

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้

VEGETABLE AND FRUIT JUICING MACHINE



โดย

นาย กัลปพล โกยสมบุรณ์

นาย ณัฐพล พงศ์ชัยศรีกุล

นาย สุขอนันต์ พานิชกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. มนต์ศักดิ์ พิมสาร



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

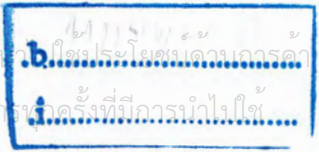
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....54999

วัน,เดือน,ปี..... 4 12 2548



ปริญญาโทปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้

VEGETABLE AND FRUIT JUICING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นาย กัลปพล โกยสมบุรณ์

รหัสประจำตัว 43010577

2. นาย ณัฐพล พงศ์ชัยศรีกุล

รหัสประจำตัว 43010629

3. นาย สุขอนันท์ พานิชกุล

รหัสประจำตัว 43010808



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้

นาย กัลปพล โภษสมบุรณ์	43010577
นาย ณิชพล พงศ์ชัยศรีกุล	43010629
นาย สุขอนันท์ พานิชกุล	43010808
อ. มนต์ศักดิ์ พิมสาร	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการสร้างเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้ที่มีประสิทธิภาพ โดยนำเอาทฤษฎี Twin screw และสกรูขนถ่ายวัสดุ มาเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้ขึ้นมา และจากนั้นได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้ความเร็วรอบที่แตกต่างกันในการคั้นน้ำผักและผลไม้ ว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงใด โดยความเร็วรอบที่ใช้ในการศึกษามีความเร็วรอบ 30, 40 และ 50 rpm ตามลำดับ ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาผลของการคั้นเนื้อผักและคั่งต่อไปนี้ คือ แครอท มะเขือเทศ และผักขม ซึ่งจากการทดลองพบว่า ถ้าใช้ความเร็วรอบต่ำจะสามารถคั้นน้ำผักและผลไม้ออกมาได้ปริมาณมากกว่าความเร็วรอบสูงในปริมาณเนื้อผักที่เท่ากัน แต่ในทางกลับกันถ้าต้องการน้ำผักและผลไม้ที่เร็วโดยไม่คำนึงถึงปริมาณเนื้อผลไม้ที่ใช้ ก็ควรใช้ความเร็วรอบสูง ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงปริมาตรน้ำผลไม้ของความเร็วรอบต่ำจะสูงกว่าความเร็วรอบสูง แต่ประสิทธิภาพเชิงเวลาในการคั้นของความเร็วรอบสูงจะมีค่ามากกว่าความเร็วรอบต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VEGETABLE AND FRUIT JUICING MACHINE

Mr. Kanprapon Koysomboon	43010577
Mr. Nuttaphon Phongchaisrikul	43010629
Mr. Sukanun Panichkul	43010808
Mr. Monsak Pimsarn	Advisor

ABSTRACT

The purpose of this project is to develop a vegetable and fruit juice extractor. The theory of twin screw extruder was used to design the machine. Furthermore, the effect of extruding speed was experimentally studied by varying screw speed as 30, 40 and 50 rpm, accordingly. The samples used in the experiment are carrot, tomato and spinach. From the experiment, it is found that when low speed is used the juice output is higher. However, the extracting time is longer. On the other hand, at high speed, the juice output rate is better, but the amount of vegetable used is higher. Therefore, we can conclude that volume efficiency is better at low speed and extracting rate efficiency is better at high speed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จลงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ ก็คือ อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นาย กัลปพล โกยสมบุรณ์
นาย ฉัฐพล พงศ์ชัยศรีกุล
นาย สุชานันท์ พานิชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 การแบ่งเครื่องกวนตามความหนืด	4
2.1.1 หลักการทำงานและการใช้งาน	5
2.1.2 ชนิดของใบเกลียว	6
2.1.3 การพิจารณาออกแบบ	8
2.1.4 การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ	9
2.1.5 การหาค่าลึงซ์	15
2.2 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย	17
2.2.1 ความเค้นอย่างง่าย	17
2.2.2 ความเครียด	19
2.2.3 การบิด	19
2.2.4 กาน	21
2.3 ความเค้นผสมและทฤษฎีความเสียหาย	22
2.3.1 ความเค้นผสมในระบบความเค้นสองมิติ	22
2.3.2 ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด	25
2.3.3 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูง	26
2.3.4 ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีด	27
2.4 การออกแบบเพลลา	29
2.4.1 การออกแบบทำเพลลา	30
2.4.2 ขนาดของเพลลา	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.4.3 การพิจารณาในการออกแบบเพลลา	30
2.4.4 การออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME	31
2.4.5 การออกแบบเพลลาภายใต้แรงเปลี่ยนแปลง	34
2.5 เฟืองตรง	35
2.5.1 มาตรฐานการบอกขนาดของฟันเฟือง	35
2.5.2 ความเค้นในฟันเฟืองตรง	35
2.5.3 ความเค้นหนาแน่น	38
2.5.4 แรงพลวัต	39
บทที่ 3 การนำทฤษฎีมาใช้	41
3.1 การหาขนาดของสกรูและเพลลา	41
3.1.1 การออกแบบ Screw	41
3.1.2 การหาค่าลึงซ์บีบ	42
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	46
4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง	46
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	46
4.3 รูปภาพเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้	46
4.4 ขั้นตอนการทดลอง	49
4.5 ตารางบันทึกผลการทดลอง	50
4.6 รูปภาพผลการทดลอง	53
4.7 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้	56
บทที่ 5 สรุป วิเคราะห์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	57
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
ภาคผนวก ก สูตรสำเร็จของคานและหน้าตัดภาคผนวก ข	58
ภาคผนวก ข ตารางคุณสมบัติของเฟือง	61
ภาคผนวก ค แบบเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2-1 สกรูแบบระหัดเกลียวสำหรับขนถ่ายของเหลว	3
รูปที่ 2-2 ส่วนประกอบของสกรูขนถ่ายวัสดุ	3
รูปที่ 2-3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว	4
รูปที่ 2-4 ลักษณะใบเกลียวซ้ายและขวา	5
รูปที่ 2-5 ลักษณะการติดตั้งแบริ่งที่เพลลาของใบสกรูเกลียวซ้ายและขวา	5
รูปที่ 2-6 ลักษณะต่างๆของใบสกรู	6
รูปที่ 2-7 ใบสกรูแบบมีระยะพิตซ์และเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาด	7
รูปที่ 2-8 การไหลของวัสดุในบางตำแหน่งของส่วนปล่อยวัสดุรูปลิ้ม	8
รูปที่ 2-9 ลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุ	8
รูปที่ 2-10 ขนาดก่อนวัสดุใหญ่ที่สุดและขนาดของสกรูที่เหมาะสม	9
รูปที่ 2-11 หน้าตัดของสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน	9
รูปที่ 2-12 หลักการคำนวณหาอัตรากรขนถ่ายวัสดุ	9
รูปที่ 2-13 แฟกเตอร์ความเต็มราง (k)	10
รูปที่ 2-14 ความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุ	11
รูปที่ 2-15 แฟกเตอร์ชนิดของใบสกรู	12
รูปที่ 2-16 แฟกเตอร์จำนวนใบพัด	12
รูปที่ 2-17 แฟกเตอร์กำลังขับ F_0	16
รูปที่ 2-18 อัตราการขนถ่ายวัสดุที่ลดลงจากการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง	17
รูปที่ 2-19 แรงชนิดต่างๆ	18
รูปที่ 2-20 ท่อกลมผนังบางผ่าตลอดความยาว	20
รูปที่ 2-21 คานและแกนสะเทิน	21
รูปที่ 2-22 ระบบความเค้นสองมิติ	22
รูปที่ 2-23 วงกลมของมอร์	23
รูปที่ 2-24 ความเค้นกรณีพิเศษ	24
รูปที่ 2-25 ของเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหาย	25
รูปที่ 2-26 ระนาบออกดะฮิตรีล	26
รูปที่ 2-27 การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้น	27
รูปที่ 2-28 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ	32
รูปที่ 2-29 การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง	35
รูปที่ 2-30 ตัวประกอบเรขาคณิตที่ใช้หาตัวประกอบรูปแบบของลูอิส	36
รูปที่ 4-1 เครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้แบบ Twin screw	46
รูปที่ 4-2 ลักษณะของเครื่องคั้นแบบ Twin screw	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4-3 สกรูเกลียวซ้ายและสกรูเกลียวขวา	47
รูปที่ 4-4 ลักษณะของ Screw	47
รูปที่ 4-5 อินเวอร์เตอร์	48
รูปที่ 4-6 ลักษณะทางออกของเนื้อผักและผลไม้แบบที่ 1	48
รูปที่ 4-7 ลักษณะทางออกของเนื้อผักและผลไม้แบบที่ 2	48
รูปที่ 4-8 มอเตอร์	49
รูปที่ 4-9 เฟือง	49
รูปที่ 4-10 ลักษณะแครอทที่ออกจากเครื่อง	53
รูปที่ 4-11 ลักษณะน้ำแครอทที่ได้จากการทดลอง	53
รูปที่ 4-12 ลักษณะกากแครอทที่ขับออกจากเครื่อง	53
รูปที่ 4-13 ลักษณะมะเขือเทศที่ออกจากเครื่อง	54
รูปที่ 4-14 ลักษณะกากมะเขือเทศที่ขับออกจากเครื่อง	54
รูปที่ 4-15 ลักษณะน้ำมะเขือเทศที่ได้จากการทดลอง	54
รูปที่ 4-16 ลักษณะผักขมที่ออกจากเครื่องคั้น	55
รูปที่ 4-17 ลักษณะน้ำผักขมที่ได้จากการทดลอง	55
รูปที่ 4-18 ลักษณะกากผักขมที่ขับออกจากเครื่อง	55
รูปที่ 4-19 ลักษณะการอัดตัวของผักขมที่ทางออก	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2-1 แฟกเตอร์ระยะพิชชีไบสกรู	12
ตารางที่ 2-2 แฟกเตอร์ชนิดไบสกรู F_r	13
ตารางที่ 2-3 แฟกเตอร์ใบพัด F_p	13
ตารางที่ 2-4 แฟกเตอร์วัสดุ F_m	14
ตารางที่ 2-5 ค่าประมาณของแฟกเตอร์วัสดุ	16
ตารางที่ 2-6 ตัวประกอบใช้งาน	40
ตารางที่ 3-1 ตารางหาค่า Pitch จากมุมเอียง	41
ตารางที่ 4-1 ตารางบันทึกผลของแครอท	50
ตารางที่ 4-2 ตารางบันทึกผลของมะเขือเทศ	51
ตารางที่ 4-3 ตารางบันทึกผลของผักขม	52
ตารางที่ 5-1 ตารางประสิทธิภาพเชิงปริมาตร	56
ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของหน้าต่างตัด	57
ตารางที่ ก-2 โมเมนต์และระยะโค้งของคาน	58
ตารางที่ ก-2 (ต่อ) โมเมนต์และระยะโค้งของคาน	59
ตารางที่ ข ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากปัจจุบันรัฐบาลสนับสนุนนโยบายธุรกิจขนาดย่อม (SME) ดังนั้นจึงมีธุรกิจขนาดย่อมเกิดขึ้นมากมาย และประกอบกับกระแสของเรื่องสุขภาพจึงทำให้น้ำผักและผลไม้มาแรงมาก จึงเป็นโอกาสที่ดีในการทำเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้เพื่อการค้าขึ้นมากสำหรับธุรกิจขนาดย่อม (SME) เครื่องคั้นน้ำผักในปัจจุบันตามท้องตลาดนั้นมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับห้ครอบครัวมากกว่าที่จะทำขาย และในระหว่างการทำน้ำผักผลไม้ นั้นเรายังจะสูญเสียเอนไซม์ของผัก ซึ่งเอนไซม์นั้นเป็นประโยชน์ต่อร่างกายคนเรามาก โดยเอนไซม์จะสูญเสียขณะปั่นเนื่องจากความเร็วของมอเตอร์ที่รอบสูง คังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะใช้เครื่องบดโดยใช้แบบ twin screw press ขึ้นมาซึ่งจะไม่ทำให้สูญเสียเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายเราไป

เอนไซม์ในผักและผลไม้มีประโยชน์ต่อร่างกายคนเรามากมาย เอนไซม์เป็นตัวตั้งต้นการทำงานของระบบทุกระบบในร่างกาย แต่โอกาสที่เราจะได้รับเอนไซม์จากอาหารนั้นมีไม่มากนัก เช่น เมื่อเราเคี้ยวแครอท เอนไซม์ในแครอทก็จะถูกเอนไซม์ตัวหนึ่งที่อยู่ในน้ำลายเราทำลาย หรือถ้าเราเอาแครอทไปปั่นด้วยเครื่องปั่น(Blender) ทั่วๆไปนั้น ความร้อนและคลื่นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการหมุนเร็วของมอเตอร์ ก็จะไปทำลายเอนไซม์ได้เหมือนกัน

เนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้จะเกิดการถูกทำลายโดยความร้อนและคลื่นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการหมุนของมอเตอร์ที่เร็ว ทำให้แนวความคิดที่จะทำเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้แบบ Twin screw จึงเกิดขึ้น เพราะเครื่องคั้นแบบนี้จะใช้ความเร็วรอบที่ต่ำ ปัญหาเรื่องความร้อนและคลื่นแม่เหล็กน้อยลง เอนไซม์ในผักและผลไม้ก็จะถูกทำลายน้อยลงตามไปด้วย

1.2 จุดประสงค์

1. ทำการศึกษาลักษณะการทำงานของ Twin screw
2. เพื่อทำการออกแบบเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้แบบ Twin screw
3. เพื่อทำการทดลองหาปริมาณน้ำและเวลาที่ใช้ในการคั้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ออกแบบเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้แบบ Twin screw โดยน้ำผักและผลไม้สามารถไหลออกมาได้อย่างต่อเนื่องไม่อุดตัน น้ำผักและผลไม้ไม่ต้องไม่เกิดความร้อนที่มากเกินไป และต้องการคั้นน้ำให้ได้ปริมาณที่มากขึ้นและใช้เวลาน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับสกรูขนถ่ายวัสดุ
2. ออกแบบและคำนวณให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของโครงการ
3. สำนักรวราคาและงบประมาณที่จะใช้สร้างเครื่อง
4. จัดสร้างเครื่องตามแบบที่ได้กำหนดไว้
5. ทำการทดสอบเครื่องเพื่อหาข้อผิดพลาดและทำการแก้ไข
6. ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองต่างๆที่ได้
7. ทำรายงานและสรุปผลการทดลองที่ได้ว่าเป็นไปตามเป้าหมายหรือไม่
8. ทำการแก้ไขจุดบกพร่องที่ได้จากการทดลองให้ดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

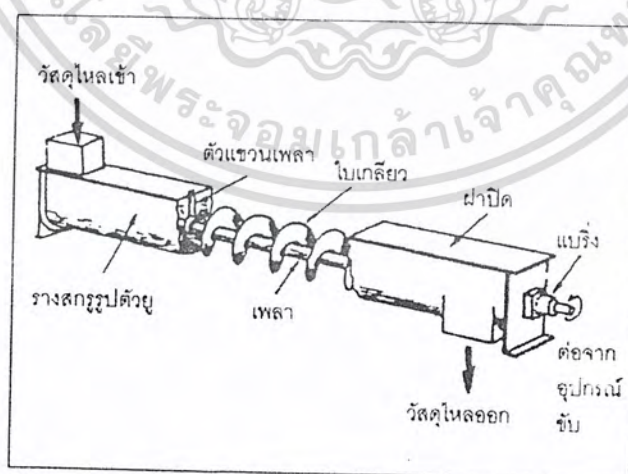
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สกรูขนถ่ายวัสดุ

สกรูขนถ่ายวัสดุ (Screw conveyors) เป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ โดยมีชื่อเรียกต่างๆ ไปด้วยว่า “ระหัดเกลียว” (Archimedean screws) ใช้สำหรับขนถ่ายของเหลวและสิ่งปฏิกูล ประกอบด้วย รางสกรู และใบเกลียวที่ยึดติดกัน และหมุนไปพร้อมกัน การหมุนจะทำให้น้ำเลื่อนไหลไปบนใบเกลียวดังแสดงในรูปที่ 2.1 ถึงแม้ว่าสกรูขนถ่ายวัสดุจะมีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีขีดจำกัดในเรื่องของมุมเอียง



รูปที่ 2-1 สกรูแบบระหัดเกลียวสำหรับขนถ่ายของเหลว



รูปที่ 2-2 ส่วนประกอบของสกรูขนถ่ายวัสดุ

ปัจจุบันจะนิยมทำให้ใบเกลียวของสกรูขนถ่ายวัสดุหมุนอยู่ภายในรางที่อยู่กับที่ และนิยมใช้กับการขนถ่ายวัสดุในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงควรทราบถึงข้อดี-ข้อเสียของสกรูขนถ่ายวัสดุ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี ของการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุ

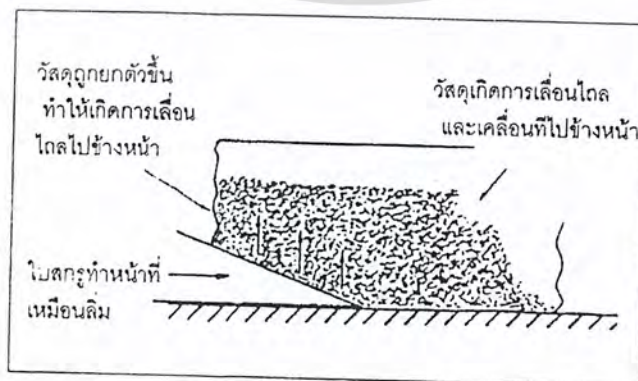
1. ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุชนิดอื่น
2. เป็นการขนถ่ายวัสดุแบบปิดทำให้สามารถป้องกันความชื้น และฝุ่นละอองเข้าไปปนเปื้อนกับวัสดุ
3. การสร้างและการประกอบไม่ยุ่งยาก เพราะชิ้นส่วนต่างๆมีจำหน่ายตามท้องตลาด และมีขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน
4. การบำรุงรักษาต่ำเนื่องจากมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่น้อย
5. สามารถนำไปขนถ่ายวัสดุได้หลายประเภท

ข้อเสีย ของการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุ

1. ไม่เหมาะสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นเส้นใย หรือ วัสดุเหนียวที่เกาะติดกัน
2. ระยะทางขนถ่ายวัสดุต่ำ
3. ถ้าวัสดุเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจะทำให้ต้องใช้กำลังขบมาก
4. ประสิทธิภาพการขนถ่ายวัสดุลดลงถ้าขนถ่ายวัสดุในแนวเอียงหรือแนวตั้ง

2.1.1 หลักการทำงานและการใช้งาน

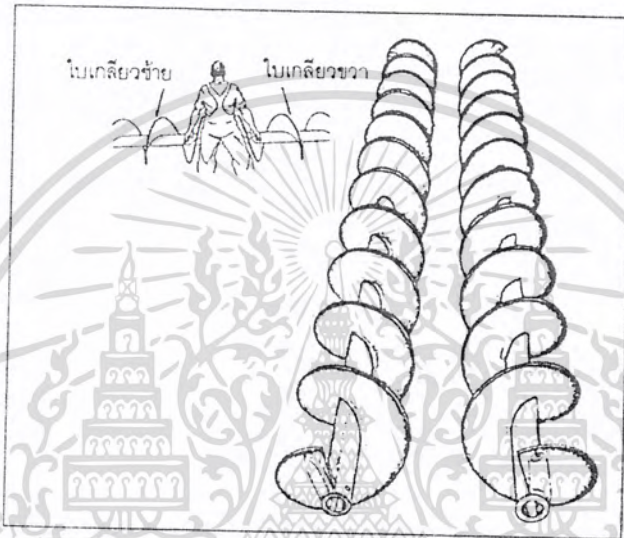
สกรูขนถ่ายวัสดุเป็นอุปกรณ์ในการขนถ่ายวัสดุที่เหมาะสมสำหรับขนถ่ายวัสดุที่มีคุณสมบัติในการไหลดี คุณสมบัติในการไหลของวัสดุมีส่วนสำคัญมากต่อการทำงานของสกรูขนถ่ายวัสดุ เนื่องจากใบเกลียวของสกรูที่ติดตั้งอยู่กับเพลลา หรือท่อตรงหมุนอยู่ภายในราง หรือท่อที่อยู่กับที่ผลัดกันวัสดุไปตามส่วนล่างของรางดังแสดงในรูปที่ 2-3 การหมุนของใบเกลียวจะช่วยยกวัสดุขึ้นเหมือนลักษณะของลิ้ม การเคลื่อนที่ขึ้นของวัสดุจะทำให้วัสดุเกิดการไหลไปข้างหน้าได้ และการหมุนของใบเกลียวจะทำงานเสมือนลิ้มที่ทำหน้าที่ผลัดกัน และตัดเฉือนวัสดุจากการหมุนของใบเกลียวทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างต่อเนื่อง



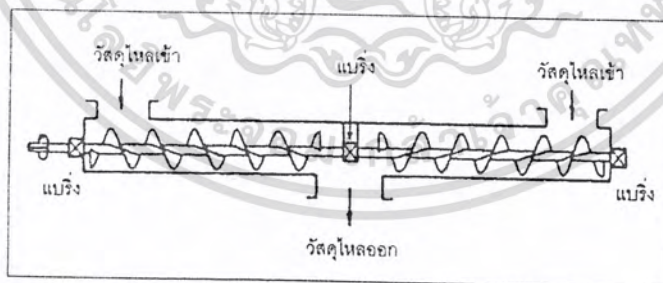
รูปที่ 2-3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวร่างของสกรุนถ่ายวัสดุโดยทั่วไป สามารถแบ่งเป็นสองชนิด คือ รางแบบกลม และรางแบบรูปตัวยู ซึ่งรางแบบกลมจะเป็นสกรูที่ใช้ความเร็วรอบสูง เป็นแบบที่เคลื่อนที่ได้ สามารถนำไปใช้ในสถานที่ต่างๆ ได้ และยังใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวโค้งได้อีกด้วย ซึ่งการขนถ่ายวัสดุตามแนวโค้งนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุด้วย โดยวัสดุจะต้องมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติในการไหลได้ดี ส่วนรางแบบตัวยูจะใช้ความเร็วต่ำกว่า และเป็นแบบที่ติดตั้งอยู่กับที่



รูปที่ 2-4 ลักษณะใบเกลียวซ้ายและขวา

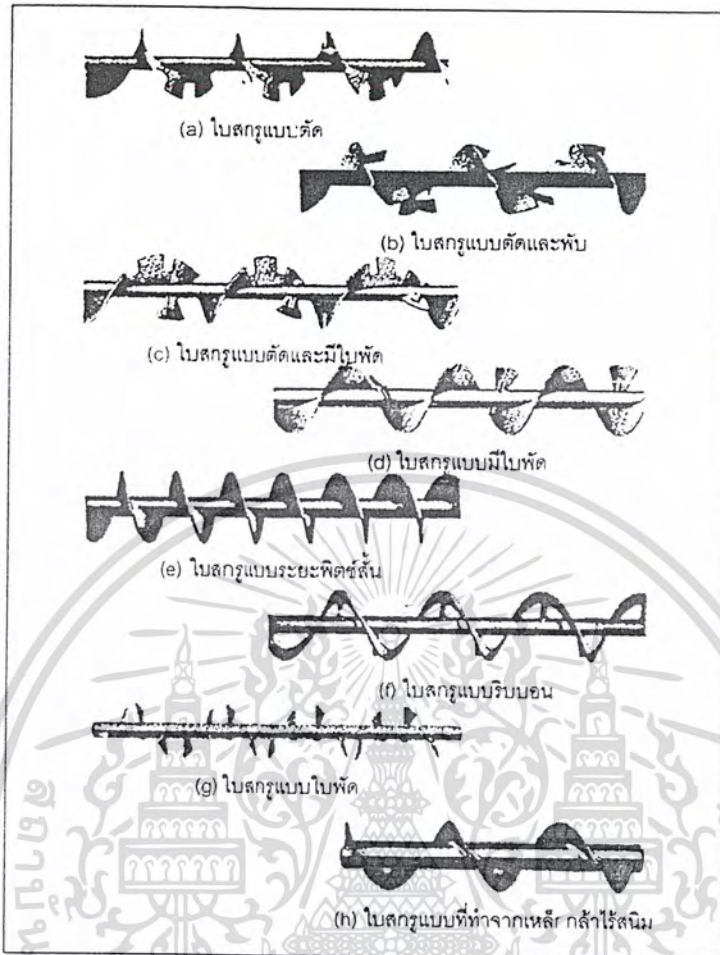


รูปที่ 2-5 ลักษณะการติดตั้งแบร์ริงที่เพลลาของใบสกรูเกลียวซ้ายและขวา

2.1.2 ชนิดของใบเกลียว

ใบเกลียวของสกรูลักษณะต่างๆ และรูปแบบการใช้งานของสกรูมีมากมาย ขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้งาน รูปที่ 2-6 เป็นลักษณะรูปร่างของใบสกรูประเภทต่างๆ และการใช้งานดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 ลักษณะต่างๆของไบสกกร

ไบสกกรแบบตัด (Cut flight) รอยบากนี้จะช่วยให้เกิดการผสมปนกันปานกลางของวัสดุในขณะการขนถ่าย

ไบสกกรแบบตัดและพับ (Cut and folded flight) ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับการผสมและกวนวัสดุ

ไบสกกรแบบตัดและมีใบพัด (Cut flight with paddles) ใบพัดจะเป็นตัวขวางการไหลของวัสดุเพื่อให้เกิดการผสมกันของวัสดุ

ไบสกกรแบบมีใบพัด (Conveyor screw with paddles) จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับไบสกกรแบบตัดและมีใบพัด ใบพัดสามารถปรับมุมต่างๆได้

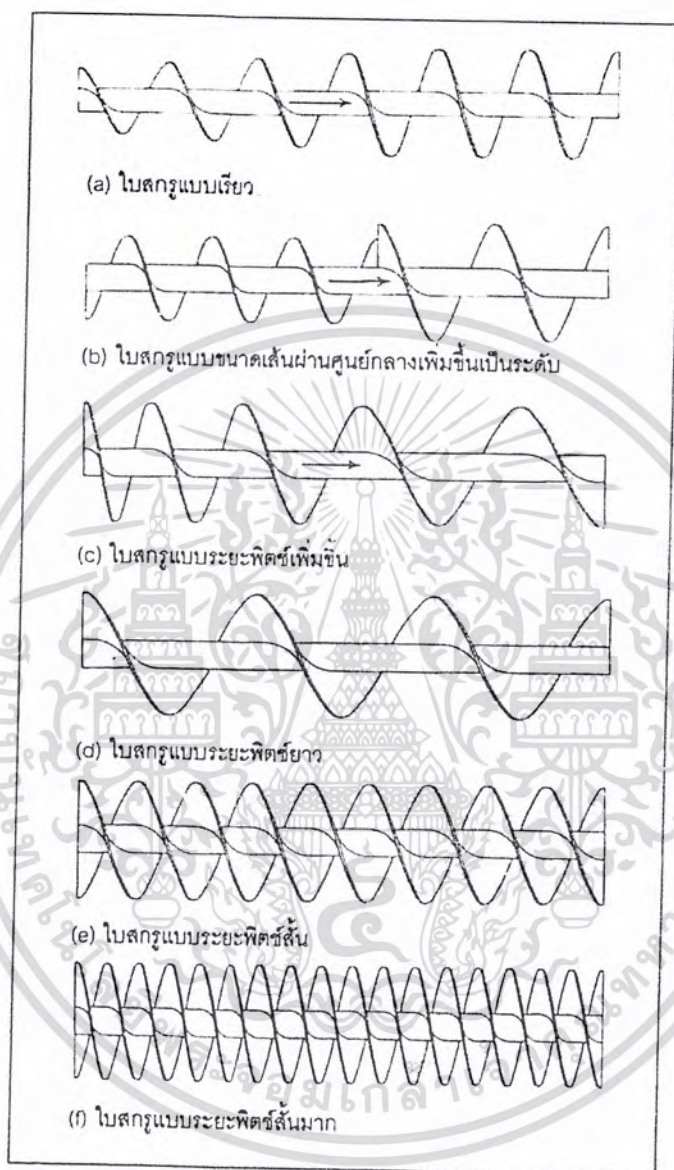
ไบสกกรแบบระยะพิตซ์สั้น (Short pitch conveyor screw) เหมาะที่จะใช้ขนถ่ายวัสดุในแนวเอียงมากกว่า 20 องศา

