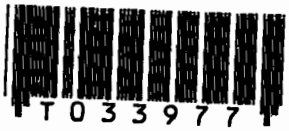
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและศึกษาเครื่องผลิตน้ำมะเขือเทศ

DESIGN AND STUDY ON TOMATO JUICE MACHINE



โดย

นาย อาทิตย์ น่ำทอง
นาย เจษฎา ชัยโฉม
นาย เดช บุญห้อมล้อม
นาย ชูวงศ์ ปัดทุมแฝง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....33977.....
วัน, เดือน, ปี.....23 ก.ย. 2542

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและศึกษาเครื่องผลิตน้ำมะเขือเทศ

ผู้จัดทำ

นาย อาทิตย์ น่ำทอง

นาย เจษฎา ชัยโฉม

นาย เดช บุญห้อมล้อม

นาย ชูวงศ์ ปัดทุมแฝง

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สรรวริศ อุ่ยวัฒนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. สาทิป รัตนภาสกร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND STUDY ON TOMATO JUICE MACHINE

ARTIT	NUMTHONG	
JEDSADA	CHAISHOME	
DEJ	BUNHOMLOM	
CHOOWONG	PADTUMFANG	
SUNVARIS	UYWATTANA	ADVISOR
SATIP	RATTANAPASSAKON	ADVISOR

1998

Abstract

A Tomato Juice Machine is designed and constructed to produce tomato juice at a rate of 280 kg/hr. It has two main components : the blender and the pulp separator.

The shape of the blender is cylindrical and is placed horizontally. The diameter is 30 cm. And length is 60 cm. The blender are six propeller-shaped blades with 4 teeth in each blade. The blades are used for blending the tomato into small pieces. The blades are attached to the axle which is placed horizontally and a motor set is used to drive the axle.

The pulp separator uses the principle of centrifugul force to separate the pulp. It is placed horizontally with a cylindrical mesh inside. The diameter is 13 cm. ,the length is 30 cm. ,the mesh holes are 0.4 mm. in diameter and a sweeper set is attached to the axle, position at a small angle to the axle in order to push the pulp outward and a motor set is used to drive the axle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูปภาพ	ข
สารบัญตารางและสัญลักษณ์	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสารและแหล่งข้อมูล	3
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	10
บทที่ 4 การสร้างและการคำนวณ	25
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	57
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป	63
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก.	79
ภาคผนวก ข.	83
ภาคผนวก ค.	94
กิตติกรรมประกาศ	113
หนังสืออ้างอิง	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.1 กระบวนการในการผลิตน้ำมะเขือเทศ	10
รูปที่ 3.2 หลักการโดยทั่วไปของการกรองหนีศูนย์	12
รูปที่ 3.3 แสดงทิศทางและการเคลื่อนที่ของใบกวาดและกรไหลของน้ำที่แยกได้	13
รูปที่ 3.4 Open Belt	16
รูปที่ 3.5 Crossed Belt	17
รูปที่ 3.6 แสดง Centifugal Filter	21
รูปที่ 4.1 มุมมองด้านข้างของใบมีด	26
รูปที่ 4.2 ภาพไอโซเมติกของใบมีด	27
รูปที่ 4.3 ภาพจริงของใบมีด	27
รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของใบมีดและพู่เล่	28
รูปที่ 4.5 Free Body Diagram บนล้อสายพานตัวเล็ก	30
รูปที่ 4.6 Free Body Diagram ที่เพลาเครื่องตีปั่น	31
รูปที่ 4.7 ภาพจริงด้านข้างของเครื่องตีปั่น	38
รูปที่ 4.8 ภาพจริงด้านหน้าของเครื่องตีปั่น	39
รูปที่ 4.9 ภาพกำหนดขนาดด้านหน้าที่แสดงให้เห็นชุดใบมีดของเครื่องตีปั่น	40
รูปที่ 4.10 ภาพจริงของเพลาที่ประกอบกับฝาครอบของเครื่องตีปั่น	41
รูปที่ 4.11 ภาพจริงของชุดใบมีดที่ประกอบเข้ากับเพลา	42
รูปที่ 4.12 ภาพตัวถังของเครื่องตีปั่น	43
รูปที่ 4.13 ภาพกำหนดขนาดด้านข้างของเครื่องตีปั่น	44
รูปที่ 4.14 Free Body Diagram ที่เพลาเครื่องแยกกาก	47
รูปที่ 4.15 ภาพกำหนดขนาดด้านหน้าของใบกวาด	49
รูปที่ 4.16 ภาพกำหนดมุมด้านบนของใบกวาด	50
รูปที่ 4.17 ภาพกำหนดขนาดด้านข้างของใบกวาด	51
รูปที่ 4.18 ภาพจริงของใบกวาด	52
รูปที่ 4.19 ภาพกำหนดขนาดของตัวถังด้านบนเครื่องแยกกาก	52
รูปที่ 4.20 ภาพกำหนดขนาดด้านข้างของตัวถังเครื่องแยกกาก	53
รูปที่ 4.21 ภาพจริงของตัวถังเครื่องแยกกาก	53
รูปที่ 4.22 ภาพจริงของตะแกรงกรอง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 ภาพจริงด้านบนที่เปิดให้เห็นใบกวาดด้านใน 54
รูปที่ 4.24 ภาพจริงไอโซเมติกของเครื่องแยกกาก 55
รูปที่ 4.25 ภาพจริงด้านข้างของเครื่องแยกกาก 55
รูปที่ 4.26 ภาพจริงของเครื่องแยกกาก 56
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์น้ำและความเร็วรอบของเครื่องตีปั่น 64
รูปที่ 6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์กากที่สะสมอยู่ภายในเครื่อง
และความเร็วรอบของเครื่องตีปั่น 65
รูปที่ 6.3 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 1767 รอบต่อวินาที 66
รูปที่ 6.4 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อวินาที 66
รูปที่ 6.5 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 2143 รอบต่อวินาที 67
รูปที่ 6.6 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อวินาที 67
รูปที่ 6.7 ภาพความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์น้ำและความเร็วรอบของเครื่องแยกกาก 70
รูปที่ 6.8 ภาพความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์กากที่สะสมภายในเครื่อง
และความเร็วรอบของเครื่องแยกกาก 71
รูปที่ 6.9 ภาพกากมะเขือเทศ 72
รูปที่ 6.10 ภาพกากและน้ำมะเขือเทศที่ได้จากเครื่องแยกกาก 72
รูปที่ 6.11 ภาพการทำงานของเครื่องแยกกาก 73
รูปที่ ข.1 ภาพแสดงลักษณะของอุณหภูมิในภาชนะถ่ายเทความร้อน 88
รูปที่ ข.2 ภาพลักษณะการถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อน้ำร้อนกับท่อลำเรียงน้ำมะเขือเทศ 90
รูปที่ ข.3 ภาพกำหนดขนาดด้านบนของท่อถ่ายเทความร้อน 92
รูปที่ ข.4 ภาพด้านข้างของท่อถ่ายเทความร้อน 92
รูปที่ ข.5 ภาพด้านบนของถังความดัน 93
รูปที่ ข.6 ภาพด้านหน้าของถังความดัน 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของมะเขือเทศ	3
ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะสำคัญของพันธุ์มะเขือเทศที่นิยมปลูกในประเทศไทย	4
ตารางที่ 2.3 พันธ์มะเขือเทศที่เหมาะสำหรับปลูกในภาคต่างๆ ของประเทศไทย	5
ตารางที่ 2.4 แสดงพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตของมะเขือเทศแต่ละภาคในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2524 – 2526	6
ตารางที่ 2.5 แสดงพื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตทั้งหมดและผลผลิตต่อไร่ของมะเขือเทศจำแนกตามภาคและจังหวัดที่ปลูก ปี 2527/28	7
ตารางที่ 5.1 บันทึกผลการทดลองเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ	58
ตารางที่ 5.2 บันทึกผลการทดลองเครื่องแยกกาก	60
ตารางที่ ค.1 ขนาดลิ่มมาตราฐานที่ใช้กับเพลาขนาดต่างๆ	94
ตารางที่ ค.2 ขนาดระบุของเพลามาตราฐาน ISO/R 775-1969	95
ตารางที่ ค.3 ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับร่องลิ่ม K_f	96
ตารางที่ ค.4 ความกว้างของสายพานแบบส่งกำลังและความกว้างของล้อสายพานที่สอดคล้องกันตามมาตราฐาน ISO 22-1975(E)	97
ตารางที่ ค.5 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพาน kw/25mm สำหรับโค้งสัมผัส 180°	98
ตารางที่ ค.6 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_a สำหรับสายพานแบน	100
ตารางที่ ค.7 ขนาดและ basic load ratings สำหรับ 02-SERIES BALL BEARING	101
ตารางที่ ค.8 ขนาดและ basic load ratings สำหรับ STRAIGHT ROLLER BEARINGS	102
ตารางที่ ค.9 อายุของแบริ่งตามการใช้งานของเครื่องจักร	103
ตารางที่ ค.10 คุณสมบัติของสายพานแบนที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ	104
ตารางที่ ค.11 ค่าคงที่ของวัสดุ	105
ตารางที่ ค.12 แรงเฉือน โมเมนต์ และระยะโก่งตัวของคาน	106
ตารางที่ ค.13 คุณสมบัติของเหล็กชนิดต่างๆ	108
ตารางที่ ค.14 ค่า $C_{s,f}$ ตามลักษณะของพื้นผิวและชนิดของเหลวต่างๆ	109
ตารางที่ ค.15 ตารางไอน้ำอิ่มตัว	110
ตารางที่ ค.16 ตารางคำนวณสูตรดอกเบี้ย	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

มะเขือเทศเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย และนับวันจะมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ทั้งนี้เพราะมะเขือเทศสามารถนำไปใช้ในการบริโภคสด ปรุงอาหารหรือเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเกษตรได้อย่างกว้างขวาง มะเขือเทศให้คุณค่าทางโภชนาการสูงเป็นแหล่งของโปรตีน ไวตามีน และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจหลายพันล้านบาทต่อปี

นักพฤกษศาสตร์จัดมะเขือเทศให้อยู่ในตระกูล solanaceae ซึ่งพืชในตระกูลนี้มีหลายชนิดที่มนุษย์นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์เช่น มันฝรั่ง มะเขือเทศ พริก ยาสูบ ลักษณะประจำตัวพิเศษของพืชในตระกูลนี้คือ ในต้นจะมีสารประกอบ อัลคาลอยด์ (alkaloid) ที่เป็นและไม่เป็นพิษต่อคนและสัตว์ ปัจจุบันมะเขือเทศกลายเป็นพืชผักชนิดหนึ่งที่มีผู้นิยมปลูกมากที่สุดทั่วโลก เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตและปรับตัวได้ดีในสภาพดิน และช่วงอุณหภูมิที่กว้าง[6]

