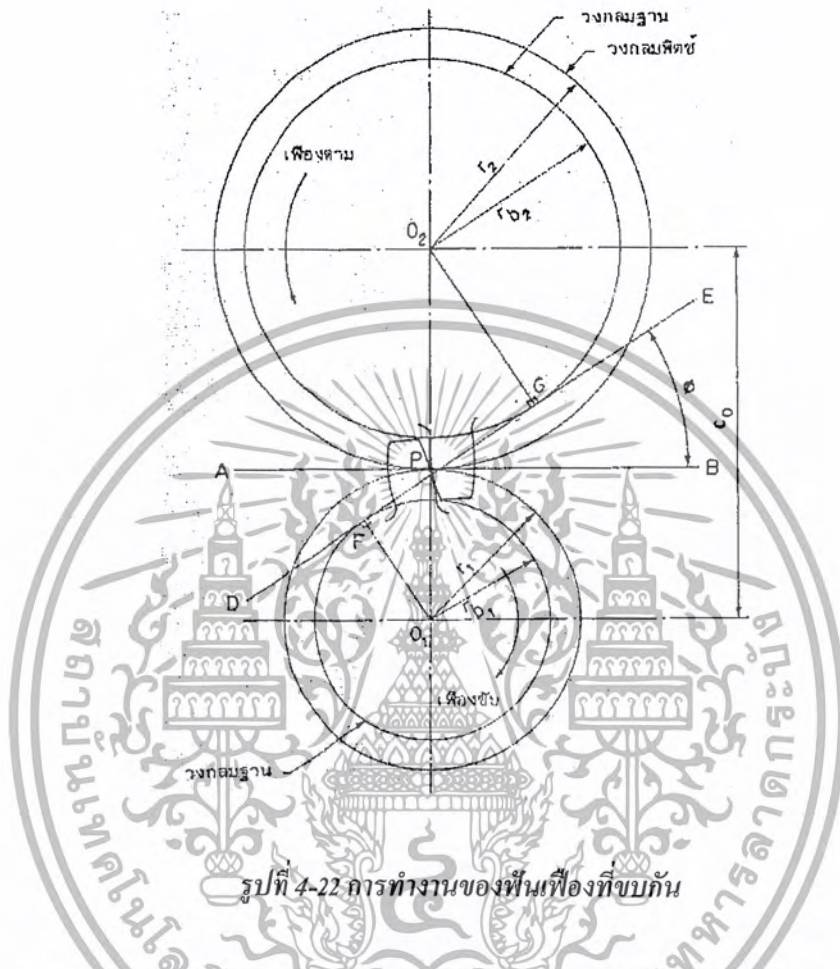
โมดูล m, mm	โมดูล m, mm	โมดูล m, mm	ไดอะมิ ทรีลพิตซ์ P, in. <sup>-1</sup>	ไดอะมิ ทรีลพิตซ์ P, in. <sup>-1</sup>	ไดอะมิ ทรีลพิตซ์ P, in. <sup>-1</sup>
1	4	16	20	5	1.25
1.25	5	20	16	4	1
1.5	6	25	12	3	0.75
2	8	32	10	2.5	0.625
2.5	10	40	8	2	0.50
3	12	50	6	1.5	

ตาราง 4-11 ขนาดเฟืองมาตรฐาน

เฟืองที่ผลิตขึ้นใช้กับเครื่องจักรกลในปัจจุบันนี้มีขนาด 20 และ 25 องศา เป็นส่วนมาก สำหรับเฟืองที่มีมุมกดเท่ากับ 14.5 องศา ก็ยังมีผู้ผลิตออกมาใช้บ้าง ทั้งนี้ก็เพื่อใช้สำหรับการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลเก่าที่ยังคงมีใช้อยู่ ตาราง 4-13 แสดงมาตรฐานของฟันเฟืองที่เป็นอินวอลูตเคิร์ฟ สำหรับมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่หรือใช้ในงานการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กค 14.5 20 และ 25 องศา ซึ่งบอกทั้งในทอมของไดอะมิทรีลพิทซ์และโมดูล ในกรณีที่จะป้องกันมิให้เกิดการขัดกันขึ้น ผู้ผลิตก็อาจไม่ใช้ความยาวของฟันทั้งหมดตามมาตรฐาน full depth (FD) แต่จะตัดความสูงของฟันออกเล็กน้อยและเรียกมาตรฐานนี้ว่า stub teeth



รูปที่ 4-22 การทำงานของฟันเฟืองที่ขบกัน

รายละเอียด	14½° FD	20° FD พิตซ์หยาบ*	20° FD พิตซ์ละเอียด*	20° stub	25° FD
แอดเดนต์ิม	m	m	m	0.8m	m
ดี เตนดิม	1.157m	1.25m	1.2 m+0.05	m	1.25m
เคลียร์รันซ์	0.157m	0.25m	0.2m +0.05	0.2m	0.25m
ความสูงใช้งาน	2m	2m	2m	1.6m	2m
ความสูงทั้งหมด	2.157m	2.25m	2.2m +0.05	1.8m	2.25m

ตาราง 4-12 มาตรฐานของฟันเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

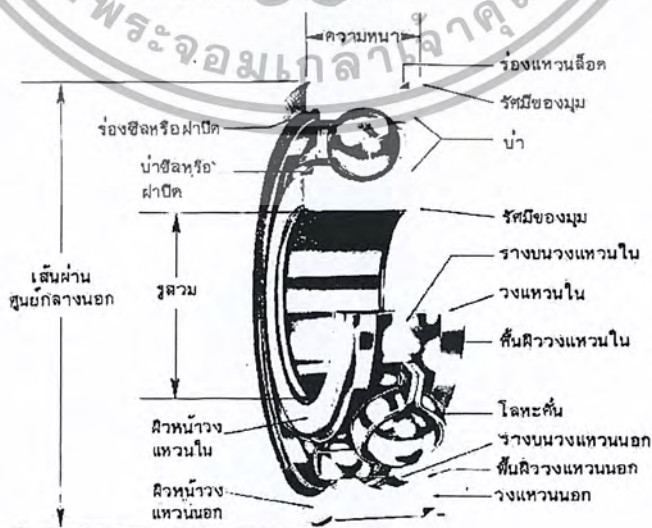
รายละเอียด	14½°FD	20°FD พิตช์หยาบ*	20°FD พิตช์ละเอียด*	20° stub	25°FD
แอท เคนตัม	$\frac{1}{P}$	$\frac{1}{P}$	$\frac{1}{P}$	$\frac{0.8}{P}$	$\frac{1}{P}$
ดี เคนตัม	$\frac{1.157}{P}$	$\frac{1.25}{P}$	$\frac{1.2}{P} + 0.002$	$\frac{1}{P}$	$\frac{1.25}{P}$
เหลี่ยมรั้ว	$\frac{0.157}{P}$	$\frac{0.25}{P}$	$\frac{0.2}{P} + 0.002$	$\frac{0.2}{P}$	$\frac{0.25}{P}$
ความสูงใช้งาน	$\frac{2}{P}$	$\frac{2}{P}$	$\frac{2}{P}$	$\frac{1.6}{P}$	$\frac{2}{P}$
ความสูงทั้งหมด	$\frac{2.157}{P}$	$\frac{2.25}{P}$	$\frac{2.2}{P} + 0.002$	$\frac{1.8}{P}$	$\frac{2.25}{P}$

ตาราง 4-13 มาตรฐานของฟันเฟือง

#### 4.17 โรตลิ่งแบร์ริง

##### 4.17.1 บทนำ

โรตลิ่งแบร์ริง (rolling bearings) หมายถึงแบร์ริงชนิดที่รับแรง โดยอาศัยชิ้นส่วนของแบร์ริงที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (sliding contact) เนื่องจากแบร์ริงชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอ็นทิฟริกชันแบร์ริง (anti-friction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบร์ริง (ball bearing) หรือดรัมบลูกปืน ดังรูป 4-23 ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



รูปที่ 4-23 ส่วนต่างๆ ของบอลแบร์ริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการใช้โรลลิงแบร์ริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไป สมาคมผู้ผลิตโรลลิงแบร์ริง (AFBMA [1] : Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาดและลักษณะที่จะใช้ในการเลือกแบร์ริงเหล่านี้ขึ้น จากมาตรฐานนี้ทำให้ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสามารถเลือกแบร์ริงจากแคตตาล็อกของผู้ผลิตหนึ่ง และทำการเปลี่ยนแบร์ริงนี้โดยการเลือกจากอีกผู้ผลิตหนึ่งได้ โดยที่แบร์ริงที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากัน ถึงแม้ว่าสมาคม AFBMA ได้วางมาตรฐานวิธีการเลือกแบร์ริงตามความต้องการของการรับแรงและอายุใช้งานเอาไว้ แต่ก็ยังมีผู้ผลิตที่มีการวางมาตรฐานการเลือกแบร์ริงของตนเองแตกต่างออกไปจากของ AFBMA แต่อย่างไรก็ตามแคตตาล็อกของผู้ผลิตก็มีข้อมูลเพียงพอที่จะให้ทำการเปลี่ยนค่ามาเทียบกับค่าของ AFBMA ได้

ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกใช้แบร์ริงโรลลิง ผู้ออกแบบก็ควรที่จะพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริงดังต่อไปนี้ คือ

#### ข้อดีของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

1. มีความเสียดทานขณะสตาร์ทน้อย (low starting friction torque) จึงเหมาะสมสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง
2. ง่ายต่อการหล่อลื่นและดูแลรักษา โดยเฉพาะชนิดที่อัดด้วยไขมัน หรือจาระบีมาจากโรงงานด้วยแล้ว เกือบจะไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
3. ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
4. ใช้เนื้อที่ทางค้ำแกน (axial space) น้อย
5. สามารถรับแรงรูด (thrust load) และแรงในแนวรัศมี (radial load) ได้พร้อมกัน ยกเว้นโรลลิงแบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (straight roller bearing) สำหรับเจอร์นัลแบร์ริงรับแรงได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
6. สามารถที่จะทราบได้ว่าแบร์ริงกำลังจะเสีย โดยการสังเกตจากเสียงดัง ซึ่งผิดไปจากปกติ
7. มีเคลียร์รันซ์น้อยมากจึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
8. สามารถใช้รองรับเพลานในตำแหน่งใดๆ ได้ เช่น ใช้รองรับเพลานซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
9. ทำการติดตั้งได้ง่าย

#### ข้อเสียของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

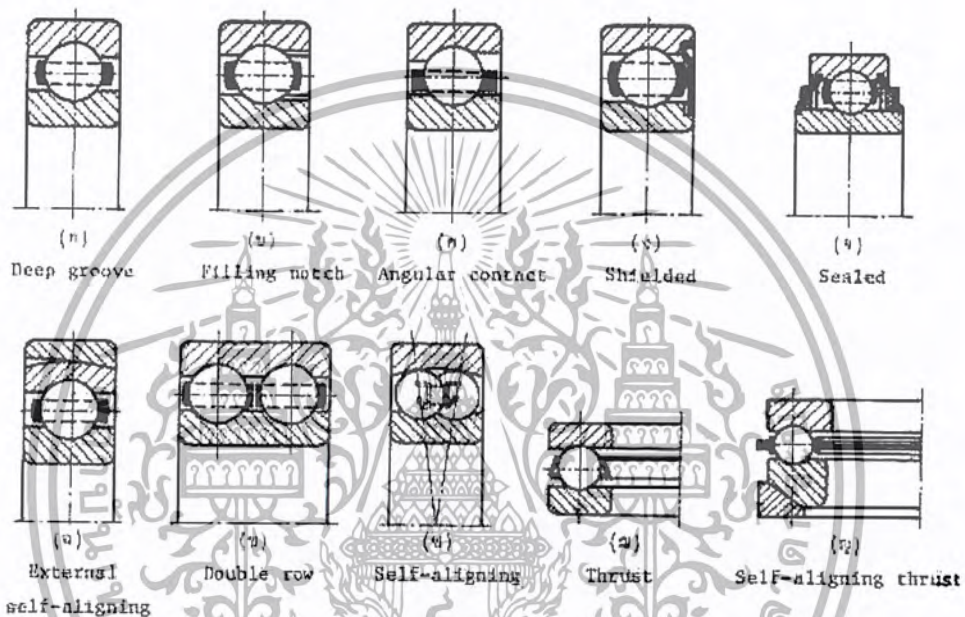
1. ใช้เนื้อที่ทางค้ำรัศมี (radial space) มากกว่า
2. โดยปกติแล้วราคาแพงกว่า
3. ขณะทำงานจะมีเสียงดังกว่า เนื่องจากการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและวงแหวนบั้งในบางขณะ
4. อายุการใช้งานสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูง และกระทำซ้ำกัน (repeated load) จึงทำให้วัสดุเกิดความล้า

#### 5. เมื่อมีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานลดลงได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.18 ชนิดของแบริ่ง

โดยทั่วไปแล้วโรลลิ่งแบริ่งจะแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ บอลแบริ่งซึ่งมีลูกกลิ้ง (rolling element) เป็นรูปทรงกลม และ โรลเลอร์แบริ่ง (roller bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง (straight roller) หรือเป็นรูปทรงกระบอกเรียว (tapered roller) ก็ได้ โดยปกติแล้วแบริ่งเหล่านี้จะรับแรงได้ทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุนได้ ยกเว้นโรลเลอร์แบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น แบริ่งทั้งสองพวกนี้ยังแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูป 4-24 และ 4-25 ซึ่งจะกล่าวถึงคุณลักษณะของแบริ่งแต่ละชนิดโดยสังเขปดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-24 บอลแบริ่งชนิดต่างๆ

บอลแบริ่งชนิดมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (single-row deep-groove) เป็นแบริ่งชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุด ประกอบด้วยร่องลึกเป็นทางกลิ้งสำหรับลูกกลิ้งทรงกลม ดังรูป 4-24(ก) สามารถรับแรงได้ทั้งในแนวรัศมีและในแนวแกน (แรงรุน) อัตราส่วนของแรงในแนวแกนต่อแรงในแนวรัศมีที่รับได้ประมาณ 0.70 และสามารถรับการเอียงแนวของเพล่าได้ประมาณ 10 องศา 15 ลิปดา เมื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีขึ้นไปอีก ก็อาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนลูกกลิ้งที่บรรจุในรางให้มากขึ้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องตัดผิวหน้าวงแหวนด้านหนึ่งให้มีช่องสำหรับใส่ลูกกลิ้ง (filling notch) เพิ่มขึ้นดังในรูป 4-24(ข) การทำเช่นนี้จะทำให้แบริ่งสามารถรับแรงในแนวรัศมีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20-40% แต่ความสามารถในการรับแรงในแนวแกนจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่สำหรับรับแรงในแนวนี้ลดลงนั่นเอง

สำหรับแบริ่งชนิดนี้และแบริ่งที่จะได้กล่าวต่อไปก็ยังคงมีการใช้แผ่นโลหะปิด (shield) ไว้ระหว่างช่องว่างของวงแหวนเพื่อป้องกันสิ่งสกปรก รวมทั้งช่วยรักษาปริมาณของไขมันมิให้รั่วไหลออกมาจาก

แบร์ริง ดังใน รูป 4-24(ง) ส่วนในรูป 4-24(จ) ก็เป็นการใช้แผ่นโลหะปิดเพื่อจุดประสงค์เดียวกันแต่เป็นการปิดแบบตายตัว (sealed)

บอลแบร์ริงชนิด angular contact ดังรูป 4-24(ค) เป็นแบร์ริงที่ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกนซึ่งมีค่าสูง โดยมีมุมสัมผัส (contact angle) ต่างๆ กัน เมื่อมุมสัมผัสเพิ่มขึ้น แบร์ริงก็สามารถที่จะรับแรงในแนวแกนเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะรับแรงในแนวรัศมีได้น้อยลง ในกรณีที่ต้องการใช้รับแรงในแนวแกนสองทิศทางก็ให้ใช้แบบมีลูกกลิ้งสองแถว (double row) ดังรูป 4-24(ข) หรือใช้แบร์ริงสองอันหันเข้าหากัน

บอลแบร์ริงชนิดปรับแนวตัวเอง (self-aligning) ออกแบบสำหรับใช้ในกรณีที่เพลลาอาจจะมีการเอียงแนวเป็นมุมที่ค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูป 4-24(ฉ) และ 4-24(ช) แบร์ริงในรูป 4-2(ช) เป็นแบบปรับแนวตัวเองภายใน ซึ่งอาศัยผิวทรงกลมของวงแหวนนอกในการช่วยปรับมุม ได้ถึง ประมาณ +2 องศา 30 ลิปดา ส่วนแบร์ริงใน รูป 4-24(ฉ) เป็นแบบปรับแนวตัวเองภายนอก สามารถปรับมุมได้สูงมากโดยการเอียงระนาบผิวด้านนอกของวงแหวนนอกให้รับกับผิวหน้าของตัวรับแบร์ริง (bearing housing)

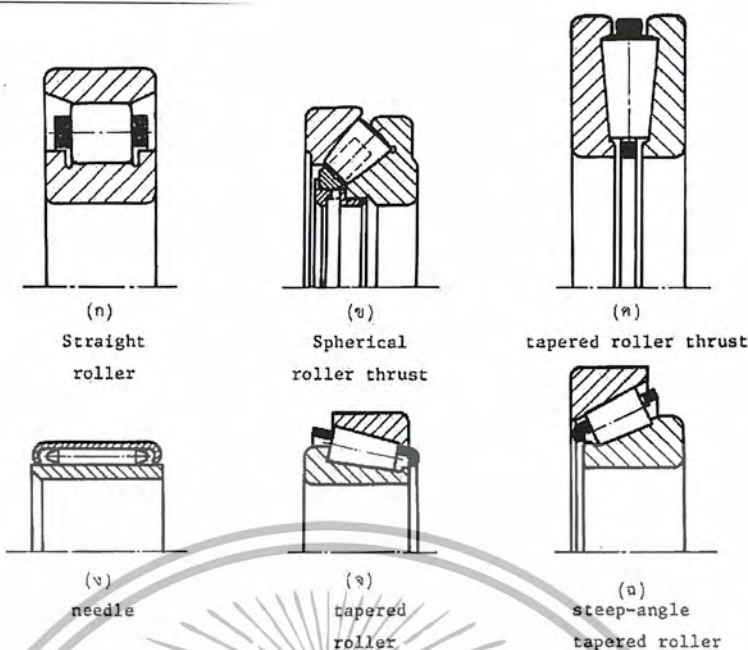
บอลแบร์ริงกันรุน (thrust ball bearing) ดังรูป 4-24(ฉ) ออกแบบสำหรับรับแรงในแนวแกนโดยเฉพาะ ถ้ามีแรงในแนวรัศมีอยู่ด้วยแล้วจะต้องใช้แบร์ริงชนิดอื่นช่วยรับแรงนี้ ดังนั้นในกรณีที่มีแรงทั้งสองชนิดอยู่พร้อมกันแล้วก็ควรที่จะเลือกใช้บอลแบร์ริงชนิด angular contact