ไบสกกรแบบริบบอน (Ribbon flight) ไบสกกรทำจากเหล็กเส้นแบน ยึดอยู่กับท่อโดยแผ่นเหล็กเส้น

ไบสกกรแบบใบพัด (Paddles) เป็นใบพัดเหล็กอยู่บนก้านสอดทะลุผ่านเพลลา ทำให้สามารถปรับมุมของใบพัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบสกรูที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เหมาะสำหรับการขนถ่ายอาหาร ยาเคมีภัณฑ์ สำหรับใบสกรูแบบมีระยะพิตช์และเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาดร่วมกัน เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างๆกันดังที่แสดงในรูปที่ 2-7 มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-7 ใบสกรูแบบมีระยะพิตช์และเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาด

ใบสกรูแบบเรียว (Tapering flight) ใช้สกรูป้อนวัสดุสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่ลักษณะเป็นเส้นใย

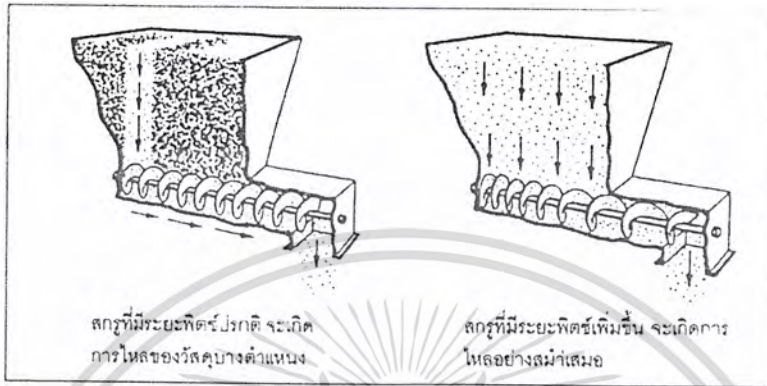
ใบสกรูแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเป็นระดับ (Stepped diameter conveyor screw) ประกอบด้วยใบสกรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน

ใบสกรูแบบระยะพิตช์เพิ่มขึ้น (Stepped pitch conveyor screw) เป็นใบสกรูเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มระยะพิตช์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ใช้ป้อนวัสดุละเอียดและไหลได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.8

ใบสกรูแบบระยะพิตช์ยาว (Long pitch conveyor screw) ใช้เป็นเครื่องกวนหรือผสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบสกรูแบบระยะพิตช์สั้น (Double flight conveyor screw) จะมีระยะพิตช์เป็นครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบเกลียว ทำให้การขนถ่ายช้าและสม่ำเสมอ

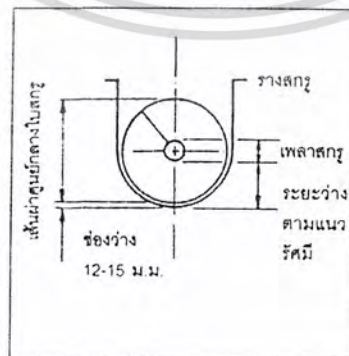
ใบสกรูแบบระยะพิตช์สั้นมาก (Double flight short pitch conveyor screw) มีระยะพิตช์น้อยมากทำให้มีความแม่นยำในการป้อนวัสดุมากกว่า



รูปที่ 2-8 การไหลของวัสดุในบางตำแหน่งของส่วนปล่อยวัสดุรูปลิ้ม

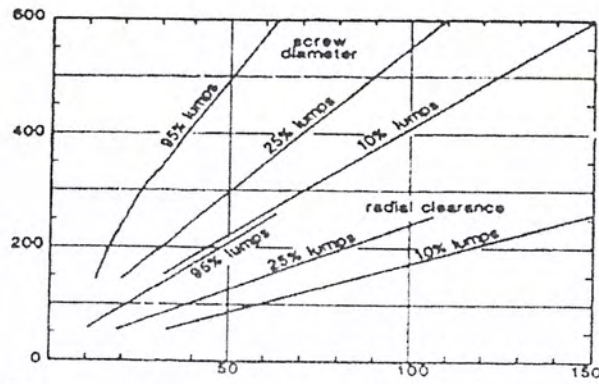
2.1.3 การพิจารณาออกแบบ

อัตราการขนถ่ายวัสดุปริมาณมากส่วนมากมักจะมีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง อัตราการขนถ่ายวัสดุสูงสุดมักจะมากกว่าอัตราการขนถ่ายวัสดุเฉลี่ยต่อวันหรือต่อชั่วโมง เนื่องจากในบางเวลาอาจมีอัตราการขนถ่ายวัสดุมากหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้เช่นในตอนเริ่มต้นและช่วงสุดท้ายของการขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น นอกจากนี้ยังปรากฏว่าความหนาแน่นของวัสดุในขณะการขนถ่ายวัสดุอาจมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากขณะที่วัสดุทำเคลื่อนที่ จะมีอากาศเข้าไปผสมกับวัสดุทำให้มีปริมาตรของวัสดุเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของวัสดุลดลง ซึ่งอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุขณะขนถ่าย ดังนั้นการกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุสูงสุดควรกำหนดจากความหนาแน่นของวัสดุในขณะขนถ่าย

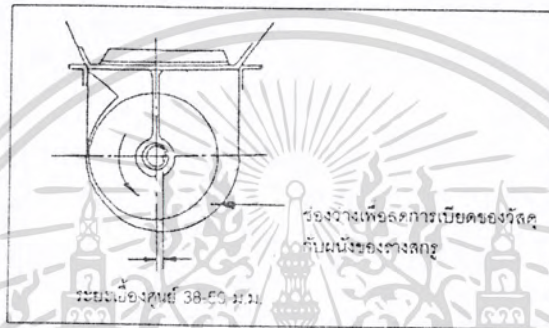


รูปที่ 2-9 ลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-10 ขนาดก้อนวัสดุใหญ่ที่สุดและขนาดของสกรูที่เหมาะสม

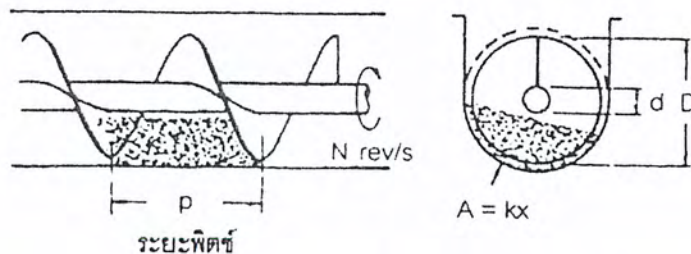


รูปที่ 2-11 หน้าตัดของสกรูสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อน

2.1.4 การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ

อัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุหรือสกรูป้อนวัสดุ จะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆดังต่อไปนี้

1. รูปร่างของใบสกรู
2. ความเร็วรอบของสกรู
3. มุมลาดเอียงในการขนถ่ายวัสดุ
4. รูปร่างของถังเก็บวัสดุและรางสกรูขนถ่ายวัสดุ
5. คุณสมบัติในการไหลของวัสดุ
6. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุบนใบสกรูและราง



รูปที่ 2-12 หลักการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุสามารถหาได้จากรูปแบบการขนถ่ายวัสดุในรูปที่ 2-12 การหมุนของสกรูในราง จะทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องในรางของสกรูขนถ่ายวัสดุ วัสดุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วโดยประมาณเท่ากับความเร็วรอบของสกรูที่กำลังหมุนอยู่ในหนึ่งรอบการเคลื่อนที่ของสกรูจะเคลื่อนที่ไปได้หนึ่งเท่าของระยะพิทซ์สกรู (p) ทำให้ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ (v) และความเร็วรอบของสกรูเป็นดังนี้

$$v = pN \tag{2.1}$$

v = ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ

p = ระยะพิทซ์สกรู

N = ความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายวัสดุ

ดังนั้นอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$V = pNA \tag{2.2}$$

V = อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร

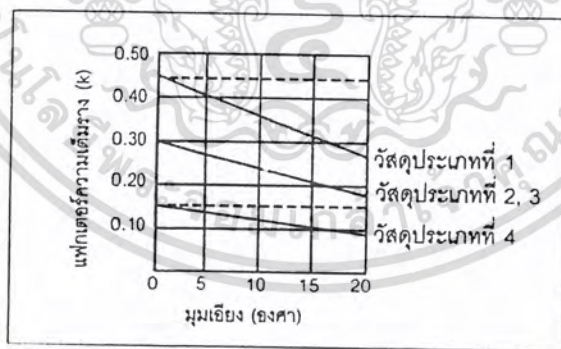
$$m_2 = \rho_b pNA \tag{2.3}$$

m_2 = อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล

ρ_b = ความหนาแน่นของวัสดุ

A = พื้นที่หน้าตัดของใบสกรูขนถ่ายวัสดุ

ในทางปฏิบัติ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุจะมีค่าไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของรางสกรูที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงต้องคูณพื้นที่หน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุด้วย “แฟกเตอร์ความเต็มราง” (k) ซึ่งแฟกเตอร์นี้สามารถดูได้จากรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 แฟกเตอร์ความเต็มราง (k)

วัสดุจะแบ่งออกเป็นสี่ชนิด และจากรูปที่ 2-13 จะสามารถสรุปการนำค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางไปใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 วัสดุเบาไหลได้ดี ไม่มีความคม เช่น เมล็ดข้าวสาลี ฝักข้าวโพด แฟกเตอร์ความเต็มราง k = 0.45

ประเภทที่ 2 วัสดุไม่มีความคม คุณสมบัติในการไหลน้อยกว่าประเภทที่ 1 เช่น ฝักข้าวป่น ข้าวโพดบด แฟกเตอร์ความเต็มราง k = 0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่ 3 คุณสมบัติการไหลคล้ายแบบประเภทที่ 2 แต่มีความคมมากกว่า ต้องการความเร็วสกรูต่ำ เช่น ซีเมนต์แห้ง เกลือ ถ่านไม้ แฟกเตอร์ความเต็มราง $k = 0.30$

ประเภทที่ 4 วัสดุมีความคมและคุณสมบัติการไหลไม่ดี เช่น ถ้ำถ่านหิน กากถ่านหิน กากแร่จากเตา แฟกเตอร์ความเต็มราง $k = 0.15$

ค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางนี้ ใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุด้วยสกรูขนถ่ายวัสดุตามแนวระดับเท่านั้น สำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียง สามารถหาค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางนี้ได้จากรูปที่ 2-13

ดังนั้นเมื่อแทนค่าพื้นที่หน้าตัดของใบสกรูขนถ่ายวัสดุ และรวมค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางเข้าไป จะได้เป็นสมการที่ 2.4

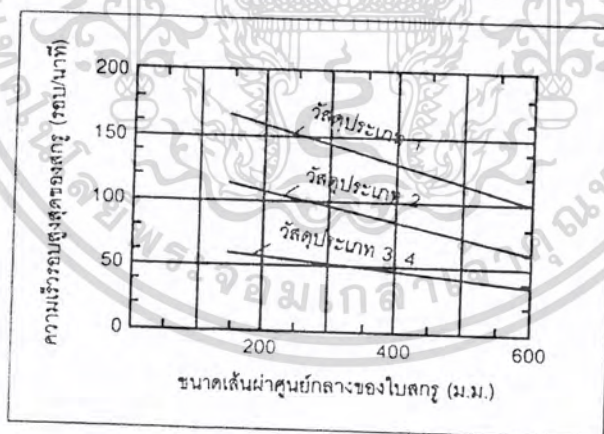
$$m_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4} \quad (2.4)$$

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาสกรู

จากสมการที่ 2.4 จะสามารถใช้สำหรับการประมาณค่าอัตราการขนถ่ายวัสดุเท่านั้น เนื่องจากทางปฏิบัติ การป้อนวัสดุเข้าสู่สกรูขนถ่ายวัสดุนั้นจะมีอัตราการป้อนวัสดุไม่แน่นอน ทำให้แฟกเตอร์ความเต็มรางมีค่าไม่แน่นอนตามไปด้วย จึงอาจจะทำให้ไม่สามารถคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุที่แน่นอนได้

ในการเลือกและออกแบบสกรูขนถ่ายวัสดุ ความเร็วรอบสูงสุดของสกรูที่สามารถทำงานได้นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู ปริมาณวัสดุในราวสกรูและคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งสามารถหาค่าความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุได้จากรูปที่ 2-14



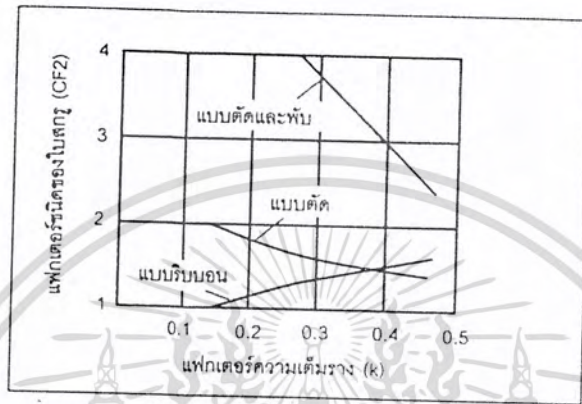
รูปที่ 2-14 ความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุ

สำหรับระยะพิทช์ใบสกรูก็มีผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุด้วย จากรูปที่ 2-12 เมื่อพิจารณาการหมุนของสกรูหนึ่งรอบวัสดุจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเท่ากับระยะพิทช์ ดังนั้นในกรณีที่สกรูหมุนไป 1 รอบแต่วัสดุไม่ได้เคลื่อนที่ไปเท่ากับระยะพิทช์ ก็จะต้องคำนึงถึงระยะพิทช์ใบสกรูด้วย แฟกเตอร์ของระยะพิทช์ใบสกรู (CF_p) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

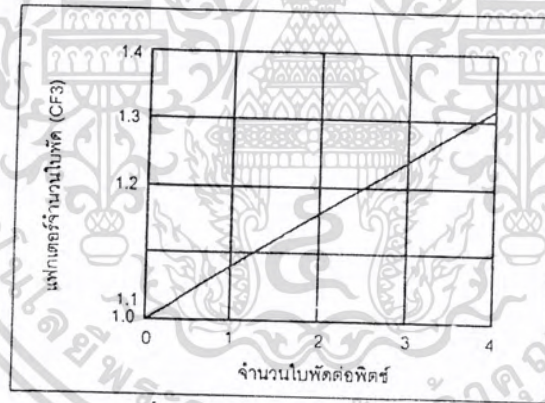
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของระยะพิศ	CF ₁
ระยะพิศ = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	1.00
ระยะพิศ = 2/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู	1.50
ระยะพิศ = 1/2 ของเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู	2.00
ระยะพิศ = 3/2 ของเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู	0.67

ตารางที่ 2-1 แฟกเตอร์ระยะพิศใบสกรู



รูปที่ 2-15 แฟกเตอร์ชนิดของใบสกรู



รูปที่ 2-16 แฟกเตอร์จำนวนใบพิศ

ชนิดของใบสกรูก็เป็นแฟกเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุเช่นกัน ซึ่งแฟกเตอร์ชนิดของใบสกรูนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของใบสกรู (CF₂) และจำนวนใบพิศสำหรับการกวาดหรือผสมวัสดุต่อระยะพิศ (CF₃) โดยแฟกเตอร์ทั้งสองนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-15 และ 2-16 ตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุเมื่อรวมเอาแฟกเตอร์ต่างๆ ไว้แล้ว จะคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2.5

$$m_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4 C F_1 C F_2 C F_3} \tag{2.5}$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ 2.5 เมื่อกำหนดอัตราการขนถ่ายวัสดุและขนาดของใบสกรูมาแล้วก็สามารถคำนวณหาความเร็วรอบของสกรูได้สมการที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{4m_s CF_1 CF_2 CF_3}{\rho_b \pi (D^2 - d^2) kp} \quad (2.6)$$

สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA) ได้พิมพ์ตารางอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาณไว้ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งสามารถนำมาใช้สำหรับเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณด้วยสมการได้ โดยสามารถหาความเร็วรอบของสกรูได้จากสมการที่ 2.7

$$N = (\text{อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาณ/ปริมาณการขนถ่ายวัสดุต่อรอบในตารางที่ 3}) CF_1 CF_2 CF_3 \quad (2.7)$$

โดยที่ความเร็วรอบของใบสกรูนั้นจะต้องมีค่าไม่เกินค่าความเร็วรอบสูงสุดที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

ชนิดของใบสกรู	แฟกเตอร์ชนิดใบสกรูตามขนาดของแฟกเตอร์ความเต็มรวง			
	15%	30%	45%	95%
ใบสกรูมาตรฐาน	1.0	1.0	1.0	1.0
ใบตัด	1.10	1.15	1.20	1.3
ใบตัดและทับ	N.R.*	1.50	1.70	2.20
ใบแบบเรียบอ่อน	1.05	1.14	1.20	-

* ไม่แนะนำให้ใช้

ตารางที่ 2-2 แฟกเตอร์ชนิดใบสกรู F_f

สำหรับขั้นตอนในการคำนวณออกแบบ และเลือกสกรูขนถ่ายวัสดุ จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่จะขนถ่าย และชนิดของใบสกรูที่เหมาะสม พร้อมทั้งแฟกเตอร์ความเต็มรวง
2. ถ้าวัสดุมีลักษณะเป็นก้อน จะสามารถเลือกขนาดของใบสกรูได้จากรูปที่ 2-10
3. หาความเร็วรอบสูงสุดของเพลาสกรูจากรูปที่ 2-14
4. หาแฟกเตอร์ของระยะพิตช์ ชนิดของใบสกรู และจำนวนใบพิตช์สำหรับการกวนหรือผสมวัสดุต่อระยะพิตช์ (แฟกเตอร์ CF_1 , CF_2 และ CF_3 ตามลำดับ) จากตารางที่ 1 รูปที่ 2-15 และรูปที่ 2-16
5. ทดลองเลือกขนาดของใบสกรู แล้วคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุจากสมการที่ 2.5 โดยใช้ความเร็วรอบสูงสุดในข้อที่ 3 ซึ่งจะต้องได้ค่าการขนถ่ายวัสดุมากกว่าที่กำหนด จากนั้นคำนวณหาความเร็วรอบของสกรูการขนถ่ายวัสดุจากสมการที่ 2.6 ความเร็วรอบที่คำนวณได้ต้องมีค่าน้อยกว่าความเร็วรอบสูงสุดจากข้อ 3 ถ้าความเร็วรอบมากกว่าค่าสูงสุดให้เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรูที่โตขึ้น

จำนวนใบพิตช์ต่อระยะพิตช์	0	1	2	3	4
แฟกเตอร์ใบพิตช์ (F_p)	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

ตารางที่ 2-3 แฟกเตอร์ใบพิตช์ F_p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายชื่อวัสดุ	ความหนาแน่นวัสดุ (kg/m ³)	แฟกเตอร์วัสดุ (F _m)
Alumina	880-1040	1.8
Ammonium nitrate	720-990	1.3
Barytes (powder)	1920-2880	2.0
Bentonite (powder)	800-960	0.7
Bonemeal	800-960	1.7
Cement (portland)	1510	1.4
China clay (kaolin)	1010	2.0
Coal (-15 mm)	780-980	1.0
Coffæ (ground)	400	0.6
Cullet (fine)	1280-1920	2.0
Flour (wheat)	530-640	0.6
Flyash	480-720	2.0
Gypsum (fine)	960-1280	1.6
Ice (crushed or rolled)	560-720	0.6
Ice (flake)	640-720	0.6
Mica flake	270-350	1.0
Milk (powder)	320-720	0.5
Mill scale (steel)	1920-2000	3.0
Oats (crushed or rolled)	300-380	0.6
Peas (dried)	720-800	0.5
PVC (powder)	320-480	1.0
PVC (pallets)	320-480	0.6
Polyethelene, resin pellets	480-550	0.4
Rice	700-800	0.4
Sand	1440-1920	1.7-2.6
Sawdust (dry)	160-208	0.7
Soap powder, detergent	240-800	0.9
Sugar (dry granulated)	800-880	1.0-1.2
Talcum powder	800-960	0.8
Vermiculite (expanded)	260	0.5
Wheat	720-770	0.4
Wood (flour)	260-580	0.4
Wood (shavings)	130-260	1.5

ตารางที่ 2- 4 แฟกเตอร์วัสดุ F_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การหาค่ากำลังขับ

การคำนวณหาค่ากำลังขับของสกรูขนถ่ายวัสดุเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก เนื่องจากค่าที่ถูกต้องจริงๆ ในการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลแต่ละชนิดไม่สามารถหาได้ ซึ่งสมการต่างๆ ต่อไปนี้เป็นสมการจากการแนะนำตามของมาตรฐานของประเทศอังกฤษ (BS) และสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA)

กำลังขับของสกรูขนถ่ายวัสดุ โดยทั่วไปแล้วอาจแบ่งได้เป็นสามประเภทดังนี้

1. กำลังขับสำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่างๆ ของชิ้นส่วนสกรูขนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่
2. กำลังขับสำหรับขนถ่ายวัสดุ
3. กำลังขับสำหรับการยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้ง

กำลังขับสำหรับเอาชนะสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่างๆ ของชิ้นส่วนสกรูขนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู, ความยาวของสกรูขนถ่ายวัสดุ และความเร็วรอบของเพลาสกรู สมการที่ 2.8 ได้จากการทดลองซึ่งสามารถให้ผลการคำนวณที่น่าเชื่อถือได้ และเป็นสมการรูปแบบที่ง่ายดังนี้

$$P_r = 75.7LND^{1.7} \quad (2.8)$$

P_r = กำลังขับสำหรับเอาชนะความเสียดทาน (watt)

L = ความยาวสกรูขนถ่ายวัสดุ (M)

N = ความเร็วรอบของเพลาสกรู (Hz)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู (M)

เป็นการยากที่จะคำนวณกำลังขับสำหรับการขนถ่ายวัสดุที่ถูกต้องได้ เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตามธรรมชาติของวัสดุที่แตกต่างกันไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับอัตราการขนถ่ายวัสดุ, ความหนาแน่นของวัสดุ และระยะทางขนถ่ายวัสดุ ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่ากำลังขับสำหรับการขนถ่ายวัสดุได้จากสมการที่ 2.9

$$P_m = F_r F_p F_m m_2 g l \quad (2.9)$$

P_m = กำลังขับที่ใช้ขนถ่ายวัสดุ (watt)

F_r = แฟกเตอร์ใบสกรู (ตารางที่ 3)

F_p = แฟกเตอร์ใบพัด (ตารางที่ 4)

F_m = แฟกเตอร์วัสดุ (ตารางที่ 5)

m_2 = อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล

l = ระยะทางขนถ่ายวัสดุ (m)

ρ_b = ความหนาแน่นวัสดุ (kg/m^3)

V = อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร (m^3/sec)

ประเภทของวัสดุ	ค่าแฟกเตอร์วัสดุ (F _m)
ประเภทที่ 1	0.5 - 1.0
ประเภทที่ 2	1.0 - 2.0
ประเภทที่ 3	2.0 - 3.0
ประเภทที่ 4	3.0 - 4.0

ตารางที่ 2-5 ค่าประมาณของแฟกเตอร์วัสดุ

และจะสามารถทราบค่าโดยประมาณของแฟกเตอร์วัสดุได้จากชนิดของวัสดุ ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 6 ส่วนกำลังขับสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวดิ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.10

$$P_v = m_s g H \tag{2.10}$$

P_v = กำลังสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวดิ่ง (watt)

H = ระยะทางตามแนวดิ่ง (m)

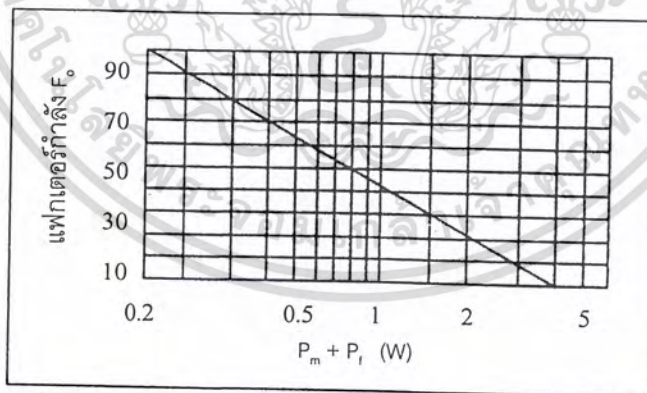
ดังนั้นกำลังขับรวมสำหรับสกรูขนถ่ายวัสดุ สามารถคำนวณได้จากการรวมกำลังขับทั้งสามประเภทเข้าด้วยกัน แล้วคูณด้วยแฟกเตอร์กำลังขับ (Overload factor, F_o) และหารด้วยประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ (h)

$$P = \frac{(P_f + P_m + P_v) F_o}{\eta} \tag{2.11}$$

P = กำลังขับรวม (watt)

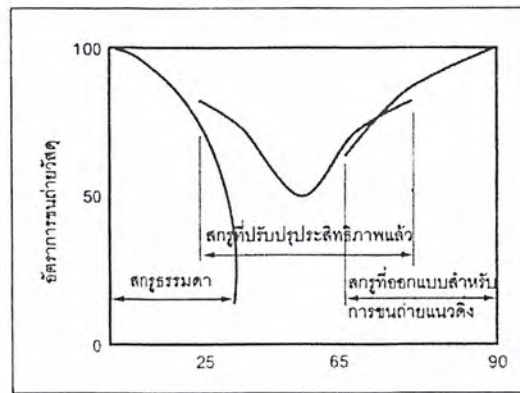
F_o = แฟกเตอร์กำลังขับ (รูปที่ 2-17)

η = ประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ



รูปที่ 2-17 แฟกเตอร์กำลังขับ F_o

การนำเอาสกรูขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนั้นจะสามารถทำได้เฉพาะวัสดุบางชนิดเท่านั้น ซึ่งสามารถดูค่ามุมเอียงสูงสุดที่สามารถขนถ่ายวัสดุได้จากตาราง โดยทั่วไปแล้วมุมเอียงควรไม่เกิน 20 องศา การขนถ่ายวัสดุตามแนวเอียงนี้จะมีประสิทธิภาพในการขนถ่ายต่ำกว่าในแนวระดับ การที่ประสิทธิภาพลดลง คือ ปริมาตรวัสดุลดลง และต้องใช้กำลังในการขนถ่ายสูงขึ้นด้วย สาเหตุเนื่องมาจากการไหลของวัสดุโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ปริมาตรการขนถ่ายที่ลดลงสามารถประมาณได้จากรูปที่ 2-18 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตเห็นาเบไซประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



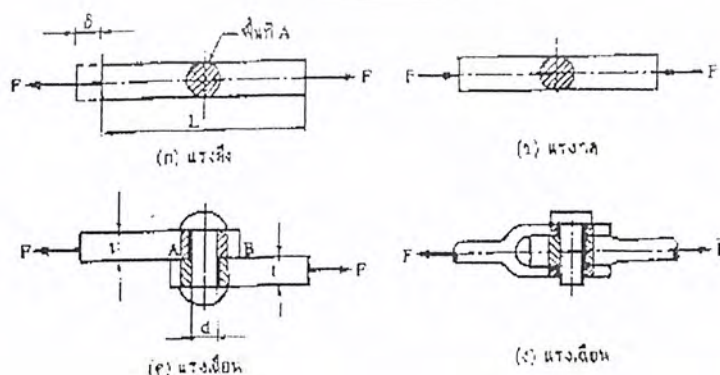
รูปที่ 2-18 อัตราการขจัดความเค้นตกค้างที่ลดลงจากการขจัดความเค้นตกค้างแนวเอียง