มะเขือเทศมีอยู่ด้วยกันหลายพันธุ์เช่น พันธุ์มานาปาล มาร์โกลบ ฟลอราเดล คาลิปโซ สีดา โรมา คาลเจ วีเอฟ 134-1-2 เป็นต้น พื้นที่เกือบทุกภาคของประเทศไทยสามารถปลูกมะเขือเทศพันธุ์ต่าง ๆ เหล่านี้ได้[6]

โดยมากมะเขือเทศจะถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย โดยจำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

การใช้ประโยชน์จากมะเขือเทศทั้งผล ได้แก่

- มะเขือเทศใช้ในการบริโภคผลสด (Fresh market tomato)
- มะเขือเทศทั้งผลบรรจุกระป๋อง (Canned tomato)
- มะเขือเทศแช่อิ่มแห้ง
- มะเขือเทศดองปรุงรส (Tomato pickle)

การแยกเฉพาะเนื้อและน้ำมะเขือเทศ ได้แก่

- น้ำมะเขือเทศ (Tomato juice)
- น้ำมะเขือเทศเข้มข้น (Tomato paste)
- ซอสมะเขือเทศ (Tomato sauce)
- ซุปมะเขือเทศ (Tomato soup)
- มะเขือเทศผง (Tomato powder)
- ทอฟฟี่มะเขือเทศ (Tomato candy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะเขือเทศสดที่มีผู้นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายคือ น้ำมะเขือเทศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและพัฒนา ขบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอนที่มีความสำคัญในขบวนการผลิต ได้แก่การตีปั่นมะเขือเทศ การแยกน้ำและเนื้อมะเขือเทศออกจากกัน และการให้ความร้อนแก่น้ำมะเขือเทศ ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมะเขือเทศได้พบปัญหาต่าง ๆ มากมายจากขั้นตอนเหล่านี้ ซึ่งได้แก่ ปัญหาด้านความละเอียดของเนื้อมะเขือเทศภายหลังการตีปั่น พบว่าภายหลังการตีปั่นแล้วไม่ละเอียดพอ ปัญหาที่เกิดจากการสั่นของเครื่องตีปั่น ปัญหาในการให้ความร้อนกับมะเขือเทศไม่เพียงพอ ปัญหาในการแยกกากได้ไม่หมด [5]

ในการศึกษาครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำ ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนให้มีประสิทธิภาพพร้อมทั้งแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศ
2.เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ
3.เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องแยกกากมะเขือเทศ
4.เพื่อใช้เป็นแนวทางแก่กลุ่มผู้ที่สนใจศึกษาและนำไปพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสารและแหล่งข้อมูล

2.1 ตารางข้อมูลต่างๆ ของมะเขือเทศ

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของมะเขือเทศ

ธาตุอาหาร	ดิบ	บรรจุกระป๋อง	ซอส	น้ำมะเขือเทศ
น้ำ(%)	94.0	94.0	69.0	94.0
พลังงาน(cal)	19.0	21.0	106.0	19.0
โปรตีน(g)	0.7	0.8	1.8	0.8
ไขมัน(g)	น้อยมาก	น้อยมาก	0.4	น้อยมาก
คาร์โบไฮเดรท(g)	4.0	4.0	25.0	4.0
แคลเซียม(mg)	12.0	6.0	22.0	7.0
ฟอสฟอรัส(mg)	24.0	19.0	50.0	18.0
เหล็ก(mg)	0.4	0.5	0.8	0.9
โปแตสเซียม(mg)	222.0	217.0	363.0	227.0
ไวตามีนเอ(I.U.)	822.0	900.0	1399.0	798.0
ไทอามีน(mg)	0.05	0.05	0.09	0.05
ไรโบฟลาวิน(mg)	0.04	0.03	0.07	0.03
ไนอาซีน(mg)	0.7	0.7	1.6	0.8
กรดแอสคอบิค(mg)	21.1	17.0	15.0	16.0

ที่มา :Anon,1971[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.2 แสดงลักษณะสำคัญของพันธุ์มะเขือเทศที่นิยมปลูกในประเทศไทย

ชื่อพันธ์	ย้ายปลูกถึงเก็บเกี่ยว(วัน)	ลักษณะ
1. มานาปาน	81	ผลแน่นเรียบขนาดปานกลาง (170g)
2. มาร์โกลบ	75	ผลขนาดปานกลาง (170 กรัม) เนื้อแน่น ผนังผลหนา
3. ฟลอราเดล	78	ผลขนาดปานกลาง (170 กรัม) เนื้อแน่น ผนังผลหนา
4. มาสเตอร์เบอร์ 2	75	ผลใหญ่ สีแดงจัด รสชาติดี
5. คาร์ลิปโซ	75	ขนาดผลปานกลาง (198 กรัม)
6. สีดา	65	ขนาดผลเล็ก คุณภาพและรสชาติดีผิวสีชมพูแดง
7. โรมา	75	กิ่งก้านเจริญเติบโตแข็งแรง ใบปกคลุมแน่น
8. คาลเจ	70	ขนาดผลเล็ก (57 กรัม) เนื้อแน่นเรียบ ผลทนทาน
9. วีเอฟ 134-1-2	70	ผลขนาดเล็ก (57 กรัม) ผลแน่นมาก ความหนืดสูง
10. วีเอฟ 145-บี 7879	72	ขนาดผลเล็ก (113 กรัม) ผลแน่นสม่ำเสมอ

ที่มา : เมืองทอง ทวนทวี และสุรีรัตน์ ปัญญาโตนะ[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.3 พันธุ์มะเขือเทศที่เหมาะสำหรับปลูกในภาคต่างๆ ของประเทศไทย

ภาค	พันธุ์รับประทานสด		พันธุ์สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม
	ในฤดู	นอกฤดู	
เหนือ	มานาปาล	สีดาห้างฉัตร	วีเอฟ 145 บี 7879
	ฟลอราเดล	แอล-22	โรมาวีเอฟ
	สีดาห้างฉัตร	มานาปาล	วีเอฟ 134-1-2
	สีดา ม.ข.	ฟลอราเดล	เพซเซทเตอร์ 502
	แอล-22	วีเอฟ 134-1-2	คาลเจ
	วีเอฟ 134-1-2	คาลิปโซ่	
ใต้ฝั่งตะวันตก	แอล-22	แอล-22	
	360 ฟอร์จูน	แซทเทอร์น	
		แอล-1	
ใต้ฝั่งตะวันออก	ฟลอราเดล	แอล -22	
	มานาปาล	สีดา ม.ก.	
	สีดา ม.ก.	เอสวีอาร์ดีซี-4	
	สีดาห้างฉัตร		
กลาง	มาสเตอร์ เบอร์ 2	สีดา ม.ก.	
	มาร์โกลบ	สีดาห้างฉัตร	
	ฟลอราเดล	แอล-22	
	มานาปาล	เอสวีอาร์ดีซี-4	
ตะวันออก	ฟลอราเดล	สีดา ม.ก.	
	มานาปาล	แอล-22	
	สีดา ม.ก.	เอสวีอาร์ดีซี-4	
	สีดาห้างฉัตร		

ที่มา: คณะทำงานกลุ่มมะเขือเทศในคณะอนุกรรมการวิจัยและพัฒนาพืชผักแห่งชาติ : กรมส่งเสริมการเกษตร คำแนะนำที่ 22 , การปลูกมะเขือเทศ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.4 แสดงพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตของมะเขือเทศแต่ละภาคในประเทศไทย ระหว่าง พ.ศ. 2524-26

ประเทศ/ภาค	2524/25			2525/26			2526/27		
	พื้นที่	ผลผลิต	เฉลี่ย	พื้นที่	ผลผลิต	เฉลี่ย	พื้นที่	ผลผลิต	เฉลี่ย
ทั้งประเทศ	58.7	68.1	1.18	51.5	1.39	54.9	54.8	96.3	0.82
เหนือ	13.5	25.2	1.18	14.6	12.6	0.87	15.0	19.8	1.34
ตะวันออก-เฉียงเหนือ	24.6	19.9	0.82	26.5	50.0	1.89	29.1	64.4	2.24
กลาง	6.0	4.7	0.79	1.4	1.1	0.83	1.1	0.9	0.97
ตะวันออก	0.9	0.6	0.66	1.1	0.9	0.71	1.7	1.0	0.88
ตะวันตก	10.7	15.9	1.51	2.5	3.3	1.35	5.9	9.3	
ใต้	3.1	2.0	0.69	5.4	3.4	0.64	1.4	1.0	0.74

หมายเหตุ : พื้นที่ต่อหน่วย 2000 ไร่ ; ผลผลิตเป็นน้ำหนักสดต่อหน่วย = พันตัน ; ผลผลิตเฉลี่ยต่อหน่วย = พันกิโลกรัม

ที่มา : กองแผนงานและโครงการพิเศษ 2525-2528[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.5 แสดงพื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตทั้งหมดและผลผลิตต่อไร่ของมะเขือเทศ จำแนกตามภาคและจังหวัดที่ปลูกมากที่สุด สามจังหวัดแรกของแต่ละภาค ปีการเพาะปลูก 2527/28

ภาค/จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก		ผลผลิตทั้งหมด		ผลผลิตต่อไร่
	จำนวน (พันไร่)	ร้อยละ	จำนวน (พันไร่)	ร้อยละ	(พันกิโลกรัม)
ทั้งประเทศ	49.96	100.00	61.89	100.00	1.25
ภาคเหนือ	14.72	29.58	17.48	28.24	1.20
1.เชียงใหม่	5.42	10.89	7.73	12.49	1.45
2.ลำปาง	2.41	4.84	3.85	5.90	1.55
3.นครสวรรค์	1.73	3.47	0.43	0.70	0.25
ภาคอีสาน	25.89	52.02	33.57	54.24	1.30
1.หนองคาย	6.92	13.91	13.84	22.35	2.00
2.มุกดาหาร	5.24	10.53	5.29	8.55	1.01
3.เลย	2.17	4.38	2.61	4.22	1.20
ภาคกลาง	0.75	1.51	0.63	1.01	0.84
1.กรุงเทพ	0.45	0.91	0.36	0.58	0.80
2.สระบุรี	0.16	0.37	0.17	0.28	0.95
3.อ่างทอง	0.04	0.07	0.03	0.05	0.84
ภาคตะวันออก	1.30	2.61	31.04	1.68	0.80
1.ชลบุรี	0.70	1.41	0.64	1.03	0.91
2.ฉะเชิงเทรา	0.31	0.61	0.15	0.25	0.50
3.ระยอง	0.20	9.41	0.20	0.32	1.00
ภาคตะวันตก	5.47	11.53	8.22	13.26	1.44
1.นครปฐม	2.82	5.66	5.07	8.19	1.80
2.ราชบุรี	1.02	2.05	1.62	2.62	1.59
3.เพชรบุรี	0.86	1.70	0.59	0.96	0.70
ภาคใต้	1.37	2.75	0.96	1.55	0.74
1.สุราษฎร์ธานี	0.43	0.87	0.34	0.55	0.84
2.นครศรีธรรมราช	0.27	4.54	0.21	0.33	0.78
3.ตรัง	0.25	0.49	0.20	0.32	0.80