บอลแบร์ริงกันรุนปรับแนวตัวเอง (self-aligning thrust) ดังรูป 4-24(ญ) ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกน ในกรณีที่เพลลาอาจจะมีการเอียงแนวเกิดขึ้น

cylindrical หรือ straight roller bearing ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกกลมตรง ดังรูป 4-25(ก) โรลเลอร์แบร์ริงแบบนี้รับแรงในแนวรัศมีได้มากกว่าบอลแบร์ริง เพราะมีพื้นที่ที่รับแรงมากกว่า แต่ไม่สามารถจะรับแรงในแนวแกนได้ หรือถ้ารับได้ก็รับได้ไม่มากนัก ในกรณีที่ต้องการใช้รับแรงทั้งสองแนวซึ่งมีค่ามากก็ควรที่จะเลือกใช้ tapered roller bearing ดังในรูป 4-25(จ) และ 4-25(ฉ)

spherical roller thrust bearing ดังรูป 4-25(ข) และ tapered roller thrust bearing ดังรูป 4-25(ค) มีประโยชน์สำหรับใช้รับแรงในแนวแกนที่มีค่ามากและในที่ซึ่งอาจจะมีการเอียงแนวได้บ้าง

นีดิลแบร์ริง (needle bearing) หรือดิลิปูกป็นเข็ม ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ straight roller bearing แต่เหมาะสำหรับใช้ในที่ซึ่งมีเนื้อที่ในแนวรัศมีจำกัด ดังในรูป 4-25(ง)



รูปที่ 4-25 โรลเลอร์แบบเรียงชนิดต่างๆ

เบร้งที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของเบร้งชนิดต่างๆ ที่มีใช้อยู่ในชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทั่วไปเท่านั้น ผู้อ่านที่มีความสนใจละเอียดยิ่งขึ้นอีก อาจจะหาดูได้จากแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตทั่วไป เช่น NTN STEYR KOYO SKF FAG RHP และ TIMKEN เป็นต้น

4.19 การใช้เบร้งคู่

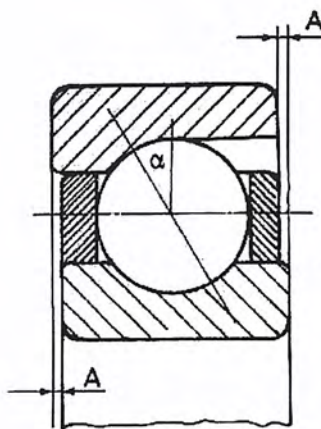
เมื่อนำเบร้งไปใช้รับแรงจะมีระยะยุบตัว (deformation) จำนวนหนึ่งเกิดขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความเค้นสูงที่เกิดขึ้นระหว่างลูกกลิ้งและวงแหวน ซึ่งมีพื้นที่สัมผัสเพียงเล็กน้อย ระยะยุบตัวนี้เป็นผลให้ตำแหน่งของชิ้นส่วนของเครื่องกลผิดไป สำหรับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำมาก ก็จำเป็นต้องลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากระยะยุบตัวนี้ให้เหลือน้อยที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เพลานั้นเอง วิธีการก็คือ 프리 โหลด (preload) เบร้งเพื่อให้เกิดระยะยุบตัวก่อนที่จะใช้รับแรงภายนอกที่มาจากเพลาดังรูป 4-26 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวิธีการติดตั้งเบร้งคู่ (duplex bearing) เพื่อทำการฟรีโหลดเบร้งก่อนใช้งาน ซึ่งทำได้ 3 วิธีคือ

1. ติดตั้งหันหลังชนกัน (DB : Duplex back-to-back style)
2. ติดตั้งหันหน้าชนกัน (DF : Duplex face-to-face style)
3. ติดตั้งเรียงตามกัน (DT : Duplex tandem style)

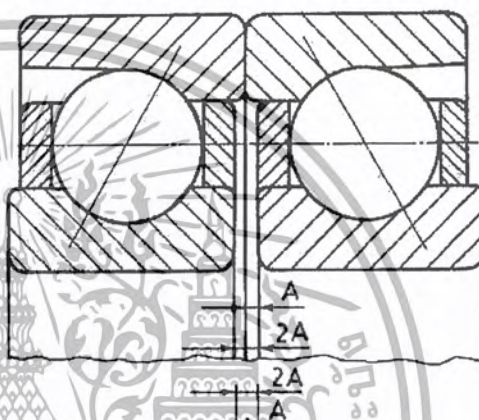
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งแบริ่งคู่แสดงการ  
ทำให้ผิวหน้าวงแหวนยื่นออกมา  
มาก่อนการประกอบ

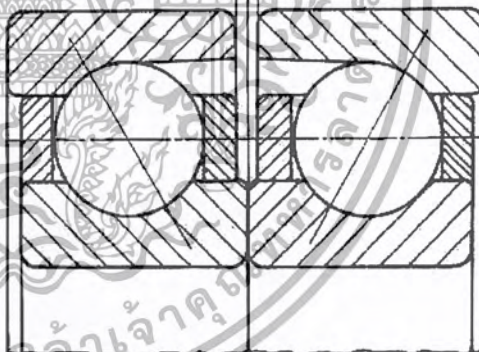
แบริ่งหนึ่งอันแสดงผิวหน้า  
วงแหวนที่ยื่นออกมาเท่ากับ  
ทั้งสองด้าน



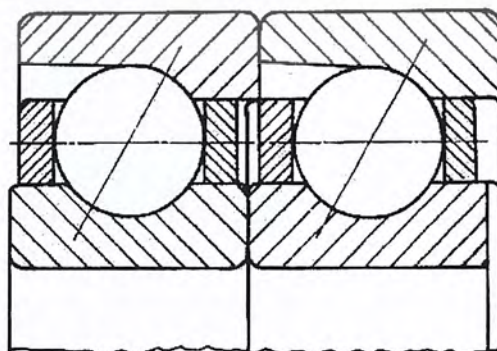
"ติดตั้งหันหลังชนกัน" เมื่อ  
วงแหวนในชนกันจะเกิดการ  
พรีโหลดแบริ่งเนื่องจากระยะ  
ยุบตัวในแนวแกน "A"



"ติดตั้งหันหน้าชนกัน" เมื่อวง  
แหวนนอกชนกันจะเกิดการพรี  
โหลดแบริ่งเนื่องจากระยะ  
ยุบตัวในแนวแกน



"ติดตั้งเรียงตามกัน" แบริ่งทั้ง  
สองจะช่วยกันรับแรงรุน การ  
พรีโหลดอาจจะกระทำกับแบริ่ง  
ตัวเดียวหรือทั้งคู่ก็ได้



รูปที่ 4-26

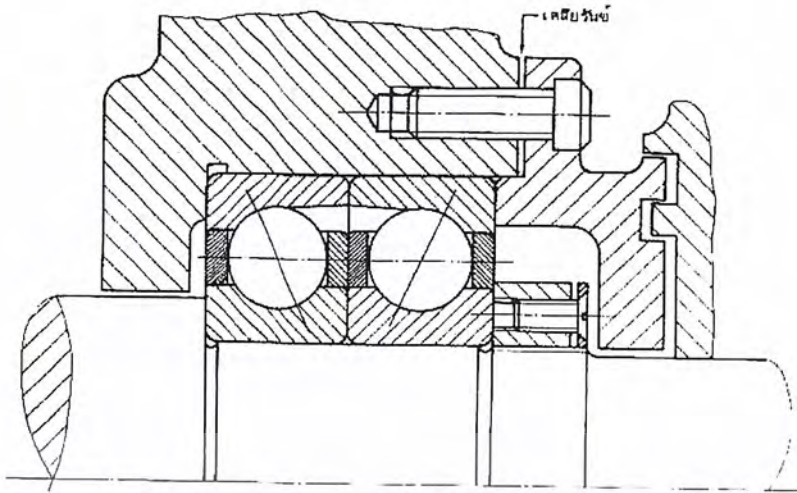
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งแบริ่งคู่แบบนี้ แบริ่งแต่ละตัวจะมีผิวหน้าวงแหวนยื่นออกมาเป็นระยะ A และการฟรีโหลดแบริ่งก็กระทำได้โดยออกแรงในแนวแกนกดแบริ่งทั้งสองจนผิวหน้าชนกัน ซึ่งเป็นผลให้ลูกกลิ้งได้รับแรงอัดตามแนวแกน ดังในรูป 4-26 จนเกิดระยะยุบตัวตามที่ต้องการขนาดของ A ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงที่ใช้ฟรีโหลดแบริ่ง ถ้าต้องการให้การติดตั้งชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความละเอียดมากก็ต้องให้ค่า A มากขึ้นด้วย (ต้องทำการฟรีโหลดแบริ่งมากขึ้น) สิ่งสำคัญก็คือจะต้องใช้คู่ของแบริ่งที่ได้จัดทำมาโดยเฉพาะจากโรงงานผู้ผลิตแบริ่ง โดยการบอกความต้องการว่าจะต้องการแบบฟรีโหลดน้อย ปานกลาง หรือฟรีโหลดมาก ตัวอย่างการติดตั้งแบบหันหลังชนกัน หันหน้าชนกัน และเรียงตามกัน แสดงอยู่ในรูป 4-27 4-28 และ 4-29 ตามลำดับ



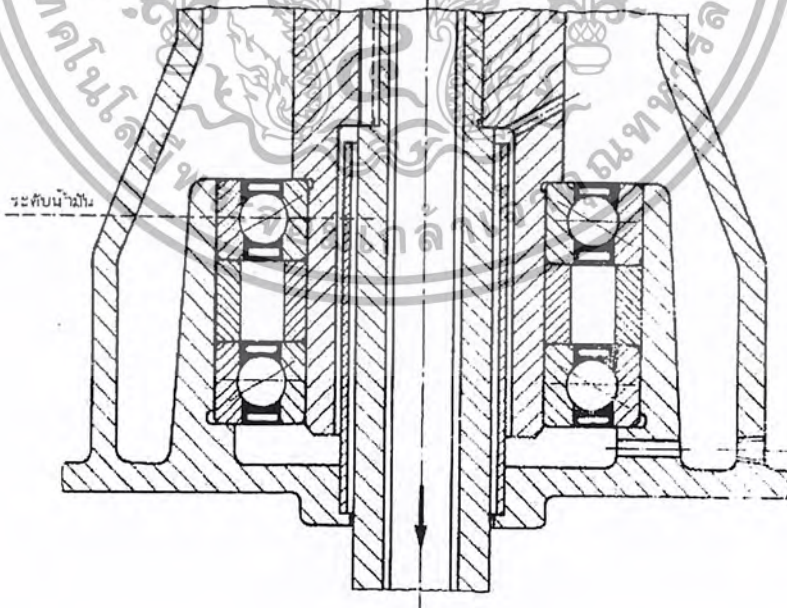
รูปที่ 4-27 การติดตั้งแบริ่งชนิด *angular contact* หันหลังชนกัน ของชุดแบริ่งเคลื่อนตัวได้ในแนวแกนภายในกล่องแบริ่ง การฟรีโหลดทำได้โดยล๊อควงแหวนในชนกัน

ในรูป 4-27 ทำให้เกิดการฟรีโหลดได้โดยการหมุนเป็นเกลียว (nut) เข้าไปกดให้วงแหวนในชนกันและไปติดอยู่ที่บ่าของเพลลา การติดตั้งแบริ่งคู่ในลักษณะนี้ทำให้เพลลา และแบริ่งเคลื่อนตัวได้ในแนวแกนของเพลลา ซึ่งถ้าติดตั้งแบบหันหน้าชนกัน เพลลาและแบริ่งจะเคลื่อนตัวในแนวแกนไม่ได้ แต่สิ่งที่ควรสังเกตคือ ความแข็งแรงของการติดตั้งแบริ่งคู่วิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของแนวรูสวมในกล่องแบริ่ง (bearing housing) ด้วยเป็นสำคัญ พร้อมทั้งบ่าเพลลาจะต้องตั้งได้ฉากอีกด้วย



รูปที่ 4-28 การติดตั้งเบริ่งชนิด angular contact หันหน้าเข้ากัน ชุดเบริ่งจะยึดอยู่ระหว่างบ่าเพลากับแป้นเกลียว การปรับโหดทำได้โดยการขันหมุดเกลียวจนกระทั่งวงแหวนนอกชนกัน

ในรูป 4-28 เป็นการติดตั้งเบริ่งคู่หันหน้าเข้ากัน การปรับโหดทำได้โดยการขันหมุดเกลียวเพื่อกดให้วงแหวนนอกชนกัน การติดตั้งคู่วิธีนี้ยอมให้มีการเอียงแนวได้มากกว่าการติดตั้งเบริ่งคู่หันหลังชนกันเล็กน้อย เมื่อต้องการให้มีการอ่านวยประโยชน์ในการใช้งานมากที่สุด ก็จะต้องขจัดการเอียงแนวให้เหลือน้อยที่สุด



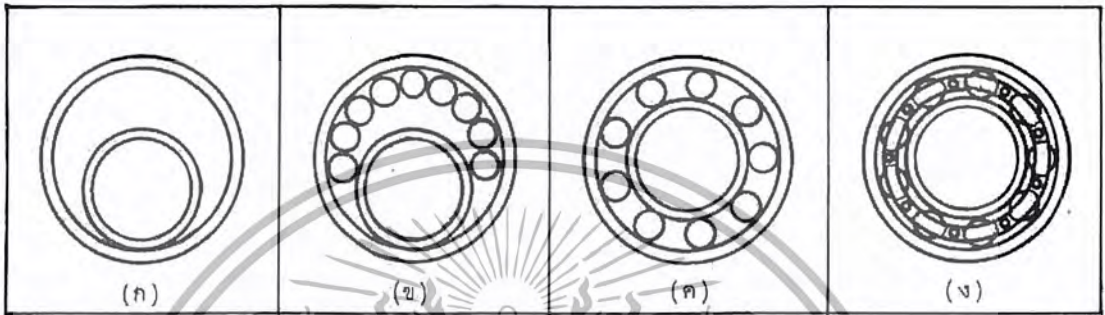
รูปที่ 4-29 การติดตั้งเบริ่งชนิด angular contact เรียงตามกัน มีจุดประสงค์เพื่อใช้รับแรงที่มีค่าสูงในทิศทางเดียว (ทิศทางตามลูกศร) เมื่อติดตั้งถูกต้องและแม่นยำ เบริ่งทั้งสองจะรับแรงเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป 4-29 เป็นการติดตั้งแบร์ริงคู่เรียงตามกันเพื่อใช้รับแรงรุนที่มีค่าสูงในแนวแกน ในการใช้งานโดยมากมักจะพรีโหลดในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่มี angular contact แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อติดตั้งในแนวตั้ง ดังรูป 7.7 และรับแรงรุนในทิศทางเดียว ก็อาจไม่จำเป็นต้องทำการพรีโหลด ทั้งนี้เพราะน้ำหนักที่แบร์ริงรองรับอยู่ในแนวตั้ง อาจจะมากพอสำหรับการพรีโหลดแล้ว

#### 4.20 การบรรจุลูกกลิ้ง



รูปที่ 4-30 ขั้นตอนในการประกอบบอลแบร์ริงชนิดมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่อนลึก

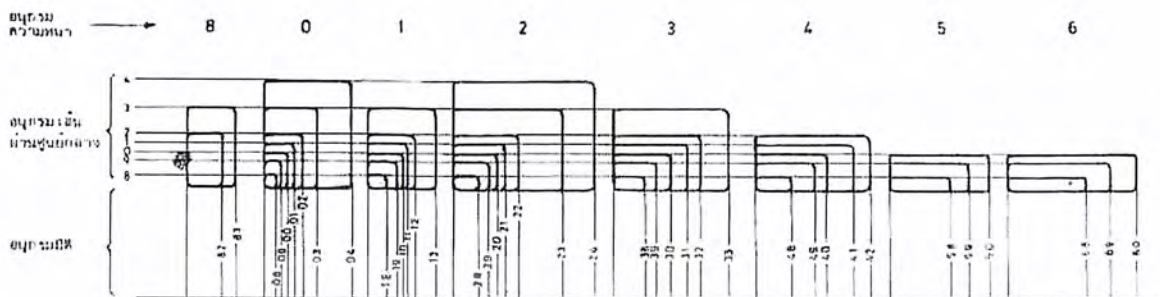
การบรรจุลูกกลิ้งลงในรางของวงแหวนทำได้ 4 ขั้นตอน ดังรูป 4-30 โดยเริ่มต้นจากการใส่วงแหวนในลงไปในวงแหวนนอก ดังรูป 4-30(ก) จากนั้นจึงใส่ลูกกลิ้งลงไปในช่วงว่างดังรูป 4-30(ข) แล้วจึงเลื่อนวงแหวนในให้อยู่ในตำแหน่งดังรูป 4-30(ค) สุดท้ายจึงใส่โบลคั้นลงไปในช่วงว่างระหว่างวงแหวนคล่อมลูกกลิ้งทุกลูกไว้ เพื่อให้ตำแหน่งของลูกกลิ้งอยู่ห่างกันสม่ำเสมอ ดังรูป 4-30(ง) แต่เมื่อต้องการจะให้บอลแบร์ริงรับแรงได้มากขึ้น ก็จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนลูกกลิ้งให้ได้มากกว่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตัดผิวหน้าของวงแหวนด้านหนึ่งให้เป็นช่องเพื่อใส่ลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นอีก ดังในรูป 4-30(ข)

#### 4.21 มิติมาตรฐานของโรลลิ่งแบร์ริง

การกำหนดมาตรฐานของแบร์ริง ทำให้ผู้ผลิตสามารถที่จะผลิตแบร์ริงได้ราคาถูกลงทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ได้สะดวก และทำให้การดูแลรักษาตลอดจนการเก็บแบร์ริงสำรองกระทำได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้เอง สมาคม AFBMA ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์มาตรฐานของแบร์ริงชนิดต่างๆ จึงร่วมกับสมาคมเกี่ยวกับโรลลิ่งแบร์ริงอื่นๆ จัดทำมาตรฐานให้เข้ากับขององค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) มาตรฐานนี้จะบอกถึงมิติภายนอกของแบร์ริงคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก-ภายในและความหนา ส่วนมิติภายในแบร์ริงให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตจะออกแบบ

มาตรฐานดังกล่าวนี้จะเห็นได้จากรูป 4-31 ซึ่งประกอบด้วยอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter series) เรียงเบอร์จาก 8 9 0 1 2 3 และ 4 โดยที่อนุกรม 8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด และ

อนุกรม 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตที่สุด ส่วนความหนาบอกได้ด้วยอนุกรมความหนา (width series) เรียงเบอร์จาก 8 0 1 2 3 4



รูปที่ 4-31 ขอบเขตของมิติ สำหรับอนุกรมมิติของแบริ่งต่างๆ

5 และ 6 โดยที่อนุกรม 8 บางที่สุด และอนุกรม 6 หนาที่สุด ดังนั้นมาตรฐานของแบริ่งจึงบอกได้โดยรวมเบอร์ของอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง กับอนุกรมความหนาเข้าด้วยกัน เรียกว่า อนุกรมมิติ (dimension series) โดยที่เลขตัวแรกแทนอนุกรมความหนา และเลขตัวที่สองแทนอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น แบริ่งที่อยู่ในอนุกรมมิติ 03 หมายถึง แบริ่งที่มีอนุกรมความหนา 0 และอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เป็นต้น จากรูป 4-30 จะเห็นได้ว่าผู้ออกแบบเครื่องจักรกลสามารถที่จะเลือกใช้แบริ่งที่มีความหนาตามต้องการได้ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเปลี่ยนไปเป็นขนาดต่างๆ กัน ในทางกลับกัน ถ้ากำหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง (คือ กำหนดอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง) ก็สามารที่จะเลือกแบริ่งที่มีความหนาต่างๆ กันได้

4.22 ความเสียหายของโรลลิงแบริ่ง

ความเสียหายในโรลลิงแบริ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างลูกกลิ้งและรางบนวงแหวน ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหายสำหรับแบริ่งบางชนิด ดูได้จากตาราง 4-14

ชนิดของแบริ่ง	ขณะ เริ่มทำงาน		ขณะทำงาน	
	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน
บอลแบริ่ง	0.0025	0.0060	0.0015	0.0040
spherical roller bearing	0.0030	0.1200	0.0018	0.0080
cylindrical roller bearing	0.0020	-	0.0011	-

ตาราง 4-14 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

โดยปกติแล้วค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ แรง ความเร็ว การหล่อลื่น และซีลของแบริ่ง (bearing seal) ดังนั้นในกรณีที่ผู้ออกแบบเห็นว่า ความเสียดทานในแบริ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับเครื่องจักรกลที่กำลังออกแบบอยู่ ก็ควรที่จะปรึกษากับผู้ผลิตโดยตรง

ถึงแม้ว่าค่าความเสียดทานนี้จะมีความสำคัญน้อยมากสำหรับงานทั่วไป แต่สมการทางทฤษฎีที่ใช้สำหรับคำนวณกำลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งควรทราบไว้คือ

$$W_p = \frac{2\pi nT}{60} = \frac{\pi f F_r d n}{60} \quad (4-38)$$

$$W_p = \frac{\pi f F_a d n}{60} \quad (4-38)$$

โดยที่  $W_p$  = กำลังงานเป็น W

$T$  = โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียดทานเป็น Nm

$n$  = ความเร็วรอบของเพลเป็น rpm

$d$  = ขนาดรูสวม (bore) ของแบริ่งเป็น m

$F_r$  = แรงที่กระทำกับแบริ่งในแนวรัศมีเป็น N

$F_a$  = แรงที่กระทำกับแบริ่งในแนวตั้งเป็น N

$f$  = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สำหรับกำลังงานที่มีหน่วยเป็นกำลังม้าซึ่งยังมีการใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย ก็จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

การ

$$Hp = \frac{Tn}{63000} = \frac{fF_r d n}{126000} \quad (4-39)$$

โดยที่  $F_r$  มีหน่วยเป็น lb. และ  $d$  มีหน่วยเป็น in.

#### 4.23 อายุใช้งานของแบริ่ง

แบริ่งที่ได้รับการติดตั้งและหล่อลื่นอย่างดี ตลอดจนดูแลรักษาให้ปราศจากฝุ่น หรือผงต่างๆ และไม่อยู่ภายใต้แรงกระทำที่มีค่าสูงมากจนเกินความสามารถที่แบริ่งจะรับไว้ได้แล้ว แบริ่งจะเสียหายเนื่องจากความล้าที่เกิดขึ้นในวัสดุแบริ่งเท่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าแบริ่งที่เสียจะมีเศษผงโลหะหลุดออกมาเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เพราะพื้นที่สัมผัสระหว่างลูกกลิ้ง และวงแหวนมีค่าน้อย ดังนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นในลูกกลิ้งหรือวงแหวนจึงมีค่าสูงเข้าใกล้ความเค้นของเฮิร์ซ (ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงการหาและที่มาของความเค้นของเฮิร์ซ ซึ่งต้องใช้ทฤษฎีทางอีลาสติซิตี) ในขณะที่ลูกกลิ้งหมุนไปรอบวงแหวน วัสดุส่วนที่รับแรงของแบริ่งจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่มีค่าเปลี่ยนจากศูนย์ไปยังค่าสูงสุดแล้วกลับลงมาเป็นศูนย์ (repeated stress) อยู่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากค่าความเค้นนี้สูงกว่าขีดจำกัดความทนทาน (endurance limit) ของวัสดุแบริ่ง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายต่อไป

นั่นจึงเกิดความเสียหายขึ้น โดยความล้า ซึ่งก็แสดงว่า อายุใช้งานของแบร็ริงมีระยะเวลาจำกัด ขึ้นอยู่กับค่าของความเค้นที่กระทำซ้ำ จากผลการทดลองของ Lundberg และ Palmgren [2] ซึ่งได้ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการประเมินค่ามาตรฐานของ AFBMA พบว่า อายุใช้งาน  $L$  แปรผกผันเป็นสัดส่วนกลับกับแรงในแนวรัศมี  $P$  (ในกรณีที่มีทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน  $P$  จะเป็นแรงในแนวรัศมีสมมูล (equivalent radial load) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป) นั่นคือ

$$L \propto \frac{1}{P^k} \tag{4-40}$$

โดยที่ค่าคงที่  $k = 3$  สำหรับบอลแบร็ริง

$$K = 10/3 \approx 3.33 \text{ สำหรับ โรลเลอร์แบร็ริง}$$

อายุการใช้งาน  $L$  นี้มักจะนับเป็นจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วรอบของเพลลาอันหนึ่ง หรือนับเป็นจำนวนล้านรอบ  $mr$  (millions of revolution) จากสมการ (4-40) จะได้ว่า

$$\frac{L_1}{L_2} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^k \tag{4-41}$$

จากสมการ (4-41) จะเห็นได้ว่าถ้าแรงลดลงหนึ่งเท่าแล้ว อายุใช้งานของบอลแบร็ริงจะเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ

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

สำหรับโรลเลอร์แบร็ริง อายุใช้งานจะเพิ่มขึ้นอีก

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

ดังนั้นผู้เลือกใช้โรลลิ่งแบร็ริงจึงต้องระมัดระวังในการคำนวณหาขนาดของแรงที่กระทำต่อแบร็ริงให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด

#### 4.24 การประเมินค่าอายุใช้งานและแรง

ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการผลิตและควบคุมคุณภาพของโรลเลอร์แบร็ริงอย่างทันสมัย แต่ก็ปรากฏว่าแบร็ริงชนิดเดียวกันที่ผลิตออกมาภายใต้วิธีการและเครื่องมือขึ้นเดียวกัน จะมีอายุการใช้งานแตกต่างกันไปมาก ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความยากลำบากในการควบคุมความกลมของลูกกลิ้ง และความเรียบของผิวหน้าลูกกลิ้ง เป็นต้น ดังนั้นอายุใช้งานที่ทางผู้ผลิตอ้างถึงจึงมีรากฐานมาจากการใช้หลักวิชาการทางด้านสถิติ

เข้าช่วย ทางสมาคม AFBMA จึงได้ตั้งนิยามและจัดตั้งวิธีการเลือกแบร็ริงขึ้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้คือ

1. อายุใช้งานของโรลลิงแบร์ริงหมายถึงจำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งแบร์ริงหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง

2. อายุประเมิน (rating life) ของโรลลิงแบร์ริงจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ หมายถึงจำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งแบร์ริง 90% จากจำนวนนี้สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า และใช้แทนด้วยอายุใช้งาน  $L_{10}$

ผู้ผลิตบางบริษัทอาจจะใช้อายุใช้งานเฉลี่ย (median life) เป็นอายุประเมินก็ได้ อายุใช้งานเฉลี่ยนี้หมายถึงจำนวนรอบที่ 50% ของแบร์ริงที่เหมือนกันจำนวนหนึ่งสามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความล้าขึ้น และใช้แทนด้วยอายุใช้งาน  $L_{50}$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ  $L_{10}$  โดยประมาณคือ

$$L_{50} \approx 5L_{10} \quad (4-42)$$

3. แรงสถิตย์ประเมิน (basic static load rating) หมายถึงแรงในแนวนอนที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้งและวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง และใช้แทนด้วย  $C_0$  ค่าของ  $C_0$  สำหรับแบร์ริงอนุกรมมิติต่างๆ ดูได้จาก ค่า  $C_0$  นี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแบร์ริง จำนวนแถวของลูกกลิ้งในแบร์ริง จำนวนลูกกลิ้งต่อแถว มุมสัมผัสตลอดจนขนาดของลูกกลิ้ง และวงแหวน

โดยปกติแล้วแรงสถิตย์ประเมินไม่ค่อยจะมีผลต่อการเลือกแบร์ริงมากนัก แต่ถ้าแบร์ริงรับแรงสูงและอยู่นิ่งเป็นระยะเวลานานก็อาจจะทำให้เกิดการยุบตัวอย่างถาวร (permanent deformation) เป็นแห่งๆ ได้ ดังนั้นในบางครั้งจึงต้องมีการตรวจสอบว่า แรงที่มากกระทำมีค่ามากเกินกว่า  $C_0$  หรือไม่

4. แรงพลวัตประเมิน (basic dynamic load rating) บางครั้งอาจจะเรียกว่า สมรรถนะแรงพลวัต (basic dynamic capacity) ของโรลลิงแบร์ริง หมายถึงแรงที่กระทำในแนวนอน ซึ่งแบร์ริงที่ลักษณะเหมือนกันจำนวนหนึ่งจะรับได้ โดยมีอายุประเมิน  $L_{10}$  เท่ากับหนึ่งล้านรอบเมื่อวงแหวนอันในเป็นตัวหมุนและวงแหวนอันนอกอยู่นิ่ง และใช้แทนด้วย  $C$  ซึ่งได้แสดงอยู่ในตาราง

แรงพลวัตประเมิน  $C$  นี้ เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดแบร์ริงเพื่อให้รับแรง และมีอายุใช้งานได้ตามความต้องการ โดยการเปลี่ยนแรงและอายุใช้งานจริงมาเป็นแรงและอายุใช้งานที่แสดงไว้ในแค็ตตาล็อก (คือแรงในแนวนอนที่ทำให้มีอายุประเมินเท่ากับหนึ่งล้านรอบ) หรือในทางกลับกัน คือ เลือกแบร์ริงจากแค็ตตาล็อกและเปลี่ยนให้รับแรงได้เท่าที่ต้องการใช้ทำงานจริง และดูว่าอายุประเมินจะได้ตามอายุใช้งานที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการ (4-41)

#### 4.25 แรงสมมูล

ในการใช้งานจริง โรลลิงแบร์ริงอาจจะรับทั้งแรงในแนวนอนและแนวแกน แลพวงแหวนในหรือนอกจะเป็นอันที่หมุนก็ได้ ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อีกประการหนึ่ง แค็ตตาล็อกของผู้ผลิตจะกำหนดให้เฉพาะอายุประเมินในทอมของแรงในแนวนอนเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรงและเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริงๆ มาให้เป็นแรงในแนวนอนโดยมีวงแหวนในเป็นค้ำหมุน เรียก

ว่า แรงสมมูล (equivalent force) เพื่อจะได้ใช้ในการเลือกแบริ่งจากแค็ตตาล็อกได้ สมาคม AFBMA ได้กำหนดนิยามของแรงสมมูลไว้ดังนี้

แรงสมมูลหมายถึง แรงในแบริ่งซึ่งถ้าให้กระทำต่อโรลลิ่งแบริ่งโดยที่วงแหวนในหมุนและวงแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้แบริ่งมีอายุใช้งานเท่ากับอายุใช้งานของแบริ่งที่รับแรงจริง (ซึ่งอาจจะมีทั้งแรงในแบริ่งและแนวแกนพร้อมกัน) และให้คำนวณได้จากสมการ

$$P = XVF_r + YF_a \quad (4-43)$$

หรือ 
$$P = VF_r \quad (4-44)$$

โดยที่  $P$  = แรงสมมูล

$F_r$  = แรงในแบริ่ง

$F_a$  = แรงในแนวแกนหรือแรงรูน

$V$  = ตัวประกอบการหมุน (rotation factor) : มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวงแหวนในหมุน และ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุน ถ้าเป็นบอลแบริ่งชนิด self-aligning ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1 เสมอ

$X$  = ตัวประกอบแรงในแบริ่ง (radial load factor)

$Y$  = ตัวประกอบแรงรูน (thrust load factor)

ค่าแรงสมมูลที่ใช้ในการเลือกขนาดแบริ่ง ให้ใช้ค่าที่ได้จากสมการ (4-43) หรือ (4-44) แล้วแต่ที่ค่าไหนจะมากกว่า สำหรับบอลแบริ่งกันรูนและโรลเลอร์แบริ่งกันรูน แล้วให้คำนวณค่าแรงสมมูลจากสมการ (4-43) โดยให้  $V=1$  ส่วน straight roller bearing นั้นจะใช้รับเฉพาะแรงในแบริ่งเท่านั้น จึงให้คำนวณแรงสมมูลจากสมการ (4-44) ค่า  $X$  และ  $Y$  สำหรับแบริ่งบางชนิดแสดงอยู่ในตาราง

ให้สังเกตว่าค่า  $X$   $Y$  และ  $e$  ใช้ได้กับแบริ่งทุกขนาด ส่วนค่าในตาราง จะเปลี่ยนไปตามขนาดแบริ่ง และค่า  $e$  และ  $Y$  มีค่าลดลงตามลำดับ จึงทำให้สามารถใช้ค่าการประมาณค่าแบบเชิงเส้น (linear interpolation) ในตารางได้

Contact Angle $\alpha$ , deg	$\frac{fF_a^1}{C_o}$	Single-Row Bearing <sup>2</sup> $F_a/VF_r > e$		Double-Row Bearing <sup>3</sup>				e
		X	Y	$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$		
				X	Y	X	Y	
Deep groove ball bearing <sup>4</sup>								
	0.014		2.30				2.30	0.19
	0.028		1.99				1.99	0.22
	0.056		1.71				1.71	0.26
	0.084		1.55				1.55	0.28
	0.11	0.56	1.45	1.0	0	0.56	1.45	0.30
	0.17		1.31				1.31	0.34
	0.28		1.15				1.15	0.38
	0.42		1.04				1.04	0.42
	0.56		1.00				1.00	0.44
Angular-Contact groove ball bearing <sup>4</sup>								
5	0.014		Use X, Y		2.78		3.74	0.23
	0.028		and e		2.40		3.23	0.26
	0.056		values		2.07		2.78	0.30
	0.085		appli-		1.87		2.52	0.34
	0.11	0.56	cable	1.0	1.75	0.78	2.36	0.36
	0.17		to sin-		1.58		2.13	0.40
	0.28		gle-row		1.39		1.87	0.45
	0.42		deep		1.26		1.69	0.50
	0.56		groove		1.21		1.63	0.52
			bear-					
			ings					
10	0.014		1.88		2.18		3.06	0.29
	0.029		1.71		1.98		2.78	0.32
	0.057		1.52		1.76		2.47	0.36
	0.086	0.46	1.41	1.0	1.63	0.75	2.29	0.38
	0.11		1.34		1.55		2.18	0.40
	0.17		1.23		1.42		2.00	0.44
	0.29		1.10		1.27		1.79	0.49
	0.43		1.01		1.17		1.64	0.54
	0.57		1.00		1.16		1.63	0.54

ตาราง 4-15 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contact Angle $\alpha$ , deg	$\frac{iF_a^1}{C_o}$	Single-Row Bearing <sup>2</sup> $Fa/VF_r > e$		Double-Row Bearing <sup>3</sup>				e
				$Fa/VF_r \leq e$		$Fa/VF_r > e$		
		X	Y	X	Y	X	Y	
Angular-Contact groove ball bearing <sup>4</sup>								
15	0.015		1.47		1.65		2.39	0.38
	0.029		1.40		1.57		2.28	0.40
	0.058		1.30		1.46		2.11	0.43
	0.087		1.23		1.38		2.00	0.46
	0.12	0.44	1.19	1.0	1.34	0.72	1.93	0.47
	0.17		1.12		1.26		1.82	0.50
	0.29		1.02		1.14		1.66	0.55
	0.44		1.00		1.12		1.63	0.56
	0.58		1.00		1.12		1.63	0.56
20		0.43	1.00	1.0	1.09	0.70	1.63	0.57
25		0.41	0.87	1.0	0.92	0.67	1.41	0.68
30		0.39	0.76	1.0	0.78	0.63	1.24	0.80
35		0.37	0.66	1.0	0.66	0.60	1.07	0.95
40		0.35	0.57	1.0	0.55	0.57	0.93	1.14
Self-aligning ball bearings								
		0.40	0.4 $\cot \alpha$	1.0	0.42 $\cot \alpha$	0.65	0.65 $\cot \alpha$	1.5 $\tan \alpha$
Roller-bearings, self-aligning, tapered <sup>5</sup>								
$\alpha \neq 90$		0.4	0.4 $\cot \alpha$	1.0	0.45 $\cot \alpha$	0.67	0.67 $\cot \alpha$	1.5 $\tan \alpha$

ที่มา : Frank W.Wilson : Tool Engineers Handbook, 2nd, ed. McGraw-Hill Book Co.