การปรับปรุงสกรูขนำวัสดุสำหรับแนวเอียงเพื่อให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นมีดังนี้

1. จัดให้ช่องว่างระหว่าง ไบสกรูกับรางสกรูขนำวัสดุให้มีค่าน้อยที่สุด
2. ควรใช้รางสกรูขนำแบบท่อกลม
3. ลดตัวแขวนเพลาสกรู ให้น้อยที่สุดหรือ ไม่มีตัวแขวนเลย ถ้าระยะทางขนำวัสดุไม่ยาวมากนัก ในกรณีเพลายาวมากอาจทำให้เกิดการแกว่งของเพลาก็ได้
4. ใช้ไบสกรูที่มีระยะพิตซ์ตั้งแต่ 1.5, 2.0 หรือ 3.0 พิตซ์ต่อรอบของสกรู เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนำวัสดุตามแนวเอียง

2.2 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอย่างง่าย จำเป็นจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านกลศาสตร์วัสดุ พลศาสตร์วัสดุศาสตร์ และอื่นๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานและการนำไปใช้งาน สิ่งสำคัญก่อนที่จะออกแบบชิ้นงานได้ก็คือ ความเข้าใจทางด้านพลศาสตร์และกลศาสตร์วัสดุอย่างถ่องแท้ หัวข้อชิ้นนี้จะเป็นการทบทวนเนื้อความและสูตรที่สำคัญทางด้านกลศาสตร์วัสดุ ซึ่งจะต้องใช้ประกอบการคำนวณออกแบบอยู่เสมอ รวมทั้งแสดงถึงวิธีการคำนวณออกแบบชิ้นงานอย่างง่ายอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความเค้นอย่างง่าย

นิยามของความเค้นคือ แรงแหารพื้นที่หน้าตัดรับแรง ความเค้นอย่างง่าย(Simple stress) มีอยู่ 3 ชนิด คือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน พิจารณารูปที่ 2-19 (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นท่อนโลหะกลมอยู่ภายใต้แรงดึงและแรงกด F ตามลำดับ ความเค้นดึงและความเค้นกดคือ

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

และ

(2.12)

ในกรณีที่แผ่นโลหะยึดติดกันด้วยหมุดย้ำ ดังรูปที่ 2-19 (ค) ตัวหมุดย้ำอาจจะขาดเนื่องจากแรงเฉือนกระทำที่หน้าตัด AB ถ้าพื้นที่หน้าตัดของหมุดย้ำเท่ากับ A ความเค้นเฉือนในหน้าตัดของหมุดย้ำคือ

$$\tau = \frac{F}{A}$$

(2.13)

ถ้าหน้าตัดของชิ้นงานรับแรงเฉือนมีมากกว่าหนึ่งแห่งพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงคือ $2A$ ในกรณีเช่นนี้เรียกว่า หมุดย้ำรับแรงเฉือนคู่ (double shear) เพราะฉะนั้นความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของหมุดย้ำนี้จะเท่ากับ

$$\tau = \frac{F}{2A}$$

พิจารณาหมุดย้ำในรูปที่ (ค) จะเกิดการอัดกันระหว่างด้านข้างของตัวหมุดย้ำกับแผ่นโลหะด้วยความเค้นที่ผิวโลหะที่สัมผัสกันนี้ไม่สม่ำเสมอ ในทางปฏิบัติจึงหาความเค้นกดนี้โดยใช้พื้นที่ฉาย (Projected area) ของส่วนที่อัดกันอยู่ แทนการใช้พื้นที่จริงรอบหมุดย้ำ และมีชื่อเรียกว่าความเค้นอัด (bearing stress) ถ้าหมุดย้ำมีการขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d ความเค้นอัดนี้คือ

$$\sigma_c = \frac{F}{dt}$$

(2.14)

2.2.2 ความเครียด

ความเครียด(Strain) ϵ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างส่วนที่ยืดหรือหดของชิ้นงานกับความยาวเดิมจากรูปที่ 2-19 (ก) ส่วนที่ยืดออกเนื่องจากแรงดึง F เท่ากับ σ เพราะฉะนั้นความเครียดนี้จะเท่ากับ

$$\epsilon = \frac{\sigma}{L}$$

(2.15)

จากกฎของฮุก

$$\sigma = E\epsilon$$

(2.16)

แต่ $\sigma = F/A$ ฉะนั้นเมื่อแทนค่า ϵ จากสมการที่ 2.15 ลงในสมการที่ 2.16 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \frac{FL}{AE} \quad (2.17)$$

จากกลศาสตร์วัสดุยังทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างยังส์โมดูลัสและโมดูลัสเฉือนอีกคือ

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.18)$$

โดยที่ ν เป็นอัตราส่วนบัวซอง(Poisson's ratio)

2.2.3 การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (Torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{JG} \quad (2.19)$$

โดยที่

- T คือ โมเมนต์บิด
- L คือ ความยาว
- J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (polar area moment of inertia)
 - = $\pi d^4/32$ สำหรับท่อนกลมตัน
 - = $\pi (d_o^4 - d_i^4)/32$ สำหรับท่อนกลมกลวง
- d_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก
- d_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

สมการ ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวหน้าของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (2.20)$$

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อนกลม

ในการที่จะใช้สมการที่ 2.20 มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งกำลังมาตามเพลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

$$W_p = T\omega = 2\pi nT \quad (2.21)$$

โดยที่

- W_p คือ กำลังงานเป็น W
- T คือ โมเมนต์บิดเป็น Nm
- ω คือ ความเร็วเชิงมุมเป็น rad/s
- n คือ ความเร็วรอบเป็น rad/s

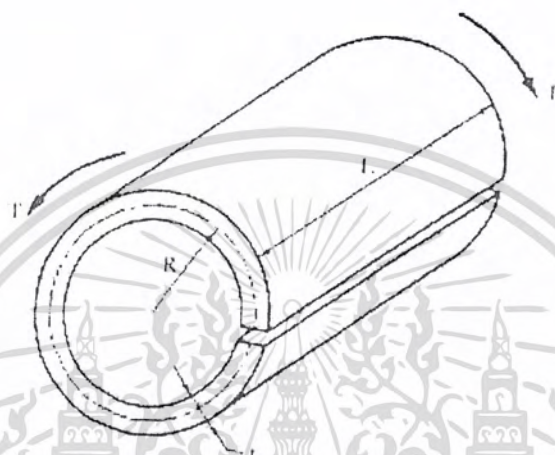
สำหรับในระบบหน่วยอังกฤษซึ่งยังมีใช้กันอยู่จะบอกกำลังงานเป็นแรงม้า และคำนวณโมเมนต์บิดได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$hp = \frac{Tn}{63000} \quad (2.22)$$

โดยที่ T คือ โมเมนต์บิดเป็น in-lb
N คือ ความเร็วรอบเป็น rev/min

ในกรณีของท่อกลมผนังบาง (thin-walled tube) ซึ่งมีรัศมีเฉลี่ย R และผ่าตลอดความยาวดังรูปที่ 2-20



รูปที่ 2-20 ท่อกลมผนังบางผ่าตลอดความยาว

มุมบิดและค่าความเค้นเฉือน โดยประมาณคือ

$$\theta = \frac{3TL}{2\pi R t^3 G} \quad (2.23)$$

$$\tau = \frac{3T}{2\pi R t^2} \quad (2.24)$$

2.2.4 กาน

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากรับแรงในแนวตั้งลักษณะเช่นเดียวกับกานทั่วไป ฉะนั้นจึงให้ความเค้นดัด (Bending stress) และการยุบตัว (deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุดของกาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (bending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

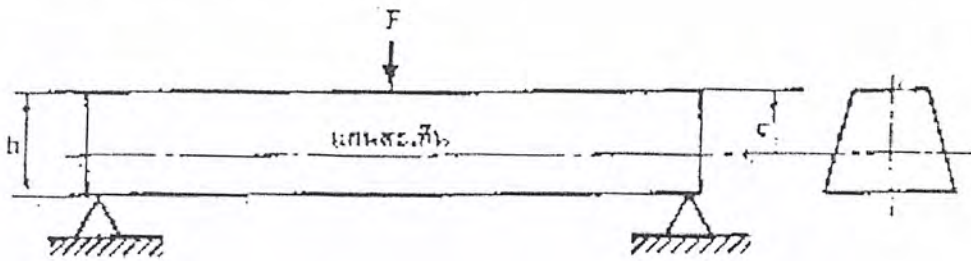
$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \quad (2.25)$$

โดยที่ M คือ โมเมนต์ดัด

c คือ ระยะจากแกนเทิน (neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด ดังรูปที่ 2-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่



รูปที่ 2-21 คานและแกนสะเทิน

สำหรับค่า I ของหน้าตัดบางชนิดดูได้จากตารางที่ ก-1 ส่วนค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดและการยุบตัวของคาน ดูได้จากตารางที่ ก-2 ถึงแม้ว่าจะมีตารางทั้งสองนี้ช่วยในการคำนวณ แต่ผู้อ่านก็ต้องเข้าใจถึงวิธีการหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดและการยุบตัวของคานจากกลศาสตร์วัสดุเป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะลักษณะของแรงและชนิดของคานอาจจะไม่ตรงกับในตารางที่แสดงไว้อย่างจำกัดก็ได้

โดยทั่วไปแล้วความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานจะมีค่าน้อยมาก จนกระทั่งไม่ต้องนำมาคิดในการออกแบบได้ แต่ถ้าคานสั้นและมีหน้าตัดสูงมาก ความเค้นเฉือนก็อาจจะมีค่ามากได้ สำหรับคานที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดที่แกนสะเทิน และมีค่า 1.5 เท่าของความเค้นเฉือนเฉลี่ยหรือเท่ากับ

$$\tau = \frac{3V}{2A} \quad (2.26)$$

สำหรับหน้าตัดกลม

$$\tau = \frac{4V}{3A} \quad (2.27)$$

โดยที่ V คือแรงเฉือนสูงสุด
A คือพื้นที่หน้าตัด

2.3 ความเค้นผสมและทฤษฎีความเสียหาย

เนื่องจากยังมีชิ้นงานอีกเป็นจำนวนมากที่เมื่อรับแรงแล้วทำให้เกิดความเค้นมากกว่าหนึ่งชนิดพร้อมกันในชิ้นเดียว เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสามารถรวมความเค้นเหล่านี้เข้าด้วยกัน เรียกว่าความเค้นผสม (combined stress) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดของชิ้นงาน การที่สามารถหาความเค้นผสมได้อย่างเดียวอาจจะไม่มีรากฐานเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการอธิบายถึงเหตุนี้เองจึงมีผู้พยายามตั้งทฤษฎีนี้ขึ้นมาใช้อธิบายถึงความเสียหายของชิ้นงาน โดยพยายามเชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่สามารถทดสอบได้ เช่น ความต้านแรงดึง ความต้านทานแรงดึงครากหรือความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของวัสดุอย่างธรรมดา ทฤษฎีเหล่านี้มีอยู่หลายทฤษฎีด้วยกัน ซึ่งเรียกว่า ทฤษฎีความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

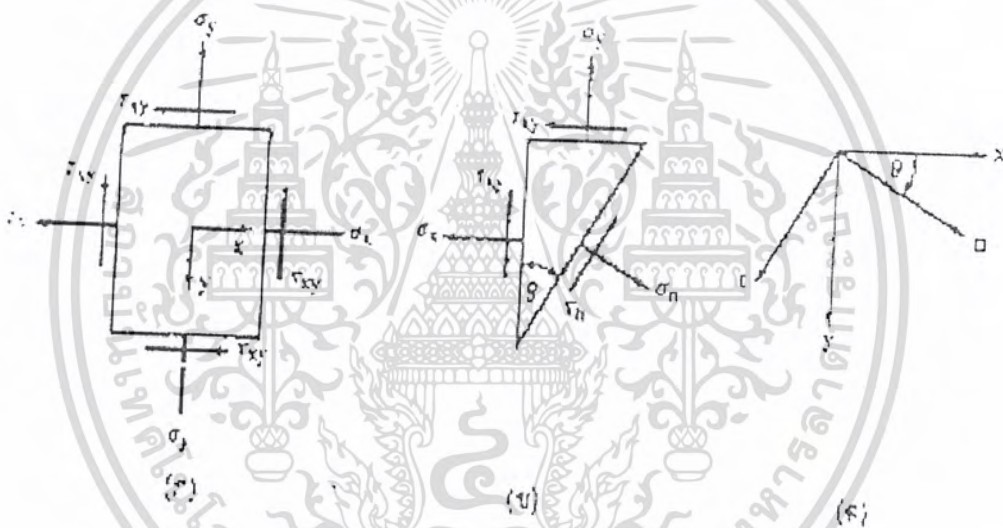
2.3.1 ความเค้นผสมในระบบความเค้นสองมิติ

ชิ้นงานโดยทั่วไปมี 3 มิติ และความเค้นในชิ้นงานก็เป็นแบบ 3 มิติด้วย เนื่องจากรูปร่างของชิ้นงานจะมีความยาวด้านหนึ่งน้อยกว่าอีกสองด้านมาก และความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางหนึ่งก็มักจะมีขนาดน้อยกว่าในอีกสองทิศทางด้วย ฉะนั้นจึงสามารถสมมติให้ปัญหาทางวิศวกรรมส่วนใหญ่เป็นระบบความเค้น 2 มิติได้

พิจารณาระบบความเค้นสองมิติบนวัสดุชิ้นเล็กๆ รูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 2-22 (ก) ถ้าตัดวัสดุชิ้นเล็กๆ นี้ด้วยระนาบเอียงทำมุม θ กับแกน y จะมีความเค้นดึง σ_n ตั้งฉากกับหน้าตัดและความเค้นเฉือน T_n ขนานกับหน้าตัด ดังรูปที่ 2-22 (ข) ถ้าให้วัสดุชิ้นเล็กๆ นี้มีความหนาหนึ่งหน่วยรวมแรงในทิศทางของ σ_n และ T_n ตามหลักกลศาสตร์ จะได้ว่า

$$\sigma_n = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + \tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \quad (2.28)$$

$$\tau_n = (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (2.29)$$



รูปที่ 2-22 ระบบความเค้นสองมิติ

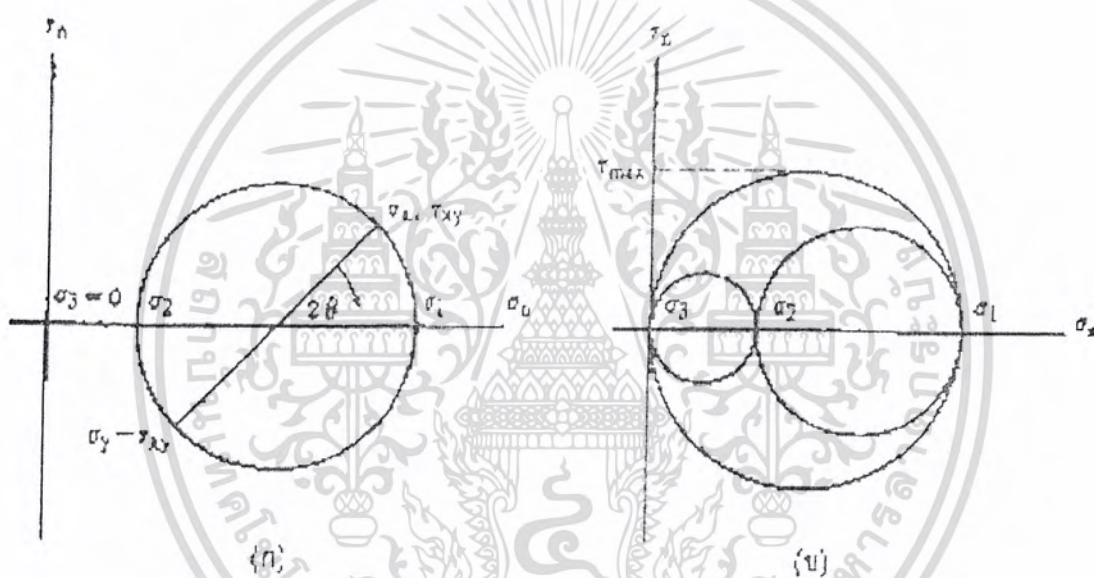
จากกลศาสตร์วัสดุพบว่า เมื่อดิฟเฟอเรนเชียล (Differentiate) σ_n เทียบกับ θ แล้วให้ผลที่ได้เท่ากับศูนย์ เมื่อแก้สมการหาค่ามุม θ จะได้มุมซึ่งเป็นทิศทางของความเค้นหลัก (principal stress) มุม θ ที่ได้จะมี 2 ค่า เรียกว่า ทิศทางหลัก (principle direction) สมการความเค้นหลักที่ได้จากการกระทำดังกล่าวแล้วคือ

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \left(\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \right)^{1/2} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้ความเค้นหลักค่าที่สามคือ σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ สมการที่ 2.28 และสมการที่ 2.29 สามารถจะเขียนให้อยู่ในรูปของมุมคู่คือ 2θ ได้ ซึ่งทำให้สร้างหาค่าความเค้นที่มุม θ ต่าง ๆ กันได้เรียกว่า วงกลมของมอร์ (Mohr's circle) ซึ่งมีวิธีสร้างดังนี้คือ

1. เขียนแกนความเค้นปกติ (ดึงหรือกด) และความเค้นเฉือน
2. กำหนดจุด (σ_x, τ_{xy}) และ (σ_y, τ_{xy}) บนระนาบของ σ_n, τ_n
3. ลากเส้นระหว่างจุดในข้อที่ 2 ตัดแกน σ_n แล้วใช้จุดตัดนี้เป็นจุดศูนย์กลางสำหรับเขียนวงกลม ดังรูปที่ 2.23 (ก)
4. มุม 2θ บนวงกลมของมอร์ วัดตามทิศทางในรูปที่ 2.23 (ก) เทียบกับแกน σ_n ตรงกับมุม θ ที่วัดบนวัสดุชิ้นเล็ก ๆ ในรูปที่ 2.23 (ข) และจุดบนวงกลมนี้แทนค่าความเค้นในระนาบ xy



รูปที่ 2-23 วงกลมของมอร์

ความเค้นหลักคือ จุดที่วงกลมตัดแกน σ_n ในที่นี้มี σ_1 และ σ_2 ส่วน σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์รูปวงกลมของมอร์ที่สมบูรณ์จะเป็นดังรูปที่ 2-23 (ข) ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด τ_{max} ก็คือรัศมีของวงกลมวงใหญ่ที่สุด

$$\tau_{max} = \text{ค่าสูงสุดของ} \begin{cases} \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2} \\ \frac{|\sigma_1|}{2} \\ \frac{|\sigma_2|}{2} \end{cases}$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (2.31)

นั่นคือ

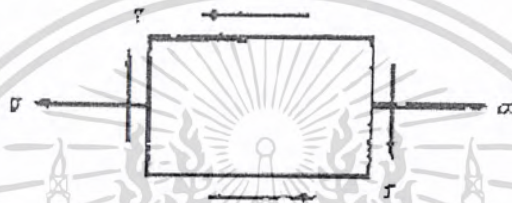
$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (2.32)$$

ในกรณีของรูปที่ 2-22 และจากสมการที่ 2.30 ความเค้น σ_1 หรือ σ_2 อาจจะมีเครื่องหมายต่างกันได้ (เป็นความเค้นดึงและความเค้นกด) ถ้า σ_1 เป็นบวกและ σ_2 เป็นลบ ดังนั้น

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (2.33)$$

ถ้า σ_1 และ σ_2 เป็นบวกทั้งคู่ และ σ_1 มากกว่า σ_2

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_1}{2} \quad (2.34)$$



รูปที่ 2-24 ความเค้นกรณีพิเศษ

อีกกรณีหนึ่งที่อาจพบมากในการออกแบบเครื่องจักรกล ซึ่งเป็นความเค้นกรณีพิเศษดังแสดงในรูปที่ 2-24 ซึ่งจะลดรูปสมการที่ 2.30 เหลือเพียง

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma}{2} \pm \left[\left[\frac{\sigma}{2} \right]^2 + \tau^2 \right]^{1/2} \quad (2.35)$$

จากสมการที่ 2.35 จะเห็นได้ว่า σ_1 และ σ_2 จะมีเครื่องหมายต่างกันอยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นหลักในการคำนวณออกแบบ ความเค้นชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกว่า ความเค้นผสม

2.3.2 ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะแต่สามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ วัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดคราก ฉะนั้นจึงใช้ความต้านแรงดึงเป็นหลัก แต่จะใช้กับวัสดุที่มีจุดครากก็ได้ในที่นี่จะกล่าวถึงความต้านแรงดึงครากเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับทฤษฎีอื่น ๆ ได้ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า

“วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงดึงครากของวัสดุนั้น”

ความเค้นหลักสูงสุดในที่นี้หมายถึงค่าสมบูรณ์สูงสุด (Maximum absolute value) ถ้าพิจารณาเฉพาะระบบความเค้นสองมิติ ($\sigma_3=0$) และให้ N เป็นค่าปลอดภัย สมการที่แสดงถึงทฤษฎีนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_x = \pm \frac{\sigma_y}{N} \text{ ถ้า } |\sigma_x| > |\sigma_y| \tag{2.36}$$

หรือ

$$\sigma_y = \pm \frac{\sigma_x}{N} \text{ ถ้า } |\sigma_y| > |\sigma_x| \tag{2.37}$$

ให้

$$x = \frac{N\sigma_x}{\sigma_y}$$

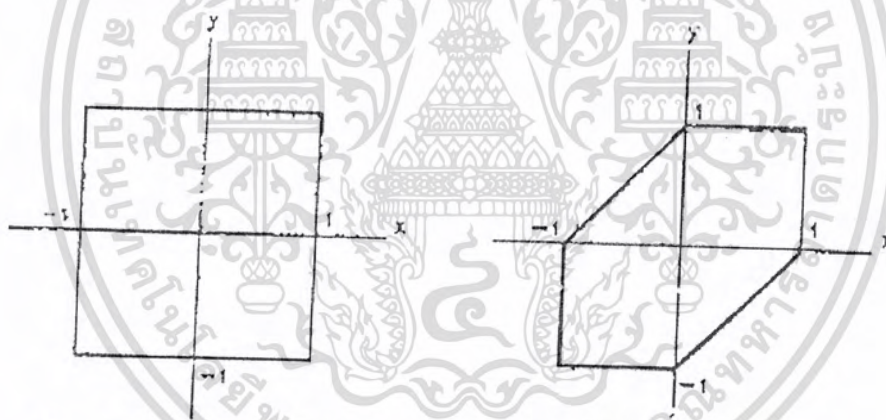
และ

$$y = \frac{N\sigma_y}{\sigma_x}$$

สมการที่ 2.36 และสมการที่ 2.37 จะเขียนได้เป็น

$$x = \pm 1, y = \pm 1 \tag{2.38}$$

ซึ่งสมการนี้สามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของความเค้นผสมที่มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังรูปที่ 2-25 (ก)



(ก) ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

(ข) ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

รูปที่ 2-25 ของเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหาย

2.3.3 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูง

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุเหนียว มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเกณฑ์ของทรสกา (Tresca's criterion) เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้กันมาก เพราะใช้ได้ง่ายและปลอดภัย ทฤษฎีนี้กล่าวว่า “วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงเฉือนสูงสุดของวัสดุนั้นตัวกันที่ได้จากการทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุดคราก”

จากกลศาสตร์วัสดุพบว่า ความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงจนถึงจุดครากมีค่าเท่ากับ $\sigma_y/2$ และเกิดบนระนาบเอียงทำมุม 45° กับแนวแรงดึงขึ้นทดสอบ ซึ่งตามทฤษฎีนี้จะเริ่มเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียหายเมื่อ T_{\max} ในสมการที่ 4 เท่ากับ $\sigma_y/2$ เพราะฉะนั้นสมการที่ต้องนำมาคิดในการออกแบบคือ

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N} \quad (2.39)$$

หรือ

$$\frac{\sigma_1}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N} \quad (2.40)$$

หรือ

$$\frac{\sigma_2}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N} \quad (2.41)$$

ซึ่งจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.42)$$

$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.43)$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.44)$$

หรือ

$$x - y = \pm 1, x = \pm 1, y = \pm 1 \quad (2.45)$$

โดยที่ x และ y มีความหมายเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 2.3.2

สมการที่ 2.42 สามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่ยอมให้มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบ ดังรูปที่ 2-25 (ข)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากจะมีสถานะของความเค้นเป็นกรณีพิเศษดังรูปที่ 2-24 ในกรณีนี้ถ้ายอมให้มีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_y}{N} \quad (2.46)$$

แล้วแทนค่า T_{\max} ลงในสมการที่ 2.36 แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{1}{N} = \left[\left[\frac{\tau}{\tau_y} \right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.47)$$

โดยที่ $\tau_y = \sigma_y/2$ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.3.4 ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกคotesอีร์รัล

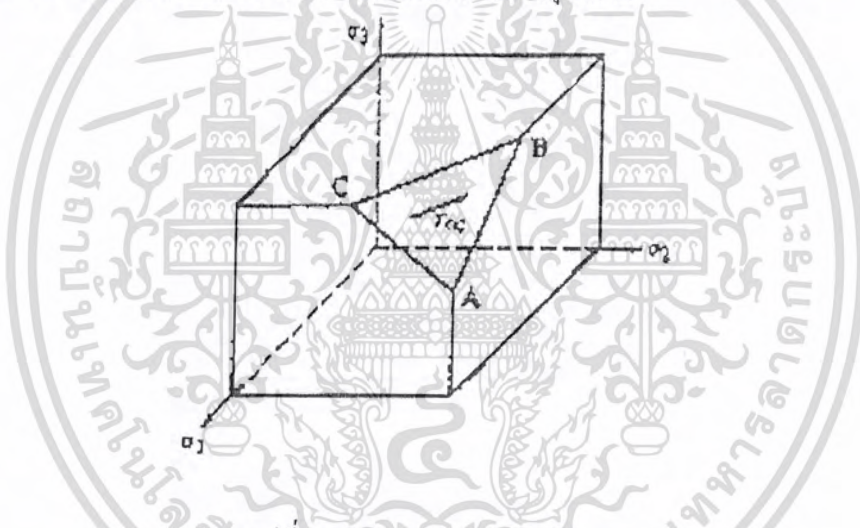
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล (Octahedral shear stress theory) และทฤษฎีพลังงานแปรรูป (distortion energy theory) ให้ผลในการคำนวณเหมือนกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลเท่านั้น สำหรับผู้ที่สนใจการหาคำตอบโดยใช้ทฤษฎีพลังงานแปรรูป อาจจะหาได้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 1 ได้

ในทางทฤษฎีพลาสติกซิติ (Plasticity) มักจะเรียกชื่อทฤษฎีนี้ว่า ทฤษฎีของ Von Mises Huber Hencky criterion ทั้งนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่นักคิดผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ขึ้นมาใช้

ระนาบออกตะฮีดรัล (Octahedral plane) หมายถึงระนาบที่เอียงทำมุมกับทิศทางของความเค้นหลักทั้งสามเท่ากัน เช่น ระนาบ ABC ดังรูปที่ 2-26 ทิศทางโคไซน์ (directional cosine) ของระนาบนี้มีค่าเท่ากับ $1/\sqrt{3}$ และความเค้นเฉือนบนระนาบนี้เรียกว่า ความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล T_{oc} ทฤษฎีนี้กล่าวว่า

วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลในวัสดุ มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงขึ้นตลอดจนจนถึงจุดคราก



รูปที่ 2-26 ระนาบออกตะฮีดรัล

ในกรณีที่ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้ความเค้นสามมิติ ค่าความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลคือ

$$\tau_{oc} = \frac{1}{3} \left[[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2 \right]^{1/2} \quad (2.48)$$

ในการทดสอบแรงดึง ความเค้นหลัก σ_2 และ σ_3 เท่ากับศูนย์ และเมื่อถึงจุดคราก ความเค้นหลัก $\sigma_1 = \sigma_y$ ดังนั้นความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล จะหาได้จากสมการที่ 48 โดยให้ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ และ $\sigma_1 = \sigma_y$ นั่นคือ

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_y = 0.471 \sigma_y \quad (2.49)$$

จากทฤษฎีนี้ความเสียหายหรือการคราก จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อ $T_{oc} = T$ นั่นคือเมื่อ

$$2\sigma^2 = [\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2 \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

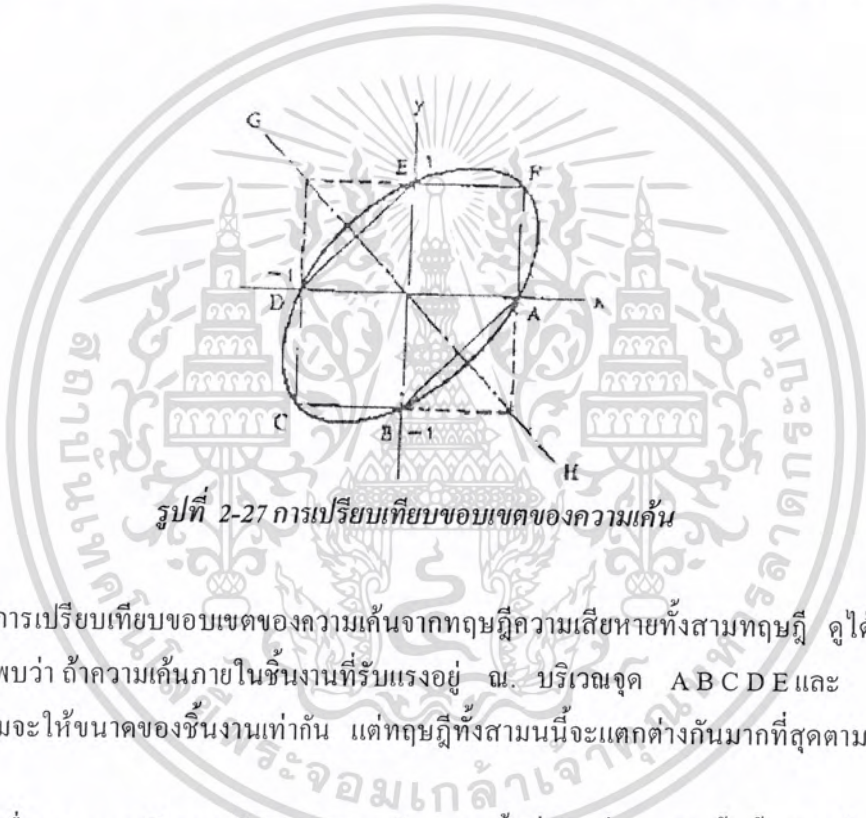
ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไป ซึ่งพิจารณาเส้นในสองมิติดังรูปที่ 2-22 ซึ่ง $\sigma_3 = 0$ และเมื่อใช้ค่าความปลอดภัย N สมการที่ 2.45 จะเหลือเพียง

$$\left[\frac{\sigma_y}{N} \right]^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2 \tag{2.51}$$

หรือ

$$I = x^2 - xy + y^2 \tag{2.52}$$

ซึ่งเป็นสมการของรูปวงรีที่มีความยาวครึ่งแกนขามและครึ่งแกนสั้นเท่ากับ $\sqrt{2}$ และ $\sqrt{\frac{2}{3}}$ ตามลำดับ ดังนั้นรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่ยอมให้มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบจึงเป็นรูปวงรี



รูปที่ 2-27 การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้น

การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหายทั้งสามทฤษฎี ดูได้จากรูปที่ 2-27 ซึ่งจะพบว่า ถ้าความเค้นภายในชิ้นงานที่รับแรงอยู่ ณ บริเวณจุด ABCDE และ F แล้ว ทฤษฎีทั้งสามจะให้ขนาดของชิ้นงานเท่ากัน แต่ทฤษฎีทั้งสามนี้จะแตกต่างกันมากที่สุดตามแนวแกน GH

เนื่องจากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดล้อมรอบพื้นที่ที่น้อยที่สุด ดังนั้นชิ้นส่วนที่คำนวณหาขนาดโดยใช้ทฤษฎีนี้จะมีขนาดโตกว่าที่คำนวณโดยใช้อีกสองทฤษฎี (ยกเว้นที่จุดร่วมกัน)

ถ้าสถานะของความเค้นเป็นไปตามรูปที่ 2-24 เช่น กรณีของเพลาส่งกำลังเมื่อแทนค่าสมการที่ 2.35 ลงในสมการที่ 2.51 แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{\sigma}{N} = [\sigma^2 + 3\tau^2]^{1/2} \tag{2.53}$$

หรือ

$$\frac{I}{N} = \left[\left[\frac{\sqrt{3}\tau}{\sigma_y} \right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{1/2} \tag{2.54}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 0.577\sigma_y$$

แล้ว อาจจัดรูปสมการที่ 2.54 ได้เหมือนกับสมการที่ 2.47 คือ

$$\frac{i}{N} = \left[\left[\frac{\tau}{\tau_y} \right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.55)$$

นอกจากนี้ยังมีทฤษฎีความเสียหายอื่น ๆ อีก เช่น ทฤษฎีความเครียดหลักสูงสุด (Maximum principal strain theory) และทฤษฎีพลังงานความเครียดสูงสุด (Maximum strain energy theory) แต่ไม่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย จึงจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

2.4 การออกแบบเพลา

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ส่งกำลังแกน (axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุนเช่น ล้อ สายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกกันว่าเพลา ไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือหยุดนิ่งก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นและไม่หมุน เช่น เพลาที่แทนหัวกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตั๊บชาฟต์ (Stub shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนืองกับเครื่องยนต์ มอเตอร์หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาดและรูปร่าง สำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว (Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (power transmission shaft) หรือเพลาเมน เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ส่งกำลังไปยังเครื่องส่งกำลังอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็กชาฟต์ (Jackshaft) หรือแกนเตอร์ชาฟต์ (countershaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลาที่อ่อนตัวหรืองอได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วย สายลวดใหญ่ (cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงหลายอย่างรวมกันได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอ สำหรับการใช้งานในลักษณะนั้นนอกจากนั้นเพลา ยังต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ เพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลา ก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลา มีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤตของเพลาลดลงซึ่งอาจทำให้เพลา มีการสั่นอย่างรุนแรง ในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลเบริง (ball bearing) ก็ต้องมีกรเยื้องแนวในการใช้งานที่พอเหมาะ กับเพลาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การออกแบบทำเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าอะลูมิน (Mind steel) แต่ถ้าต้องการเหล็กกล้าให้มีความเหนียวทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นๆ มาทำเป็นเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm. มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาาก่อนเหล็กอื่น ๆ

2.4.2 ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลาซึ่งเป็นขนาดที่ระบุ (Normal size) ใน ISO/R 755-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของเบริงที่ใช้รองรับเพลลาด้วย ขนาดระบุของเพลลาได้จากตารางขนาดเพลลาตามมาตรฐาน ISO/R 775-1969

2.4.3 การพิจารณาในการออกแบบเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดของเพลลาเพื่อให้เพลลาทนต่อแรงที่มากกระทำอย่างเดียวนั้นไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลาถูกเบี้ยว (Cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่เที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งาน จะต้องไม่มากเกินไปกว่าค่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือ เพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในค่าที่กำหนดไว้ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งทำให้เฟืองและเบริงที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้นถึงแม้ว่าจะไม่มาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลลาในเครื่องจักรทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาวเพลลา 1 เมตร สำหรับเพลลาส่งกำลังทั่วไปแล้วอาจจะให้มุมบิดได้ถึง 1 องศา ต่อความยาวเพลลา 20 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ในกรณีของเพลลาถูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้ว จะให้มุมบิดได้ไม่เกิน 0.5 องศา ตลอดความยาวเพลลา

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างคือ ความแข็งแรงทางด้านระยะ โกง เพราะจะต้องใช้ระยะ โกงของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอก ที่สำคัญในการกำหนดระยะเบียดระหว่างล้อสายพาน เพื่อองโครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดเบริงสำหรับรองรับเพลลาที่เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะ โกงมากเกินไป จะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลง เป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (Contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกเบริงมารองรับเพลลาก็เช่นกัน จำเป็นจะต้องเลือกเบริงที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งาน ได้พอเหมาะกัระยะ โกงของเพลลาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นเบริงธรรมดาหรือเบริงแบบปรับแนวได้เอง (self-aligning bearing) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าระยะการ โกงเป็นสำคัญระยะ โกงดังกล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้เป็นแนวทาง โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจถือค่าต่อไปนี้ เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะ โกงได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเพลาคู่มือจักรกลทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร็ริงควรจะไม่เกิน 0.08 มิลลิเมตร

สำหรับเพลามีฟันเฟืองตรง (Spur gear) คุณภาพคืออยู่ด้วย ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm. และความลาดเอียงของเพลานี้ ค่าแห่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286 องศา

สำหรับเพลามีเฟืองดอกจอก (Bevel gear) คุณภาพคืออยู่ด้วย ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 mm.

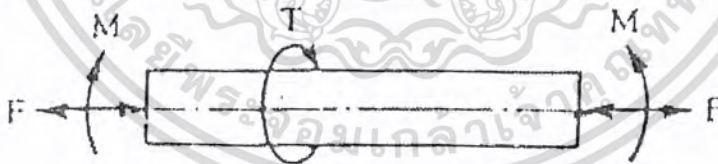
จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลานี้จะหาได้ โดยใช้ความแข็งแรงที่ความต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะโก่งของเพลามีขนาดเท่ากันโดยตลอด อาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้มาแล้วในวิชา กลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง เป็นต้น

สำหรับเพลามีขนาดไม่เท่ากันโดยตลอด (Stepped shaft) การใช้วิธีดังกล่าวมาแล้ว อาจจะล่าช้าและเสียเวลาโดยเฉพาะวิธีการอินทิเกรต เพราะต้องใช้สภาพของขอบเขตใหม่ทุกครั้งที่เพลามีขนาดเปลี่ยน วิธีที่นิยมใช้กัน แต่ใช้เวลามาก คือวิธี graphical integration และ numerical integration

2.4.4 การออกแบบเพลาดำเนินการของ ASME

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลัง ซึ่งกำหนดเป็นโค้ดโดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตามวิธีการออกแบบเพลาดำเนินการ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

วิธีการดังกล่าวนี้ ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลานี้ ซึ่งเป็นการออกแบบโดยสถิติศาสตร์ ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลานี้ให้พิจารณาเพลาดังรูปข้างล่างนี้ ให้เพลานี้เป็นแบบกลมและกลวง โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d_o ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลามีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-28 เพลาน้อยภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นดึงหรือกด

$$\sigma_a = \frac{4 F}{\pi (d_o^2 - d_i^2)} \quad (2.56)$$

ความเค้นดัด

$$\sigma_b = \frac{MC}{I} = \frac{32Md}{\pi(d_o^4 - d_i^4)} \quad (2.57)$$

ความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_{xy} = \frac{T_r}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.58)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการโค้งงอได้ ดังนั้นสมการความเค้นดึงจะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.59)$$

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็น วัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลามุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ ดังนั้นเพลาก็เกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้แบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor) มาเกี่ยวข้องกับค้ำ

ถ้าให้ C_m = ตัวอย่างประกอบความล้าเนื่องจากการค้ำ

C_t = ตัวอย่างประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการ (2.58) จะกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.60)$$

และ

$$\tau = \frac{16C_t T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.61)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ $\sigma = \sigma_a + \sigma_b$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$= \left[\tau_{xy}^2 + \left[\frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.62)$$

แทนค่าในสมการ ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1 - K^4)} \left[(C_t T)^2 + \left[\frac{\alpha F_d (1 + K)^2}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.63)$$

โดยที่ $K = d_i/d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการจะลดลงเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1 - K^4)} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (2.64)$$

หรือในกรณีของเพลาดัน $K = d_i/d = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$D^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (2.65)$$

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากตาราง ค่าตัวประกอบความล้า สำหรับตัวประกอบของการโค้งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$\alpha = 1$ เมื่อแรง F เป็นแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044\left(\frac{L}{k}\right)} \quad \text{เมื่อ } L/k \leq 115 \quad (2.66)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_r \left(\frac{L}{k}\right)^2}{\pi^2 n E} \quad \text{เมื่อ } L/k > 115 \quad (2.67)$$

โดยที่ $n = 1.00$ เมื่อปลายเป็นแบบ ss

$n = 2.25$ เมื่อปลายเป็นแบบ cc

$n = 1.60$ เมื่อปลายเพลาถูกขยับเป็นบางส่วน (partially restrained)

$L =$ ความยาวจริงของเพลา

จะเห็นได้ว่าจากสมการ(2.66) เป็นสมการสูตรของเส้นตรง (Straight line formula) และเป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่ นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่า เพลาเพลาซึ่งมีโซ่อยู่ในงานธรรมดาทั่วไปควรมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

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

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

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะ ให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการ โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณคือ

$$\tau_d = 0.3 \tau_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18 \tau_u \quad (2.68)$$

และถ้าเพลาที่มีร่องลิ้ม ให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75 % ของค่าในสมการความแข็งแรงทางด้านการบิด

สำหรับเพลาที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad จะหาค่าได้จากสมการ

$$\tau_d = 0.3 \sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18 \sigma_u \quad (2.69)$$

สำหรับเพลากลมตัน $J = d^4 / \pi$ ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดเป็นองศาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584 T L}{G d^4} \quad (2.70)$$

ถ้าเป็นเพลาทรงแท่ง

$$\theta = \frac{584 T L}{(1 - K^4) G d^4} \quad (2.71)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งแรงตามลักษณะการใช้งานแล้วก็ควรที่จะใช้สมการ ตรวจสอบมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

2.4.5 การออกแบบเพลาภายใต้แรงเปลี่ยนแปลง

การออกแบบสำหรับความล้าที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อนคือ

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\tau_{eq}}{\tau_n} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{eq}}{\sigma_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า σ_{cq} และ τ_{cq} จากค่าจำกัดความเค้มลงในสมการข้างบนนี้ จะได้ว่า

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_y} + K_r \frac{\sigma_a}{\sigma_n} \right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{\tau_y} + K_{rs} \frac{\tau_a}{\tau_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.73)$$

ในกรณีที่ใช้ทฤษฎีความเค้มเนื้อสูงที่สุด $T = \tau_y / N = \sigma_y / 2N$

ฉะนั้นคูณด้วย τ_y ในสมการจะได้สมการสำหรับการออกแบบอีกรูปหนึ่งคือ

$$\tau = \left[\frac{1}{4} \left(\sigma_m + K_r \frac{\sigma_y \sigma_a}{\sigma_n} \right)^2 + \left(\tau_m + K_{rs} \frac{\tau_y \tau_a}{\tau_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.74)$$

ถ้าไม่มีแรงดึงหรือกด F กระทำต่อเพลากลาง จากสมการ (2.72) และสมการ (2.73) จะได้

$$\sigma_m = \frac{32M_m}{\pi d^3 (1 - K^4)} \quad (2.75)$$

$$\sigma_a = \frac{32M_a}{\pi d^3 (1 - K^4)} \quad (2.76)$$

$$\tau_m = \frac{16T_m}{\pi d^3 (1 - K^4)} \quad (2.77)$$

$$\tau_a = \frac{16T_a}{\pi d^3 (1 - K^4)} \quad (2.78)$$

แทนค่าสมการที่ 2.75 และ 2.76 ลงในสมการ แล้วจัดรูปใหม่ได้

$$\tau = \left[\left(M_m + K_r \frac{\sigma_y}{\sigma_n} M_a \right)^2 + \left(T_m + K_{rs} \frac{\tau_y}{\tau_n} T_a \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.79)$$

แทนค่าสมการ (2.78) นี้ก็เป็นสมการสำหรับใช้ออกแบบเพลากลางได้แรงเปลี่ยนแปลงในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยอาศัยทฤษฎีความเค้มเนื้อสูงที่สุด

ถ้าหากว่ามีความต้องการใช้ทฤษฎีความเค้มเนื้อออกตะฮีดรัล ซึ่ง

$$\tau = \frac{\tau_y}{N} = \frac{0.577\sigma_r}{N} = \frac{\sigma_y}{N\sqrt{3}} \quad (2.80)$$

ก็สามารถที่หารูปสมการทำนองเดียวกันกับสมการ โดยเริ่มแทนค่าในสมการ แล้วรวมพจน์ในทำนองเดียวกัน ซึ่งจะได้ว่า

$$\tau = \frac{16}{\pi d^3 (1 - K^4)} \frac{1}{3} \left[4 \left(M_m + K_r \frac{\sigma_y}{\sigma_n} M_a \right)^2 + \left(T_m + K_{rs} \frac{\tau_y}{\tau_n} T_a \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.81)$$

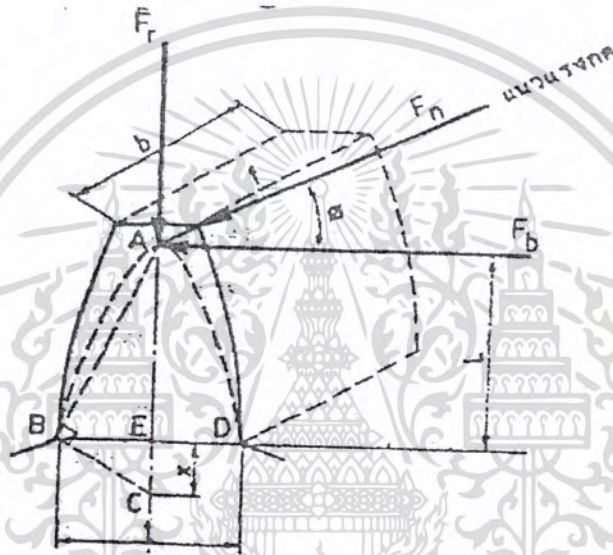
ซึ่งเป็นสมการที่สามารถใช้ออกแบบได้ อย่างไรก็ตามการที่จะถือทฤษฎีความเค้มเนื้อสูงที่สุด หรือทฤษฎีความเค้มเนื้อออกตะฮีดรัล เป็นหลักในการออกแบบ ก็อาจจะใช้สมการ เพียงสมการเดียวได้ โดยที่จะต้องเลือกใช้ค่า และให้ถูกต้องกับทฤษฎีเท่านั้น

ลู่อิสได้หาสมการสำหรับการคำนวณขนาดของเฟือง โดยสมมติให้ฟันเฟืองมีลักษณะเป็นคานยื่น (Cantilever beam) และรับแรงดั่งรูป 2-29 ถ้าคิดให้แรงกระทำที่ปลายฟัน แรงฟัน F_n จะตั้งฉากกับผิวของฟันไปตามแนวแรงกด ซึ่งสามารถแยกออกเป็นสองแรงตั้งฉากกันคือ F_b และ F_r สมมติให้แรงนี้กระจายออกไปสม่ำเสมอตลอดความหนาของฟัน b และให้คำนวณหาความแข็งแรงของฟัน โดยที่ไม่คิดแรงกดในแนวรัศมี F_r จากสมการความเค้นในคาน

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{(F_b L)(t/2)}{bt^3/12} = \frac{6F_b L}{bt^2}$$

หรือ

$$F_b = \frac{\sigma bt^2}{6L} \quad (2.86)$$



รูปที่ 2-30 ตัวประกอบเรขาคณิตที่ใช้หาตัวประกอบรูปแบบของลู่อิส

ในการออกแบบคานที่ดี ความเค้นความจะเท่ากันตลอดทุกหน้าตัดของคาน ถ้าให้ฟันในรูป 2-30 มีความเค้นคงที่ ($\sigma =$ ค่าคงที่) และเนื่องจากความหนาของเฟือง b เท่ากันตลอด ดังนั้นสมการ (2.86) จะเขียนได้เป็น

$$L = (\text{ค่าคงที่}) (t^2) \quad (2.87)$$

จากสมการ (2.87) จะเห็นได้ว่าฟันเฟืองจะต้องมีรูปร่างเป็นพาราโบลา ดังเส้นประในรูป 2-30 แต่ในเฟืองอินโวลูตเนื้อโลหะจะเพิ่มขึ้นจากพาราโบลาดังในรูป ดังนั้นฟันเฟืองที่ใช้งานอยู่จริง ความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้นที่หน้าตัด BDE

จากสามเหลี่ยมคล้าย ABE และ BCE จะได้ว่า

$$\frac{x}{t/2} = \frac{t/2}{L} \quad \text{หรือ} \quad L = \frac{t^2}{4x}$$

เมื่อแทนค่า L นี้ลงในสมการ (5.5) จะได้ว่า

$$F_b = \sigma b \left[\frac{2x}{3p} \right] p$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ p เป็นเชอควิวค่าพิชชั ละค่า $\left[\frac{2x}{3p}\right]$ เรียก ตัวประกอบรูปแบบของลูอิส (Lewis form factor) ใช้แทนด้วย y จึงทำให้เขียนสมการได้เป็น

$$F_b = \sigma b y p \quad (2.88)$$

เนื่องจากเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษใช้บอกด้วยโคเอมิทริลพิชชั P_d ซึ่ง $P = \frac{\pi}{p}$ ดังนั้นสมการ (2.88) จึงเขียนได้เป็น

$$F_b = \frac{\sigma b Y}{P} \quad (2.89)$$

โดยที่ $Y = \pi y$ เป็นตัวประกอบรูปแบบของลูอิสเช่นกัน สำหรับในระบบหน่วยเอสไอ ใช้บอกขนาดของเฟืองด้วยโมดูล ดังนั้น

$$F = \sigma_b Y_m \quad (2.90)$$

ค่า y และ Y นี้สามารถหาได้โดยการคำนวณรูปร่างของฟันเฟืองและหาค่าได้จากตาราง 9

เนื่องจากแรงที่กระทำกับฟันเฟืองเป็นแบบกระทำซ้ำกัน และมีความถี่ตามความเร็วของเฟือง ดังนั้น เฟืองจึงแตกร้าโดยผลจากความล้า (Fatigue) เสียส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นค่าความเค้นใช้งาน σ ในสมการ (2.88), (2.89) และ (2.90) จึงต้องเป็นความต้านแรงทนทาน (endurance strength) ดังตาราง 10 ซึ่งแสดงค่าความเค้นใช้งานสำหรับวัสดุชนิดต่างๆที่ใช้ทำเฟือง

ในทางปฏิบัติมักจะออกแบบเฟืองให้มีอัตราขยายอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.6 ดังนั้นในขณะที่แรงที่กระทำอยู่ที่ปลายฟันเฟืองหนึ่งฟันคู่ถัดไปก็ยังมีสัมผัสกันอยู่ ฉะนั้นแรงทั้งหมดจึงมิได้กระทำที่ปลายฟัน เพราะมีฟันคู่อื่นช่วยรับแรงอยู่ ในขณะที่เฟืองหมุนไปแรงที่ปลายฟันจะค่อยๆ เคลื่อนลงมาจนเกือบถึงปลายฟันฟันอีกคู่หนึ่งจะผละออกจากกัน ด้วยเหตุนี้เองแรงทั้งหมดจึงกระทำต่อฟันเฟืองใกล้กับกลางฟัน (ยกเว้นในกรณีที่ $m_c \leq 1$) จากการทำงานของฟันเฟืองดังที่กล่าวมานี้ทำให้ไม่สามารถที่จะตัดสินลงไปได้ว่า เมื่อใดค่าความเค้นในเฟืองมากที่สุด สำหรับการออกแบบเฟืองเพื่อใช้งานทั่วไปแล้ว มักสมมติให้แรงทั้งหมดกระทำที่ปลายฟัน ส่วนชิ้นงานที่ต้องคำนึงถึงขนาด และน้ำหนักเป็นสำคัญแล้วมักจะใช้การคำนวณโดยคิดให้แรงกระทำใกล้กับกลางฟันเฟือง

ตามทฤษฎีการคำนวณหาขนาดฟันเฟืองดังกล่าวมาแล้ว ได้ตัดทิ้งแรง F_r ในรูป 2-30 ที่กดฟันอยู่แรงที่กดฟันอยู่ แรงนี้จะทำให้เกิดอัดในฟัน จะเป็นผลให้ความเค้นในด้านหนึ่งของฟันลดลงและความเค้นอัดในอีกด้านหนึ่งของฟันเพิ่มความเค้นอัดเพิ่มขึ้นในฟัน ซึ่งเมื่อรวมกับความเค้นเนื่องจากแรง F_b แล้วแรง F_r ทำให้ความเค้นดึงและความเค้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุส่วนมากที่ใช้ทำเฟืองสามารถรับแรงอัดได้มากกว่าแรงดึง ฉะนั้นแรง F_r ที่ตัดทิ้งไปนี้ ดังนั้นการลดความเค้นดึงในด้านนี้จึงทำให้ฟันเฟืองแข็งแรงขึ้นอีก

ในการคำนวณหาแรง ช่วยให้เฟืองสามารถรับแรงได้สูงขึ้นอีก อีกประการหนึ่งก็คือ ความล้าที่เกิดขึ้นมักจะเกิดในฟันด้านที่รับแรงดึง F_b ที่ฟันเฟืองสามารถรับได้โดยใช้สมการ (2.88), (2.89) และ (2.90) นั้นได้สังเกตดังต่อไปนี้ สำหรับเฟืองที่มาขบกันคู่หนึ่งจะมีค่าความหนา b และโมดูลหรือพิชชัเท่ากัน ดังนั้นเฟืองอันที่รับแรงน้อยกว่าคืออันที่มีค่า σ_y น้อยกว่า ถ้าพิจารณาและเฟืองทำด้วยวัสดุเดียวกันแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 9 จะเห็นได้ว่าค่า Y ของพีนี้นจะน้อยกว่าของเฟือง (เฟืองมีจำนวนฟันมากกว่า) ดังนั้นพีนี้นจะรับแรงได้น้อยกว่าเฟือง เมื่อเป็นเช่นนี้ในการคำนวณหาขนาดของฟันจึงต้องคำนวณที่พีนี้น

2.5.3 ความเค้นหนาแน่น

ตัวประกอบที่สำคัญอีกค่าหนึ่ง ที่มีผลต่อความแข็งแรงของฟันเฟืองมาก และมีได้รวมอยู่ในสมการของลูอิสคือค่าความเค้นหนาแน่น (Stress concentration) ที่โคนฟันเฟืองซึ่งเป็นบริเวณที่เชื่อมต่อกันระหว่างอิน โวลูตเคอฟ และวงกลมดีเดนดรัม และจะมีฟิลเลต (fillet) รัศมี r การหาค่าตัวประกอบความหนาแน่นทางทฤษฎี K_f (theoretical stress) สำหรับฟันเฟืองเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมากจึงมีเพียงผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้วัสดุยืดหยุ่น โปร่งแสง (photo elasticity material) ของ Dolan และ Broghamer ซึ่งได้สมการออกมาลักษณะดังนี้คือ

$$K_f = 0.222 + \left[\frac{t}{r} \right]^{0.2} \left[\frac{t}{L} \right]^{0.4} \quad \text{สำหรับ } \phi = 14.5^\circ \quad (2.91)$$

$$K_f = 0.18 + \left[\frac{t}{r} \right]^{0.15} \left[\frac{t}{L} \right]^{0.45} \quad \text{สำหรับ } \phi = 20^\circ \quad (2.92)$$

$$K_f = 0.14 + \left[\frac{t}{r} \right]^{0.11} \left[\frac{t}{L} \right]^{0.5} \quad \text{สำหรับ } \phi = 25^\circ \quad (2.93)$$