ที่มา : กองแผนงานและโครงการพิเศษ 252[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 มะเขือเทศจะใช้สีผิวเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

แก่จัด (mature green) สีของผิวส่วนล่างหรือที่ก้น เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีครีมหรือสีเขียวอ่อน เนื้อรอบ ๆ เมล็ดมีลักษณะเป็นเมือกหรือวุ้น การเก็บเกี่ยวในระยะนี้เหมาะสำหรับมะเขือเทศรับประทานสดและขนส่งไปขายยังตลาดไกล ๆ

เริ่มสุก (breaker หรือ pink) ผิวผลมะเขือเทศจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูหนึ่งในสามส่วน (breaker) หรือสามในสี่ส่วน (pink) การเก็บเกี่ยวในระยะนี้เหมาะสำหรับมะเขือเทศรับประทานสดเพื่อส่งตลาดในท้องถิ่นหรือตลาดใกล้แหล่งผลิต

สุก (red ripe) ผลมะเขือเทศจะมีสีผิวเป็นสีชมพู หรือสีแดงทั้งผลการเก็บเกี่ยวในระยะนี้เหมาะสำหรับมะเขือเทศเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปเพราะจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและสำหรับมะเขือเทศรับประทานสดที่ส่งตลาดท้องถิ่นหรือปลูกไว้รับประทานเอง

ตลาดมะเขือเทศเพื่อการแปรรูป โดยทั่วไปโรงงานแปรรูปจะรับซื้อมะเขือเทศจากพ่อค้าตัวแทน หรือซื้อโดยตรงจากกสิกร เนื่องจากพ่อค้าเหล่านี้จะอำนวยความสะดวกในการผลิตให้สินเชื่อและปัจจัยการผลิตต่าง ๆ แก่กสิกร ราคาผลิตผลที่ได้รับจึงเป็นราคาที่พ่อค้าตัวแทนและโรงงานแปรรูปกำหนดขึ้น

ความเคลื่อนไหวของราคามะเขือเทศในตลาดระดับต่าง ๆ ราคามะเขือเทศที่กสิกรได้รับราคาขายส่งและราคาขายปลีก มีลักษณะความเคลื่อนไหวคล้ายคลึงกัน คือตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน ราคาจะอยู่ต่ำกว่าระดับราคาเฉลี่ยตลอดทั้งปี หลังจากเดือนเมษายนราคาจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเดือนกรกฎาคมเป็นเดือนที่ราคามะเขือเทศจะสูงที่สุดหลังจากเดือนกรกฎาคมราคาค่อย ๆ ลดลง จนถึงเดือนกันยายนแล้วจะกลับสูงขึ้นไปอีกครั้งหนึ่งในตอนปลายปี

2.2 คุณสมบัติของมะเขือเทศสดเพื่อการแปรรูป

มะเขือเทศที่นำมาทำการแปรรูป ต้องมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากมะเขือเทศที่ใช้บริโภคสด สามารถให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีและต้องมีคุณลักษณะพิเศษดังต่อไปนี้

2.3 ลักษณะภายนอกของผล

-ขนาดผลโตและรูปร่างเหมาะสม เช่น กลมหรือค่อนข้างกลม

-ไม่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรอยแตกและก้นจุดของผลแก่

-สีของผลแก่แดงจัด โดยเฉพาะที่นำมาทำซอส น้ำมะเขือเทศเข้มข้นและบรรจุกระป๋องทั้งผล

-ผลเข็งแน่นและผิวผลหนาเหนียว ทำให้เก็บไว้ได้นาน ขนส่งได้ไกลโดยไม่ช้ำง่าย และสะดวกต่อการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ลักษณะภายในของผล

-เป็นมะเขือเทศพันธุ์เนื้อ โดยมีเนื้อไม่รวมเมล็ดแกนและเยื่อหุ้มผล ไม่ต่ำกว่า 5.5%

-จำนวนช่องภายในผลต้องมีน้อย

-ไส้กลางของผล (core) เล็กหรือรอยขั้วผลสั้น เล็กและไม่แข็ง ถ้าโตลึกมักมีสีขาว ทำให้สีแดงของน้ำมะเขือเทศจางลงคุณภาพต่ำ

-เส้นใย (fiber) มีน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเขือเทศสำหรับบรรจุกระป๋องทั้งผล

2.5 การแยกน้ำและเนื้อมะเขือเทศ

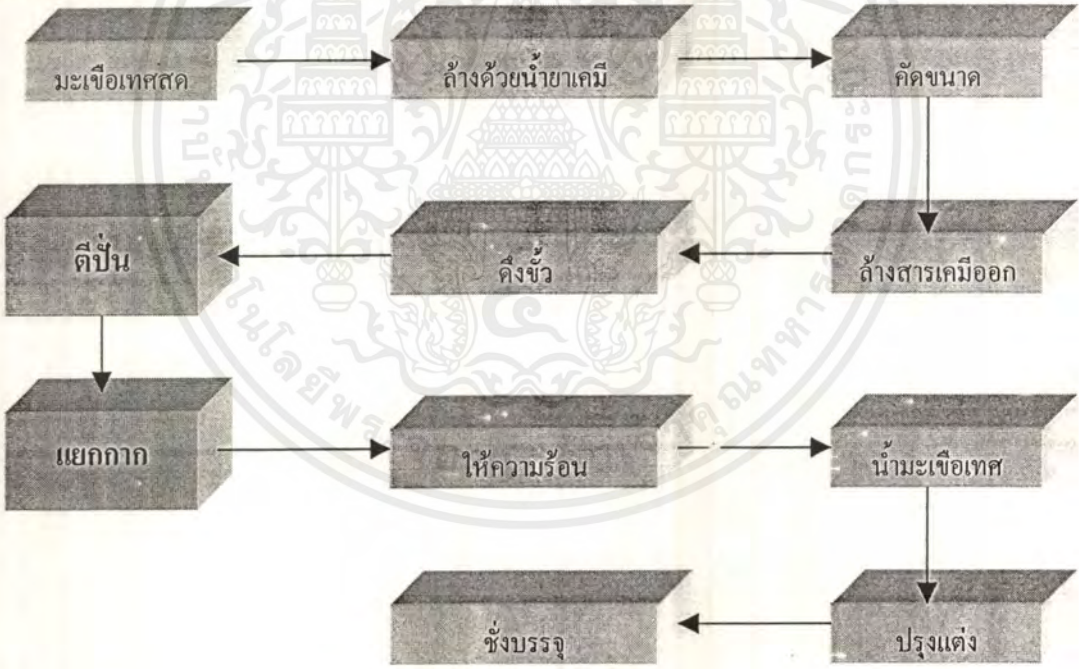
ใช้เครื่องยีเนื้อและแยกเมล็ดออก (palper and finisher) สามารถปฏิบัติได้ 2 วิธีคือ cold break process มะเขือเทศที่ผ่านการทำความสะอาดและคัดเลือกคุณภาพแล้ว จะป้อนเข้าเครื่องยีเนื้อและแยกเมล็ดออก วิธีนี้จะสูญเสียน้ำสูงและเนื้อมะเขือเทศติดไปกับเยื่อและเมล็ดเป็นจำนวนมากเพราะเนื้อมะเขือเทศยังกรอบและแข็ง น้ำมะเขือเทศจะมีสีแดงซีดเหมาะสำหรับทำน้ำมะเขือเทศเพราะมีกลิ่นรสชาติแต่เนื้อน้อยจึงไม่เหมาะกับการทำน้ำมะเขือเทศเข้มข้น hot break process มะเขือเทศที่ผ่านการทำความสะอาดและคัดคุณภาพแล้วนำไปทำให้เปลือกและเนื้ออ่อนนุ่มแล้วจึงป้อนเข้าเครื่องยีเนื้อและแยกเมล็ดออก ความร้อนจะช่วยสกัดเปคตินและทำลายเอนไซม์ในเนื้อเยื่อ จึงแยกน้ำและเนื้อมะเขือเทศได้ปริมาณมากและมีสีแดงจัด การเก็บรักษาระหว่างการแปรรูปจะคงคุณภาพได้นานกว่าวิธี cold break process [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการและทฤษฎีการคำนวณ

3.1 กระบวนการในการผลิตน้ำมะเขือเทศ

มะเขือเทศที่ถูกเก็บจากไร่จะถูกนำมาล้างด้วยน้ำยาเคมีที่ติดมากับผลมะเขือเทศ จากนั้นจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องคัดขนาด เพื่อคัดขนาดของมะเขือเทศให้มีขนาดใหญ่พอเหมาะ เพื่อที่จะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ มะเขือเทศที่ผ่านการคัดขนาดแล้วจะถูกส่งไปยังเครื่องล้างเพื่อทำการล้างสารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อราให้หมดจากมะเขือเทศ และทำการดึงขั้วออก จากนั้นจะถูกลำเรียงเข้าเครื่องตีปั่น เพื่อให้มะเขือเทศอยู่ในลักษณะเป็นของเหลว และส่งไปยังเครื่องแยกกากเพื่อแยกกากและน้ำออกจากกัน น้ำที่แยกได้ในขั้นตอนนี้จะส่งไปยังเครื่องให้ความร้อนซึ่งจะทำการฆ่าเชื้อโรคและส่งผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศไปผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อให้มีความน่ารับประทานในกลิ่น สี และรสชาดยิ่งขึ้นต่อไป



รูปที่ 3.1 กระบวนการในการผลิตน้ำมะเขือเทศ[6]

ในส่วนของการทดลองครั้งนี้เราได้เริ่มที่ขั้นตอนการตีปั่น และ การแยกกาก โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการทำงานของเครื่อง

3.2.1) เครื่องตีปั่น

เครื่องตีปั่นมะเขือเทศจะมีหน้าที่ทำให้มะเขือเทศอยู่ในลักษณะเป็นของเหลวโดยความละเอียดของมะเขือเทศหลังผ่านการตีต้องตีให้เนื้อมะเขือเทศเหลวเพื่อที่จะได้ทำการแยกกากได้ง่ายต่อไป

เครื่องตีปั่นจะออกแบบให้ตัวเครื่องอยู่ในแนวนอนทั้งนี้มีข้อดีกว่าในแนวตั้งคือ

1. bearing ที่ใช้มีเพียง 2 ตัว การทำ alignment ง่าย
2. เพลาที่ใช้ในแนวนอนสั้นกว่าทำให้ความแข็งแรงของเพลามีมากกว่า
3. ลดราคาลงเนื่องจากการทำเครื่องแบบนี้ housing และเพลาสั้นกว่าจึงลดการใช้วัสดุเหล็กเหนียวลง ค่าราคาวัสดุจึงถูกลงมากขึ้น