ตาราง 4-15 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง(ต่อ)

ข้อสังเกต : ค่าของ X, Y และ e สำหรับแรงหรือ contact angle นอกเหนือจากตารางให้หาค่าโดยการประมาณค่าแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูรวม mm	O.D mm	ความหนา mm	e	$\frac{F_a}{VF_r} > e^*$		C <sub>o</sub> kN	C kN
				X	Y		
25	60	19	0.51	0.40	1.17	20	27
30	67	21	0.48		1.25	25	32
35	72	17	0.44		1.37	28	34
40	80	21	0.47		1.27	33	41
45	85	21	0.45		1.34	38	47
50	90	20	0.40		1.49	43	49
50	100	21	0.45		1.34	60	70
50	110	27	0.48		1.24	75	85
55	100	21	0.40		1.49	57	61
60	110	22	0.38		1.60	69	73
65	113	24	0.37		1.61	79	83
65	127	28	0.42		1.44	90	101

ตาราง 4-16 แรงประเิมและตัวประกอบ X และ Y สำหรับ single-row, spherical roller bearings

รูรวม mm	O.D mm	ความหนา mm	e	$\frac{F_a}{VF_r} > e^*$		C <sub>o</sub> kN	C kN
				X	Y		
70	150	30	0.40	0.40	1.49	116	133
75	130	27	0.38		1.59	92	97
80	150	28	0.38		1.57	115	117
85	150	28	0.38		1.57	115	117
90	190	36	0.38		1.60	225	214
95	180	34	0.36		1.67	177	181
100	180	38	0.36		1.67	177	181
105	190	36	0.38		1.60	225	214
120	215	44	0.37		1.63	274	265

\* สำหรับ  $F_a/VF_r \leq e$ , X = 1 และ Y = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของแรง	N <sub>s</sub>		
	บอลแบร์ริง	โรลเลอร์แบร์ริง	ตัวอย่าง
แรงเรียบสม่ำเสมอ	1.0	1.0	มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องอัดอากาศ
แรงกระแทกเล็กน้อย	1.5	1.0	เครื่องตัดโลหะ ขั้นต้น
แรงกระแทกอย่างหนัก	2.0-3.0	1.3-2.0	เครื่องบดแร่ เครื่องเขย่า

ตาราง 4-17 ตัวประกอบของการกระแทก

ชนิดของสายพาน	N <sub>s</sub>
สายพานลิ่ม (V-belts)	1.5-2.0
สายพานแบน	2.0-4.0

ตาราง 4-18 ตัวประกอบของสายพาน

คุณภาพของ เฟือง	N <sub>s</sub>
เฟืองซึ่งตัดฟันอย่างดีมาก	1.05 1.10
เฟืองที่ใช่ทั่วไป	1.10 1.30

ตาราง 4-19 ตัวประกอบของเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4-26 ตัวประกอบใช้งาน

แรงที่กระทำต่อแบริ่งจะได้รับการส่งทอดมาจากชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ซึ่งอาจมีความสั่นสะเทือนมากน้อยต่างกันไป อันอาจจะเป็นเหตุให้แบริ่งเสียหายได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการเลือกแบริ่ง จึงควรที่จะเพิ่มค่าแรงสมมูลโดยการคิดถึงลักษณะการใช้งาน ด้วยการคูณตัวประกอบเหล่านี้กับแรงสมมูลเสียก่อน ตัวประกอบเหล่านี้ได้มาจากประสบการณ์อันยาวนานของผู้ออกแบบเครื่องจักรกลเป็นจำนวนมาก เรียกว่าตัวประกอบใช้งาน (service factor) และได้แสดงไว้ในตาราง 4-17 4-18 และ 4-19 ซึ่งประกอบด้วยตัวประกอบของการกระแทก (impact factor) ตัวประกอบของสายพาน (belt factor) และตัวประกอบของเฟือง (gear factor) ซึ่งรวมเรียกว่า ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$

#### 4.27 อายุใช้งานโดยสังเขป

ในการเลือกใช้แบริ่ง ผู้ออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องทราบว่า แรงที่กระทำต่อแบริ่งมีค่าเท่าใด และอายุใช้งานของแบริ่งควรจะนานเท่าใด ตาราง 4-20 แสดงถึงอายุใช้งานของแบริ่งในเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้เลือกใช้แบริ่ง



ชนิดของเครื่องจักรกล	อายุเป็นชั่วโมงทำงาน
เครื่องมือวัดและเครื่องมือที่ใช้ไม่บ่อยนัก ตัวอย่างเช่น เครื่องมือสำหรับห้องทดลอง อุปกรณ์สำหรับประตูลื่น	500
เครื่องยนต์เครื่องปั้น	500-2,000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานช่วงเวลาสั้น ๆ หรือทำงานเป็นพัก ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องมือต่าง ๆ รอกยกของในโรงงาน เครื่องจักรที่ทำงานโดยใช่มือจับ เครื่องจักรกล เกราะเกษตร ปั่นจั่นที่ใช้ในงานประกอบ เครื่องขนถ่าย ปั่นจั่นที่ใช้ในงานหล่อ เครื่องจักรกลที่ใช้ในบ้าน	4000-8000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานเป็นพัก ๆ แต่มีความสำคัญต่องานที่ทำมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรสำรองของโรงต้นกำลัง อุปกรณ์ลำเลียงในสายงานผลิต ลิฟท์ ปั่นจั่นยกสินค้าทั่วไป เครื่องมือกลที่ใช้ไม่บ่อยนัก	8000-12 000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเฟืองทดสำหรับงานทั่วไป	12 000-20 000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ปั่นจั่นไต่ยกของตลอดเวลา เครื่องเป่าลม เพลาลังกำลัง	20 000-30 000
เครื่องจักรที่ใช้งานต่อเนื่อง (ทำงาน 24 ชั่วโมง) ตัวอย่างเช่น เครื่องแยกของ เครื่องอัดอากาศ ปั๊ม เพลาลังกำลัง ลูกกลิ้งของสายพานลำเลียง รอกในเหมืองแร่ มอเตอร์ไฟฟ้า	40 000-60 000
เครื่องจักรที่ใช้งานตลอด ชั่วโมง ละการทำงานมีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงไฟฟ้า ปั๊มในเหมืองแร่ สถานีส่งน้ำประปา เครื่องจักรในเรือเดินสมุทร	100 000-200 000

ที่มา : แคตตาล็อกและข้อมูลทางวิศวกรรมทั่วไปของ SKF Industries, Phila., Pa.

ตาราง 4-20 แนวทางการเลือกอายุใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การออกแบบและการคำนวณ

#### 5.1 การหาแรงกดสูงสุดที่ขวดสามารถยวบตัวได้

ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกด จากบริษัท เพชรแพค จำกัด

ปากขวด	=	250.0	kgf.
ตัวขวด	=	20.8	kgf.
ก้นขวด	=	33.9	kgf.

#### 5.2 การออกแบบขนาดของมอเตอร์

คิดที่ลูกกลิ้งรีด

จากการทดสอบแรงที่กระทำกับลูกกลิ้งรีดเท่ากับ 250 kgf

กำหนดให้ เส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้งรีด 0.06 เมตร.

ดังนั้น

ที่เพลลาขับ

$$\begin{aligned}
 \text{แรงบิด} &= \text{แรงที่กระทำกับลูกกลิ้ง} \times \text{รัศมีของลูกกลิ้ง} & (5-1) \\
 &= 250 \times 9.81 \times 0.03 \\
 &= 73.58 \text{ นิวตัน-เมตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

ที่เพลลาตาม

$$\begin{aligned}
 \text{แรงบิด} &= \text{เนื่องจากแรงบิดที่เพลลาขับ เท่ากับ แรงบิดที่เพลลาตาม} \\
 &= 73.58 \text{ นิวตัน-เมตร}
 \end{aligned}$$

$$\text{แรงบิดรวม} = \text{แรงบิดที่เพลลาขับ} + \text{แรงบิดที่เพลลาตาม} \quad (5-2)$$

$$= 73.58 + 73.58 = 147.15 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$\text{กำลัง (Power)} = 2\pi \times \text{แรงบิดรวม} \times \text{ความเร็วรอบที่ใช้} \quad (5-3)$$

$$= 2\pi \times 147.15 \times \frac{90.625}{60}$$

$$= 1396.49 \text{ วัตต์}$$

$$= 1.9 \text{ แรงม้า}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กีดที่โบริมิดตัด

จากตารางคุณสมบัติของพลาสติก PET ที่อุณหภูมิ	23	องศาเซลเซียส
ค่า Shear Strength เท่ากับ	86	นิวตัน/มิลลิเมตร <sup>2</sup>
กำหนดให้ เส้นผ่านศูนย์กลางของโบริมิดเท่ากับ	0.06	เมตร

จากสูตร  $F = P \cdot A$  (5-4)

โดยที่  $A =$  พื้นที่ปากขวดเท่ากับ 17 มิลลิเมตร<sup>2</sup>  
 ดังนั้น  $F = 86 \times 17 = 1462$  นิวตัน.

แรงกระทำกับโบริมิด 4 รอย

ดังนั้น  $\text{แรงรวมทั้งหมด} = 1462 \times 4$  นิวตัน.

ที่เพลลาขับ

แรงบิด  $=$  แรงที่กระทำกับโบริมิดตัด  $\times$  รัศมีของโบริมิดตัด (5-5)  
 $= 5848 \times 0.03$   
 $= 175.44$  นิวตัน-มิลลิเมตร

กำลัง (Power)  $= 2\pi \times \text{แรงบิดรวม} \times \text{ความเร็วรอบที่ใช้}$  (5-6)  
 $= 2\pi \times 175.44 \times \frac{90.625}{60}$   
 $= 1902.79$  วัตต์  
 $= 2.55$  แรงม้า

ดังนั้น

แรงม้ารวมทั้งหมด  $=$  แรงม้าที่ชุดลูกกลิ้ง + แรงม้าที่ชุดโบริมิดตัด (5-7)  
 $= 1.9 + 2.55 = 4.5$  แรงม้า

$\therefore$  เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า

### 5.3 การคำนวณอัตราการป้อนชิ้นงาน

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการป้อน} &= 2\pi \times \text{รัศมีของลูกกลิ้ง} \times \text{ความเร็วรอบ} & (5-8) \\
 &= 2\pi \times 0.03 \times 90.625 / 60 \\
 &= 0.2847 & \text{เมตร/วินาที} \\
 &= 284.7 & \text{มิลลิเมตร/วินาที}
 \end{aligned}$$

### 5.4 การคำนวณขนาดของโซ่และเฟืองโซ่

#### ขนาดของโซ่ในช่วงที่ 1

มอเตอร์ขนาด 3.73 กิโลวัตต์ มีความเร็วรอบ 1450 รอบ/นาที ใช้อัตราทด 4:1 เลือกจำนวนฟันเฟืองขับ 16 ฟัน ฟันเฟืองโซ่ตาม 64 ฟัน เลือกโซ่โรลเลอร์ ISO/R606 06B-1 มีระยะพิตช์ 9.525 มิลลิเมตร. จากภาคผนวก จะได้แรงแตกหัก 8.93 กิโลวัตต์ ระยะพิตช์ 9.525 มิลลิเมตร. ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

$$\begin{aligned}
 V &= pzn & (5-9) \\
 &= 0.009525 \times 16 \times 24.17 \\
 &= 3.683 & \text{เมตร/วินาที} \\
 \text{แรงในแนวสัมผัส} \quad F_t &= W_p / V & (5-10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แรงหนีศูนย์กลาง} \quad \text{จากภาคผนวก ค่า } w/g \text{ เท่ากับ} &= 3.73 / 3.683 = 1.01 & \text{กิโลวัตต์.} \\
 &= 0.39 & \text{กิโลกรัม/เมตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_a &= WV^2 / g & (5-11) \\
 &= 0.39 \times 3.683^2 / 1000 \\
 &= 0.00529 & \text{กิโลวัตต์.}
 \end{aligned}$$

$$\text{แรงดึงในโซ่} \quad F = F_t + F_a & (5-12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความปลอดภัย  $N_b = F_b / F$  (5-13)

$$= 8.93 / 1.015 = 8.8$$

ถือว่าใช้งานได้ เพราะว่า ค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 7 ถึง 15

5.5 การหาจำนวนข้อโซ่(1)

กำหนดให้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ เท่ากับ 200 มิลลิเมตร.

$$X = \frac{2C}{P} + \frac{Z+z}{2} + \frac{(64+16)}{2} + \left(\frac{64-16}{2\pi}\right)^2 \frac{9.525}{200}$$

(5-13)

$$= \frac{2(200)}{9.525} + \frac{(64+16)}{2} + \left(\frac{64-16}{2\pi}\right)^2 \frac{9.525}{200}$$

$$= 84.77 \text{ ข้อ}$$

∴ เลือกจำนวนข้อโซ่ เท่ากับ 86 ข้อ

ความยาวโซ่

$$L = p(x)$$

$$= 9.525 \times 86 = 819.15 \text{ มิลลิเมตร.}$$

(5-14)

ขนาดของโซ่ในช่วงที่ 2

ส่งกำลังขนาด 0.9325 กิโลวัตต์ มีความเร็วรอบ 362.5 รอบ/นาที ใช้อัตราทด 4:1 เลือกจำนวนฟันเฟืองขับ 16 ฟัน เฟืองโซ่ตาม 64 ฟัน เลือกโซ่โรลเลอร์ ISO/R606 06B-1 มีระยะพิตซ์ 9.525 มิลลิเมตร. จากภาคผนวก จะได้แรงตักหัก 8.93 กิโลนิวตัน. ระยะพิตซ์ 9.525 มิลลิเมตร. ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

$$V = pzn$$

$$= 0.009525 \times 16 \times 6.04$$

$$= 0.92 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แรงในแนวสัมผัส

$$F_t = W_p / V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.9325 / 0.92 = 1.01 \text{ กิโลนิวตัน.}$$

แรงหนีศูนย์กลาง จากภาคผนวก ค่า w/g เท่ากับ 0.39 กิโลกรัม/เมตร

$$F_c = WV^2/g \tag{5-11}$$

$$= 0.39 \times 0.92^2 / 1000$$

$$= 0.00033 \text{ กิโลนิวตัน.}$$

แรงดึงในโซ่

$$F = F_t + F_{ct}$$

$$= 1.01 + 0.00033 = 1.01 \text{ กิโลนิวตัน.}$$

ค่าความปลอดภัย

$$N_b = F_b / F$$

$$= 8.93 / 1.01 = 8.84$$

ถือว่าใช้งานได้ เพราะว่า ค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 7 ถึง 15

### 5.6 การหาจำนวนข้อโซ่(2)

กำหนดให้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ เท่ากับ 380 มิลลิเมตร.

$$x = \frac{2C}{P} + \frac{Z+z}{2} + \left( \frac{Z-z}{2\pi} \right)^2 \frac{P}{C} \tag{5-15}$$

$$= \frac{2(380)}{9.525} + \frac{(64+16)}{2} + \left( \frac{64-16}{2\pi} \right)^2 \frac{9.525}{380}$$

$$= 121.25 \text{ ข้อ}$$

∴ เลือกจำนวนข้อโซ่ เท่ากับ 122 ข้อ

ความยาวโซ่

$$L = p(x) \tag{5-14}$$

$$= 9.525 \times 122 = 1162.05 \text{ มิลลิเมตร}$$

ขนาดของโซ่ในช่วงที่ 3 : การส่งกำลังระหว่างใบมีดตัด ไปยังลูกกลิ้งรีด

ส่งกำลังขนาด 0.23 กิโลวัตต์ . มีความเร็วรอบ 90.625 รอบ/นาที โซ่อัตราทด 1 : 1

เลือกจำนวนฟันเฟืองขับ 16 ฟัน ฟันเฟืองโซ่ตาม 16 ฟัน เลือกโซ่โรลเลอร์ ISO/R606 06B – 1 มีระยะ

พิตช์ 9.525 มิลลิเมตร. จะได้แรงแตกหัก 8.93 กิโลนิวตัน. ระยะพิตช์ 9.525 มิลลิเมตร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

$$\begin{aligned}
 V &= pzn & (5-9) \\
 &= 0.009525 \times 16 \times 1.51 \\
 &= 0.23 \text{ เมตร/วินาที}
 \end{aligned}$$

แรงในแนวสัมผัส

$$\begin{aligned}
 F_t &= W_p / V & (5-10) \\
 &= 0.23 / 0.23 = 1.0 \text{ กิโลนิวตัน.}
 \end{aligned}$$

แรงหนีศูนย์กลาง

จากภาคผนวก ค่า  $w/g$  เท่ากับ 0.39 กิโลกรัม/เมตร

$$\begin{aligned}
 F_{ca} &= WV^2/g & (5-11) \\
 &= 0.39 \times 0.23^2 / 1000 \\
 &= 0.0000206 \text{ กิโลนิวตัน.}
 \end{aligned}$$

แรงดึงในโซ่

$$\begin{aligned}
 F &= F_t + F_{ca} & (5-16) \\
 &= 1.0 + 0.0000206 = 1.0 \text{ กิโลนิวตัน.}
 \end{aligned}$$

ค่าความปลอดภัย

$$\begin{aligned}
 N_b &= F_b / F & (5-17) \\
 &= 8.93 / 1.0 = 8.93
 \end{aligned}$$

ถือว่าใช้งานได้เพราะว่า ค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 7 ถึง 15

5.7 การหาจำนวนข้อโซ่(3)

กำหนดให้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ เท่ากับ 100 มิลลิเมตร.

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{2C}{P} + \frac{Z+z}{2} + \left( \frac{16-16}{2\pi} \right)^2 \frac{P}{C} & (5-15) \\
 &= \frac{2(100)}{9.525} + \frac{(16+16)}{2} + \left( \frac{16-16}{2\pi} \right)^2 \frac{9.525}{100}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ เลือกจำนวนข้อโซ่ เท่ากับ 38 ข้อ

ความยาวโซ่  $L = p(x)$  (5-14)  
 $= 9.525 \times 38 = 361.95$  มิลลิเมตร.

5.8 แรงที่เฟืองกระทำกับเพลา

เฟืองลูกกลิ้งรีด

กำหนดให้ ใช้ฟันเฟืองตัดแบบ 20 องศา ( 20 Degree Full Depth )  
 เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ 61 มิลลิเมตร.