โดย t เป็นความหนาของฟันเฟือง และ L เป็นระยะห่างของแรง F_b กับหน้าตัด BED ดังรูป 2-39

ในทางปฏิบัติค่า L , t และ r เป็นค่าที่ไม่สามารถจะทราบได้ล่วงหน้าก่อนที่จะออกแบบฟันเฟือง นอกจากนี้ยังมีตัวประกอบอย่างอื่นอีก เช่น ความเรียบของผิวหน้า และตัวประกอบความไวของรอยเจาะ q (notch sensitivity factor) มาเกี่ยวข้องในการหาค่าความเค้นหนาแน่นอีกด้วย ดังนั้นในการคำนวณเกี่ยวกับฟันเฟืองจึงให้ใช้ค่าประมาณดังนี้ คือ

$$1.2 \leq K_f \leq 1.7 \quad \text{เมื่อให้แรงกระทำที่ปลายฟัน}$$

$$1.4 \leq K_f \leq 2.0 \quad \text{เมื่อให้แรงกระทำใกล้กลางฟัน}$$

โดย K_f เป็นตัวประกอบความหนาแน่นจริง (Actual stress concentration factor) ดังนั้นสมการ (2.88), (2.89) และ (2.90) จึงเขียนได้เป็น

$$F_b = \frac{\sigma b y p}{K_f} \quad (2.94)$$

$$F_b = \frac{\sigma b y}{K_f p} \quad (2.95)$$

$$F_b = \frac{\sigma b Y m}{K_f} \quad (2.96)$$

ค่าพิตซ์หรือ โมดูลที่ใช้ในการออกแบบให้ใช้ตามมาตรฐาน

สำหรับการออกแบบเฟืองทั่วไปอาจสมมุติให้ความหนาของฟันเฟืองมีค่าดังต่อไปนี้

$$\frac{8}{p} < b < \frac{12.5}{p} \quad \text{หรือ} \quad 8m < b < 12.5m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เนื้อที่ในการติดตั้งเฟืองมีน้อย ก็อาจจะออกแบบให้ความหนาเฟืองน้อยกว่าค่าที่แนะนำเอาไว้ก็ได้ ถ้าความหนาของเฟืองน้อยเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาในการตั้งศูนย์ (Alignment) เฟืองที่ขบกัน แต่ถ้าความหนาเฟืองมากเกินไปอาจทำให้เฟืองบิด อันเนื่องมาจากการกระจายแรงไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาฟันเฟือง

2.5.4 แรงพลวัต

จากที่ผ่านมานี้เป็นการคำนวณหาขนาดของฟันเฟืองโดยคิดให้แรง F_t อยู่หนึ่ง ล้วนซึ่งความรู้ทางด้านกลศาสตร์วัสดุหาสมการสำหรับแรงที่ฟันเฟืองควรจะได้รับเอาไว้ได้ ในทางด้านปฏิบัติเฟืองจะหมุนอยู่ในขณะใช้งานและ แรงที่ส่งผ่านมายังฟันเฟืองจะคำนวณได้จากสมการ

$$F_t = \frac{W_p}{V} \quad (2.97)$$

โดยที่ F_t = แรงเป็น N

W_p = กำลังงานที่ส่งผ่านเป็น W

V = ความเร็วพิตช์ (pitch line speed) เป็น $\frac{m}{s}$

หรือในระบบหน่วยอังกฤษ จะคำนวณหาแรงได้จากสมการ

$$F_t = \frac{33,000Chp}{V} \quad (2.98)$$

โดยที่ F_t = แรงเป็น N

V = ความเร็วพิตช์ เป็น $\frac{ft}{min}$

ตามปกติแล้วแรงที่ส่งผ่านจะมีค่ามากกว่าแรงที่หาได้จากสมการ (2.97) หรือ (2.98) ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากตัวประกอบต่างๆ เช่น ความผิดพลาดในการจัดรูปร่างของฟันเฟือง ค่าเบี่ยงเบนทำให้เกิดการกระแทกขึ้น เป็นต้น จากการทดลองพบว่า แรงที่ส่งผ่านมาที่แท้จริงขึ้นอยู่กับความเร็วพิตช์เรียกว่า K_v (Velocity factor) ดังนั้นแรงที่กระทำต่อฟันเฟืองในขณะที่ใช้งานได้ควรจะเป็น

$$F_d = K_v F_t \quad (2.99)$$

ค่า F_d นี้เรียกว่าแรงพลวัต (Dynamic load) ส่วน K_v สำหรับหน่วยเอสไอจะหาได้จากสมการ

$$K_v = \frac{3+V}{3} \quad \text{สำหรับเฟืองทั่วไป } V \leq 10 \frac{m}{s} \quad (2.100)$$

$$K_v = \frac{6+V}{6} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดี } 5 < V < 20 \frac{m}{s} \quad (2.101)$$

$$K_v = \frac{5.56 + \sqrt{V}}{5.56} \quad \text{สำหรับเฟืองตัดอย่างดีมาก } V \geq 20 \frac{m}{s} \quad (2.102)$$

ค่า K_v สำหรับหน่วยอังกฤษจะหาได้จากสมการ

$$K_v = \frac{600+V}{600} \quad \text{สำหรับเฟืองทั่วไป } V \leq 2000 \frac{ft}{min} \quad (2.103)$$

$$K_v = \frac{1200+V}{1200} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดี } 1000 < V < 4000 \frac{ft}{min} \quad (2.104)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_v = \frac{78 + \sqrt{V}}{78} \quad \text{สำหรับเฟืองตัดอย่างตีมาก } V \geq 4000 \frac{ft}{\text{min}} \quad (2.105)$$

ในการคำนวณหาขนาดของฟันเฟือง ผู้ออกแบบจะต้องตรวจสอบว่าแรงพลวัตนี้มากกว่าแรงที่ฟันเฟืองจะรับได้หรือไม่ และให้ถือว่าฟันเฟืองแข็งแรงพอเมื่อ $F_b \geq F_d$ โดยที่สมมติว่าแรง F_b กระทำที่ปลายฟัน การที่จะทำให้ F_b มากกว่า F_d เท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดแรงที่มากกระทำนั้นคือ

$$\frac{F_b}{F_d} = N_s \quad (2.106)$$

โดยที่ N_s เรียกว่าตัวประกอบใช้งาน (Service factor) และให้ใช้ค่าโดยประมาณ ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 3

ชนิดของแรง	N_s	ตัวอย่าง
แรงเรียบสม่ำเสมอ	1.00 - 1.25	พัดลมไฟฟ้า
แรงกระแทกเล็กน้อย	1.25 - 1.50	เครื่องเจ้าน้ำบาดาล, เครื่องมือลม
แรงกระแทกอย่างหนัก	1.50 - 2.00	เครื่องบดหิน

ตารางที่ 2-6 ตัวประกอบใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

3.1 การหาขนาดของสกรูและเพลลา

Elix Angle and Resulting Number of Pitch per Diameter

ϕ°	Pitch	Pitch per diameter
17.76	1.00D	1.00
15	0.84D	1.18
10	0.55D	1.80
8	0.44D	2.26
6	0.33D	3.00
5	0.27D	3.60

*นำมาจากหนังสือ Twin screw extruders a basic understanding (บรรณานุกรม [1])

ตารางที่ 3-1 ตารางหาค่า Pitch จากมุมเอียง

3.1.1 การออกแบบ Screw

การสร้างเครื่องทดลองนี้เราได้กำหนดให้ใช้ขนาดของ Screw 50 mm มุมเอียง 13 องศา จากตารางจะได้ระยะพิตช์

$$P = 0.6D \quad (3.1)$$

$$P = 0.6 (50)$$

$$P = 30 \text{ mm}$$

กำหนดให้ระยะห่างของเพลลาขนาด $i = 40 \text{ mm}$

$$i = \frac{D}{2} + \frac{d}{2} \quad (3.2)$$

แทนค่าจะได้

$$40 = \frac{50}{2} + \frac{d}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

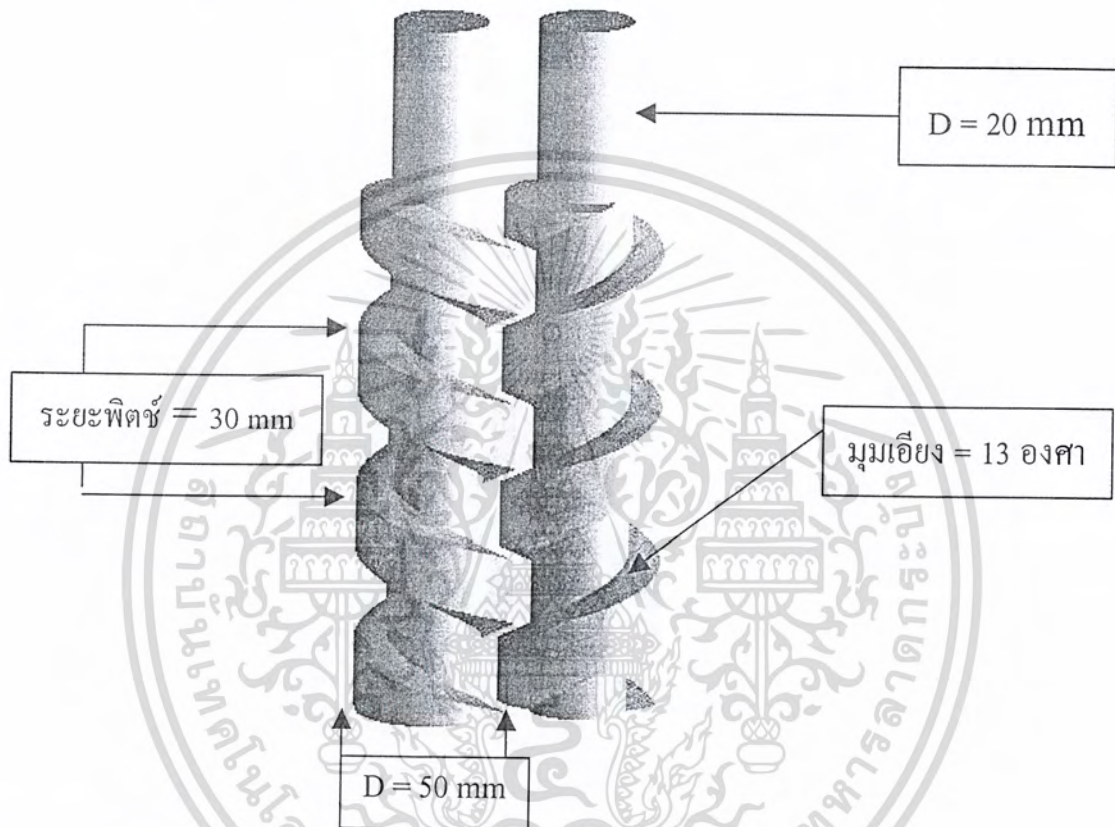
$$d = 30 \text{ mm}$$

เพราะฉะนั้นจึงได้ Screw ขนาด 50 mm

ระยะพิตช์ 30 mm

มุมเอียง 13 องศา

เพลขนาด 30 mm



3.1.2 การหาค่าตั้งขั้ว

จากการทดลองโดยใช้สูตร $\rho = \frac{m}{v}$ จะได้ค่าเฉลี่ยของฝักหลายชนิด สมมุติให้วัสดุที่นำมาบดมีความหนาแน่น คือ

$$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$$

วัสดุมีความคม และมีคุณสมบัติการไหลไม่ดี มีค่าแฟกเตอร์เต็มรางจากรูปที่ 2-13

$$K = 0.18$$

และเนื่องจากตัวสกรูเป็นใบสกรูระยะพิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{2}{3}D \quad (3.3)$$

เพราะฉะนั้นจากตารางที่ 2-1

$$CF_1 = 1.5$$

และจากรูปที่ 2-15 และ 2-16 จะได้

$$CF_2 = CF_3 = 1$$

ใช้ความเร็วรอบ

$$N = 50 \text{ rpm}$$

แทนลงในสมการ

$$m_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4 CF_1 CF_2 CF_3} \quad (3.4)$$

p = ระยะพิทช์สกรู

N = ความเร็วรอบของสกรูขนถ้ายวัสดุ

ρ_b = ความหนาแน่นของวัสดุ

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาสกรู

$$m_s = \frac{2500 \pi (0.005^2 - 0.022^2) \times 0.18 \times 0.03 \times 50}{4 \times 1.5}$$

$$m_s = 0.712 \text{ kg/min}$$

$$m_s = 0.011 \text{ kg/s}$$

ค่ากำลังขับสำหรับสัมพันธ์กับความเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ

$$P_f = 75.7LND^{1.7} \quad (3.5)$$

P_f = กำลังขับสำหรับเอาชนะความเสียดทาน (watt)

L = ความยาวสกรูขนถ่ายวัสดุ (M)

N = ความเร็วรอบของเพลาสกรู (Hz)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู (M)

$$P_f = 75.7 \times 0.3 \times \frac{50}{60} \times 0.05^{1.7}$$

$$P_f = 0.1162 \text{ watt}$$

ค่ากำลังขับสำหรับขนถ่ายวัสดุ จากตารางที่ 2-2, 2-3 และ 2-4 ตามลำดับจะได้

$$F_r = 1$$

$$F_m = 10$$

$$F_p = 1$$

แทนค่าในสมการ

$$P_m = F_r F_p F_m m_2 g l$$

(3.6)

P_m = กำลังขับที่ใช้ขนถ่ายวัสดุ (watt)

F_r = แฟกเตอร์ใบสกรู (ตารางที่ 3)

F_p = แฟกเตอร์ใบพัด (ตารางที่ 4)

F_m = แฟกเตอร์วัสดุ (ตารางที่ 5)

m_2 = อัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล

l = ระยะทางขนถ่ายวัสดุ (m)

g = อัตราความเร่งของโลก

$$P_m = 1 \times 1 \times 10 \times 0.011 \times 9.81 \times 0.3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_m = 0.674 \text{ watt}$$

เนื่องจากรูปที่ 2-17 แฟกเตอร์กำลังขับ F_o ค่า

$$P_m + P_f = 0.7902 \text{ watt}$$

จึงประมาณค่า

$$F_o = 50$$

กำหนดให้ประสิทธิภาพรวม = ประสิทธิภาพแมริ่ง × ประสิทธิภาพเฟือง × ประสิทธิภาพเกียร์ทด ×

แรงเสียดทาน

$$= 0.3$$

กำลังรวมทั้งหมด
จากสมการ

$$P = \frac{(P_f + P_m) F_o}{\eta} \times 2$$

(3.7)

P = กำลังขับรวม (watt)

F_o = แฟกเตอร์กำลังขับ (รูปที่ 2-17) ค่า

η = ประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ

$$P = 2 \times (0.1162 + 0.674) \times 50 / 0.3$$

$$P = 263.4 \text{ watt}$$

$$P = 0.353 \text{ hp}$$

เพราะฉะนั้นจะต้องใช้กำลังขับรวมทั้งหมด = 263.4 watt

$$= 0.353 \text{ hp}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

4.1.1 เพื่อศึกษาการทำงานของ Twin Screw

4.1.2 เพื่อทำการหาปริมาณน้ำผักและผลไม้ที่ได้จากการคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้แบบ Twin screw

4.1.3 เพื่อทำการหาเวลาและปริมาณน้ำที่ได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ กันจากการคั้นน้ำผักและผลไม้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่แตกต่างกันในการคั้นน้ำ โดยใช้ปริมาณผักและผลไม้จำนวน 1 kg

4.1.4 เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำและเวลาที่ใช้ในการคั้นน้ำ จากการใช้น้ำผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ กัน

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 เครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้แบบ Twin Screw

4.2.2 นาฬิกาจับเวลา

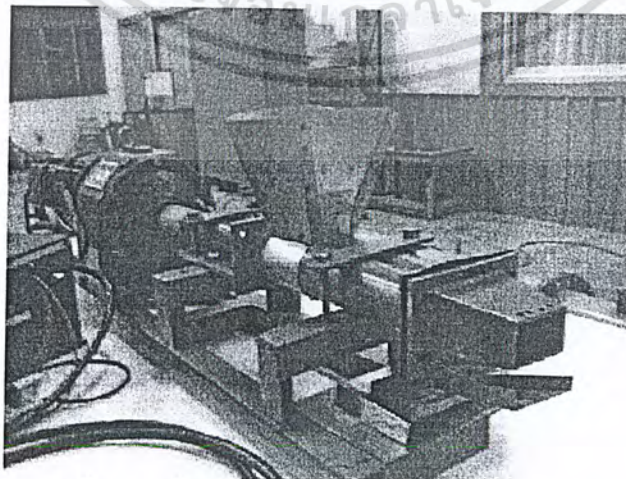
4.2.3 อินเวอร์เตอร์

4.2.4 บีกเกอร์ ขนาด 1000 cc

4.2.5 ผักและผลไม้

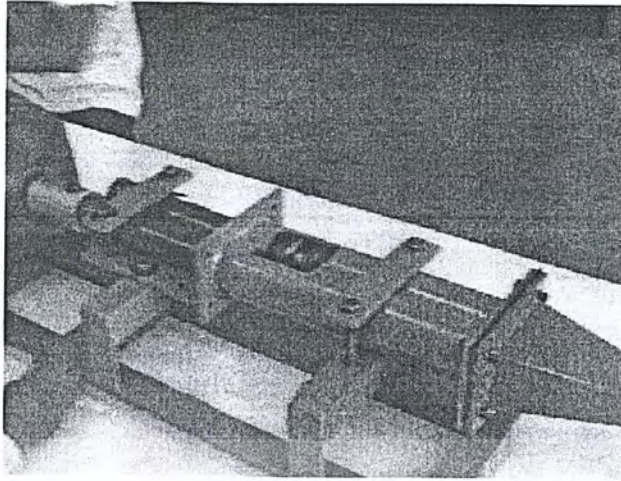
4.2.6 ตาชั่ง

4.3 รูปภาพเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้

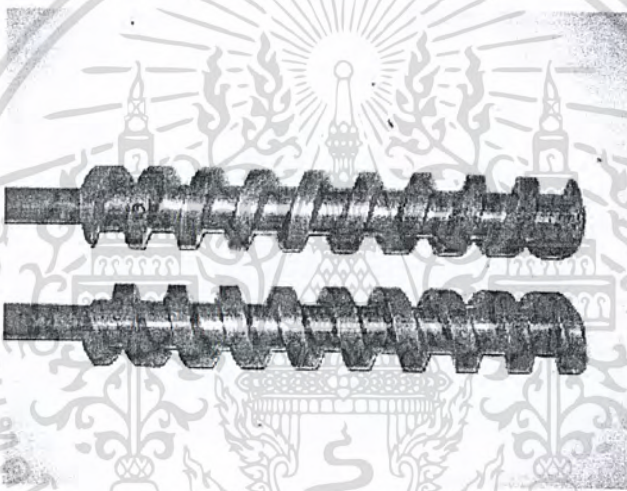


รูปที่ 4-1 เครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้แบบ Twin screw

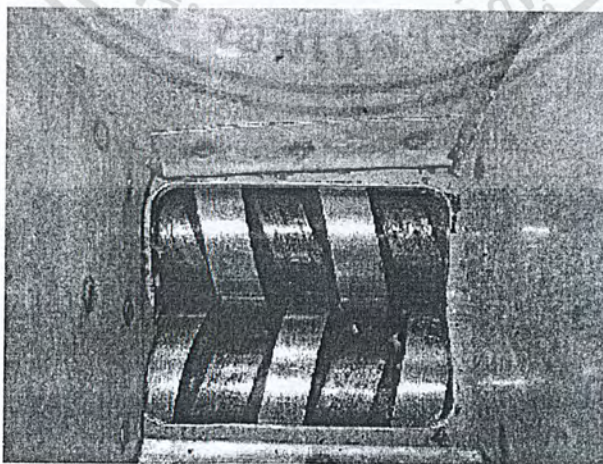
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 ลักษณะของเครื่องคั้นแบบ Twin screw

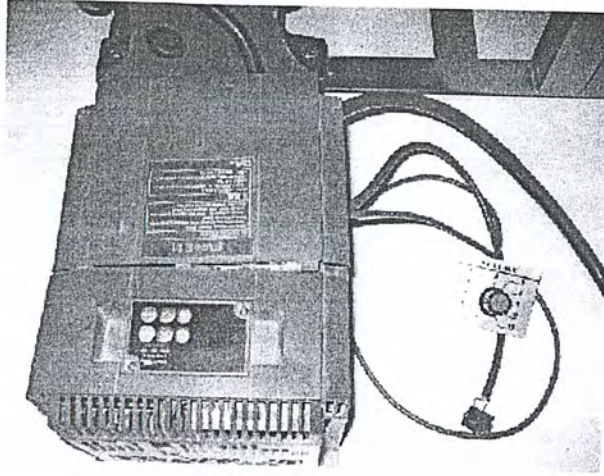


รูปที่ 4-3 สกรูเกลียวซ้ายและสกรูเกลียวขวา

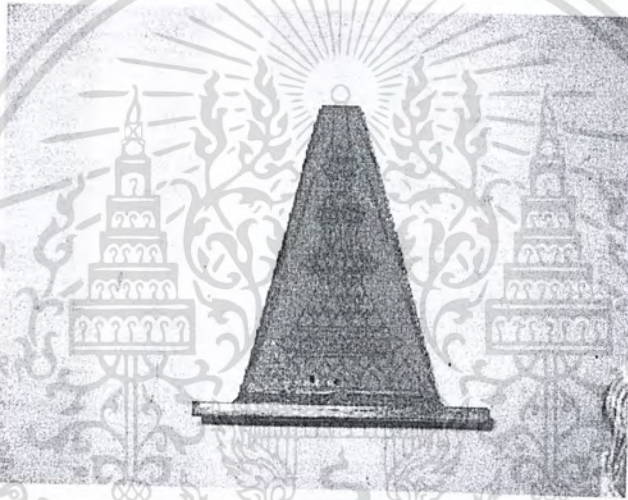


รูปที่ 4-4 ลักษณะทางเข้าของผัก

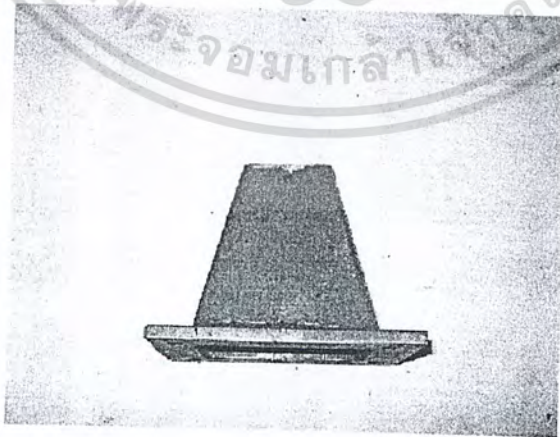
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 อินเวอร์เตอร์

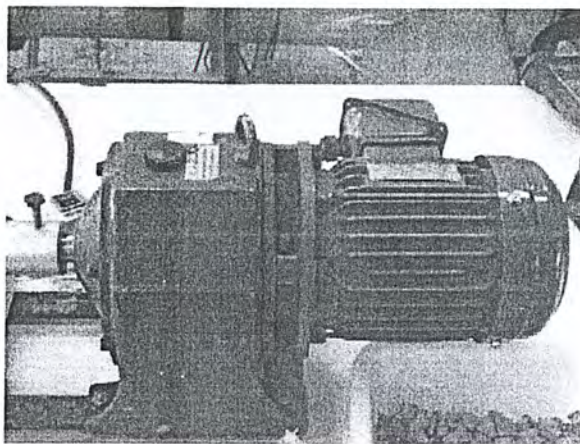


รูปที่ 4-6 ลักษณะทางออกของเนื้อผักและผลไม้แบบที่ 1

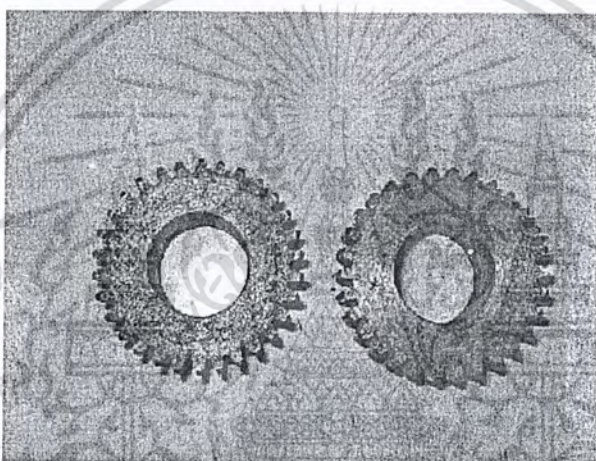


รูปที่ 4-7 ลักษณะทางออกของเนื้อผักและผลไม้แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 มอเตอร์



รูปที่ 4-9 เฟือง

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

- 4.4.1 เตรียมผักและผลไม้พร้อมกับทำการหั่นให้มีขนาดที่เหมาะสมจำนวน 1 kg ต่อชนิด
- 4.4.2 ทำการตรวจเช็คเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- 4.4.3 กดสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน โดยตั้งความเร็วรอบต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้
- 4.4.4 นำผักและผลไม้ที่ได้เตรียมไว้ใส่เข้าเครื่องคั้นในจำนวน 1 kg
- 4.4.5 จับเวลาที่ใช้ในการคั้นน้ำผักและผลไม้จำนวน 1 kg จนหมด
- 4.4.6 บันทึกเวลาและปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองลงในตาราง
- 4.4.7 ทำการปรับเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้น แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4.4.4-4.4.6 โดยใช้ผักและผลไม้ชนิดเดิม จนครบทุกความเร็วรอบที่ได้กำหนดไว้
- 4.4.8 ทำการเปลี่ยนชนิดของผักและผลไม้ โดยใช้ปริมาณ 1 kg เท่ากัน แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4.4.4-4.4.7 จนครบทุกชนิดผักและผลไม้ที่ได้กำหนดไว้

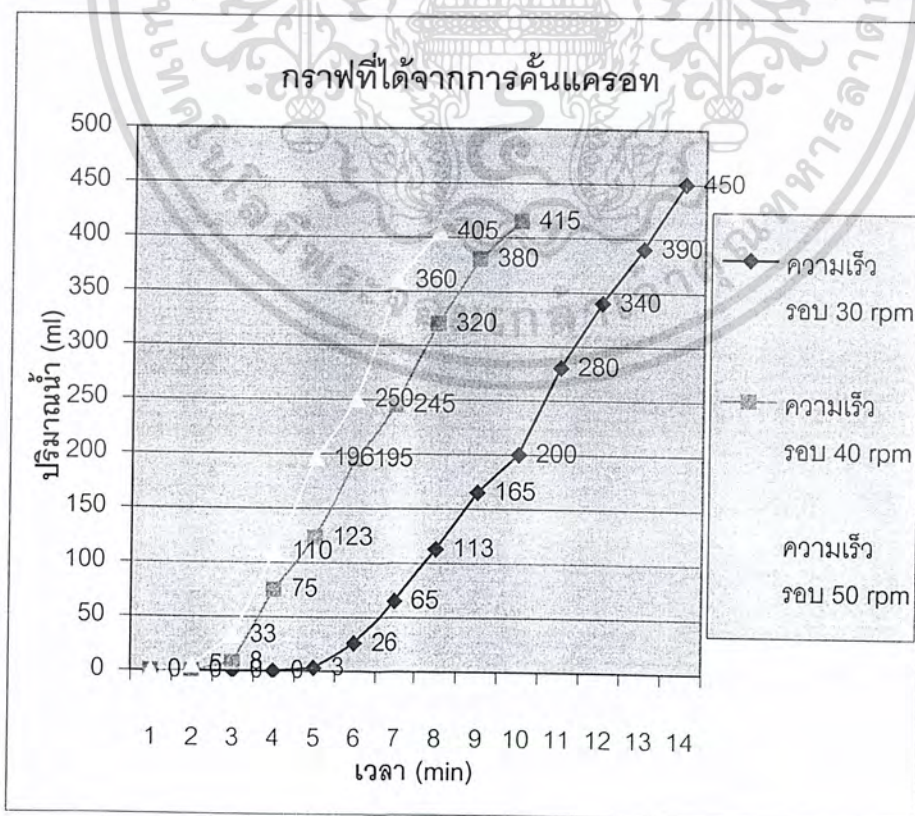
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตารางบันทึกผลการทดลอง

4.5.1 แครอทจำนวน 1 kg (มีปริมาณน้ำประมาณ 500-550 ml)

เวลา (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30 rpm (ml)	0	0	0	0	3	26	65	113	165	200	280	340	390	450
40 rpm (ml)	0	0	8	75	123	195	245	320	380	415				
50 rpm (ml)	0	5	33	110	196	250	360	405						

ตารางที่ 4-1 ตารางบันทึกผลของแครอท

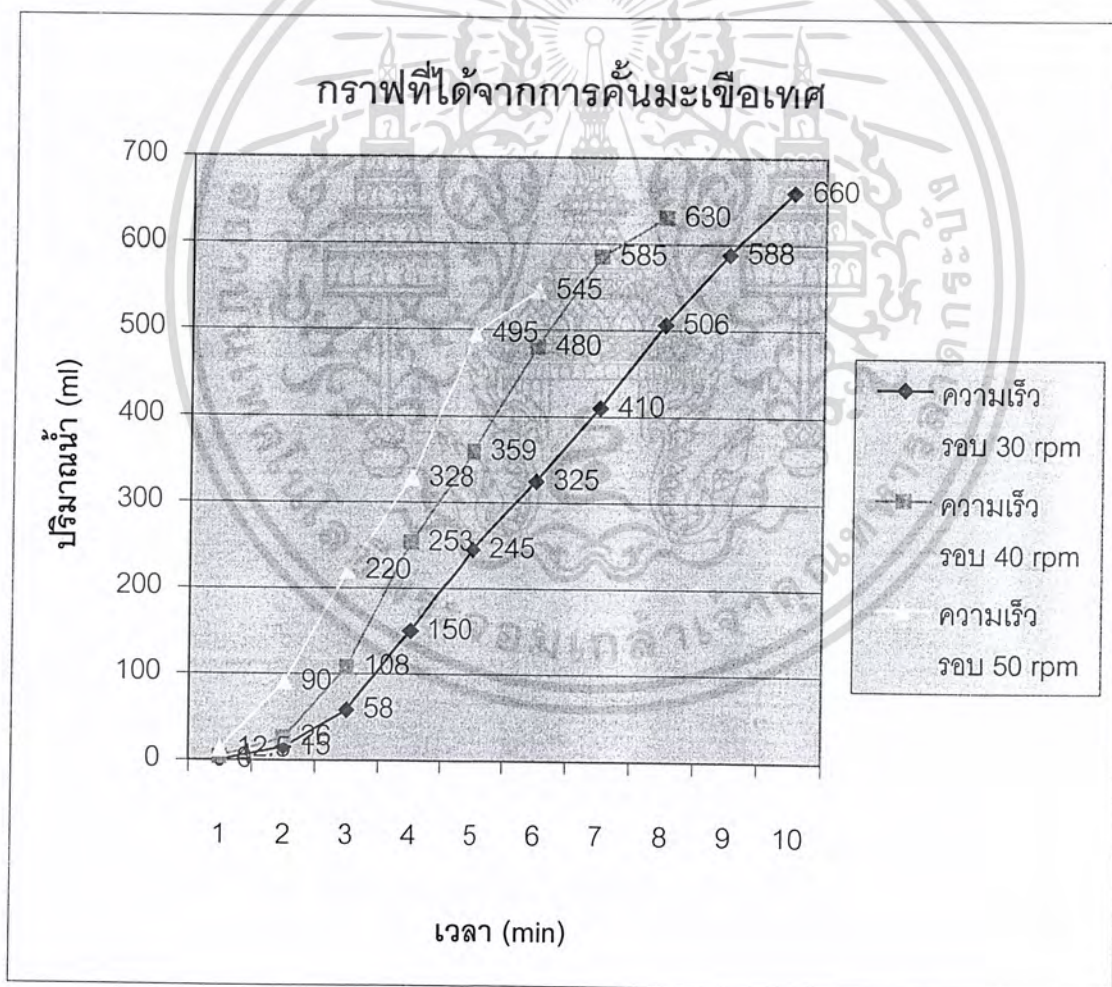


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 มะเขือเทศจำนวน 1 kg (มีปริมาณน้ำประมาณ 800-850 ml)

เวลา(min)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
30 rpm (ml)	0	15	58	150	245	325	410	506	588	660
40 rpm (ml)	4	26	108	253	359	480	585	630		
50 rpm (ml)	12.5	90	220	328	495	545	605			

ตารางที่ 4-2 ตารางบันทึกผลของมะเขือเทศ

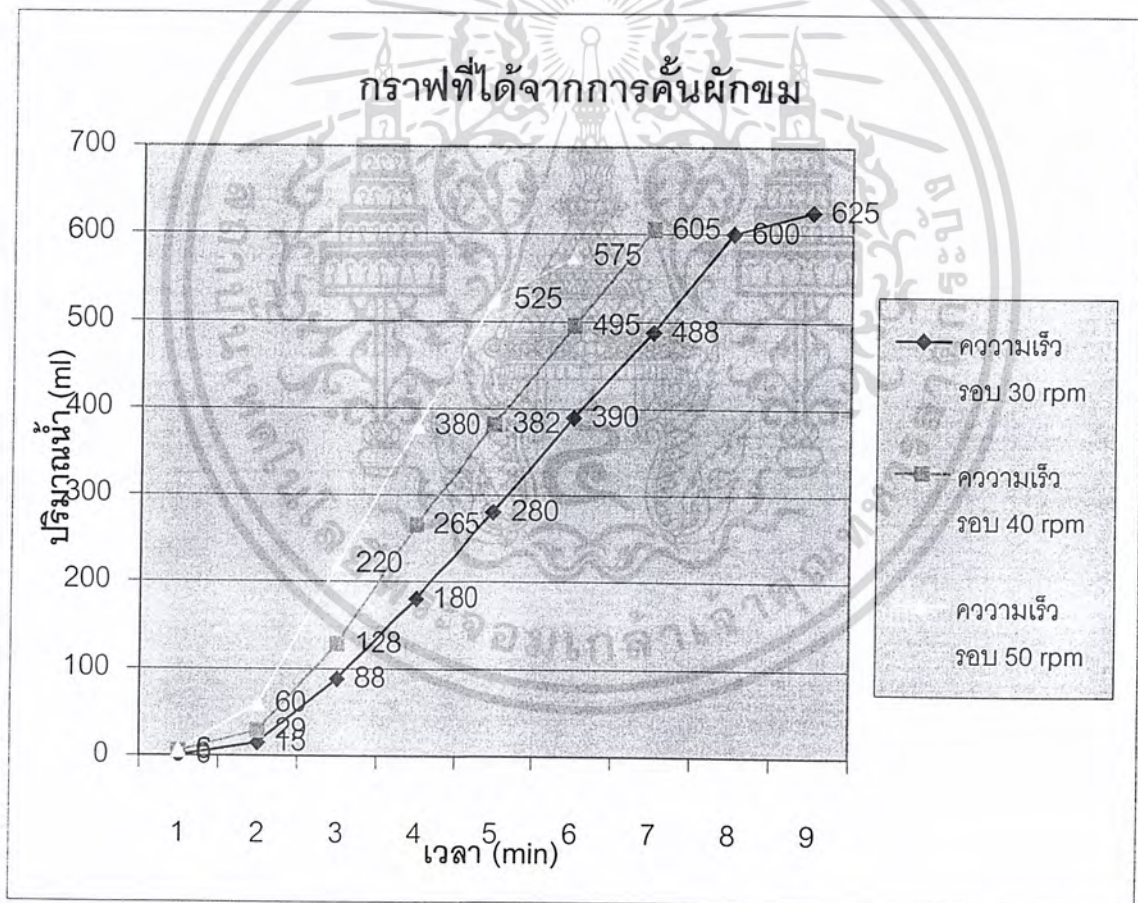


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผักขมจำนวน 1 kg (มีปริมาณน้ำประมาณ 650-700 ml)

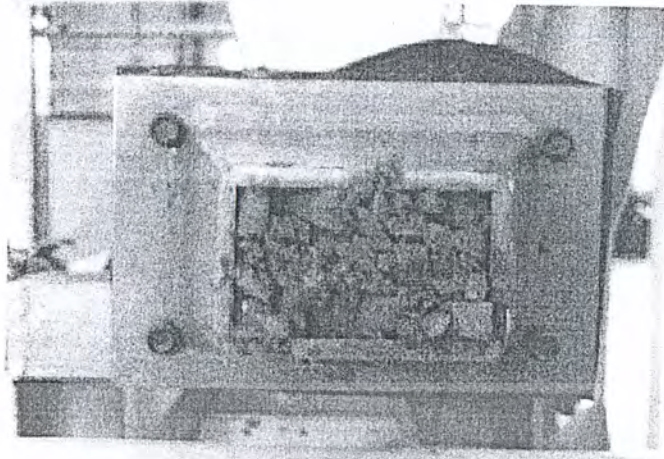
เวลา(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30 rpm (ml)	0	15	88	155	280	390	488	600	625
40 rpm (ml)	5	29	128	196	382	495	605		
50 rpm (ml)	6	60	220	380	525	575			

ตารางที่ 4-3 ตารางบันทึกผลของผักขม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 รูปภาพผลการทดลอง



รูปที่ 4-10 ลักษณะแครงที่ออกจากเครื่อง

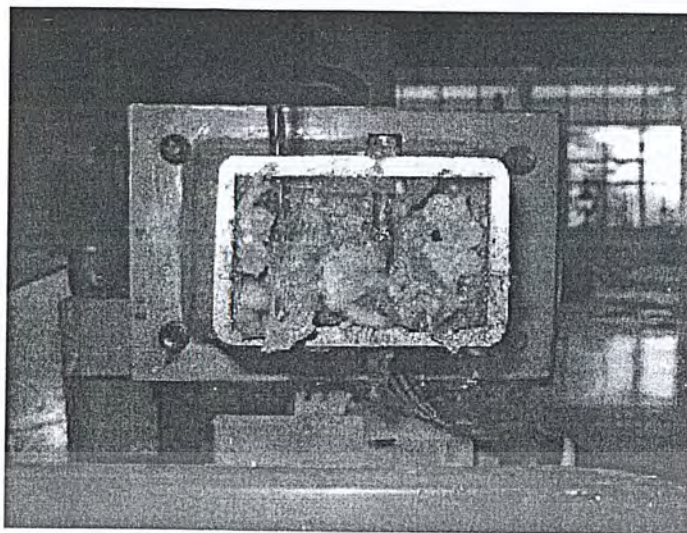


รูปที่ 4-11 ลักษณะน้ำแครงที่ได้จากการทดลอง

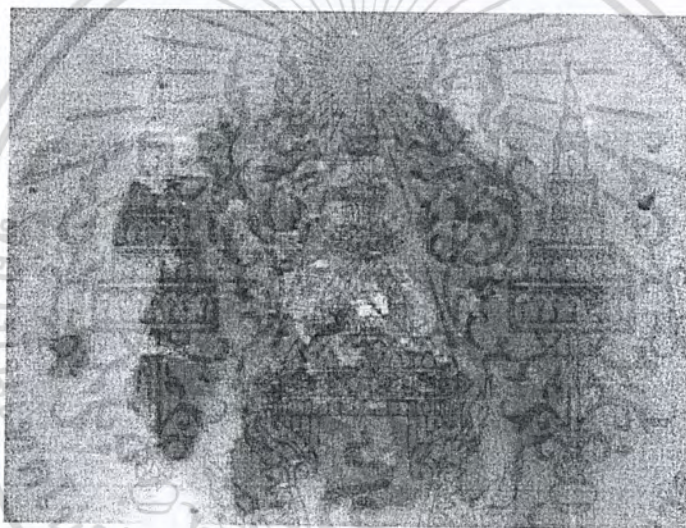


รูปที่ 4-12 ลักษณะกากแครงที่ขับออกเครื่อง

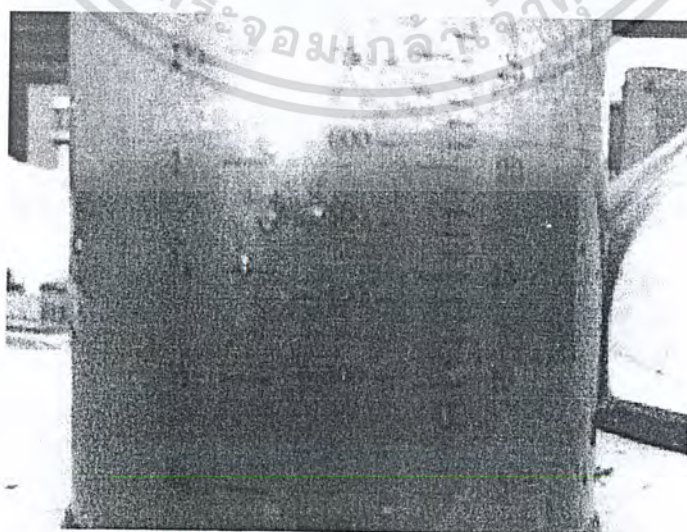
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-13 ลักษณะมะเขือเทศที่ออกจากเครื่อง

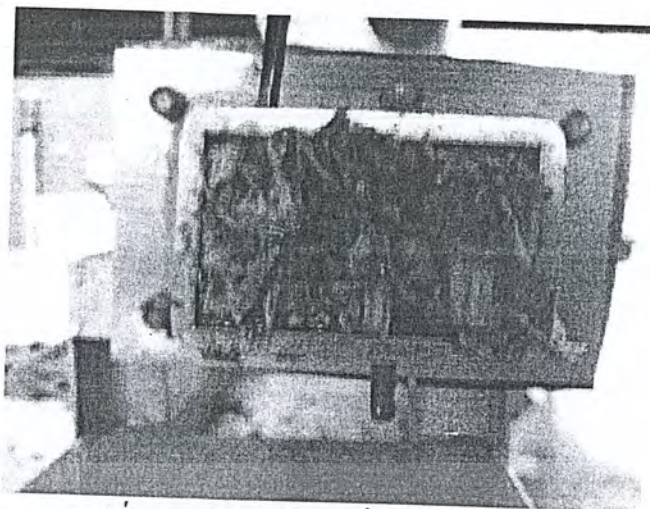


รูปที่ 4-14 ลักษณะกากมะเขือเทศที่ขับออกเครื่อง



รูปที่ 4-15 ลักษณะน้ำมะเขือเทศที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-16 ลักษณะผ้าขมที่ออกจากเครื่องคั้น

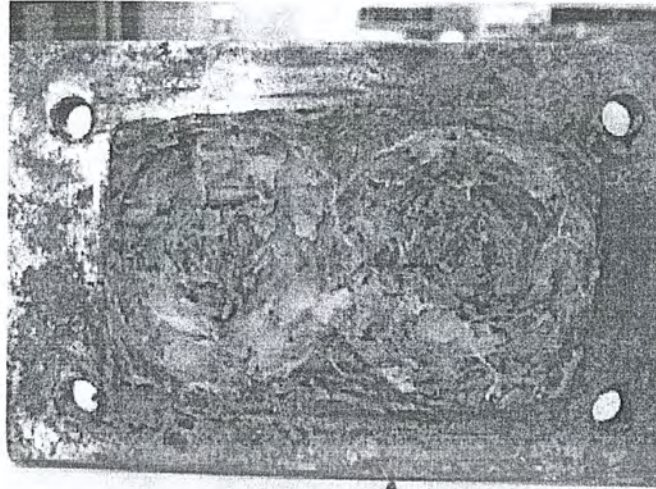


รูปที่ 4-17 ลักษณะน้ำผ้าขมที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4-18 ลักษณะกากผ้าขมที่ขับออกจากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-19 ลักษณะการอัดตัวของผักขมที่ทางออก

4.7 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องคั้นน้ำผักและผลไม้

การหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่ได้จากการคั้นต่อปริมาณน้ำทั้งหมดในเนื้อผักและผลไม้ หาได้จากสมการ 4.1

ประสิทธิภาพเชิง ปริมาตร ความเร็วรอบ	แครอท	มะเขือเทศ	ผักขม
30 rpm	81.32%	81.32%	89.28%
40 rpm	75.4%	74.1%	86.42%
50 rpm	73.63%	70.9%	82.14%

ตารางที่ 4-4 ตารางประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

$$\eta_v = (\text{ปริมาณน้ำที่ได้จากการคั้น} / \text{ปริมาณน้ำทั้งหมดในเนื้อผักและผลไม้}) \times 100 \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป วิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการทดลองพบว่า ถ้าใช้ความเร็วรอบต่ำจะสามารถคั้นน้ำผักและผลไม้ออกมาได้ปริมาณมากกว่าความเร็วรอบสูงในปริมาณเนื้อผักที่เท่ากัน

5.1.2 ถ้าต้องการน้ำผักและผลไม้ที่เร็ว โดยไม่คำนึงถึงปริมาณเนื้อผักและผลไม้ที่ใช้ ก็ควรใช้ความเร็วรอบสูง

5.1.3 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรน้ำผลไม้ของความเร็วรอบต่ำจะสูงกว่าความเร็วรอบสูง

5.1.4 ระยะเวลาในการคั้นของความเร็วรอบสูงจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วรอบต่ำ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลองและปัญหาที่พบ

5.2.1 การทำงานนั้นยังต้องมีการปรับปรุงในเรื่องของเสียงดังที่เกิดขึ้น

5.2.2 จะมีกากผักและผลไม้ปนเป็นบางส่วนในน้ำที่คั้นได้

5.2.3 ผักและผลไม้ที่มีเนื้อนุ่มจะได้ปริมาณน้ำน้อยกว่าเบอร์เซาต์ที่ได้จริงค่อนข้างมาก

5.2.4 ส่วนทางออก (CRUSHING) ยังมีขนาดที่ไม่เหมาะสมกับผักและผลไม้ที่มีเนื้อนุ่ม ทำให้กากเคลื่อนออกเร็วเกินไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ถ้าต้องการปริมาณน้ำที่มากขึ้นจำเป็นต้องทำการขยายขนาดใหญ่ขึ้น

5.3.2 ทำการจัดหามอเตอร์ที่มีขนาดเล็กลงแต่มีกำลังที่เพียงพอ เพื่อลดน้ำหนักของเครื่องคั้นให้เบาจะได้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกยิ่งขึ้น

5.3.3 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องได้โดยการ เปลี่ยนแบริ่งจากแบบซูเปอร์ดีนมาเป็นแบบลูกปืนที่มีความเสียดทานน้อยกว่า

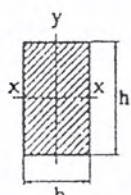
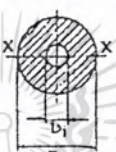
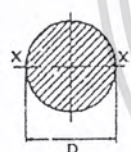
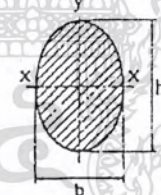
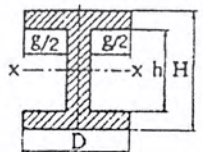
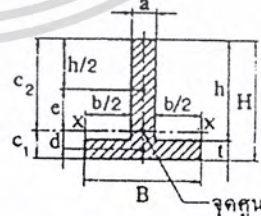
5.3.4 ควรจะทำการออกแบบทางออก (CRUSHING) ที่สามารถปรับขนาดทางออกของกากให้มีขนาดเล็กลงได้ หรือทำการออกแบบให้สามารถเปลี่ยน CRUSHING ได้ง่าย เพื่อจะได้คั้นผักและผลไม้เนื้อนุ่มได้ดียิ่งขึ้น

ภาคผนวก ก

สูตรสำเร็จของกานและหน้าตัด

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของหน้าตัด

- I_x คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x-x
- J คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วรอบแกนศูนย์กลาง
- $Z = I/c$ คือโมดูลัสหน้าตัดของรูปเหลี่ยมรอบแกน x-x
- $Z' = J/c$ คือโมดูลัสหน้าตัดเชิงขั้ว
- $k = \sqrt{I/A}$ คือรัศมีไจเรชั่น

 $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $Z_x = \frac{bh^2}{6}$ $k_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $Z = \frac{2b^2h}{9} \text{ (สำหรับกรณีบีค)}$	 $I_x = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z_x = \frac{\pi}{32} \left[\frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right]$ $k_x = \sqrt{\frac{D_o^2 + D_i^2}{16}}$ $J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z'_x = \frac{\pi}{16} \left[\frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right]$
 $I_x = \frac{\pi D^4}{64}$ $Z_x = \frac{\pi D^3}{32}$ $k_x = \frac{D}{4}$ $J = \frac{\pi D^4}{32}$ $Z = \frac{\pi D^3}{16}$	 $I_x = \frac{\pi bh^3}{64}$ $Z_x = \frac{\pi bh^2}{32}$ $k_x = \frac{h}{4}; k_y = \frac{b}{4}$ $J = \frac{\pi bh}{64} (h^2 + b^2)$ $Z' = \frac{\pi b^2 h}{16} \text{ (สำหรับกรณีบีค)}$ $A = \pi bh/4$
 $I_x = \frac{1}{12} (GH^3 - gh^3)$ $Z_x = \frac{GH^3 - gh^3}{6H}$ $k_x = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\frac{GH^3 - gh^3}{GH - gh} \right]}$	 $c_1 = \frac{aH^2 + bt^2}{2(aH + bt)}, c_2 = H - c_1$ $I_x = \frac{Bt^3}{12} + (Bt)d^2 + \frac{ah^3}{12} + (ah)e^2$ $\text{พื้นที่} = Bt + a(H - t); k = \sqrt{I/A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 (ต่อ) โมเมนต์และระยะโค้งของขาน

<p> $M_{max} = \frac{Fab}{L}$ To $x = a$: $Vx = \frac{Fb}{L}$ $Mx = \frac{Fbx}{L}$ $y_{max} = \frac{Fb}{3EIL} \left(\frac{a(L+B)}{3} \right)^{3/2}$, $a > b$ ที่ $x = \sqrt{\frac{a(L+B)}{3}}$ จากปลายด้านซ้าย $0 < x < a : y = \frac{-Fbx}{6EIL} (L^2 - b^2 - x^2)$ $a < x < L : y = \frac{-Fa(L-x)}{6EIL} [L^2 - a^2 - (L-x)^2]$ </p>	<p> $0 < x < a :$ $Vx = -F$ $Mx = -Fx$ $a < x < a+b :$ $M = M_{max}$ $= Fa$ $y_{ctr} = \frac{Fab}{8EI}$ $y_{end} = \frac{Fa^2}{3EI} \left(a + \frac{3b}{2} \right)$ $\delta = \frac{Fa}{EI} \left(\frac{3L^2}{4} - a^2 \right)$ </p>
<p>คำนวณ, ความต้านแรงหน้าของ</p> <p> $Mx = Fx = \frac{\sigma I}{c}$ สำหรับ $\sigma =$ ค่าคงที่ $d^2 = \frac{6F}{b\sigma} x = \frac{x}{L} h^2$ ที่ $x = 0 : y_{max} = -\frac{8FL^3}{bEh^3}$ </p>	<p>คำนวณ, ความต้านแรงหน้าของ</p> <p> $R_1 = \frac{F}{2} \cdot Mx = \frac{Fx}{2} = \frac{\sigma I}{c}$ สำหรับ $\sigma =$ ค่าคงที่ $d^2 = \frac{3F}{b\sigma} x = \frac{x}{L} h^2$ ที่ $x = \frac{L}{2} : y_{max} = -\frac{FL^3}{2Ebh^3}$ </p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