ส่วนประกอบของเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ

1.motor
2.bearing
3.pulley
4.สายพาน
5.เพลาพร้อมกับติดใบมีด
6.housing
7.ลิ่ม

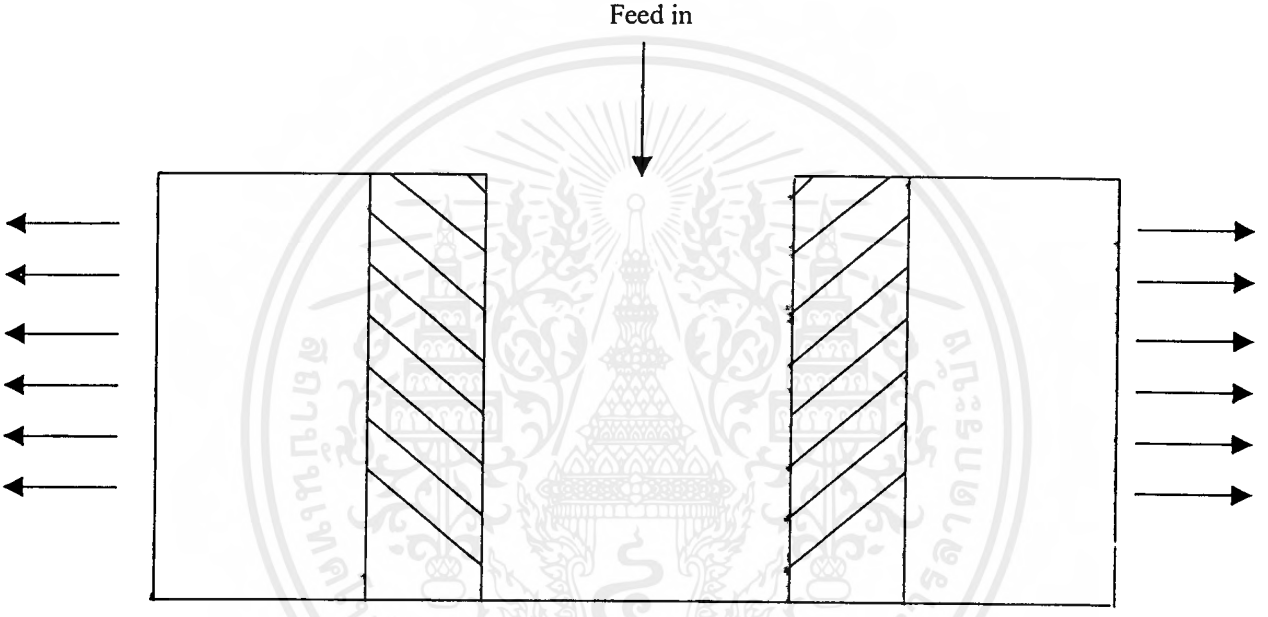
เนื่องจากลักษณะเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ เราได้ออกแบบให้ตัวเครื่องวางอยู่ในแนวนอน ดังนั้นเราต้องออกแบบให้เกิดการพาเนื้อมะเขือเทศที่ละเอียดออกจากเครื่องพร้อมกับตีปั่นไปด้วย ซึ่งเราจะออกแบบใบพัดให้มีลักษณะการทำงาน แบบเกลียวลำเลียง เพื่อใช้ส่งมะเขือเทศ และแบบเครื่อง blender เพื่อทำหน้าที่ตีปั่นให้ละเอียด ดังนั้นเราจึงออกแบบใบพัดให้มีการวางตัวคล้ายๆกับลักษณะของเกลียวเอียงเพื่อให้มะเขือเทศที่ตีปั่นแล้วถูกพาออกไปได้

3.2.2)เครื่องแยกกาก[8]

เครื่องแยกกากเป็นเครื่องที่ใช้ในการแยกน้ำออกจากกาก ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการให้ได้น้ำมะเขือเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องแยกกากนี้เราจะทำการออกแบบให้เครื่องแยกกากสามารถทำงานได้แบบใช้การกรองหนีศูนย์ (Centrifugal Filtration) โดยการกรองแบบหนีศูนย์นี้เป็นวิธีที่ใช้แยกกากที่ไม่สามารถละลายได้ (insoluble solid) ออกจากของเหลว ซึ่งแรงหนีศูนย์มีอิทธิพลในการแยกกากในลักษณะนี้ อย่างไรก็ตามในการแยกกากแบบนี้วิธีการแยกกากก็คือการกรอง และของเหลวที่กรองได้โดยใช้แรงหนีศูนย์เป็นหลัก สำหรับหลักการโดยทั่วไปของการกรองหนีศูนย์นี้แสดงดังรูป 3.2

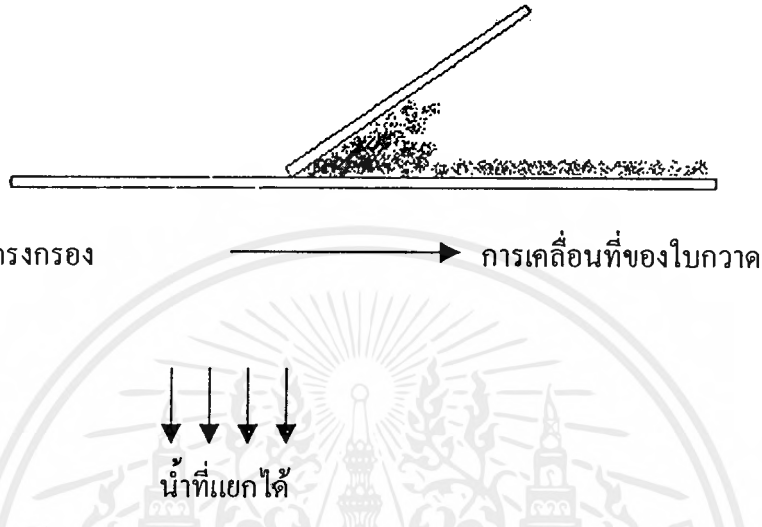


รูปที่ 3.2 หลักการโดยทั่วไปของการกรองหนีศูนย์

สำหรับเครื่องแยกกากที่ผู้จัดทำได้ออกแบบจะใช้หลักการข้างต้นมาอ้างอิงเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลวที่ได้จากการตีปั่นแล้วจะถูกป้อนให้ (feed) ตะแกรงกรองที่วางตัวอยู่ในแนวนอนและจะมีชุดใบกวาดเป็นตัวหมุนแทนการหมุนของตะกร้าซึ่งจะทำให้เครื่องแยกกากที่เราออกแบบสามารถทำงานแบบการกรองหนีศูนย์ได้ ชุดใบกวาดถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นเกลียวลำเลียง มันจึงสามารถดันกากออกมาอีกด้านหนึ่งได้และชุดใบกวาดมีลักษณะเอียงกับตะแกรง (ดังรูป 3.3) เพื่อให้ทำงานในลักษณะปาดกับตะแกรง จะทำให้เพิ่มความดันในการกรอง ให้น้ำผ่านรูตะแกรง ได้ดีขึ้น ผนังของตะแกรง (Filter) ได้ทำการเจาะรู (slot) ไว้ที่ผนัง โดยตะกร้านี้จะเป็นตัวปกคลุมตัวกรอง (filter medium) ซึ่งกากนี้จะถูกเหวี่ยงโดยใบกวาดไปที่ผนังของตะแกรงและก่อรูปกลายเป็นเค้ก (cake) ซึ่งกากที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อรูปเป็นเค้ก(cake)นี้จะกลายเป็นตัวต้านทานการไหลของน้ำที่เราต้องการแยก (น้ำมะเขือเทศ) เมื่อเค้กก่อตัวขึ้นชุดใบกวาด อยู่ด้านในของตัวกรองซึ่งติดอยู่กับเพลา (ใบกวาดจะหมุนไปพร้อมกับเพลา) จะทำหน้าที่กวาดเค็กที่ติดอยู่ที่ผนังตะแกรงให้ไหลออกมาที่ทางออกของกาก และเครื่องจะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อยๆ



รูปที่ 3.3 แสดงการทิศทางและเคลื่อนที่ของใบกวาดและทิศทางการไหลของน้ำที่แยกได้

สำหรับการทำความสะอาดสามารถทำโดยการล้างเมื่อถึงเวลาที่เหมาะสมโดยการล้างนี้จะกระทำได้โดยป้อนน้ำสะอาดเข้าไปโดยการฉีดน้ำเข้าไป น้ำที่ฉีดจะทำการล้างเค้กที่ติดที่ผนังออกโดยกากที่ถูกล้างจะไหลออกตรงทางออกกากและน้ำที่ล้างจะไหลออกทางตัวกรอง เมื่อทำการล้างเค้กเสร็จแล้วก็จะสามารถทำการแยกกากต่อไปได้ตามเดิม

ลักษณะของตัวกรองที่ดี

1. สามารถกันอนุภาคของของแข็งได้
2. ไม่เกิดการอุดตัน
3. ทนต่อปฏิกริยาทางเคมีและลักษณะทางกายภาพได้
4. สามารถล้างกากที่ก่อรูปเป็นเค้กที่ form ตัวได้อย่างหมดจด
5. ราคาไม่แพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. ทฤษฎีการคำนวณ

3.3.1)เครื่องตีปั่นมะเขือเทศ

สำหรับเครื่องตีปั่นมะเขือเทศนี้เราจะทำการออกแบบชิ้นส่วนซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปร่างโดยใช้พื้นฐานทางด้านการคำนวณและหลักการในการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนตามความเหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกลกับงานลักษณะต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้เราจะทำการคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่

1.เพลา

2.สายพาน

3.แบริ่ง

4.ลิ่ม

เพลา[1]

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาคือ เหล็กกล้าละมุน (mild steel) แต่เมื่อคำนึงถึงในแง่ความประหยัดเพื่อทำให้เพลามีราคาถูกที่สุด ดังนั้นเราจะทำการออกแบบวัสดุที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (plain carbon steel) โดยเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.005 % – 0.3 % เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ 0.3 % – 0.5 % และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (high carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ มากกว่า 0.5 % ขึ้นไป

สำหรับทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเพลาเราจะใช้หลักการออกแบบเพลาภายใต้แรงเปลี่ยนแปลงซึ่งเราจะออกแบบเพลาโดยคิดถึงแรงเปลี่ยนแปลงขนาดเป็นวัฏจักรสำหรับสมการที่ใช้คือ

$$1/N = \{[(\sigma_m/\sigma_y)^2+K_f(\sigma_a/\sigma_n)]^2+[(\tau_m/\tau_y)+K_{fs}(\tau_a/\tau_n)]^2\}^{1/2}$$

และ

$$\sigma_m = (32M_m)/\pi d^3(1-K^4) \quad , \quad \sigma_a = (32M_a)/\pi d^3(1-K^4)$$

$$\tau_m = (16T_m)/\pi d^3(1-K^4) \quad , \quad \tau_a = (32\tau_a)/\pi d^3(1-K^4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราจะออกแบบเพลาเพื่อหาขนาดโดยอาศัยทฤษฎีความเสียหายคือ