รูปที่ 5-1 แรงที่กระทำบนเฟือง

จาก 
$$F_t = \frac{W_p}{V} = \frac{W_p}{\pi d n} \tag{5-18}$$

$$= \frac{0.233}{\pi(0.061 \times 1.51)}$$

= 0.81                      กิโลนิวตัน.

$F_r = F_t \tan 20^\circ$  (5-19)

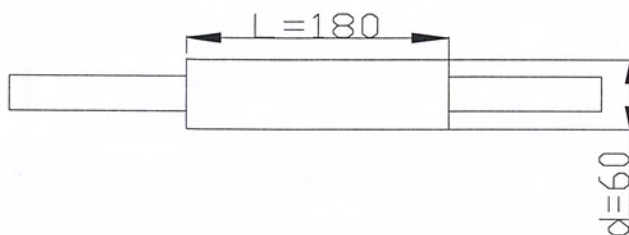
$= 0.81 \tan 20^\circ = 0.3$  กิโลนิวตัน.

$F = \frac{F_t}{\cos 20^\circ}$  (5-20)

$= \frac{0.81}{\cos 20^\circ}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 5-2 ขนาดเพลลา

แทนค่า  $W = 7769 \pi \times 0.06^2 \times (0.18 / 4)$

ดังนั้น แรงที่น้ำหนักลูกกลิ้งกระทำกับเพลลาเท่ากับ 0.0388 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นแรงที่กระทำในแนวตั้ง และ แรงเนื่องจากแรงกดของลูกกลิ้งในแนวระดับเท่ากับ  $250 \text{ กิโลนิวตัน} \times 9.81 = 2.45 \text{ กิโลนิวตัน}$ .

### 5.10 แรงที่ชุดโม่มีดกระทำกับเพลลา



รูปที่ 5-3 ขนาดโม่มีด

แรงเนื่องจากน้ำหนัก  $W = \rho V g = \rho g \frac{\pi}{4} d^2 L$  (5-22)

$$W = 7769 \pi \times 0.06^2 \times 0.01 / 4$$

จะได้แรงเนื่องจากน้ำหนักของโบริด เท่ากับ 2.16 นิวตัน ต่อ 1 โบริด ซึ่งโบริดแต่ละโบริดห่าง 10 มิลลิเมตร. จึงเป็นแรงกระจายสม่ำเสมอ มีค่าเท่ากับ  $2.16 \times 10^{-4}$  กิโลนิวตัน./มิลลิเมตร. ซึ่งเป็นแรงที่กระทำในแนวตั้ง

แรงเนื่องจากแรงตัดของโบริด

$$F = PA \tag{5-4}$$

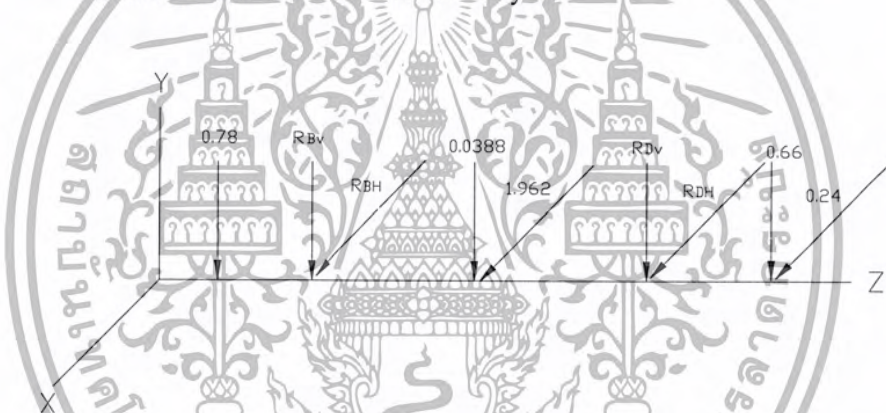
$$= 86 \times 1.7 \times 10 \times 2$$

ค่าแรงตัด เท่ากับ 2.924 กิโลนิวตัน ต่อ 1 โบริด แรงที่กระทำกับเพลลา จึงเป็นแรงกระจายสม่ำเสมอ เท่ากับ 0.2924 กิโลนิวตัน./มิลลิเมตร. ซึ่งเป็นแรงกระทำในแนวระดับ

5.11 การหาค่าโมเมนต์ตัดที่เกิดขึ้นบนเพลลา

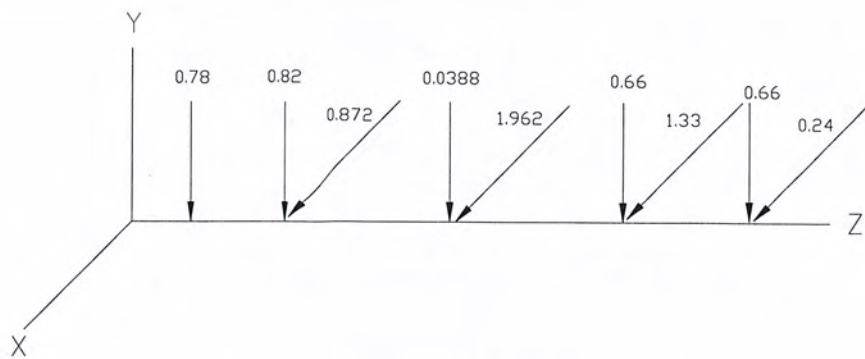
คำนวณหาโมเมนต์ตัดที่เพลลาของลูกกลิ้ง

แรงที่เกิดขึ้นบนระนาบ x-z และระนาบ y-z



รูป 5-4(ก) แรงที่เกิดขึ้นที่เพลลา

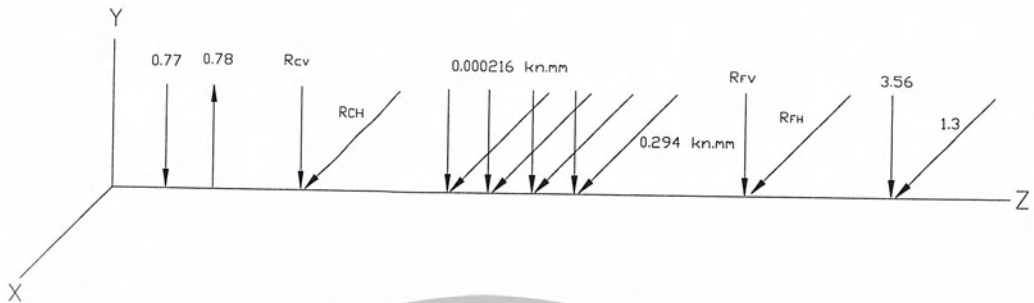
แยกคิดเป็นแรงในแนวตั้งและแรงในแนวระดับ แล้วทำการ take moment ที่จุดต่างๆ เพื่อหาค่า  $R_{Bv}, R_{Bh}, R_{Dv}, R_{Dh}$  ได้ค่าของแรงดังรูปที่ 5-4(ข)



รูป 5-4(ข) แทนค่าแรงที่เกิดขึ้นที่เพลลา

แล้วทำการหาค่าโมเมนต์คัตสูงสุด จะได้ค่าโมเมนต์คัตสูงสุดที่จุด C เท่ากับ 124.74 กิโลนิวตัน-มิลลิเมตร.

กำหนดหาค่าโมเมนต์คัตที่เพลามีคัต



รูป 5-5(ก) แรงที่เกิดขึ้นที่เพล  
แยกคิดเป็นแรงในแนวตั้งและแรงในแนวระดับ แล้วทำการ take moment ที่จุดต่างๆ เพื่อหาค่า  $R_{Ch}, R_{cv}, R_{Fh}, R_{Fv}$  ได้ค่าของแรงดังรูปที่ 5-5(ข)



รูป 5-5(ข) แทนค่าแรงที่เกิดขึ้นที่เพล

ทำการหาโมเมนต์คัตสูงสุด จะได้ค่าโมเมนต์คัตสูงสุดที่จุด D เท่ากับ 631.92 กิโลนิวตัน-มิลลิเมตร

5.12 การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล

จากสมการ 
$$d^3 = \frac{16}{\pi} [(C,T)^2 + (C_m \mu_D)^2]^{\frac{1}{2}} \tag{5-24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลาลมุนและแรงกระทำสม่ำเสมอ จะได้ค่า  $C_m = 1.5$  และ  $C_t = 1.0$  เพลามีร่องลึมหีดเพียง  
 ดังนั้น  $\tau_u = 41$  นิวตัน/มิลลิเมตร<sup>2</sup> แทนค่าลงในสมการ จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาลูก  
 กลิ้ง เท่ากับ 28.62 มิลลิเมตร. ดังนั้น จึงเลือก เพลาขนาด 30 มิลลิเมตร. และเลือกค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ  
 เพลาใบมีด เท่ากับ 43.27 มิลลิเมตร. จึงเลือกเพลาขนาด 25 มิลลิเมตร.

### 5.13 การคำนวณอายุการใช้งานของแบริ่ง

เลือกแบริ่งแบบวงแหวนในหมุนและกำหนดแรงในแนวแกนเป็น 5% ของความสามารถใน  
 การรับโหลดศกย์ได้

$$F_a = 0.05 C_o$$

เลือกใช้แบริ่งชนิด Single Row Deep Groove อนุกรมมิติ 03 ขนาดรูสาม 30 มิลลิเมตร.  
 เพราะฉะนั้น จากตารางที่ 7.2 ได้  $C_o = 14.86$  กิโลนิวตัน และ  $C = 21.58$  กิโลนิวตัน

ดังนั้น  $F_a = 0.743$  กิโลนิวตัน และ  $F_r = 4.1$  กิโลนิวตัน

$$\frac{iF_a}{C_o} = 0.05 \quad (5-25)$$

$$\frac{F_a}{VF_r} = 0.18 \quad (5-26)$$

จากตาราง ได้ค่า  $e$  อยู่ระหว่าง 0.22-0.26 ซึ่ง  $\frac{F_a}{VF_r} < e$  ได้  $X=1$  และ  $Y=0$

$$P = XVF_r + YF_a \quad (5-27)$$

แทนค่าได้  $P = 4.1$  กิโลนิวตัน

จาก

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^k \quad (5-28)$$

ได้  $L_{10} = 145.82$  ล้านรอบ. หรือ  $26817.47$  ชั่วโมง.

## บทที่ 6

### การทดสอบเครื่องย่อยขวดพลาสติก

#### 6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) ขวดน้ำดื่มพลาสติก ( PE)
- 2) ขวดน้ำดื่มพลาสติก ประเภท PET และ PP
- 3) กระดาษล้าง
- 4) กล้องนวม
- 5) เครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Power Input)
- 6) นาฬิกาจับเวลา
- 7) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 8) เครื่องย่อยขวดพลาสติก

##### 6.1.1 เครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Power Input)

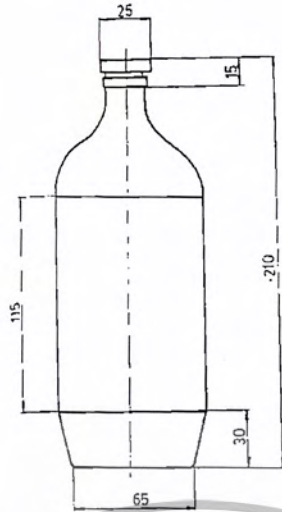
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากำลังงาน Input โดยการใช้งานจะต่อแบบอนุกรม สามารถวัดหาค่าตัวประกอบกำลัง ( Power Factor) และความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ แสดงผลเป็นแบบตัวเลข มีทศนิยม 2 ตำแหน่ง ดังรูป 6-3

##### 6.1.2 นาฬิกาจับเวลา

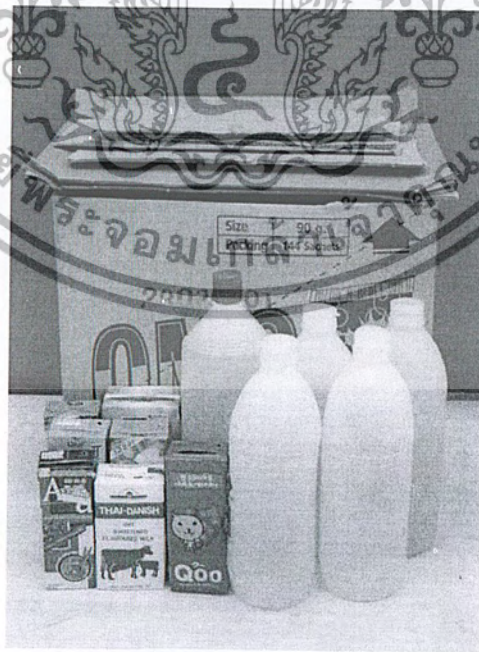
ใช้ในการจับเวลาการทดสอบ โดยนาฬิกาจับเวลาที่ใช้มีความละเอียดในการจับเวลา 1 ใน 100 ของวินาที

#### 6.2 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

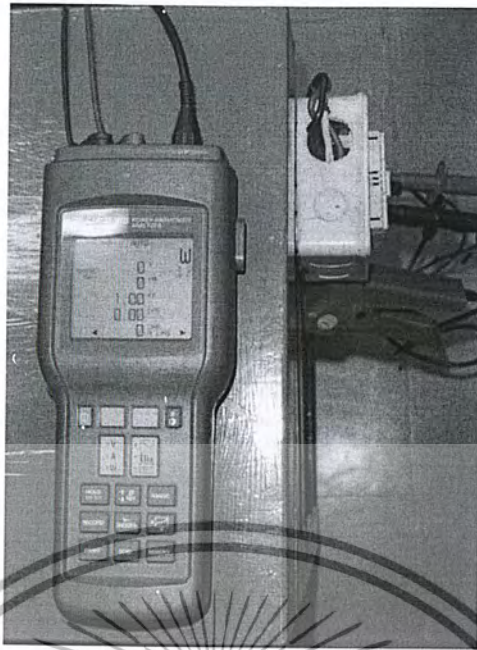


รูปที่ 6-1 แสดงมิติของขวด



รูปที่ 6-2 แสดงผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-3 เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า

### 6.3 วิธีการทดสอบ

#### 6.3.1 กำหนดชนิด

- 1) ขวดน้ำดื่มใช้แล้ว ลักษณะเป็นขวดกลม, กลวง ทำจากเทอร์โมพลาสติกประเภท PE ปริมาตรสุทธิ 950 ลูกบาศก์เซนติเมตร. ผนังขวดหนา 0.45 มิลลิเมตร. ก้นขวดหนา 1.25 มิลลิเมตร. ปริมาณที่นำมาทดสอบ ทดสอบทีละ 1 ขวด มิติของขวดที่นำมาทดสอบและภาพ ได้ถูกแสดงไว้ดังรูป
- 2) ขวดน้ำดื่มใช้แล้วที่ทำจากเทอร์โมพลาสติกประเภท PET และ PP
- 3) กระจาดล้างและกล่องนม

#### 6.3.2 จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์ลดขนาดพลาสติก โดยใช้เครื่องแมบริดตัดขนาด 5 แรงม้า
- 2) จัดเตรียมเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนัก นาฬิกาจับเวลา เครื่องวัดความถี่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้า ตารางบันทึกการทดสอบ

### 6.4 การทดสอบหาสมรรถนะในการทำงานของอุปกรณ์ย่อยขวดพลาสติก

ทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์ลดขนาดพลาสติก ในการลดขนาดของขวดน้ำดื่ม ทดสอบครั้งละ 1 ขวดเป็นจำนวน 10 ครั้ง และทำการทดสอบขวดน้ำดื่ม PE, PET, PP, กระจาดล้าง, กล่องนม เช่นเดียวกัน โดยที่ กระจาดล้างและกล่องนม จัดหาขนาดที่เท่ากันทุกๆ การทดสอบ ผลการทดสอบ แสดงในตาราง

กำหนดวิธีวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยใช้

#### 1. ค่าเฉลี่ย

#### 2. สมรรถนะการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	VI (kVA)	Power Factor (PF)
1	1.67	0.98	2.27	0.43
2	1.45	1.06	2.23	0.48
3	2.81	0.68	2.2	0.31
4	1.23	0.94	2.24	0.42
5	4.56	1.01	2.28	0.44
6	2.89	1.02	2.3	0.45
7	2.97	0.9	2.2	0.41
8	1.78	1.22	2.33	0.52
9	2.74	1.06	2.24	0.47
10	1.51	1.14	2.33	0.43
ค่าเฉลี่ย	2.361	1.001	2.262	0.436

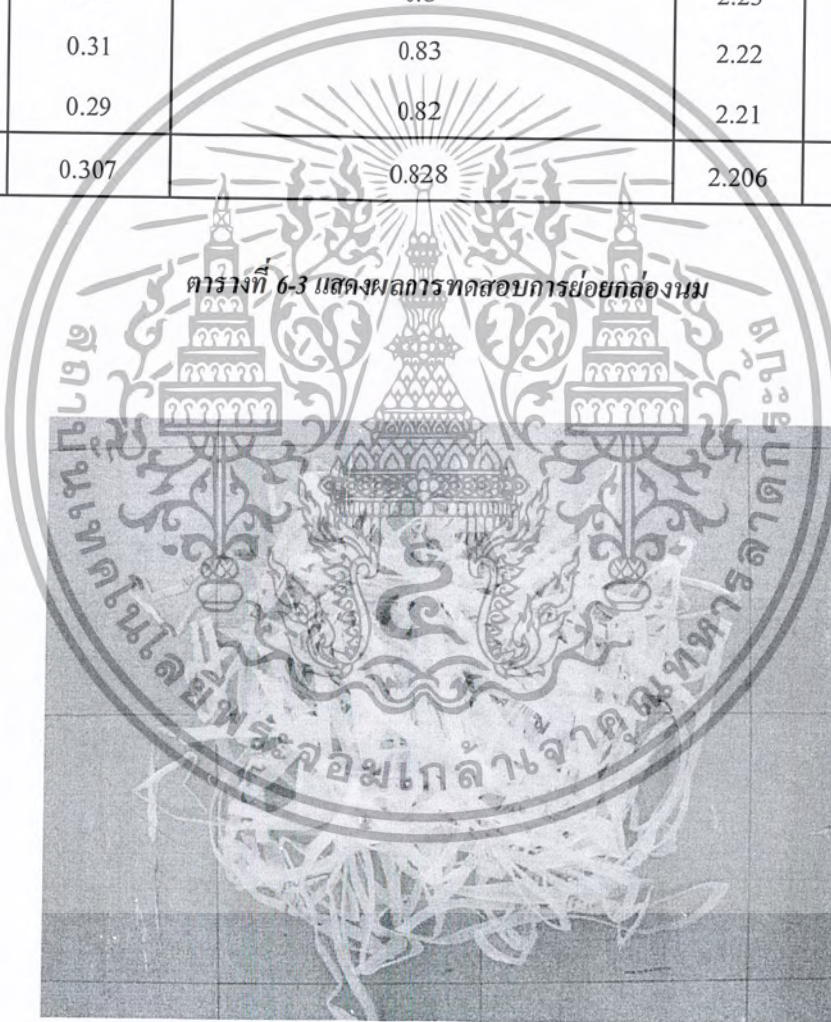
ตารางที่ 6-1 แสดงผลการทดสอบการย่อยขวดพลาสติก(PE)