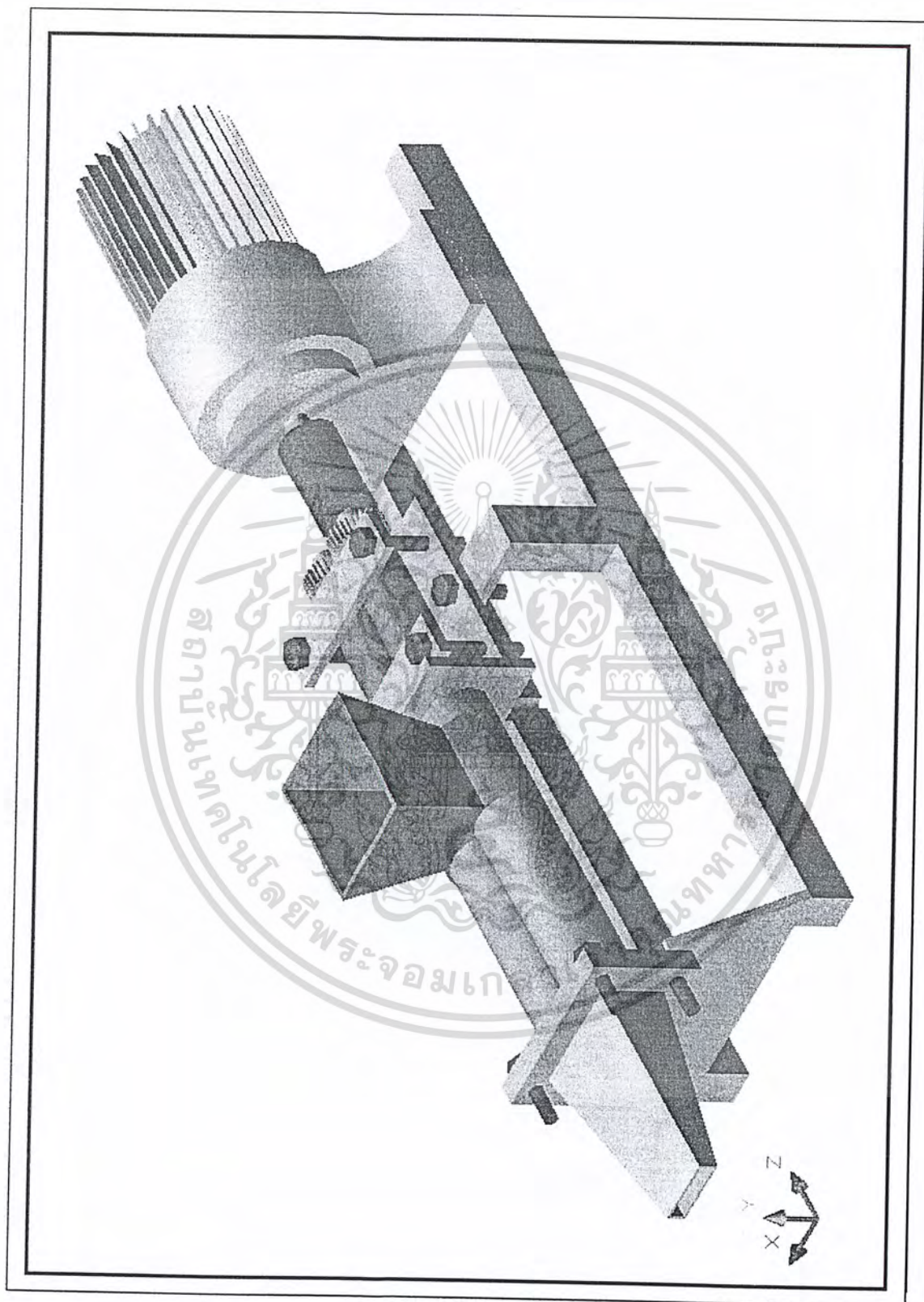
ภาคผนวก ข
ตารางคุณสมบัติของเฟือง

ตารางที่ ข-1 ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส

จำนวน ฟัน	แนวแกนที่ปลาย						แนวแกนในร่องฟัน					
	14 $\frac{1}{2}$ °FD		20°FD		20°Stub		25°		14 $\frac{1}{2}$ °FD		20°FD	
	Y	Z	Y	Z	Y	Z	Y	Z	Y	Z	Y	Z
10	0.176	0.056	0.201	0.064	0.261	0.083						
11	0.192	0.061	0.226	0.072	0.289	0.092						
12	0.210	0.067	0.245	0.078	0.311	0.099	0.242	0.077	0.355	0.113	0.415	0.133
13	0.223	0.071	0.264	0.083	0.324	0.103	0.258	0.082	0.377	0.120	0.443	0.141
14	0.236	0.075	0.276	0.088	0.339	0.108	0.270	0.086	0.399	0.127	0.468	0.149
15	0.245	0.078	0.289	0.092	0.349	0.111	0.286	0.091	0.415	0.133	0.490	0.156
16	0.255	0.081	0.295	0.094	0.360	0.115	0.298	0.095	0.430	0.137	0.503	0.160
17	0.264	0.084	0.302	0.096	0.368	0.117	0.311	0.099	0.446	0.142	0.512	0.163
18	0.270	0.086	0.308	0.098	0.377	0.120	0.324	0.103	0.459	0.146	0.522	0.167
19	0.277	0.088	0.314	0.100	0.385	0.123	0.336	0.107	0.471	0.150	0.534	0.170
20	0.283	0.090	0.320	0.102	0.393	0.125	0.349	0.111	0.481	0.153	0.544	0.173
21	0.289	0.092	0.326	0.104	0.399	0.127	0.365	0.116	0.490	0.156	0.553	0.177
22	0.292	0.093	0.330	0.105	0.404	0.129	0.377	0.120	0.496	0.158	0.559	0.178
23	0.296	0.094	0.333	0.106	0.408	0.130	0.390	0.124	0.502	0.160	0.565	0.180
24	0.302	0.096	0.337	0.107	0.411	0.132	0.403	0.128	0.509	0.162	0.572	0.183
25	0.305	0.097	0.340	0.108	0.416	0.133	0.415	0.132	0.515	0.164	0.580	0.184
26	0.308	0.098	0.344	0.109	0.421	0.135	0.428	0.136	0.522	0.166	0.584	0.186
27	0.311	0.099	0.348	0.111	0.426	0.136	0.441	0.133	0.528	0.168	0.588	0.187
28	0.314	0.100	0.352	0.112	0.430	0.137	0.409	0.130	0.534	0.170	0.592	0.189
29	0.316	0.101	0.355	0.113	0.434	0.138	0.412	0.131	0.537	0.171	0.599	0.191
30	0.318	0.101	0.358	0.114	0.437	0.139	0.418	0.133	0.540	0.172	0.606	0.193
31	0.320	0.101	0.361	0.115	0.440	0.140	0.421	0.134	0.554	0.173	0.611	0.195
32	0.322	0.101	0.364	0.116	0.445	0.141	0.428	0.136	0.547	0.174	0.617	0.196
33	0.324	0.103	0.367	0.117	0.445	0.142	0.430	0.137	0.550	0.175	0.623	0.198
34	0.326	0.104	0.371	0.118	0.447	0.142	0.434	0.138	0.553	0.177	0.628	0.200
35	0.327	0.104	0.373	0.119	0.449	0.143	0.437	0.139	0.556	0.177	0.633	0.201
36	0.329	0.105	0.377	0.120	0.451	0.144	0.443	0.141	0.559	0.178	0.639	0.203
37	0.330	0.105	0.380	0.121	0.454	0.144	0.446	0.142	0.563	0.179	0.645	0.205
38	0.333	0.106	0.384	0.122	0.455	0.145	0.450	0.143	0.565	0.180	0.650	0.207
39	0.335	0.107	0.386	0.123	0.457	0.146	0.454	0.144	0.568	0.181	0.655	0.209
40	0.336	0.107	0.389	0.124	0.459	0.146	0.460	0.146	0.570	0.182	0.659	0.210
43	0.339	0.108	0.397	0.126	0.467	0.147	0.463	0.147	0.574	0.183	0.668	0.212
45	0.340	0.108	0.399	0.127	0.468	0.149	0.469	0.149	0.579	0.184	0.678	0.214
50	0.346	0.110	0.408	0.130	0.474	0.151	0.478	0.152	0.588	0.187	0.694	0.221
55	0.352	0.112	0.415	0.132	0.480	0.153	0.485	0.154	0.596	0.190	0.704	0.224
60	0.355	0.113	0.421	0.134	0.484	0.154	0.490	0.156	0.603	0.192	0.713	0.227
65	0.358	0.114	0.425	0.135	0.488	0.155	0.496	0.158	0.607	0.193	0.721	0.229
70	0.360	0.115	0.429	0.136	0.493	0.157	0.502	0.160	0.610	0.194	0.728	0.231
75	0.361	0.115	0.433	0.138	0.496	0.158	0.508	0.161	0.613	0.195	0.735	0.233
80	0.363	0.116	0.436	0.139	0.499	0.159	0.510	0.162	0.615	0.196	0.739	0.235
90	0.366	0.117	0.442	0.141	0.503	0.160	0.516	0.164	0.619	0.197	0.747	0.237
100	0.368	0.117	0.446	0.142	0.506	0.161	0.521	0.166	0.622	0.198	0.755	0.240

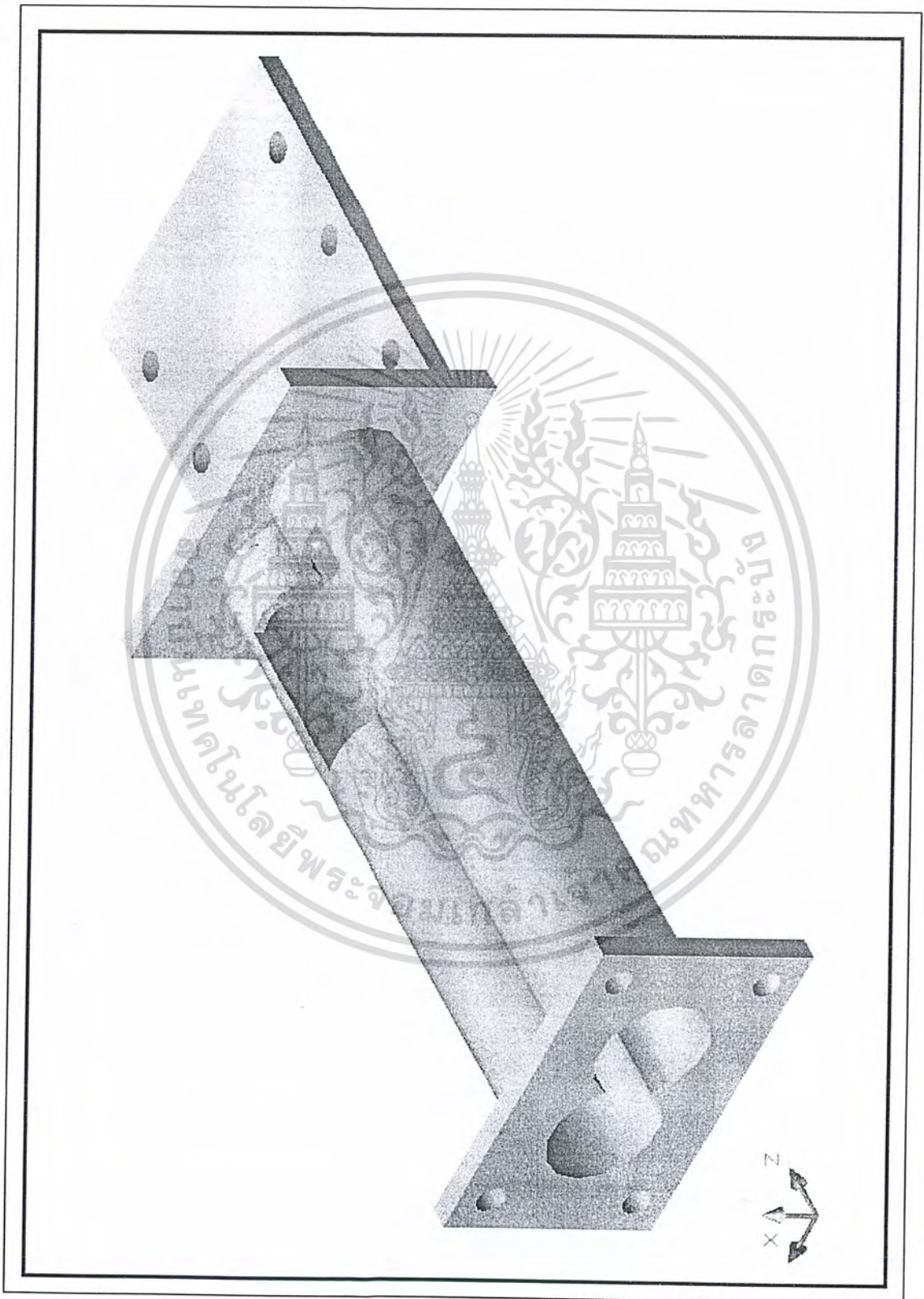
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก ก แบบเครื่องกันน้ำฝักและผลไม้

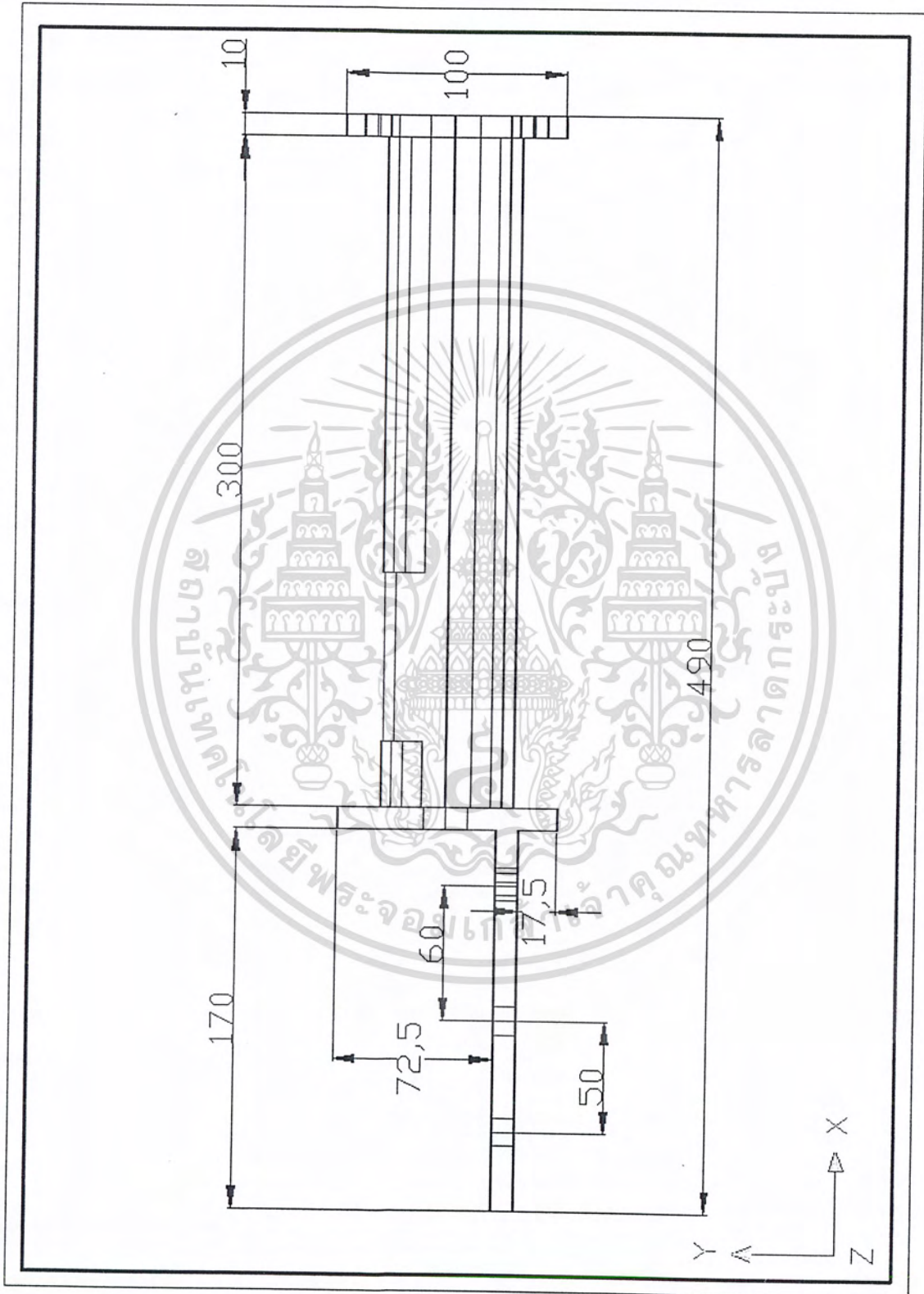


ภาพเครื่องกันน้ำฝักและผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

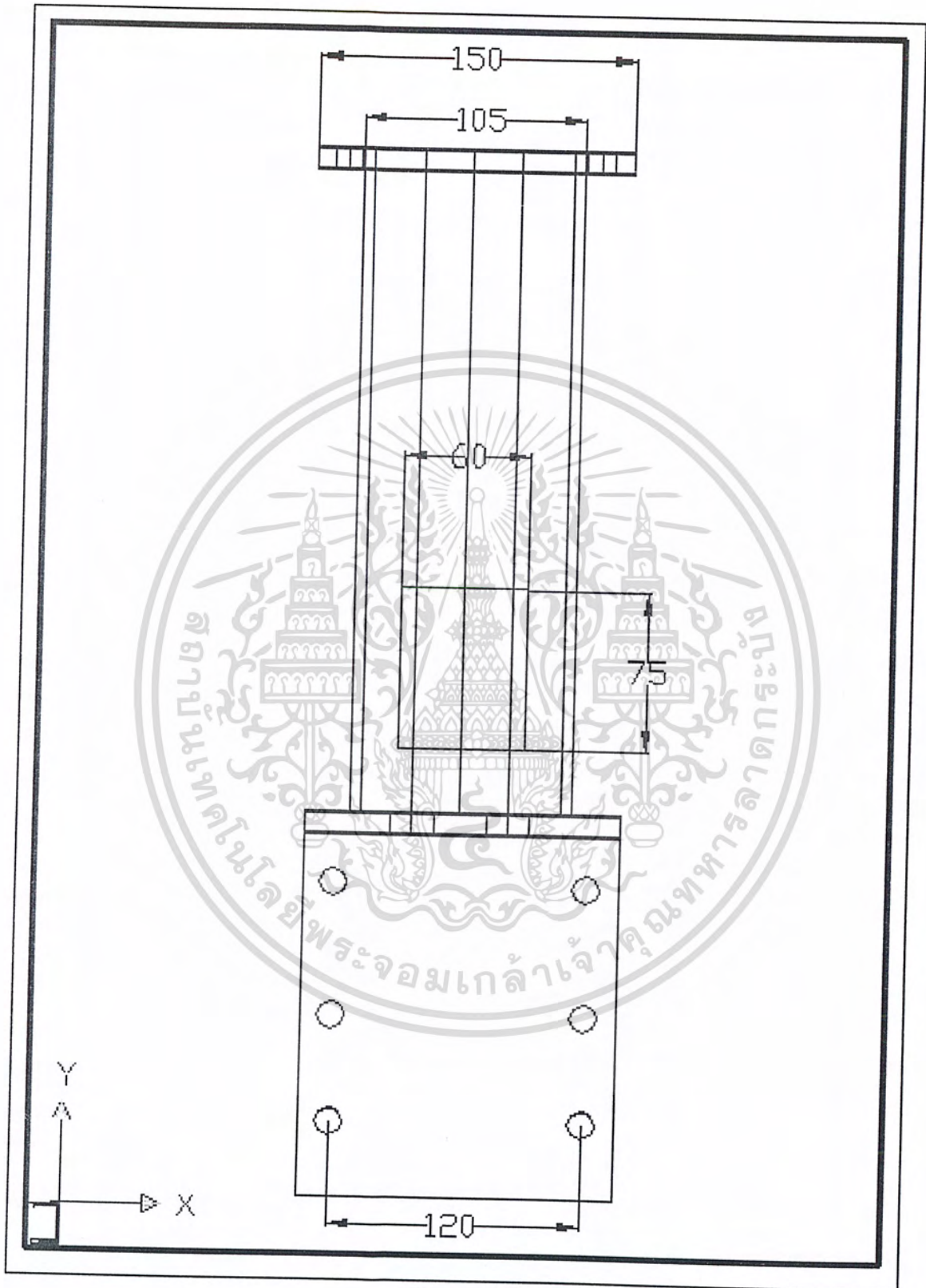


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภาพ BARREL เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



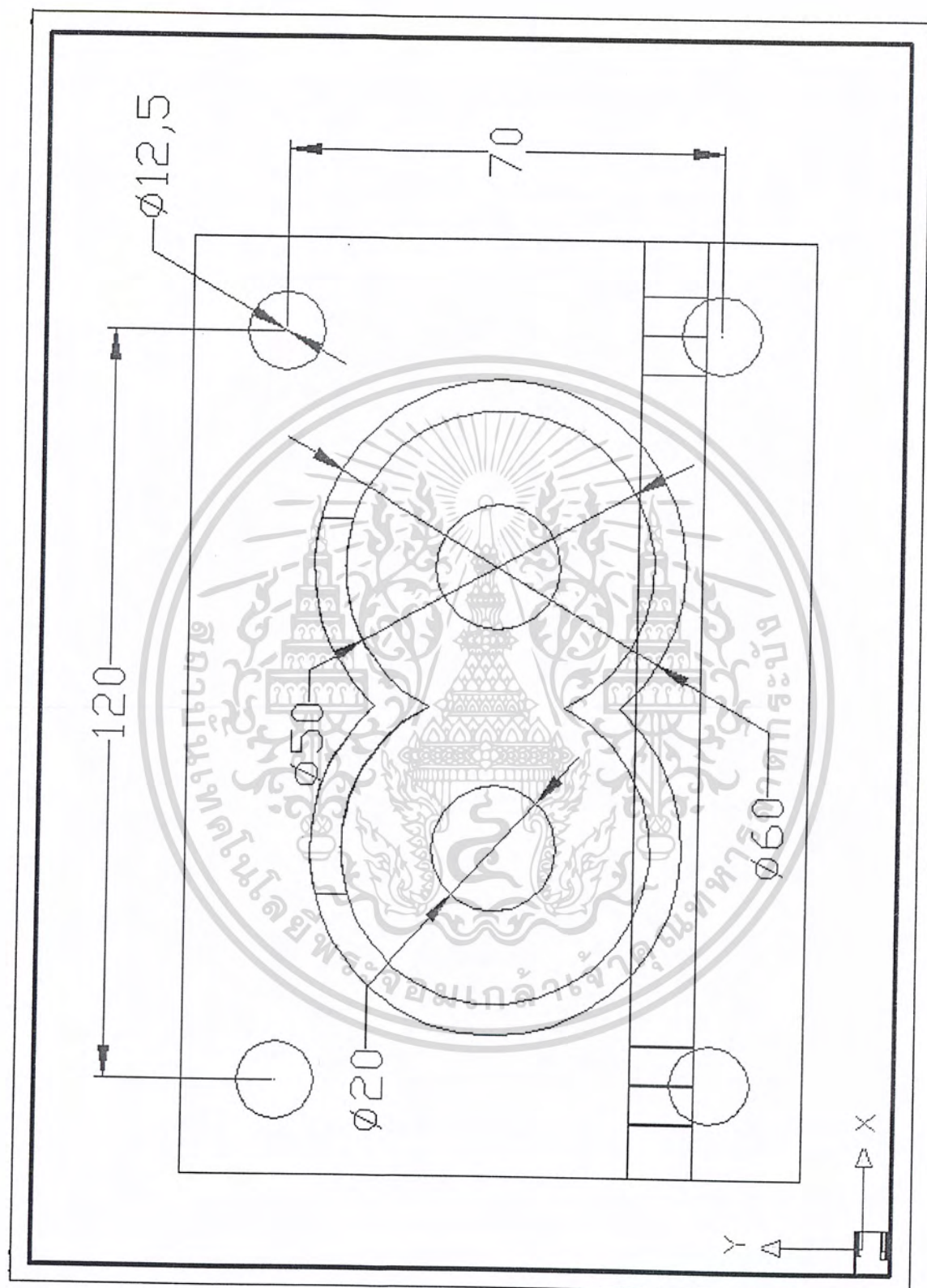
ภาพด้านข้าง BARREL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพด้านบน BARREL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



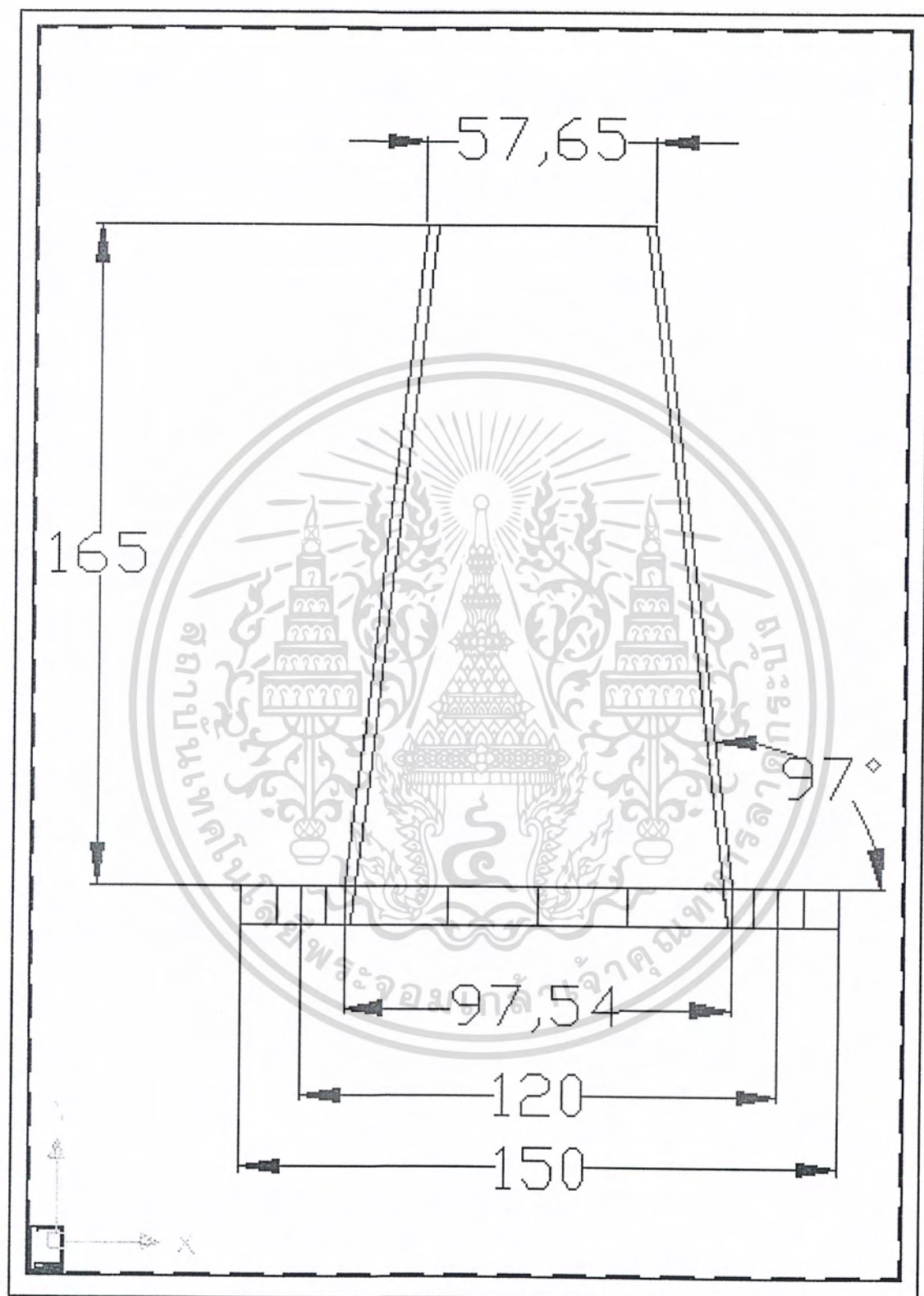
ภาพด้านหน้า BARREL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



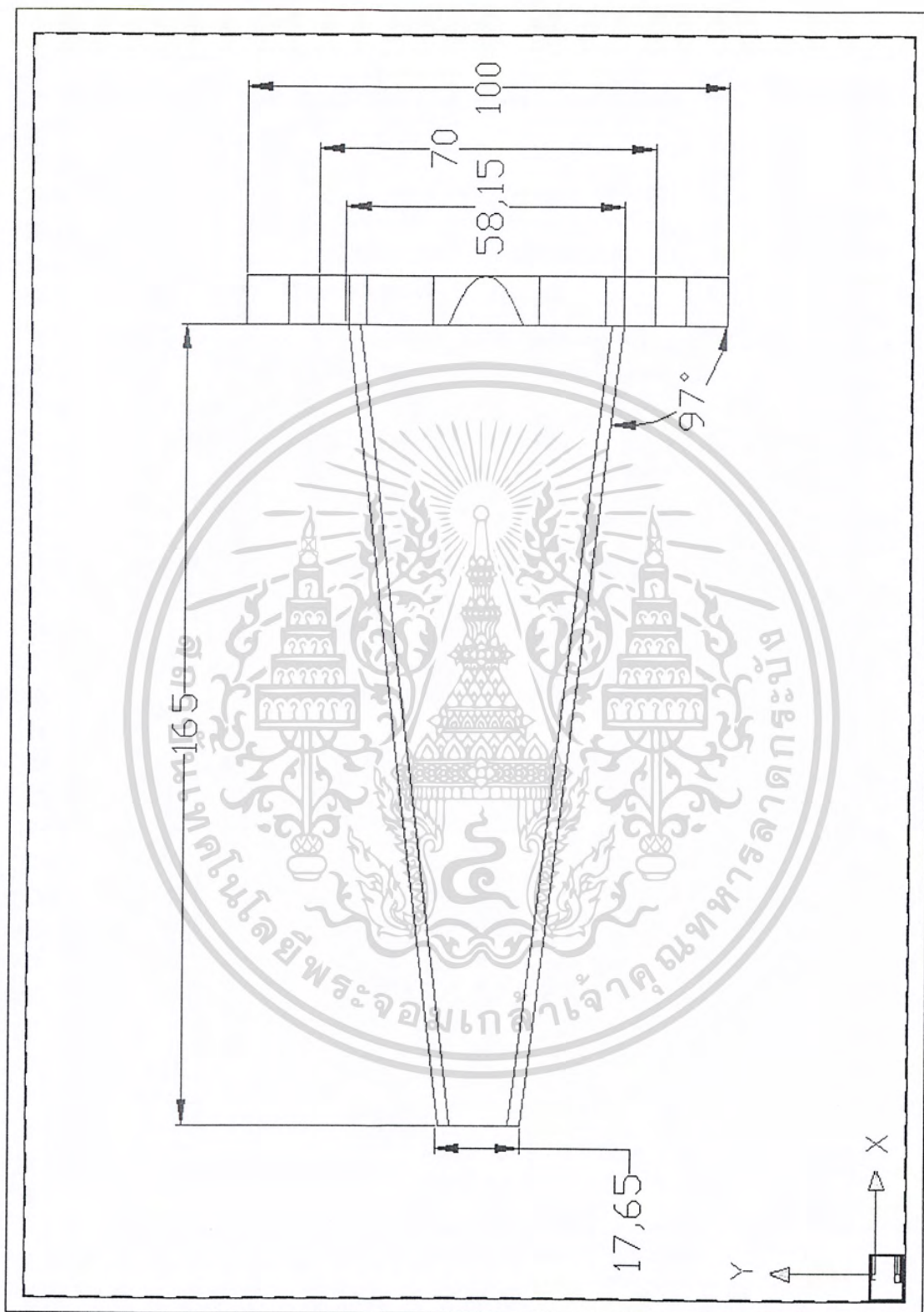
ภาพทางออก (CRUSHING)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