1. ทฤษฎีความคันเฉือนสูงสุด

$$\tau = \tau y/N = \sigma y/2N$$

2 ทฤษฎีความคันเฉือนออคตะฮีดอล

$$\tau = \tau y/N = 0.577\sigma y/N$$

การคำนวณหาความเร็ววิกฤติ[1]

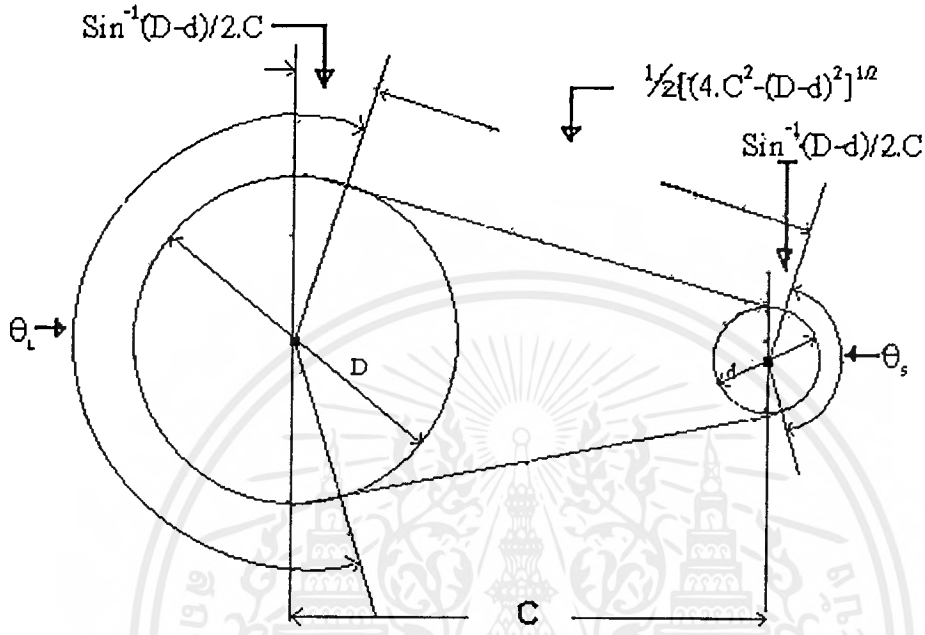
ความเร็ววิกฤติคือ ความเร็วของเพลาซึ่งเป็นผลให้เพลาเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง ซึ่งในทางปฏิบัติมักจะออกแบบให้เพลาทำงานที่ความเร็วสูงหรือต่ำกว่าความเร็ววิกฤติอย่างน้อย 25 % เพื่อหลีกเลี่ยงการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงซึ่งอาจจะทำให้ส่วนอื่น ๆในระบบเสียหายได้ สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็ววิกฤติคือ

$$n_c = 945[(W.Y)/(W.Y^2)]^{1/2}$$

สายพาน[2,7]

สายพานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ สายพานแบน (flat belt) สายพานลิ่ม (V-belt) สายพานกลม (rope) และไทมิ่งเบลท์ (timing belt) ซึ่งในการออกแบบสายพานนี้เราจะเลือกใช้สายพานแบนเป็นตัวขับเนื่องจากสายพานแบนมีประสิทธิภาพสูงถึง 98% ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงพอ ๆ กับการใช้เกียร์เป็นตัวขับ ในการใช้สายพานแบนเป็นตัวขับนี้จะทำให้เกิดเสียงเงียบและดูดซับการสั่นสะเทือนได้ดีกว่าเกียร์หรือ V-belt วัสดุที่เลือกใช้ทำสายพานโดยทั่วไปจะทำจากหนังซึ่งสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายมีค่าประมาณ 0.4-0.5 และความเร็วใช้งานของสายพานควรจะอยู่ในช่วง 1000-2000 m/min ซึ่งในที่นี้เราจะเลือกใช้สายพานทำจากหนัง (จากหนังสือ การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Open belt

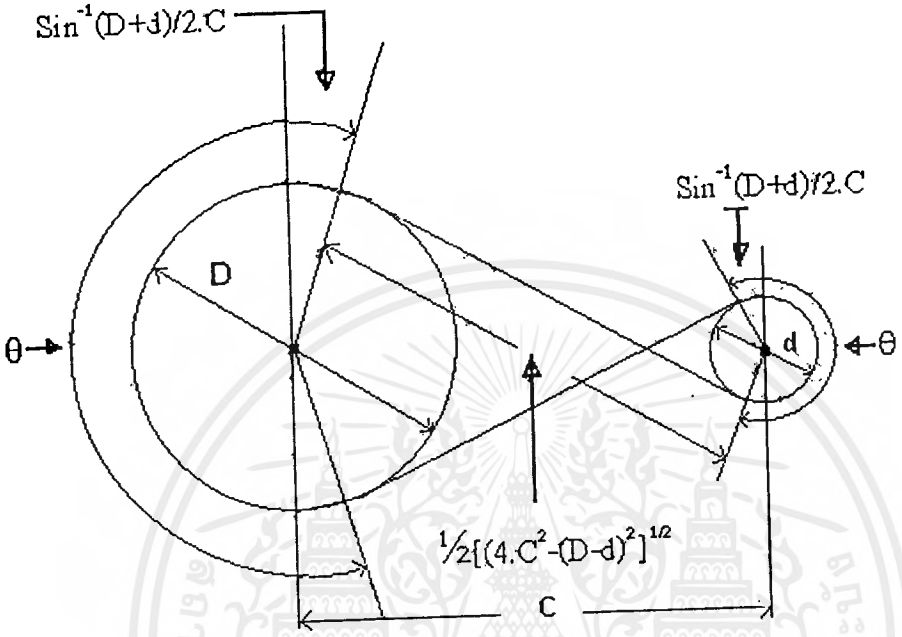
$\theta_S = \pi - 2\sin^{-1}[(D-d)/2.C]$

$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}[(D-d)/2C]$

$L = [4C^2-(D-d)^2]^{1/2} + 1/2\ (D\theta_L + d\theta_S)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.5 Crossed belt

$\theta = \pi+2\sin^{-1}[(D-d)/2C]$

$L = [4C^2-(D-d)^2]^{1/2}+\theta/2\ (D+d)$

ในที่นี้จะเลือกใช้สายพานแบบ open belt เนื่องจากการขับสายพานในลักษณะ crossed belt นี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานถูกันทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมาก สำหรับลักษณะการขับแบบ open belt ความตึงของสายพานทั้งสอง ด้านจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะการหมุนของล้อสายพานดังนั้นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงด้านตึงและแรงดึงด้านหย่อนเมื่อเราไม่คิดแรงหนีศูนย์

$$F_1 / F_2 = e^{f\theta}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33977

และสมการสำหรับการส่งถ่ายกำลัง(Power transmitted) ของสายพานแบน คือ

$$H = [(F_1 - F_2).V]/746$$

ซึ่งสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงด้านตึงและแรงตึงด้านหย่อนเมื่อเราจำเป็นต้องนำแรงหนีศูนย์(F_c)มาคิดด้วย

$$(F_1 - F_c)/(F_2 - F_c) = e^{f.\theta}$$

และ

$$F_c = m'.V^2$$

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงด้านตึงและแรงตึงด้านหย่อนและสมการการส่วถ่ายกำลัง เราจะสามารถหาแรงเนื่องจากสายพานที่กระทำกับเพลาได้

Elastic Creep[7]

Firbank ได้อธิบายทฤษฎีของการขับด้ายสายพานแบนไว้ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงแรงดึงในสายพานเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างสายพานและล้อสายพาน เป็นเหตุให้สายพานยืดตัวขึ้นและเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับล้อสายพาน(pulley) การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้เรียกว่า elastic creep เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจริงๆ นั้น เกิดขึ้นที่ ส่วนสัมผัสระหว่างสายพานกับล้อสายพาน การที่สายพานเคลื่อนที่ช้ากว่าความเร็วที่ขอบผิวของล้อสายพานก็เป็นเหตุเนื่องมาจาก elastic creep ทำให้ประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังลดลง

เพื่อหลีกเลี่ยงการลื่นไหล(Slippage) พจน์ของ $e^{f.\theta}$ อาจจะมากกว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดึงด้านตึงและแรงดึงด้านหย่อน ซึ่งถ้าเกิดการลื่นไหล (slippage) ขึ้น เราสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มมุมสัมผัสระหว่างสายพานและล้อสายพานหรือเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำสายพานเพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน หรือใช้สายพานที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ๆ

Roller Bearing[7]

โดยทั่วไป Roller Bearing แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ บอลแบริ่ง ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกลม และ โรเลอร์แบริ่ง ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง หรือรูปทรงกระบอก-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียว โดยปกติแล้วแบริ่งเหล่านี้จะรับแรงในแนวนอนและแรงรุนได้ ยกเว้นโรเลอร์แบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกเท่านั้น

ในที่นี้เราจะเลือกใช้ บอลแบริ่ง โดย load Rating ที่แสดงใน catalogที่ใช้สำหรับเลือกบอลแบริ่ง จะแสดงแรงในแนวรัศมีอย่างเดียว แต่เนื่องจาก บอลแบริ่ง จะรับได้ทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการเลือกบอลแบริ่ง เราจะพิจารณาจาก แรงเสมือนในแนวรัศมี(Equipvalent radail load ; Fe) ซึ่งแรงเสมือนในแนวรัศมีนี้เราจะใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานของแบริ่ง ซึ่งสมาคม AFBMA ได้ให้สมการสำหรับแรงเสมือนในแนวรัศมี สำหรับบอลแบริ่ง ไว้ 2 สมการคือ

$$F_e = V.F_r$$

$$F_e = X.V.F_r + Y.F_a$$

โดยสมการแรกจะใช้เมื่อ บอลแบริ่งรับเฉพาะแรงในแนวรัศมี และ สมการที่สองจะใช้เมื่อ บอลแบริ่งรับทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน

สำหรับค่า Rotation Factor ที่ถูกต้องสำหรับสภาวะการหมุนของวงแหวน ให้ไว้ดังนี้

เมื่อวงแหวนในหมุนให้ V = 1

เมื่อวงแหวนวงนอกหมุนให้ V = 1.2 ณ. สภาวะนี้อายุของความเสียหายจะลดลง

โดยเราจะนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลามาใช้เลือกบอลแบริ่ง โดยให้มีขนาดพอเหมาะกับรูเจาะ (bore) ซึ่งแรงเสมือนในแนวรัศมีจะต้องมีค่าไม่เกินค่า Load Rating ในแคตล็อก (catalog) จากนั้นนำค่าแรงเสมือนในแนวรัศมีนี้ไปคำนวณหาอายุของแบริ่ง แล้วเทียบกับอายุการใช้งานของแบริ่งที่แนะนำให้ โดยอายุการใช้งานของแบริ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = (C/F)^a$$

a = 3 สำหรับบอลแบริ่ง

a = 10/3 สำหรับโรลเลอร์แบริ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิ่ม[1]

ลิ่มเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ยึดอุปกรณ์ที่ใช้ส่งกำลังหรือรับกำลังจากเพลา ลิ่มทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการหมุนสัมพัทธ์ ขึ้นในระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองนี้