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	VI (kVA)	Power Factor (PF)
1	1.35	0.86	2.24	0.39
2	1.45	0.82	2.25	0.36
3	1.89	0.84	2.25	0.37
4	1.35	0.82	2.21	0.37
5	1.16	0.8	2.2	0.36
6	1.28	0.75	2.24	0.34
7	1.03	0.86	2.19	0.4
8	1.14	0.84	2.26	0.37
9	1.17	0.9	2.33	0.39
10	1.37	0.82	2.28	0.36
ค่าเฉลี่ย	1.319	0.831	2.245	0.371

ตารางที่ 6-2 แสดงผลการทดสอบการย่อยกระดาษลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	VI (kVA)	Power Factor (PF)
1	0.33	0.84	2.23	0.39
2	0.32	0.86	2.2	0.36
3	0.28	0.85	2.19	0.37
4	0.29	0.81	2.22	0.37
5	0.33	0.86	2.17	0.36
6	0.31	0.79	2.18	0.34
7	0.34	0.82	2.21	0.4
8	0.27	0.8	2.23	0.37
9	0.31	0.83	2.22	0.39
10	0.29	0.82	2.21	0.36
ค่าเฉลี่ย	0.307	0.828	2.206	0.371



รูปที่ 6-4 เศษพลาสติกจากการย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

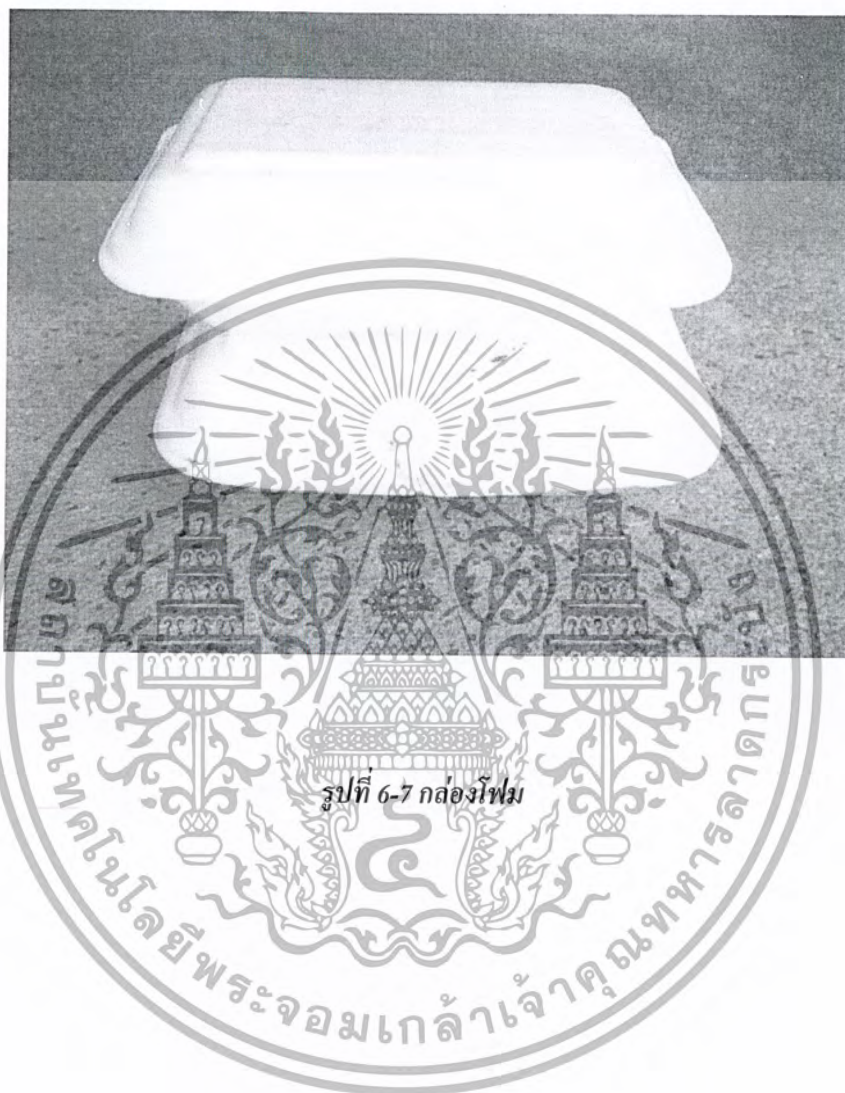


รูปที่ 6-5 เศษกระดาษจากการย่อย

รูปที่ 6-6 เศษถ่อนมจากการย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ทดสอบแล้ว ยังมีขยะที่สามารถนำมาใช้ย่อยกับเครื่องย่อยขวดพลาสติกได้อีก เช่น กล่องโฟม ดังรูป 6-7 ซึ่งนั้นเป็นผลพลอยได้ที่สามารถประยุกต์เครื่องนี้กับขยะชนิดอื่นได้อีก นับว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยกันแก้ไขปัญหาขยะ ที่ก่อให้เกิดปัญหามามากมาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

#### 7.1 การทดลองใช้และการแก้ไขปรับปรุง

การทดลองใช้ จะเป็นเกณฑ์ ในการทดสอบการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก จะใช้งานได้ ตามที่ออกแบบหรือไม่ จากผลของการแก้ไขได้แสดงไว้ในตาราง 7-1 ดังนี้

แนวทางการทดลองใช้	ผลการทดลองใช้	การแก้ไขปรับปรุง
1. ส่วนรีด	ระยะห่างของเพลาทิ้ง 2 เพลามากเกินไป เพลาจึงไม่ดูดชิ้นงาน	ปรับตั้งให้ระยะห่างของเพลาทิ้งสอง น้อยลง
2. ส่วนตัด	เพลาส่วนตัดไม่ดูดชิ้นงาน ตัดชิ้นงานไม่ขาด	คลึงเซาะร่องใบมีดตามแนวเส้นรอบวง ให้มุมของใบมีดลดลง เพื่อที่จะ เพิ่ม ความคม ในการตัดเคลื่อนชิ้นงานและเซาะร่อง ที่ปลายใบมีดเป็นรูปตัววี เพื่อให้ใบมีดสามารถดูดชิ้นงานได้ดี ขึ้น
3. ส่วนรองรับ	ตรงตามที่ออกแบบ	
4. ส่วนต้นกำลัง	ตรงตามที่ออกแบบ	

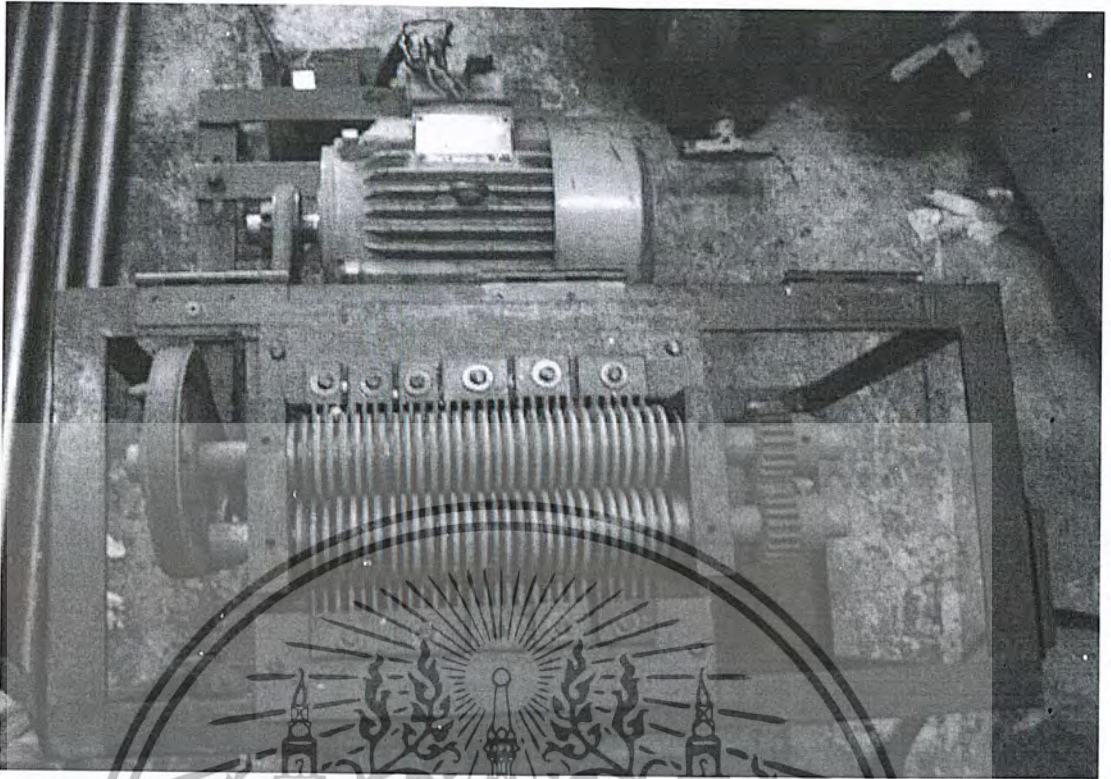
ตาราง 7-1 แสดงการทดลองใช้และการแก้ไขปรับปรุง

#### 7.2 ปัญหาที่พบในการวิจัย

##### 7.2.1 ปัญหาในการทำใบมีด

เนื่องจากใบมีดในเครื่องย่อยขวดพลาสติกสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบดังที่ได้กล่าวไว้ใน ตอนต้น คือ แบบใบมีดเป็นชิ้นเดียวกับเพล่า และแบบใบมีดแยกกับส่วนของเพล่า ซึ่งในช่วงทดสอบ ทดสอบเครื่องย่อยขวดพลาสติก ทางผู้จัดทำได้ใช้ใบมีดแบบที่ 1 ซึ่งผลออกมา คือ เมื่อทดลองใช้ไปนานๆ ระยะขอบของแต่ละใบมีด มีช่องว่างมากกว่าเดิม และใบมีดเกิดการสึกกร่อนมากขึ้นทำให้ไม่สามารถตัด

ขวดพลาสติกขาด มีลักษณะดังรูป 7-1



รูปที่ 7-1 แสดงเครื่องทดสอบ

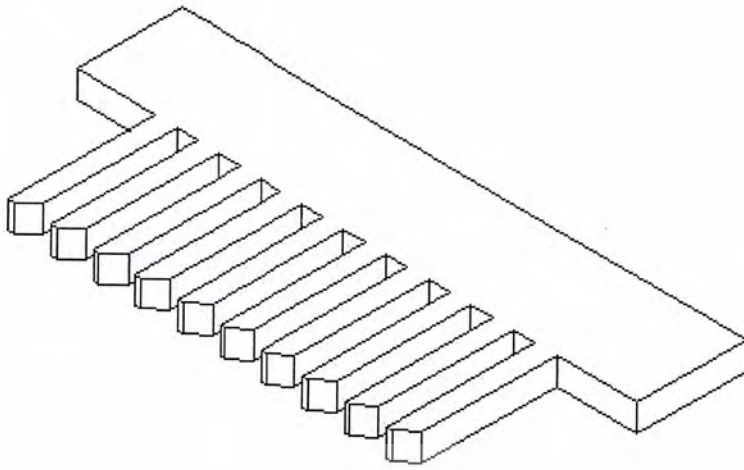
การทำใบมีดลักษณะนี้มีข้อดี คือ จัดทำได้ง่ายกว่า ใบมีดแบบที่ 2 มีปัญหาในการทำงานน้อย เพราะทำจากวัสดุชิ้นเดียว และไม่ต้องกังวลเรื่องการลื่นไถลของเศษพลาสติก แต่ข้อเสีย คือ เมื่อใบมีดเสียหายจะไม่สามารถเปลี่ยนเฉพาะใบมีดนั้นได้ ต้องเปลี่ยนทั้งชุดเกิดความสิ้นเปลือง และไม่สามารถปรับตั้งระยะห่างของแต่ละใบมีดได้

หลังจากนั้นจึง ได้จัดทำใบมีดซึ่งมีลักษณะดังที่เห็นในรูปเครื่องย่อยขวดพลาสติกปัจจุบัน ข้อดีของใบมีดลักษณะนี้ คือ สามารถเปลี่ยนใบมีดได้เฉพาะใบมีดที่เกิดการสึกหรอได้ ปรับระยะห่างของแต่ละใบมีดได้อีกด้วย และสามารถปรับเปลี่ยนลักษณะมุมของใบมีดได้ แต่ข้อเสียของใบมีดลักษณะนี้ คือ ต้องใช้ความชำนาญในการกลึงใบมีด เพราะต้องทำให้เพลและใบมีดมีขนาดที่ถูกต้อง รวมทั้งร่องลิ่มต้องทำให้มีขนาดและตำแหน่งที่ถูกต้องด้วย

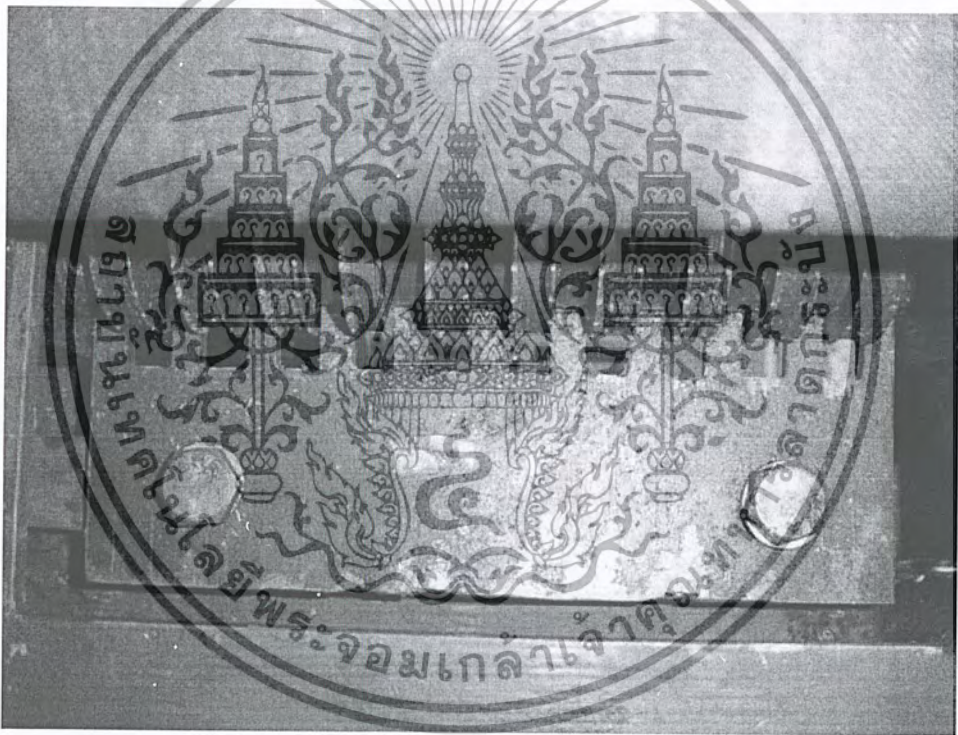
### 7.2.2 ปัญหาในการตัดฟันของเศษพลาสติกที่ตัดแล้ว

ในช่วงของการทดลอง เศษของพลาสติกที่ถูกตัดแล้ว ได้พันติดขึ้นมากับแกนเพลของชุดใบมีดตัด ซึ่งเมื่อเครื่องได้ทำการตัดเหมือนขวดพลาสติกแล้ว เศษของพลาสติกที่ถูกตัดเหมือนมีลักษณะเป็นเส้น จึงได้แก้ไขโดยการทำส่วนประกอบที่ทำหลังจากทดสอบเครื่อง คือ ส่วนของที่กั้นเศษพลาสติก ซึ่งเส้นพลาสติกเหล่านี้ได้ติดขึ้นมาตามร่องของใบมีด ซึ่งหลังจากทำที่กั้นเศษพลาสติกขึ้นมาแล้ว ปัญหาเหล่านี้จึงหมดไป มีลักษณะดังรูป 3-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-2 แสดงลักษณะที่กันเศษพลาสติก