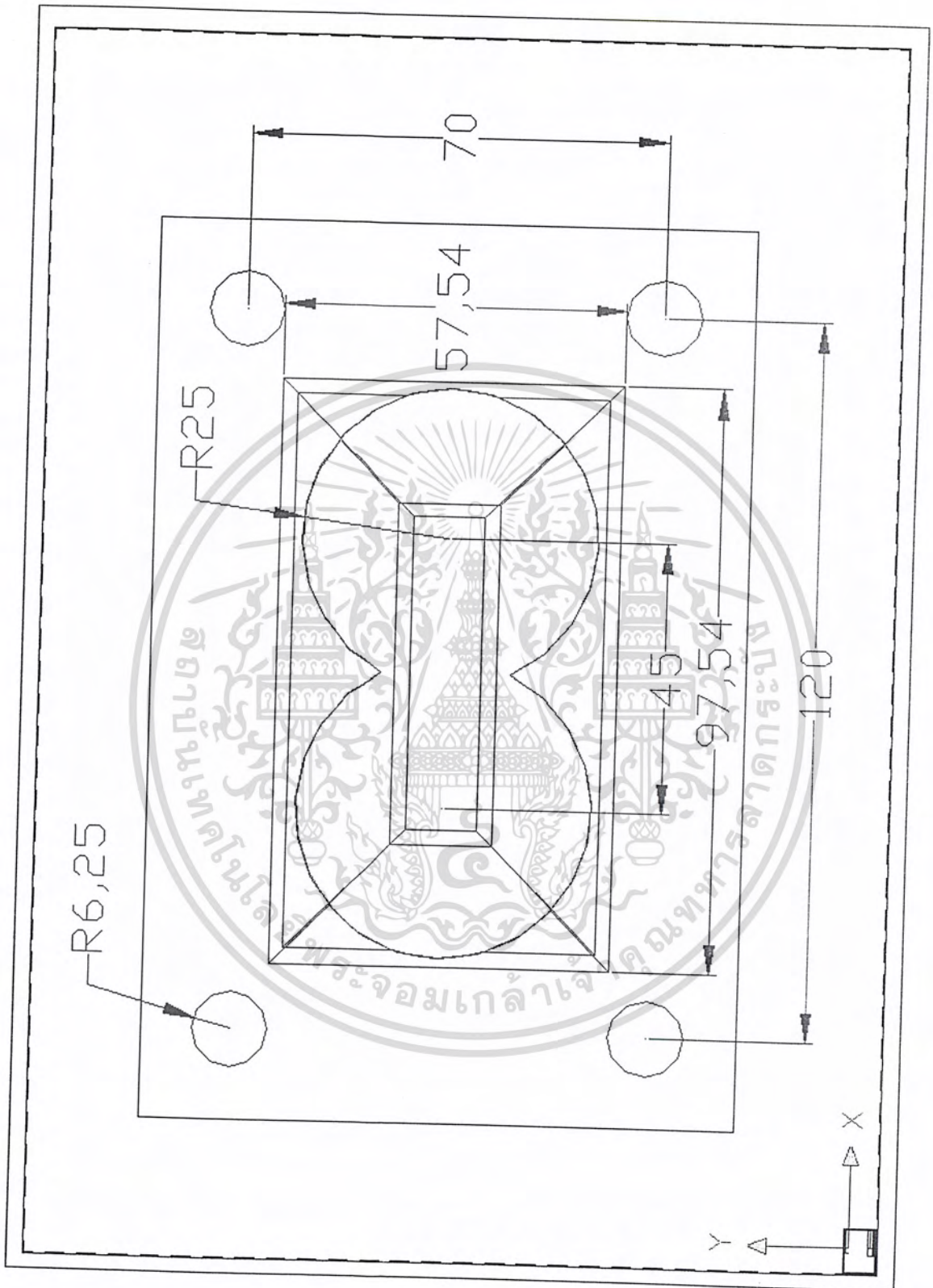
ภาพทางออก (CRUSHING) ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



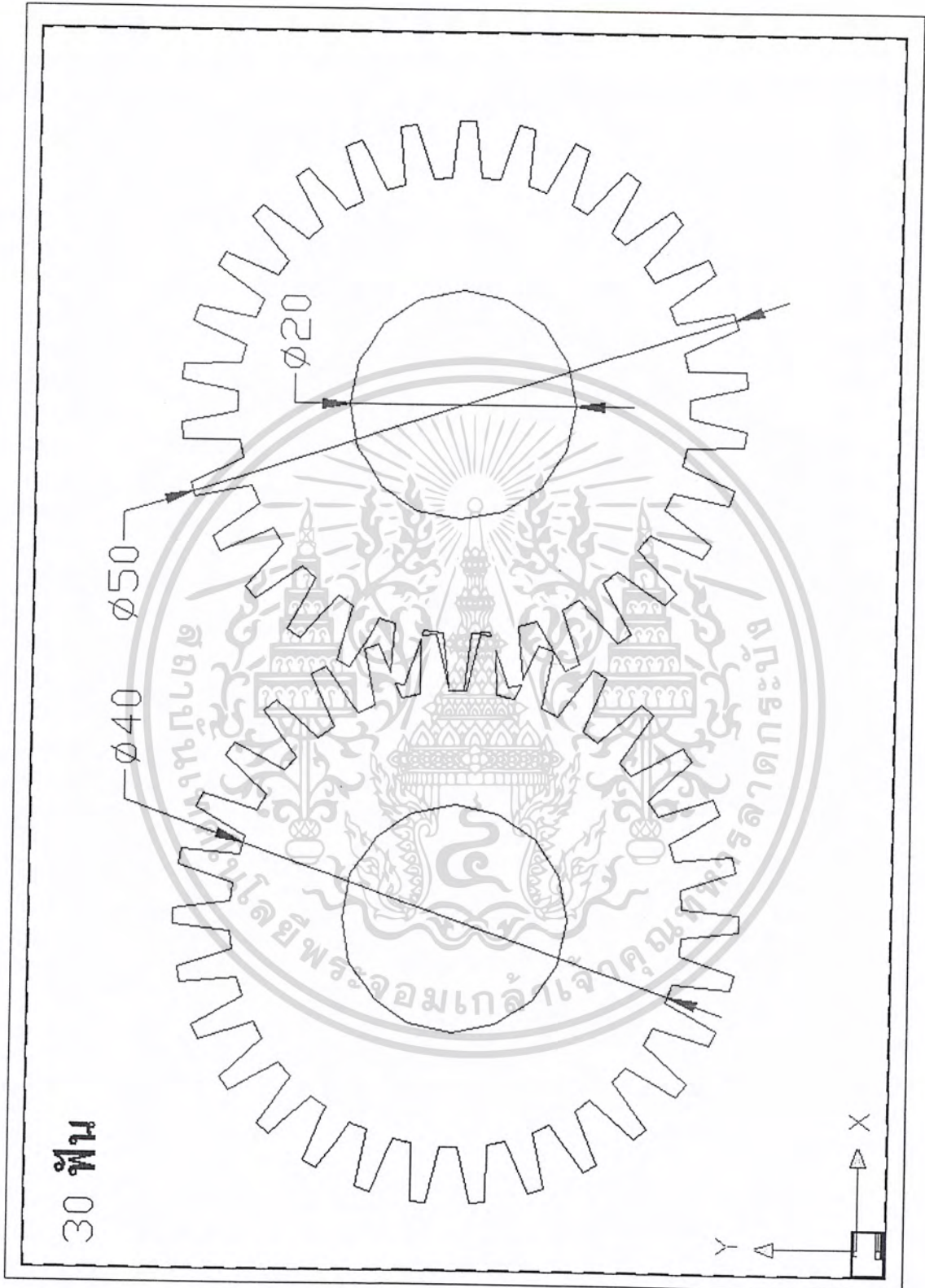
ภาพทางออก (CRUSHING) ด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพทางออก (CRUSHING) ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพเฟืองตรง

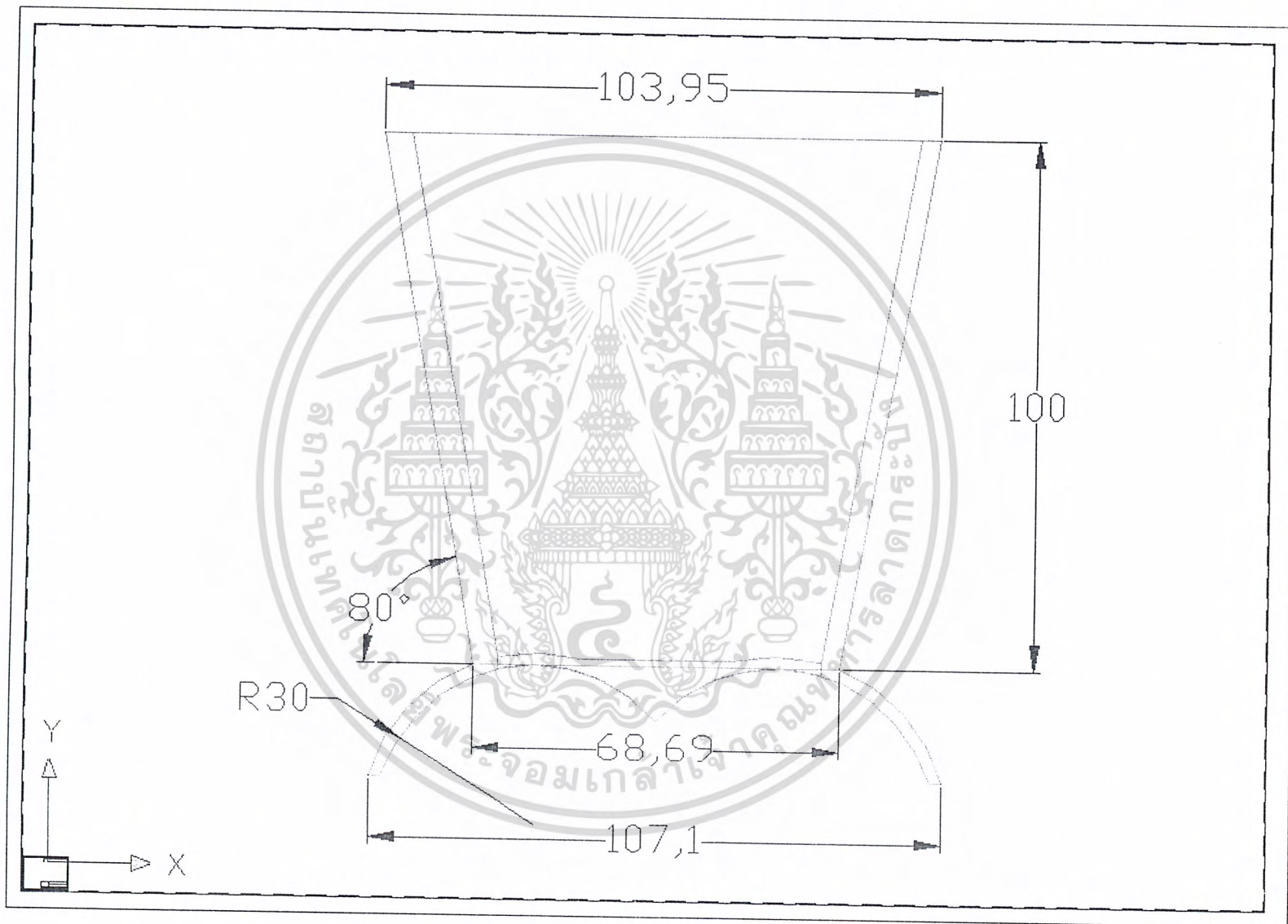
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



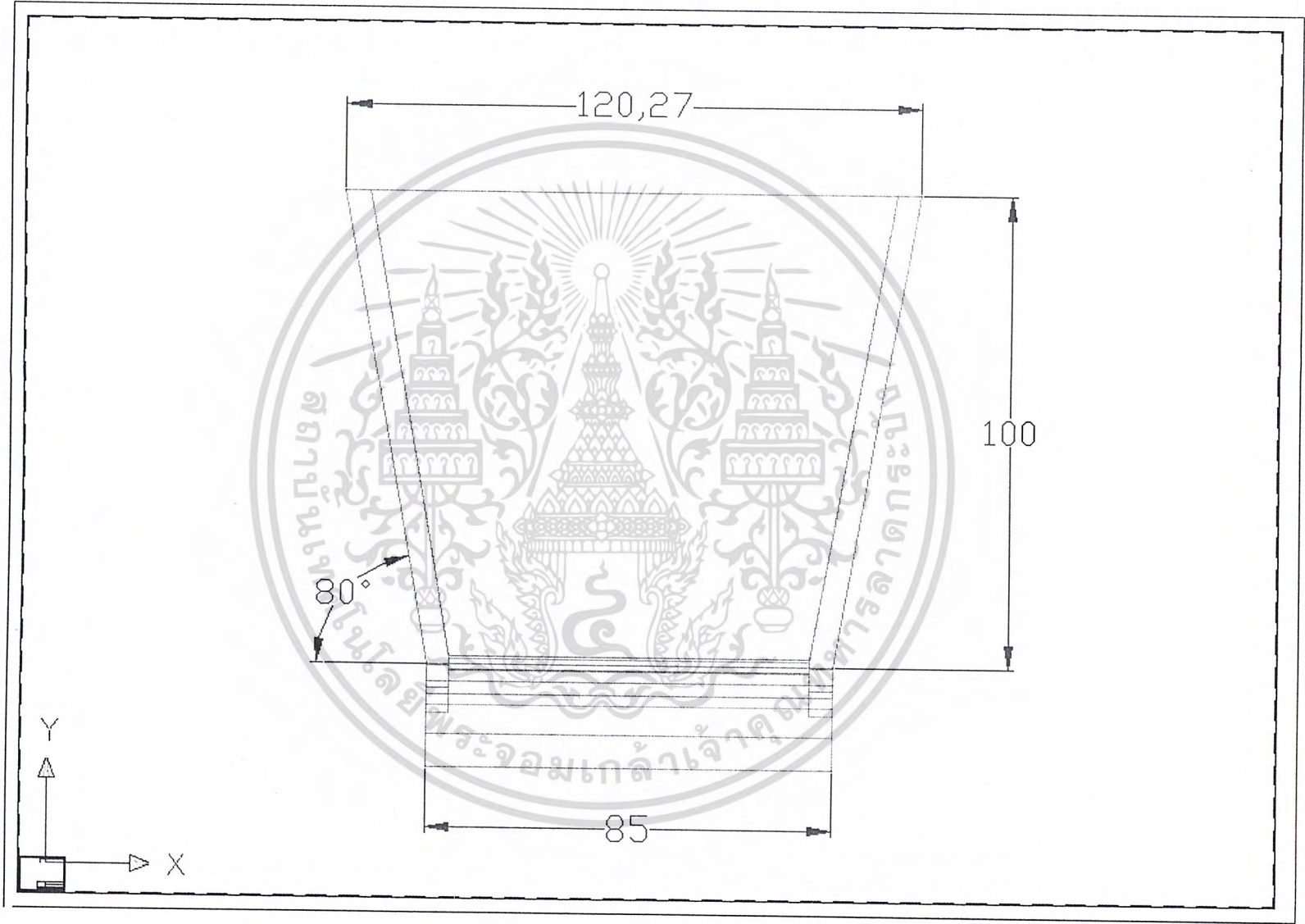
ภาพ HOPPER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

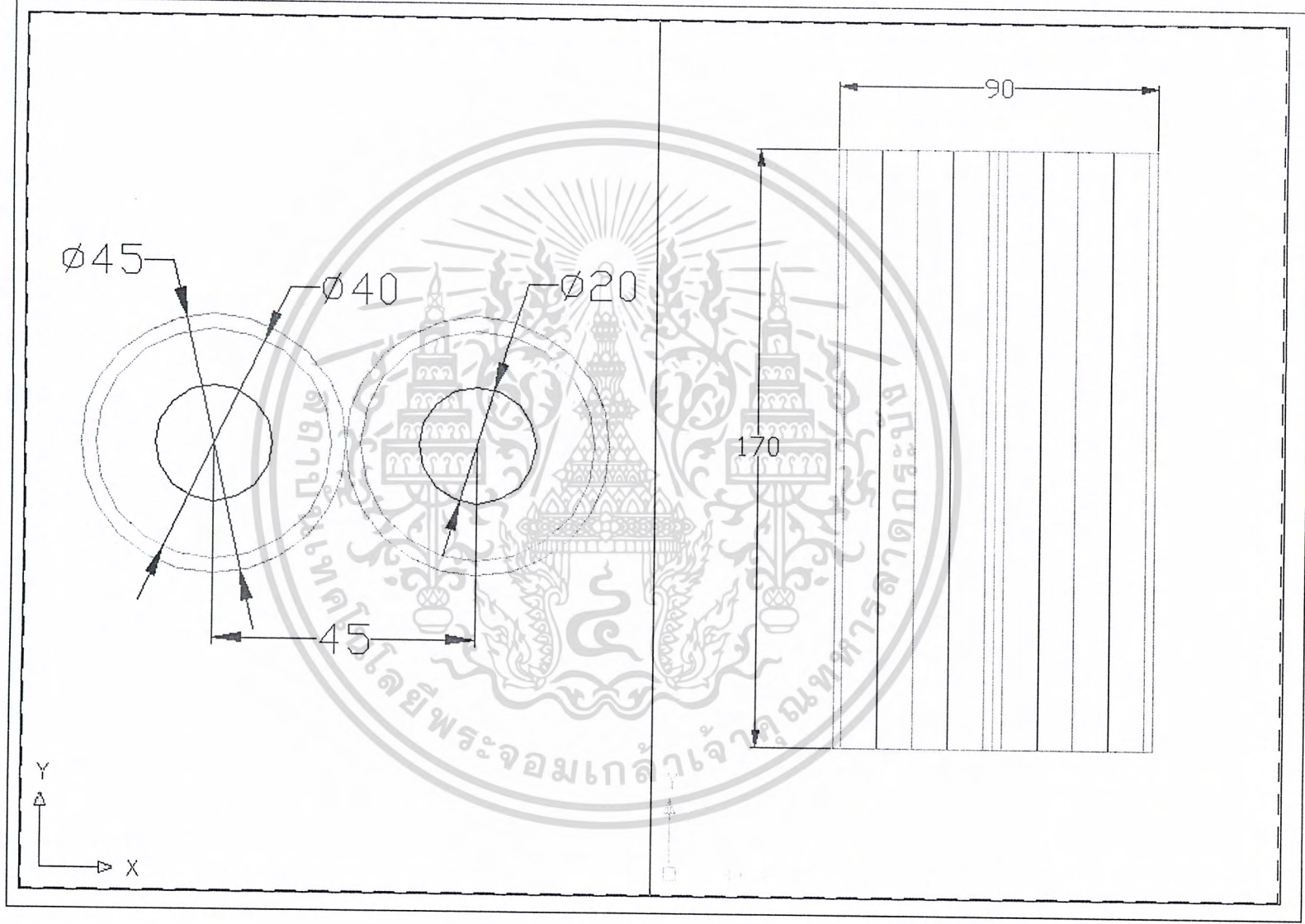
ภาพ HOPPER ถ้ำหน้า

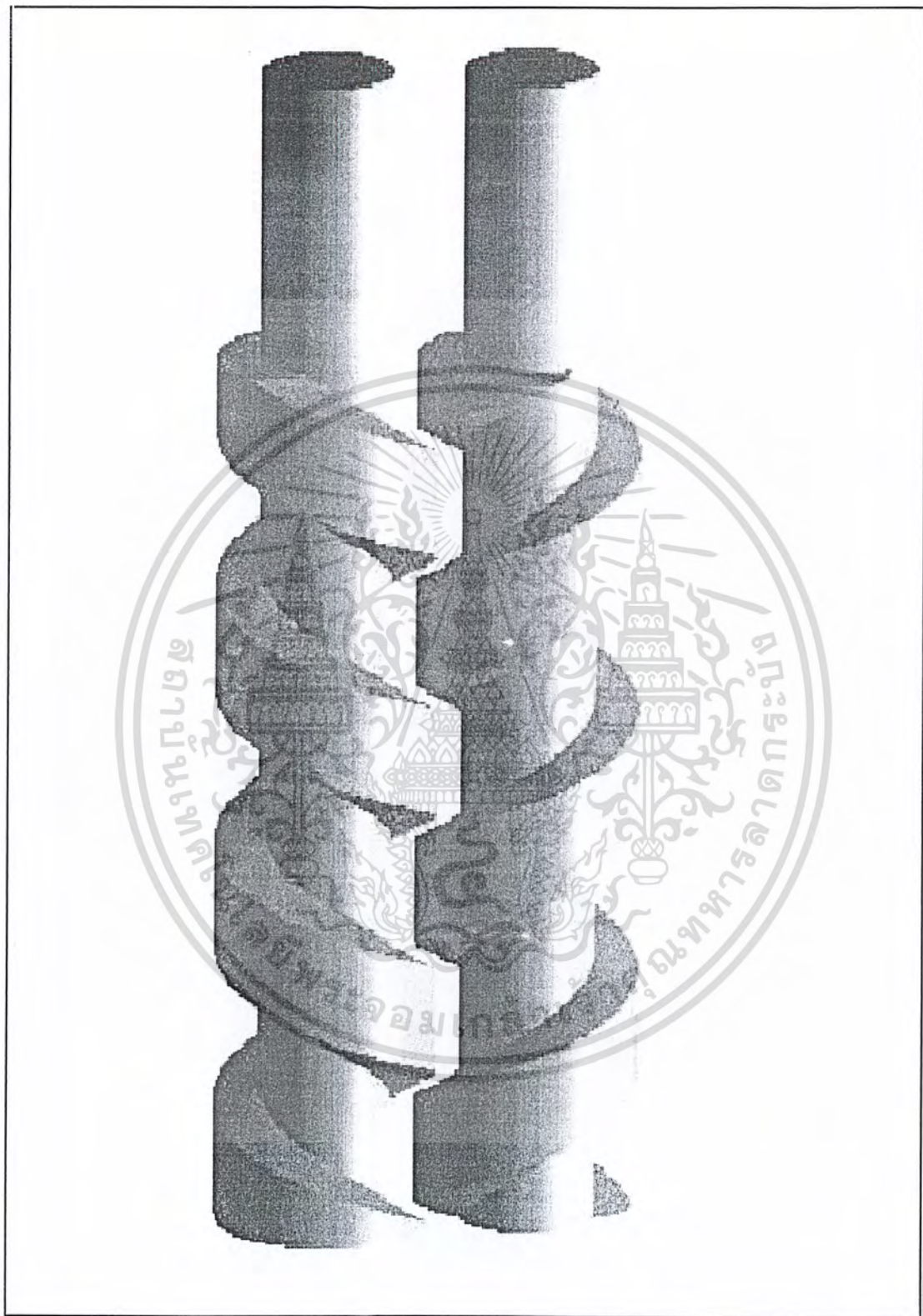


ภาพ HOPPER ตั้บข้าง



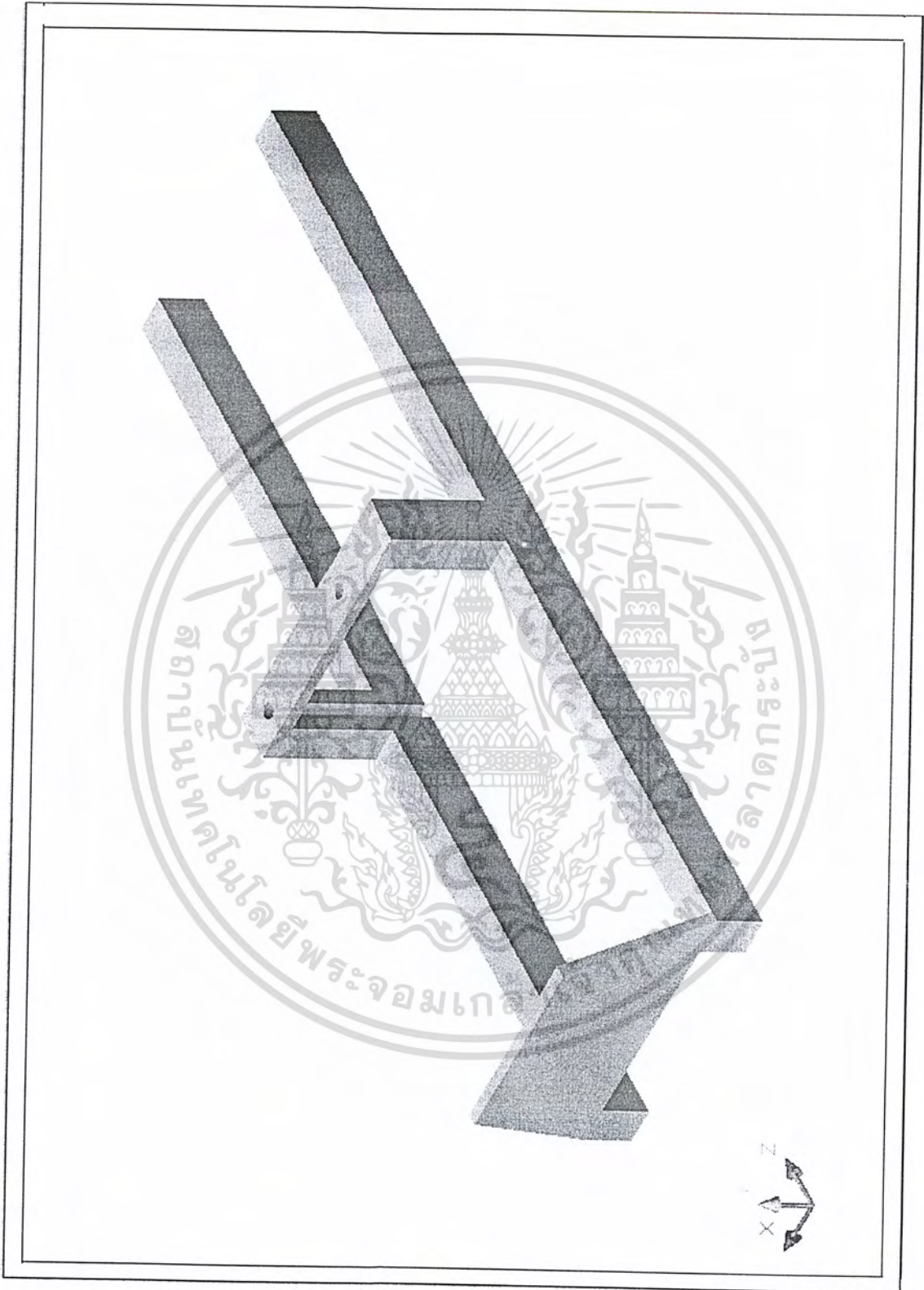
ภาพเขียนจริงข้างในเป็นพลาตินิก(รูปปอร์ซีส)
ขั้วในเป็นท่อเหล็ก ขั้วนอกเป็นทองแดง





ภาพ TWIN SCREW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครงฐานของเครื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์, ชาญ อดงาน, “การออกแบบเครื่องจักรกล”, เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, ปี พ.ศ.2541
- [2] ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์, ชาญ อดงาน, “การออกแบบเครื่องจักรกล”, เล่ม 2, พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, ปี พ.ศ.2541
- [3] Fabrizio G. Martelli, Ph.D, “TWIN-SCREW EXTRUDERS: A BASIC UNDERSTANDING”, Van Nostrand Reinhold Company, ปี พ.ศ. 2543
- [4] ผ.ศ. พรชัย จงจิตรไพศาล, “สกรูขนถ่ายวัสดุ”, ภาควิชาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้