ลิ่มมีอยู่ 7 ชนิด คือ

1. ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลียมจัตุรัส
2. ลิ่มแบน
3. แซดเดิลคีย์
4. ลิ่มวงเดือน
5. แทนเจนเชียลคีย์
6. สปรายน์
7. ลิ่มกลมหรือสลัก

ในกการออกแบบเราจะเลือกใช้ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าเนื่องจากทำง่ายและเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมทั่วไป

สำหรับการออกแบบลิ่มนี้ เราจะใช้ขนาดของเพลาที่คำนวณได้ มาเลือกขนาดมาตรฐานของลิ่มที่ใช้กับเพลาที่ต้องการจากตารางได้และคำนวณหาความยาวลิ่มจากสมการ

$$T = F.d/2 = b.l.\tau.d/2$$

$$T = F.d/2 = h.l.\sigma_c.d/4$$

ซึ่งสมการแรกอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ลิ่มจะเกิดการเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน และสมการที่สองอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าลิ่มจะเกิดการเสียหายเนื่องจากโดนอัดแตก จากค่าความยาวลิ่มที่คำนวณได้จากสมการทั้งสองนี้นำมาเปรียบเทียบกันแล้วเลือกใช้ความยาวลิ่มที่มากกว่า จากนั้นก็เลือกขนาดของคุมล้อ ให้เท่ากับความยาวลิ่ม

3.3.2)เครื่องแยกกากมะเขือเทศ[8]

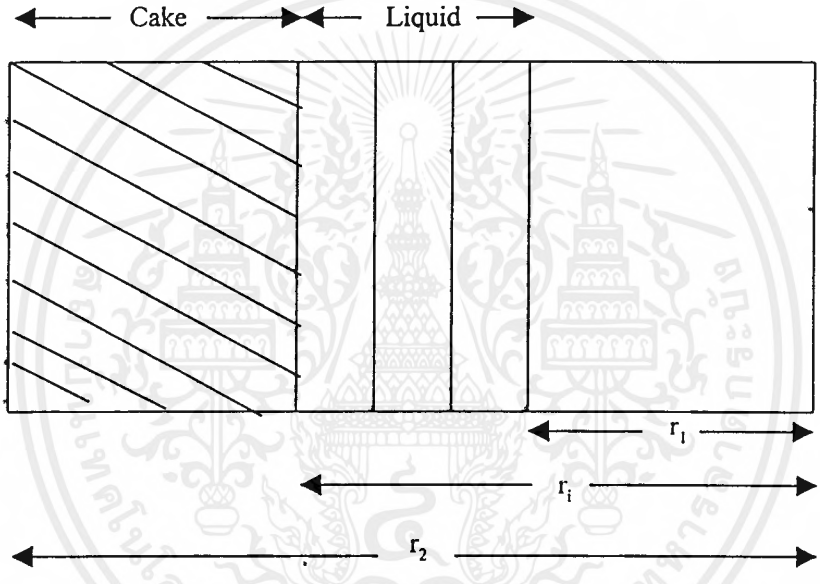
เนื่องจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในหัวข้อของหลักการทำงานของเครื่องแยกกากมะเขือเทศว่าจะใช้วิธีการแยกกากแบบการกรองหนีศูนย์ (Centrifugal filtrattion) เพราะฉะนั้นเราจะพิจารณาหลักการของการกรองหนีศูนย์ (Principles of centrifugal filtrattion) ในการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ และทำการออกแบบเพลา สปริง และลิ่มโดยใช้หฤษฎีการคำนวณที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น เพราะฉะนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการของการกรองหนีศูนย์เท่านั้น

หลักการกรองหนีศูนย์ (Principles of centrifugal filtrattion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราจะใช้ทฤษฎีพื้นฐานของ constant pressure filtration มาประยุกต์ใช้ในการกรองแบบใช้แรงหนีศูนย์ ซึ่งลักษณะการกรองแบบนี้ความลด (pressure drop) จะคงที่แต่อัตราการไหลของของเหลวจะลดลงตามเวลา

เนื่องจากของเหลวจะต้องไหลผ่านความต้านทานสองตัวคือความต้านทานเนื่องจากเค้ก (cake) และความต้านทานเนื่องจากตัวกรอง (filter medium) ซึ่งความต้านทานเนื่องจากเค้กจะเป็นศูนย์เมื่อเริ่มต้นทำการกรองหรือแยกกากและเพิ่มขึ้นตามเวลาเมื่อดำเนินการกรองหรือแยกกาก



รูปที่ 3.6 แสดง Centifugal filter

r_1=รัศมีที่วัดจากพื้นผิวด้านในของของเหลว

r_i=รัศมีที่วัดจากพื้นผิวด้านในของเค้ก (cake)

r_2=รัศมีด้านในของตะแกรง

เนื่องในการคำนวณเราจะสมมติดังนี้คือไม่คิดผลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง พลังงานจลน์ของของเหลวและความดันลด (pressure drop) เนื่องจากแรงหนีศูนย์เท่ากับแรงต้าน (drag) ของของเหลวที่ไหลผ่านเค้กการไหลของของเหลวเป็นการไหลแบบราบเรียบความต้านของตัวกรองคงที่เค้กอัดตัวไม่ได้ (incompressible) ค่าเฉลี่ยของ specific resistance คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อสมมติฐานข้างต้นเราสามารถประมาณอัตราการไหลของของไหลผ่านเค้กได้ดังนี้ซึ่งเราจะต้องตั้งสมมติฐานเพิ่มคือพื้นที่การกรองไม่แปรผันตามรัศมีซึ่งสมมติฐานนี้จะใกล้เคียงความจริงเมื่อความหนาของเค้กจะบางเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรง

$$q = \rho.\omega^2.[(r_2)^2-(r_1)^2]/[(2.\mu)(\alpha.m_c/A^2+R_m/A)]$$

เมื่อพื้นที่การกรองแปรผันตามรัศมี

$$q = \rho.\omega^2.[(r_2)^2-(r_1)^2]/[(2.\mu)(\alpha.m_c/A_L.A_a+R_m/A)]$$

$$A_a = (r_i+r_2).\pi.b$$

$$A_L = 2.\pi.b.[r_2-r_i]/\ln(r_2/r_1)$$

จะเห็นว่าค่า α m_c และR_m เราจะไม่รู้ค่าซึ่งค่า α และ R_m สามารถหาได้จาก

$$t/V=(K_c/2)V+1/qo$$

$$K_c = (\mu.c.\alpha)/(A^2.\Delta P.g_c)$$

$$1/q_o = \mu.R_m/A.\Delta P.g_c$$

ดังนั้นเราต้องการสร้างกราฟระหว่างค่า t/V กับ ค่าV ซึ่งมีความชันเท่ากับ Kc/2 และมีจุดตัดคือ 1/qo โดยเราจะต้องทำการทดลองหาค่าปริมาตรที่กรองได้ (V) และเวลาที่กรองได้ (t) ณ pressure drop ต่างๆจากนั้นเราสามารถหาค่า α และ R_mได้ ณ pressure drop นั้นๆและค่า m_c หาจาก

$$m_c=V.c$$

และ

$$c = c_s/1-[(m_s/m_c-1].c_s/\rho$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเราจะหาค่าอัตราเร่งเชิงมุม (ω) ได้จาก

$$\Delta P = \rho.\omega^2.[(r_2)^2-(r_1)^2]/2.g_c$$

ทำการคำนวณค่าอัตราเร่งเชิงมุม ณ ความดันลดค่าต่างๆและนำค่าอัตราเร่งเชิงมุมที่ได้นี้ไปแทนในสมการที่ใช้หาอัตราของของไหล แล้วเชคว่าค่าอัตราการไหลของของไหลที่กรองได้เท่ากับที่เราต้องการหรือไม่ ถ้าค่าอัตราการไหลของของไหลที่ได้นำไปแทนแล้วทำให้ค่าอัตราการไหลของของไหลที่กรองได้เท่ากับที่เราต้องการแสดงว่าค่าอัตราเร่งเชิงมุมที่ได้นี้ใช้ได้ และนำค่าอัตราเร่งเชิงมุมที่ได้นี้ไปคำนวณหาค่าความเร็วรอบได้จาก

$$\omega = \pi.N/30$$

ซึ่งจากค่าความเร็วรอบที่ได้นี้สามารถกำหนดขนาดมอเตอร์ได้

เนื่องจากเครื่องแยกกากที่ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบไว้มีลักษณะวางตัวในแนวนอนซึ่งในทางทฤษฎีลักษณะของเครื่องแยกกากจะวางตัวในแนวดิ่งดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นดังนั้นทางผู้จัดทำจึงขอนำทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้มาใช้อ้างอิงหาค่าต่างๆเพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของเครื่องแยกกากโดยคร่าวๆ

3.4 การทำความสะอาดเครื่องจักรที่ใช้งาน

เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตต่างๆ จำเป็นจะต้องมีการทำความสะอาดเครื่องจักรเพื่อขจัดสิ่งอุดตันและสิ่งสกปรก ที่ติดค้างอยู่ภายในเครื่องภายหลังการใช้งาน โดยวิธีต่างๆ ต่อไปนี้

1.การทำความสะอาดโดยใช้น้ำ

คุณภาพของน้ำเป็นองค์ประกอบหนึ่ง น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดควรที่จะดื่มได้ นั่นคือ จะไม่มีส่วนประกอบทางเคมีในจำนวนที่เป็นอันตราย

2.การทำความสะอาดโดยใช้ผงซักฟอก

ผงซักฟอกจะช่วยลดการทำงานที่จะทำความสะอาด ผงซักฟอกที่ดีควรที่จะละลายในน้ำได้ดีและไม่กัดกร่อนผิวโลหะ และเป็นการประหยัด

3.การทำความสะอาดโดยใช้ไอน้ำ

สามารถใช้ในความดันบรรยากาศ ปรกติจะใช้เวลา 10 - 15 นาที หลังจากถึงแน่นที่อุณหภูมิ 85 °C ซึ่งไอน้ำจะสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีแต่ไม่สะดวกในการใช้ รวมทั้งมีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.การทำความสะอาดโดยใช้น้ำร้อน

โดยให้น้ำร้อนไหลผ่าน เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 85 °C หรือ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 80-°C จะฆ่าเชื้อโรคได้

5.การทำความสะอาดส่วนอื่นๆ ของเครื่อง

สามารถที่จะใช้น้ำยาทำความสะอาด หรือผงซักฟอก ทำความสะอาดส่วนของเครื่องที่ไม่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศได้ เช่น โครงเหล็กของเครื่อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณและการออกแบบ

4.1 การคำนวณและออกแบบเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ

4.1.1) คำนวณและออกแบบการขนาดมอเตอร์

กำหนดให้

-มะเขือเทศ 1 ลูกมีมวลเฉลี่ย 100 กรัม

-เราต้องการผลิตวันละ 1,000 ขวด (ขวดละ 250 cc) ดังนั้น ปริมาณที่ต้องผลิตได้ต่อวัน = 0.25 m^3