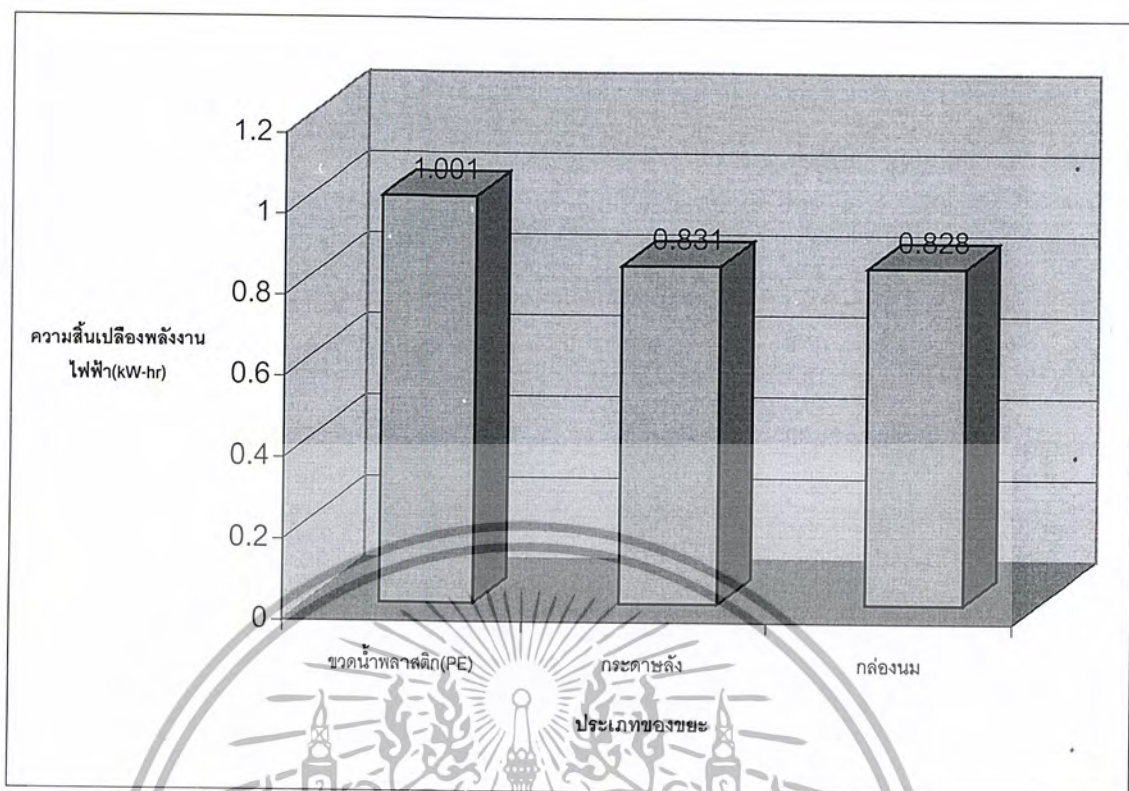


รูป 7-3 แสดงที่กันเศษพลาสติก

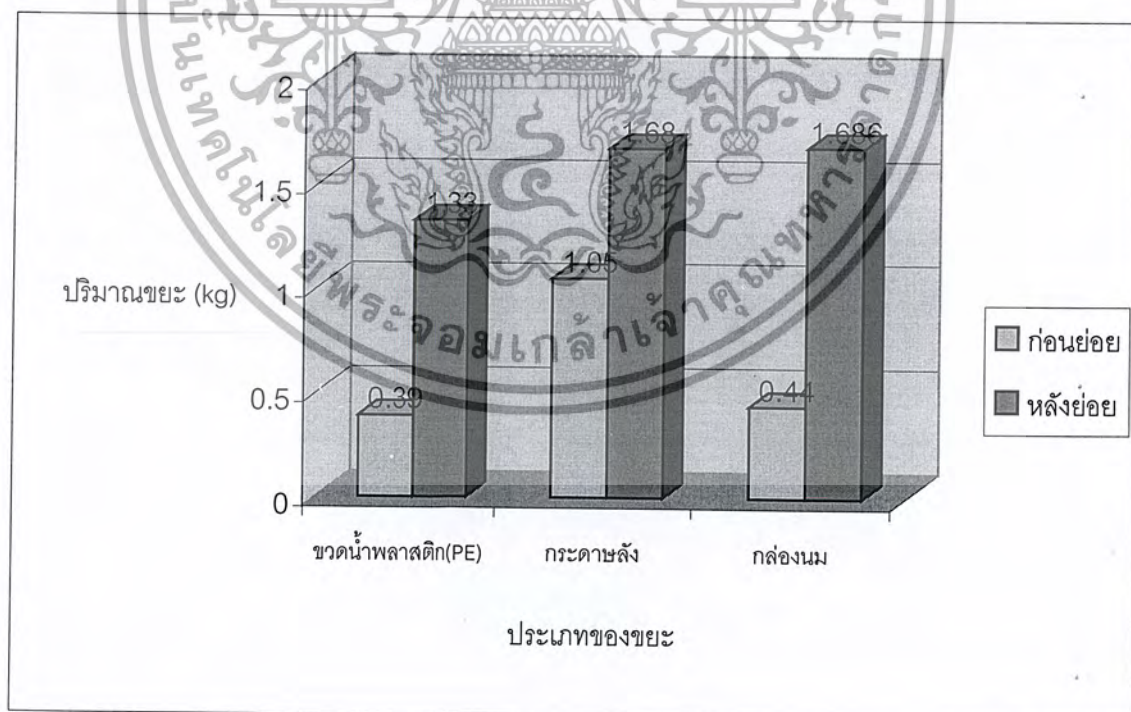
### 7.3 ผลการทดสอบเครื่องย่อยพลาสติก

จากการทดสอบย่อยวัสดุชนิดต่างๆ นอกจากขวดพลาสติกแล้ว ทั้งนี้เพื่อหาสมรรถนะในการทำงานของเครื่องย่อยด้วยการย่อยวัสดุชนิดต่างๆ แล้ว ตามขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงใน บทที่ 6 ผู้ศึกษาได้แสดงผล โดยนำเสนอในรูปแบบของการสรุป ตารางและรูป ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-4 กราฟแสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของขยะแต่ละประเภท



รูปที่ 7-5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักระหว่างขยะก่อนและหลังย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

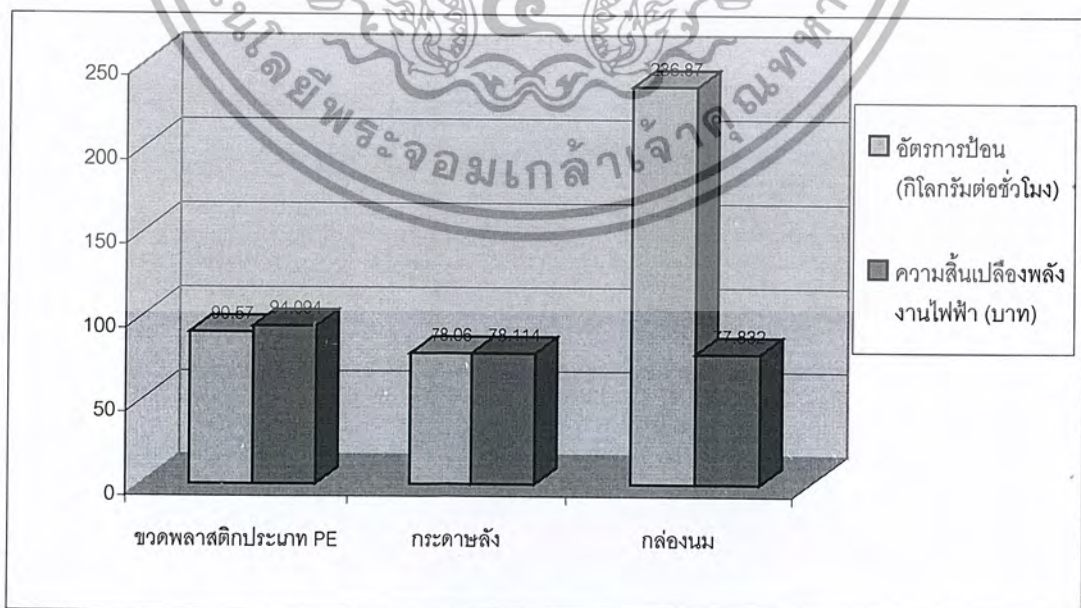
#### 7.4 สมรรถนะในการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

จากการทดสอบย่อยขวดน้ำดื่มประเภทพลาสติก PE เครื่องย่อยขวดพลาสติกใช้ออกแบบมาเพื่อใช้ในการลดหรือย่อยขวดพลาสติกประเภท PE โดยสามารถย่อยที่ละขวดซึ่งมีอัตราการป้อนของขวดพลาสติก เท่ากับ 90.57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง กระดาษลังมีอัตราการป้อน 78.06 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและกล่องนมมีอัตราการป้อน 236.87 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งขยะแต่ละประเภทมีอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 94.094, 78.114 และ 77.832 บาท·ชั่วโมง ทั้งนี้ลักษณะการใช้งานสำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการขนาดเล็ก ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์และมีขนาดความกว้างของเศษพลาสติกจากการย่อย เท่ากับ 10 มิลลิเมตร มีความเร็วตัดเท่ากับ 0.28 เมตร/วินาที

ประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ย่อย	ขวดพลาสติกประเภท PE	กระดาษลัง	กล่องนม
อัตราการป้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	90.57	78.06	236.87
ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (บาท)	94.094	78.114	77.832

ตารางที่ 7-2 แสดงสมรรถนะการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

จากการเปรียบเทียบการย่อยระหว่างขวดน้ำพลาสติกประเภท PE กระดาษลัง และ กล่องนม พบว่าสมรรถนะในการย่อยกล่องนมมีอัตราการป้อนที่สูงที่สุด กล่าวคือ ในเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ปริมาณจากการย่อยกล่องนมมากที่สุด และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่ำที่สุดอีกด้วย ทั้งนี้ เนื่องจาก กล่องนมมีน้ำหนักเบา และทำจากวัสดุที่สามารถทำให้แตกหักได้โดยง่าย นั่นเอง



รูปที่ 7-6 กราฟแสดงสมรรถนะการทำงานของเครื่องย่อยขวดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.5 สรุป

เครื่องย่อยขวดพลาสติกใช้ออกแบบมาเพื่อลดหรือย่อยขวดพลาสติกประเภท PE โดยสามารถย่อยได้ที่ละขวด ใช้กำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้าโดยกระบวนการย่อยเป็นแบบรีดตัด ขนาดความกว้างของขวดพลาสติกที่ทำลายแล้ว เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ทั้งนี้ที่ไม่สามารถย่อยพลาสติกประเภท PET และ PS นั้น เนื่องจากขวดและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกประเภทนี้มีคุณสมบัติแข็งเปราะและหนา

ในด้านค่าใช้จ่ายนั้น ราคาของขวดพลาสติกที่ร้านรับซื้อของเก่า มีราคา 4 บาทต่อกิโลกรัม และจากการคิดคำนวณค่าไฟฟ้า (มีราคาต่อหน่วย 89.89 บาท) คิดในเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว ได้เงินจากการขายขยะขวดพลาสติก เป็นเงิน 452.85 บาท ต้องเสียเงินค่าไฟฟ้า เป็นเงิน 74.67 บาท คิดแล้วเหลือเงิน 378.18 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักในการขนย้ายขวดพลาสติกที่ยังไม่ย่อยกับขวดพลาสติกที่ย่อยแล้วต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรแล้ว มีความคุ้มค่าเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าแรงงานของพนักงานอีกด้วย และเครื่องนี้ยังสามารถประยุกต์การใช้งานกับขยะประเภทอื่น ได้แก่ กระดาษ กลัง นม ฯลฯ ซึ่งประโยชน์นี้จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก

## 7.6 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิค

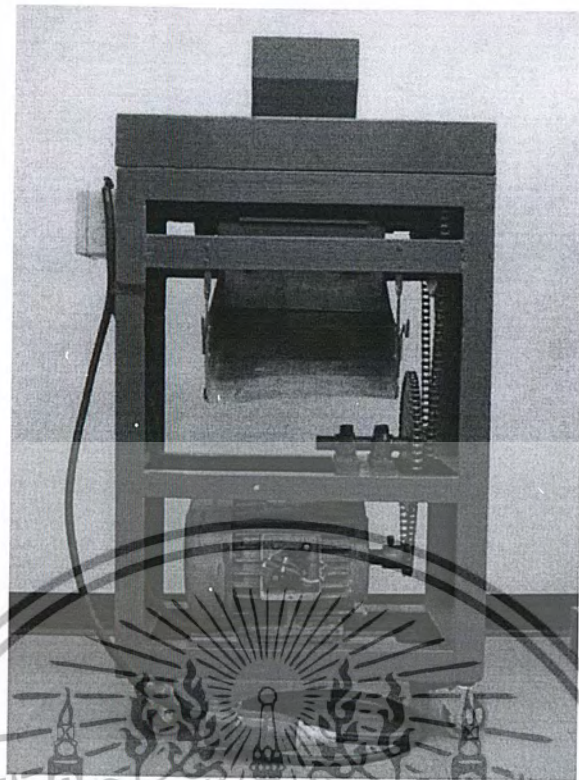
สำหรับข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเครื่องย่อยขวดพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบ ดังตารางที่

7-3

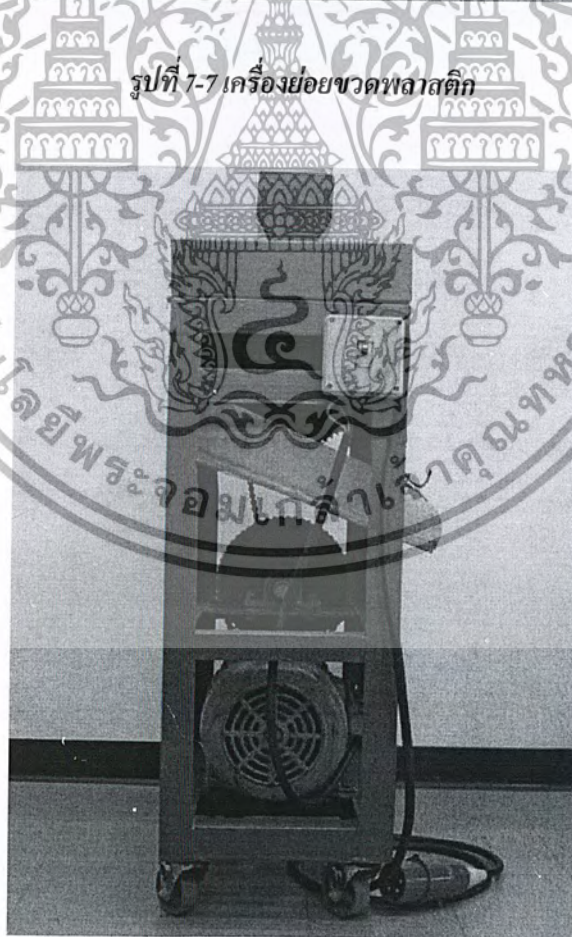
เครื่องย่อยขวดพลาสติก	
แบบ(Type)	รีดตัด
ความกว้างของช่องป้อน (Hopper)	120 x 180 มม.
มอเตอร์(Motor)	5 แรงม้า
ลักษณะการส่งกำลัง	แบบโซ่
ขนาดวงใบมีด x ยาวใบมีด(Rotor Dia.-Length)	60 x 10 มม.
ขนาดวงกว้างเพลลา(Rotor Shaft Dia.)	60 มม.
ขนาดวงกว้างเพลลาสวม(Rotor Shaft Dia.)	25 มม.
ความเร็วรอบของเพลลา(Rotor Speed)	90.625 รอบต่อนาที
จำนวนใบมีดของเพลลา(Rotor Knife)	9 ใบ
ขนาดมิติของฝากรอบ	350 x 610 x 80 มม. <sup>3</sup> .
ขนาด กว้าง x ยาว x สูง(Dim. W x L x H)	250 x 610 x 890 มม. <sup>3</sup> .
กำลังการย่อยโดยประมาณ(Capacity Appox)	90-240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ตาราง 7-3 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-7 เครื่องย่อยขวดพลาสติก



รูปที่ 7-8 เครื่องย่อยขวดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-9 เครื่องย่อยขวดพลาสติก

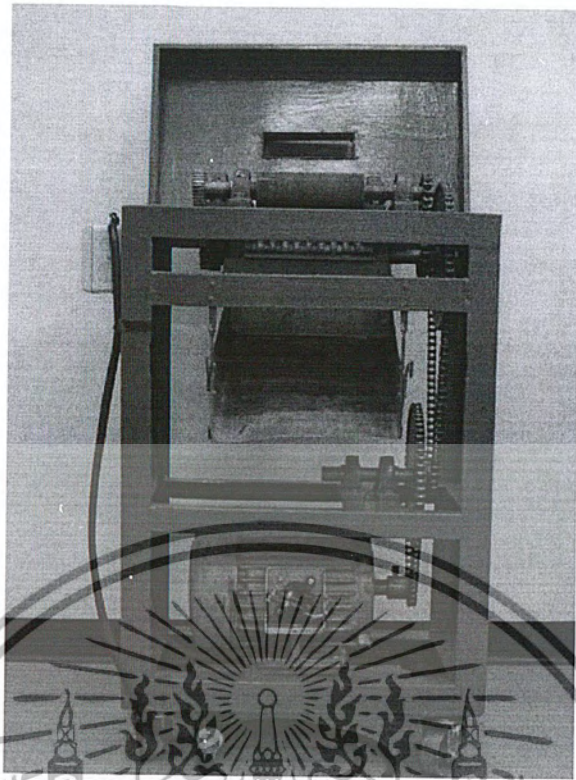
รูปที่ 7-10 เครื่องย่อยขวดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-12 เครื่องย่อยขวดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



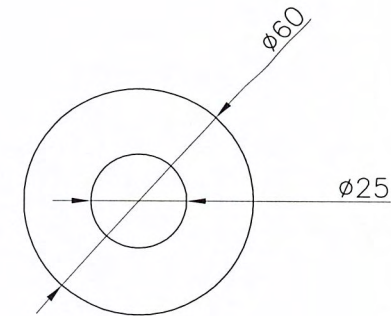
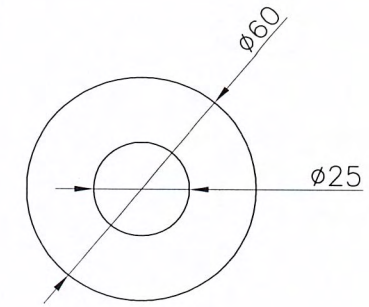
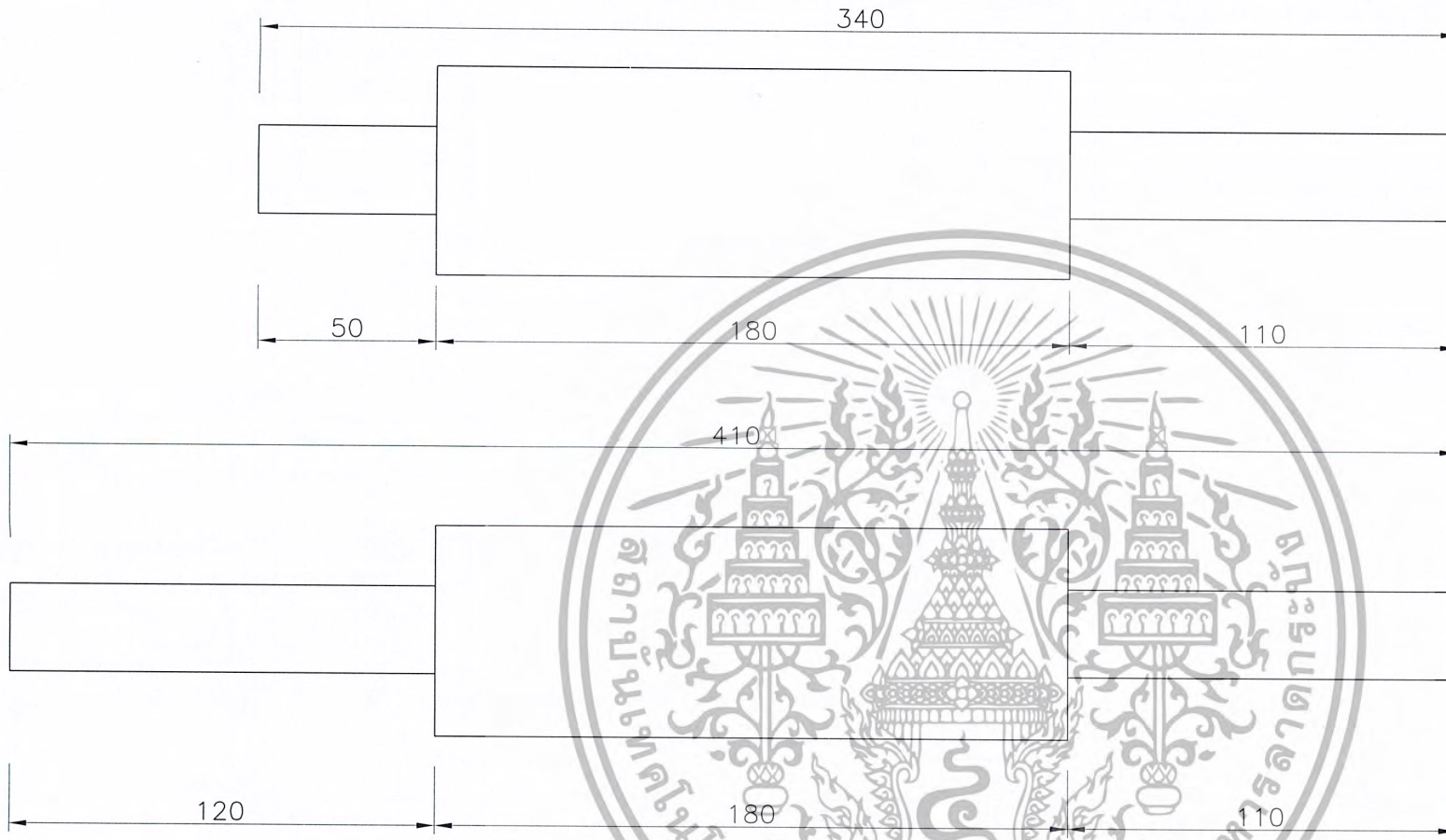
รูปที่ 7-13 เครื่องย่อยขวดพลาสติก



ภาคผนวก

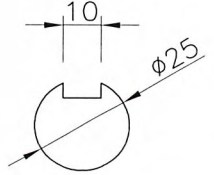
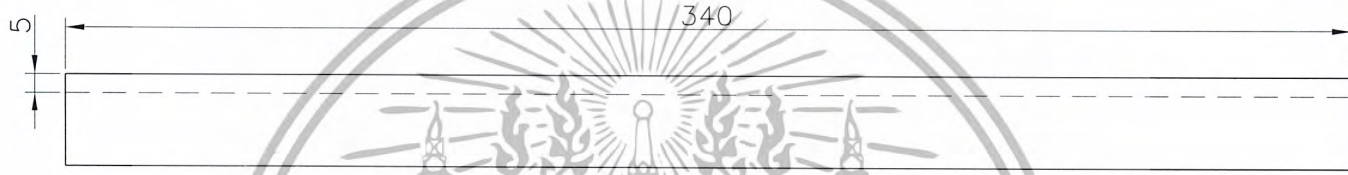
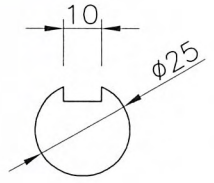
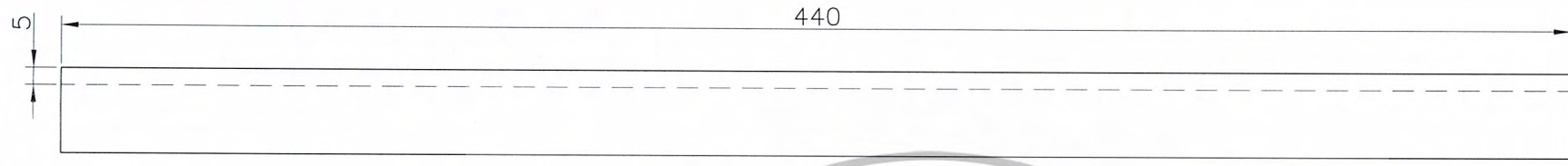


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

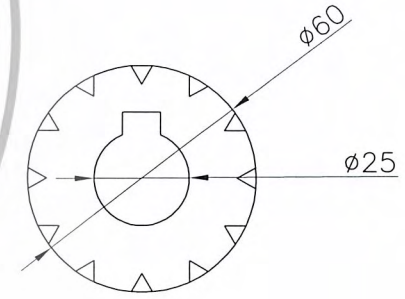
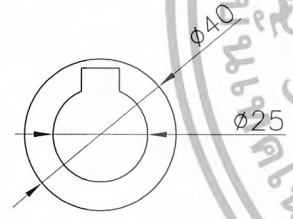
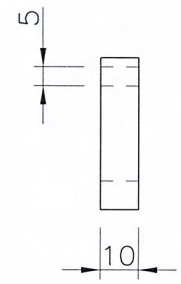


KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Shaft	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	mm.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	DRAWING No.	1 - 1
					DATE	

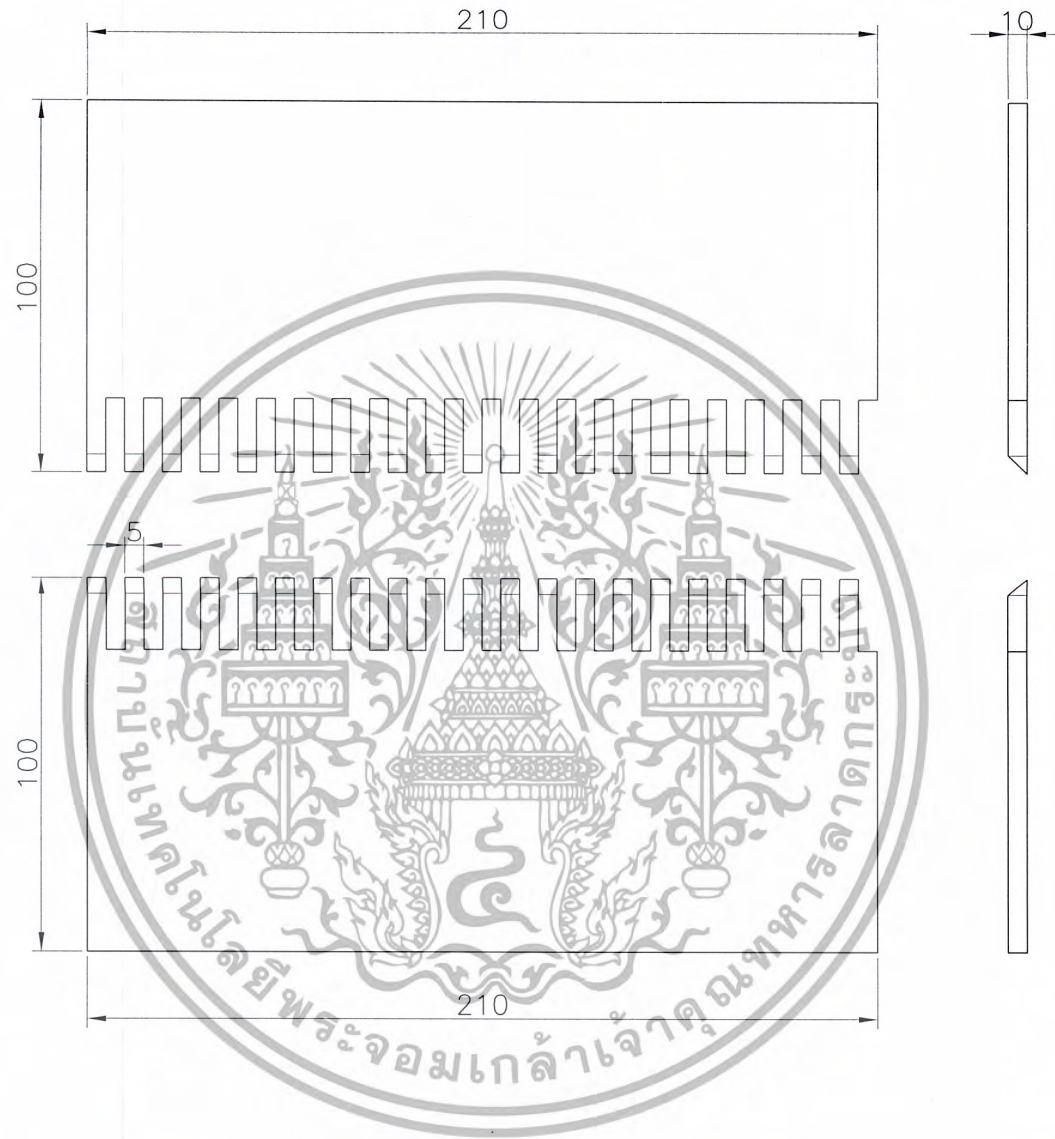
# เพลามัดตัด



# ปลอก



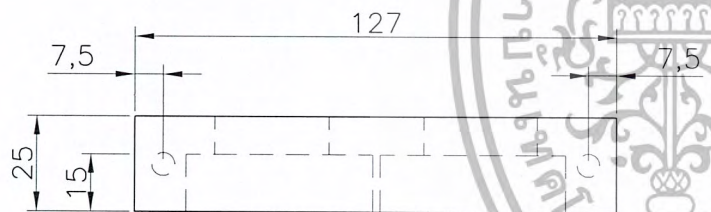
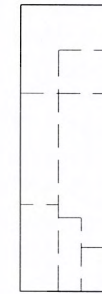
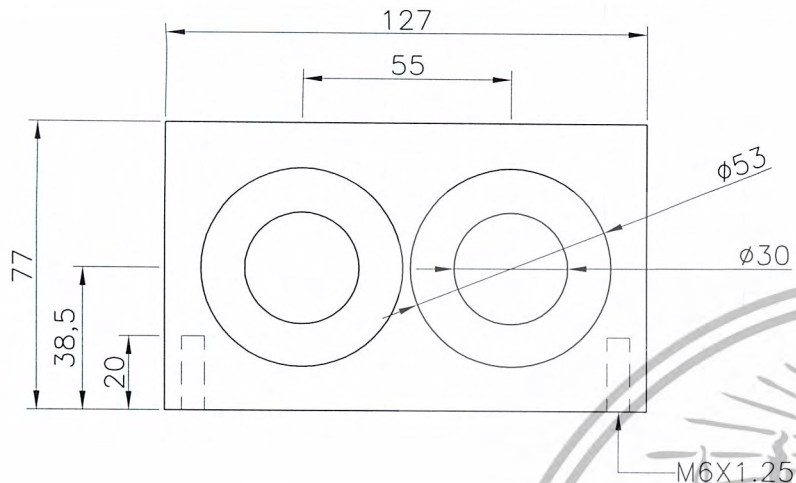
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Knife & Shaft	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	mm.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	DATE	DRAWING No. 1 - 1



KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Plastic Filter	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	mm.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	DATE	DRAWING No. 1 - 1



KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Pillow Block	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	DRAWING No.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	mm.	1 - 1
					DATE	



KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Bearing Block	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	mm.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	DATE	DRAWING No. 1 - 1



KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Base	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	DRAWING No.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	mm.	1 - 1
					DATE	



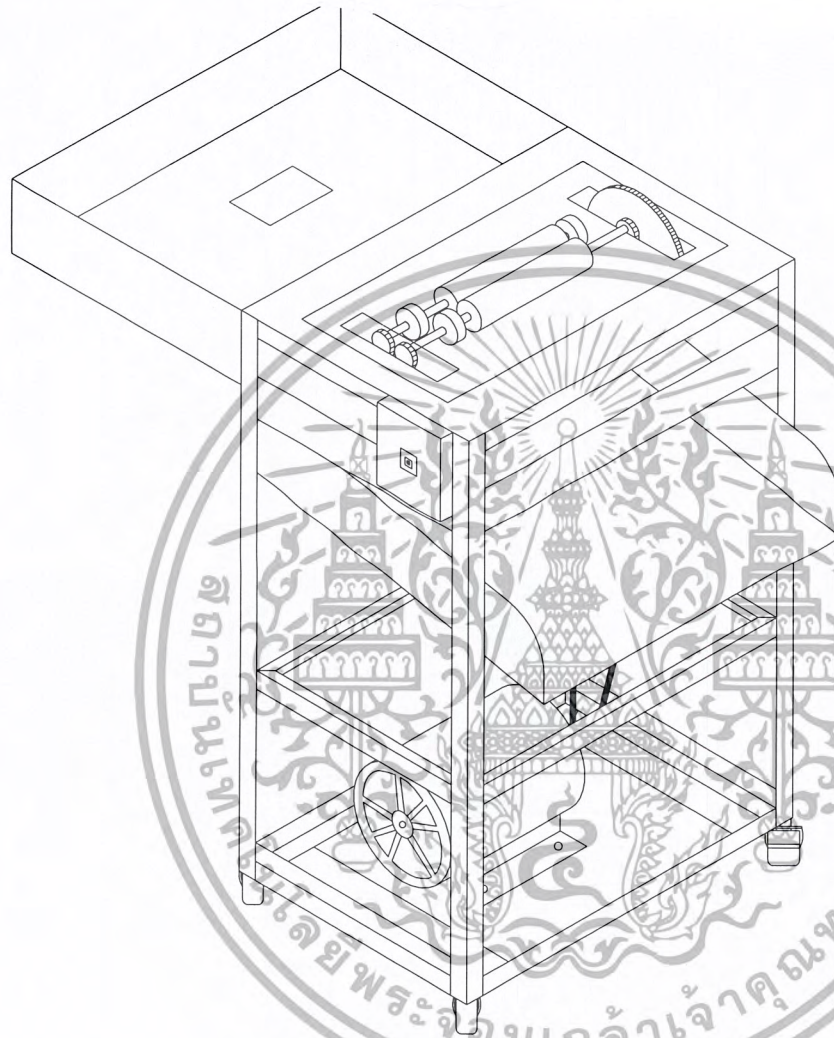
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Box Cover	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	DRAWING No.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	mm.	1 - 1
					DATE	



KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Slider	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	DRAWING No.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	mm.	1 - 1
					DATE	










KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Plastic Grinding Machine	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	DRAWING No.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	mm.	1 - 1
					DATE	




KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		3.			Plastic Grinding Machine	
FACULTY	Engineering	2.			SCALE	1 : 2
DEPARTMENT	Mechanical Engineering	1.			UNIT	DRAWING No.
PROJECT	Plastic Grinding Machine	No.	NAME	ID. NUMBER	mm.	1 - 1
					DATE	

# แผนผังรหัสแจ้งประเภท (ใช้สิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์) เพื่อนำมาแปรรูปใช้ใหม่ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม สวมกริพยาก ประหยัดพลังงาน ลดปริมาณมูลฝอย เพิ่มรายได้

-  โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET, พีอีที)
-  โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
-  โพลีไวนิล คลอไรด์ (PVC, พีวีซี)
-  โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
-  โพลีโพรพิลีน
-  โพลิสไตรีน
-  เวชชีอื่น ๆ

## พลาสติก




ทำสัญลักษณ์ที่ลักษณะด้านนอก  
เช่นเดียวกับลักษณะนี้


แสดงสัญลักษณ์ให้เห็นได้ชัดเจน

---


### แก้ว



### กระป๋อง



### กระดาษ





## บรรณานุกรม

- [1] รศ. ชาญ ถนัดงาน และ ศ.ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1”, พิมพ์ครั้งที่ 10 ปีพ.ศ. 2544
- [2] รศ. ชาญ ถนัดงาน และ ศ.ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2”, ปี พ.ศ. 2541
- [3] กองบรรณาธิการ. ประดิษฐ์-คิดค้น. วารสารพลาสติก ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 พฤษภาคม – มิถุนายน 2533
- [4] กองบรรณาธิการ. ประดิษฐ์-คิดค้น. วารสารพลาสติก ปีที่ 7 ฉบับที่ 5 มกราคม – กุมภาพันธ์ 2534
- [5] กองบรรณาธิการ. พลาสติกกรีไซเคิล. ว.ส.ท. เทคโนโลยี, ปีที่ 48 เล่มที่ 5 พฤษภาคม 2538
- [6] ชัชวาล สุรัสวดี. เทคนิคการนำเศษ(ขยะ)พลาสติกกลับมาใช้ใหม่. เอกสารประกอบคำบรรยายสัมมนาเรื่อง เทคโนโลยีการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่. ศูนย์บริการอุตสาหกรรม สำนักบริการวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วันที่ 23 กรกฎาคม 2536 : 1-34
- [7] บรรณเรณู ศรีนิล. เทคโนโลยีพลาสติก. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น. กรุงเทพฯ, 2525
- [8] พิทยา ว่องกุล. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย : แนวโน้มสู่วิกฤตรอบด้าน 2537. อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ, 2537
- [9] เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ. ปัญหาพลาสติกใช้แล้วกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. เอกสารประกอบคำบรรยายสัมมนาเรื่อง เทคโนโลยีการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่. ศูนย์บริการอุตสาหกรรม สำนักบริการวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วันที่ 23 กรกฎาคม 2536 : 1-15
- [10] มยุรี ภาคกล้าเจียก. การบรรจุภัณฑ์. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 31 หน้า. (อัดสำเนา)
- [11] รังสรรค์ ปิ่นทอง และ สาวิตรี นิทานนท์. ประโยชน์และโทษของพลาสติก. เอกสารเผยแพร่เรื่อง ประโยชน์และโทษของมูลฝอย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรกฎาคม 2536 : 1-13
- [12] วิวรรณ ธรรมมงคล. เทคโนโลยีการลดมลพิษจากขยะพลาสติก. จุลสารวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2538 : 9-11
- [13] สุทิน อยู่สุข. การคาดการณ์ประมาณปริมาณและลักษณะของมูลฝอย. เอกสารประกอบคำบรรยายการฝึกอบรมทางวิชาการเรื่อง การจัดการขยะมูลฝอย สำนักคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ร่วมกับ กรมการปกครอง มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และ JICA, วันที่ 19-23 กันยายน 2531 : 53-73
- [14] เอกสารเผยแพร่ ศูนย์ข้อมูลวิชาการฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์จำกัด, 2538
- [15] Donald V.R. and Dominick V.R., Plastic Processing Data Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York 10003, 1990.