-ความหนาแน่นน้ำมะเขือเทศเฉลี่ย 1,200 kg/m^3

-เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศโดยมวล โดยเฉลี่ย 94 % [6]

ดังนั้นมวลของน้ำมะเขือเทศทั้งหมดที่ต้องการอย่างน้อยเท่ากับ 1,200×0.25 = 300kg เพราะฉะนั้นมวลของมะเขือเทศทั้งหมดที่ต้องการเท่ากับ 300/0.94 = 320 kg โดยเราจะทำการผลิตให้ได้น้ำมะเขือเทศวันละประมาณ 8 ชั่วโมง ซึ่งจะต้องทำการป้อนมะเขือเทศทั้งหมดประมาณ 320/0.1= 3,200 ลูก เพราะฉะนั้นใน 1 วินาที ต้องทำการป้อนมะเขือเทศ 3,200/(8×60×60) = 0.111 ลูก/วินาที หรือ 9 วินาที ทำการป้อน 1 ลูก และเพื่อเผื่อความสูญเสียจึงให้อัตราการป้อนมะเขือเทศเป็น 0.5 ลูก/วินาที

-ให้มะเขือเทศ 1 ลูกผ่านการเฉือน 100 ครั้ง

-ให้การเฉือนแต่ละครั้งใช้แรง 400 กรัมต่อลูก

จากข้อมูลข้างต้นเราสามารถคำนวณหากำลังม้าที่ใช้ขับเพลาของมอเตอร์ได้ดังนี้

ใน 1 วินาที จะตีมะเขือเทศได้ 0.5 ลูก

ใน 1 วินาที อัตราการเฉือน 0.5×100 = 50 ลูก.ครั้ง

ใน 1 วินาที ใช้แรงเฉือน 50×400 = 20,000 กรัมต่อวินาที

= 20 กิโล กรัมต่อวินาที

= 20×9.81 = 196.2 วัตต์

= 196.2/746 = 0.263 แรงม้า

ให้ค่า safety factor = 1.5

เพราะฉะนั้นกำลังม้าของมอเตอร์ = 0.263×1.5

= 0.395 ≈ 1/2 hp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ใช้จำนวนใบมีด 4 ใบ(ชิ้)

ซึ่งเราต้องทำให้เพลาหมุน 1 รอบเกิดการเฉือน 6 ครั้ง

-ใช้ชุดใบมีดทั้งหมด 6 ชุด

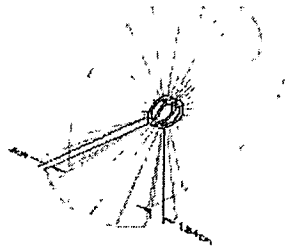
กำหนดให้มะเขือเทศที่ถูกตีครั้งที่สองมีโอกาศรอดจากใบตี 50 % แล้วมะเขือเทศ 1 ลูก ควรจะถูกเฉือนอย่างน้อย 100/0.5 = 200 ครั้ง

ดังนั้นใบมีด 1 ใบจะต้องเฉือนมะเขือเทศได้เท่ากับ 200/6 = 33.333 ครั้ง/ลูก เพราะฉะนั้นเพลาต้องหมุน 33.33/4 = 8.333 รอบ/ลูก ซึ่งเราจะFeedครั้งละ2 ลูกดังนั้นเพลาต้องหมุน 8.333×2 = 16.666 รอบ ซึ่งต้องเว้นระยะเวลาในการ Feed 4 วินาทีหรือ 4 วินาทีทำการ Feed 2 ลูก

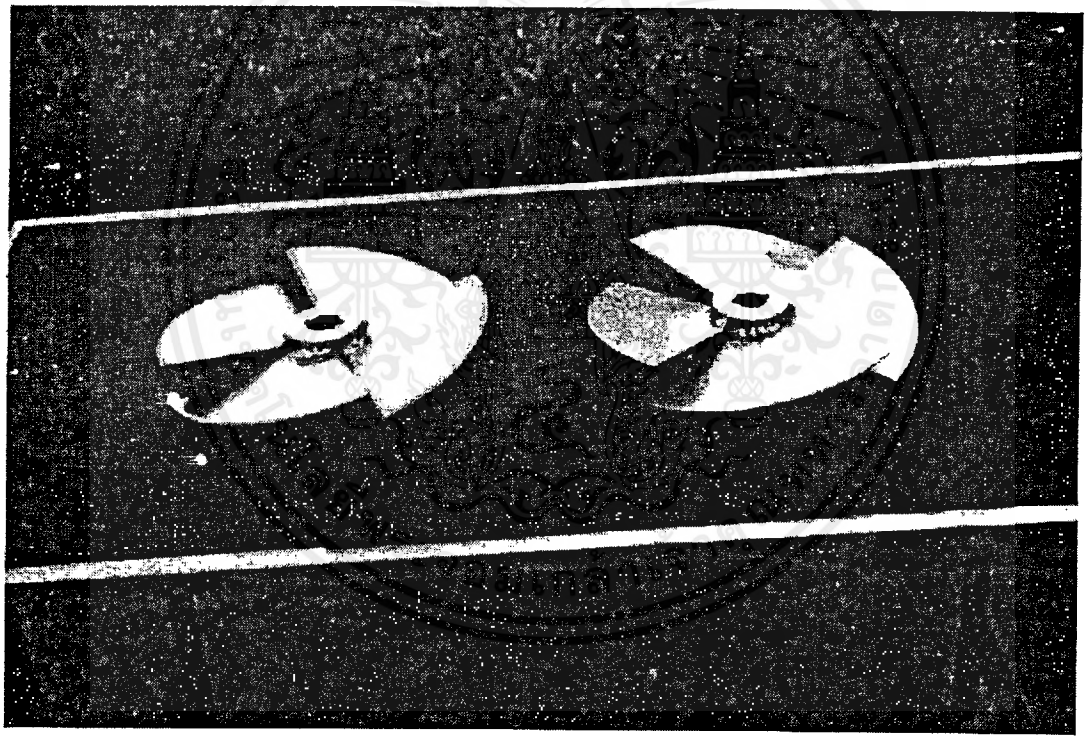
ถ้ากำหนดให้มะเขือเทศที่ป้อนแต่ละครั้งจะต้องถูกบดละเอียดภายในเวลา 1 วินาที เพราะฉะนั้นความเร็วรอบของเพลาที่ต้องการอย่างน้อยเท่ากับ 16.666/1×60 = 999.96 rpm โดยมอเตอร์ครึ่งแรงม้าความเร็วรอบขณะทำงานที่เต็มกำลังเท่ากับ 1,440 rpm

รูปที่ 4.1 มุมมองด้านข้างของใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปไอโซเมติกของใบมีด



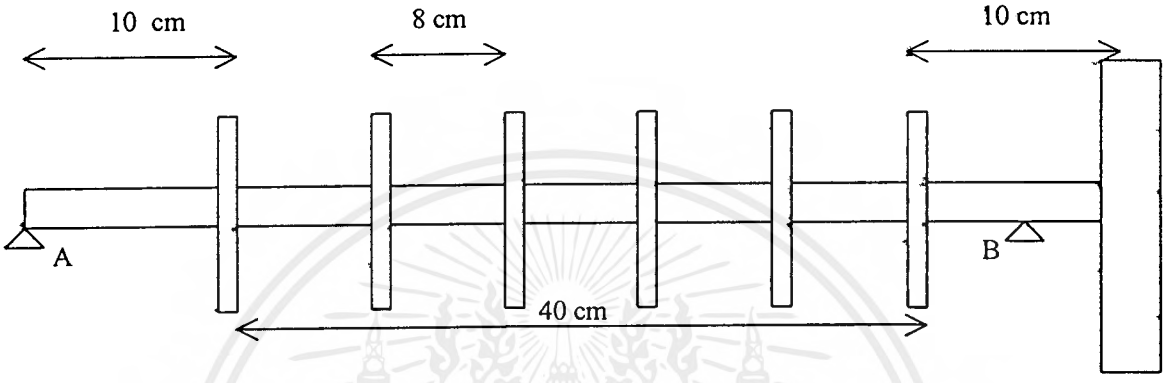
รูปที่ 4.3 รูปจริงของใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2) คำนวณและออกแบบขนาดเพลาและสายพาน

กำหนดให้

-ใบมีดแต่ละใบห่างกัน 8 cm และติดตั้งชุดใบมีด 6 ชุด



รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งของใบมีดและพู่เล่

จะได้ความยาวเพลา 60 cm

กำหนดให้

-น้ำหนักมูเล่ 2 kg และใบมีดหนักอันละ 1.5 กิโลกรัม

-น้ำหนักเพลา 5 กิโลกรัม

จาก ตารางที่ ค.11 เลือกใช้เหล็กชนิดเหล็กกล้าคาร์บอน(carbon steel) ซึ่งมีความหนาแน่น

$(\rho) = 7.81$ Mg/ = 7,810 Kg/ m^3 [7]

หาจุดศูนย์ถ่วง(c.g.)ของเพลา

จาก $\sum mr = M.x$

x = ระยะห่างระหว่างแบริ่ง A ถึงจุด c.g. ของเพลา

M = มวลรวมของเพลา ล้อสายพาน และใบตี

r = ระยะห่างระหว่างแบริ่ง A ถึงใบตี

$M = (1.5\times6)+2+5 = 16$ kg

$\sum mr = (1.5\times10)+[1.5\times(8+10)]+[1.5\times(16+10)]+[1.5\times(24+10)]+[1.5\times(32+10)]$

$+[1.5\times(40+10)]$

$= 540$ kg.cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $x = 540/16 = 33.75 \approx 34$ cm

คำนวณหา เส้นผ่านศูนย์กลางเพลา (d)

จาก $\rho = m/v$

จะได้ $V = m/\rho$

$= 5/7,810 = 6.402*10^{-4}\ m^3$

จาก $V = [(\pi \times d^2) \times L]/4$

จะได้ $d = [(V \times 4)/(\pi \times L)]^{1/2}$

$= [(6.402 \times 10^{-4} \times 4)/(\pi \times 60 \times 10^{-2})]^{1/2}$

$= 36.86$ mm

จากตารางที่ ค.2 เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร[1]

วิธีที่แสดงข้างต้นจะเป็นการหาเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างหยาบๆ

หาแรงที่กระทำกับเพลาและเลือกขนาดสายพาน

กำหนดให้

-เลือกใช้ Flat Belt แบบ Open Belt

-อัตราทด $= N_2/ N_1 = 600/1,440 = (1/2.4)$

-เส้นผ่านศูนย์มู่เล่ตัวเล็ก (d) 10 เซนติเมตร

ดั้งนั้น จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ตัวใหญ่ (D)

$D = d \times (N_1/N_2)$

$= 10 \times (2.4/1) = 24$ cm

จาก Angular contact บนมู่เล่ตัวเล็ก

$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}[(D-d)/2.C]$

C = Center distance

-Center distance = 40 cm

$\theta_s = \pi - 2\sin^{-1}[(24-10)/(2 \times 40)]$

$= 2.966$ rad

จาก Angular contact ของ มู่เล่ตัวใหญ่

$\theta_L = \pi + 2\sin^{-1}[(D-d)/2C]$

$= \pi + 2\sin^{-1}[(24-10)/(2 \times 40)]$

$= 3.317$ rad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความยาว Flat Belt

จาก $L = [4C^2-(D-d)^2]^{1/2}+1/2\ (D.\theta_L+d.\theta_S)$

ดังนั้น

$L = [4\times40^2-(24-10)^2]^{1/2}+1/2\ (24\times3.317+10\times2.966)$

$=133.4$ cm

จากตารางที่ ค.5 เลือกใช้สายพานยาว 1,400 mm[2]

หาความกว้างสายพานและล้อสายพาน

จาก $P = (W.N_s)/N_a$

จากตารางที่ ค.6 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส $N_a = 2.826$ [2]

จากตารางที่ ค.6 ตัวประกอบใช้งาน $N_s = 1.3$[2]

เพราะฉะนั้น $P = (1/2\times746\times1.3)/0.768$

$= 631.38$ W

จากตารางที่ ค.5 เลือกใช้สายพาน 3 ชั้น ส่งกำลังได้ $P_o \approx 1.214$ kW/25 mm[2]

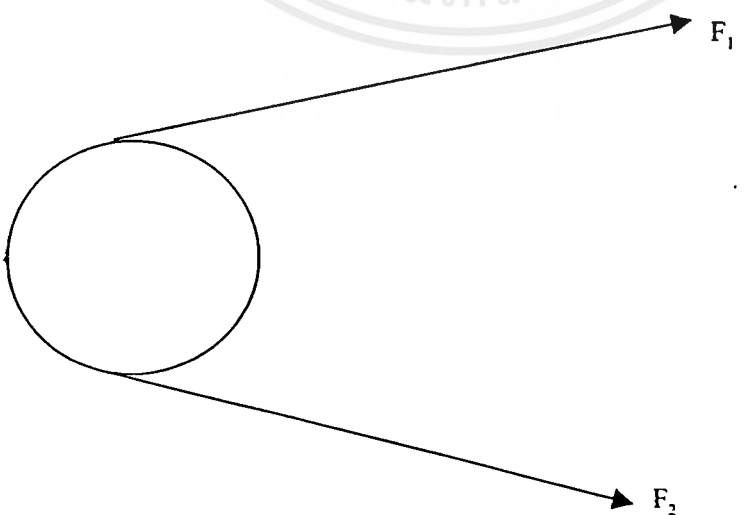
จาก $b = (25P)/P_o$

$= (25\times631.38)/(1.214\times10^3)$

$= 13.002$ mm

จากตารางที่ ค.4 เลือกใช้สายพานกว้าง 16 mm (0.63 in) และล้อสายพานกว้าง 20 mm (0.8 in) [2]

เนื่องจากเลือกใช้ Belt ที่ทำจาก oak-tanned leather และล้อสายพานทำจาก Steel ดังนั้น จะได้ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) 0.3



รูปที่ 4.5 free body diagram บนล้อสายพานตัวเล็ก (ล้อสายพานตัวเล็กหมุนทวนเข็มนาฬิกา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไม่คิดแรงหนีศูนย์กลางจะได้ว่า

$F_1 / F_2 = e^{f\theta}$

แทนค่าต่างๆ $F_1 / F_2 = e^{0.3 \times 2.966}$

$= 2.435$

$F_1 = 2.435 \times F_2$ ---------- (1)

จาก $H = [(F_1 - F_2).V]/746$

โดย $V = (\pi.D.N)/60$

$= (\pi \times 0.1 \times 3,456)/60$

$= 18.096\ m^2/sec$

ดังนั้น

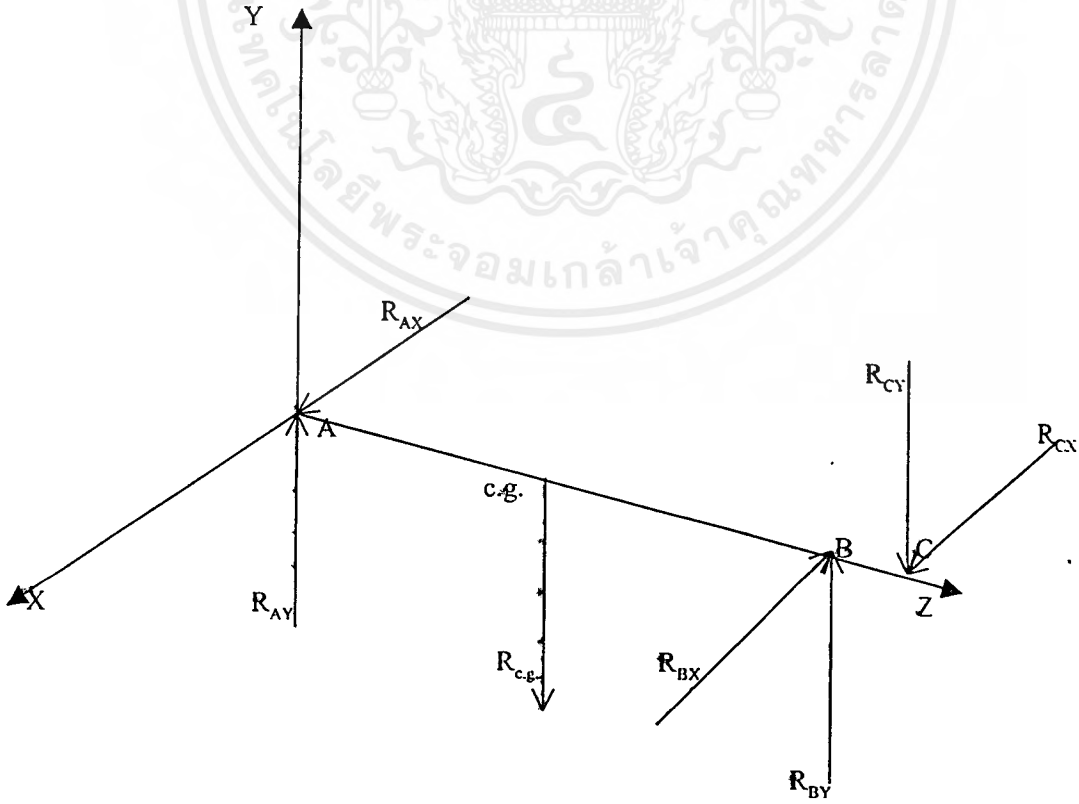
$F_1 - F_2 = (746 \times 1/2)/18.096$

$=20.612$----------(2)

แทนค่า F_1 จากสมการ (1) ลงในสมการที่ (2) จะได้

$F_2 = 14.364$ N

$F_1 = 34.976$ N



รูปที่ 4.6 Free body diagram ที่เพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะได้ว่า

$$R_{CX} = 34.976 \times \cos 10.08 = 34.436 \text{ N}$$

$$R_{CY} = (34.976 - 14.364) \times \sin 10.08 = 3.608 \text{ N}$$

$\sum F_X = 0$

$$R_{AX} + R_{CX} = R_{BX}$$

$$R_{AX} + 34.436 = R_{BX} \text{ ----------(1)}$$

$\sum F_Y = 0$

$$R_{AY} + R_{BY} = R_{c.g.} + R_{CY} = 160 - 3.608$$

$$R_{AY} + R_{BY} = 156.392 \text{ ----------(2)}$$

$\sum M_{AX} = 0$

$$R_{BY} \times 55 = (R_{c.g.} \times 34) - (R_{CY} \times 60) = (160 \times 34) - (3.608 \times 60)$$

$$R_{BY} = 94.97 \text{ N}$$

$\sum M_{AY} = 0$

$$R_{BX} \times 55 = R_{CX} \times 60 = 34.436 \times 60$$

$$R_{BX} = 37.57 \text{ N}$$

แทนค่า R_{BX} และ R_{BY}ลงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$R_{AX} = 3.134 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 61.422 \text{ N}$$

คำนวณหาโมเมนต์ดัดที่จุดc.g.

$$M_{cgY} = 540 \times R_{AY} = 540 \times 61.422$$

$$= 33.167 \text{ kN.mm}$$

$$M_{cgX} = 540 \times R_{AX} = 540 \times 3.134$$

$$= 1.692 \text{ kN.mm}$$

$$M_{cg} = [(M_{cgX})^2 + (M_{cgY})^2]^{1/2}$$

$$= [(33.167)^2 + (1.692)^2]^{1/2}$$

$$= 33.21 \text{ kN.mm}$$

คำนวณหาโมเมนต์ดัดที่จุด B

$$M_{BX} = 50 \times R_{CX} = 50 \times 34.436$$

$$= 1.721 \text{ kN.mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_{BY} = 50 \times R_{CY} = 50 \times 3.608$$

$$= 0.18 \text{kN.mm}$$

$$M_B = [(M_{BX})^2 + (M_{BY})^2]^{1/2}$$

$$= [(1.721)^2 + (0.0018)^2]^{1/2}$$

$$= 1.721 \text{ kN.mm}$$

ดังนั้นโมเมนต์สูงสุดเกิดที่ตำแหน่ง c.g.

4.1.3) คำนวณหาชนิดของเหล็ก

กำหนดให้

-Safety factor (N) = 2

-ผิวหน้าผ่านการรีดร้อน (HR)

กำลังงานที่เพลา

$$W = 2 \times \pi \times N \times T$$

$$746 \times 1/2 = 2 \times \pi \times (3456/60) \times T$$

$$T = 1.031 \text{ Nm}$$

เนื่องจากทอล์กที่เกิดจากแรงเฉือนมะเขือเทศมีค่าเท่ากับแรงที่ใช้เฉือนมะเขือเทศคูณกับเส้นผ่านศูนย์กลางของใบมีด

$$T = 100 \times 30$$

$$= 3{,}000 \text{ g.cm}$$

$$= 3{,}000 \times 9.81 \times 10^{-5}$$

$$= 0.294 \text{ N.m}$$

ซึ่งจะเห็นว่าทอร์คที่เกิดจากแรงเฉือนมะเขือเทศนี้มีค่าน้อยกว่าทอล์กที่เกิดจากกำลังเนื่องจากมอเตอร์ ดังนั้นขนาดมอเตอร์ที่เลือกใช้งานนี้ จะใช้งานได้โดยปลอดภัย

โมเมนต์คัดสูงสุด

$$M = 33.21 \text{ kN.mm}$$

เนื่องจากความเค้นคัด

$$\sigma_{max} = -\sigma_{min}$$

เพราะฉะนั้น

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2 = 0$$

และ

$$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2 = -\sigma_{max}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$\sigma_a = (32M_a)/\pi.d^3(1-K^4)$$

$K = 0$ เมื่อเป็นเพลาตัน

เพราะฉะนั้น

$$\sigma_a = (32\times33.21\times1,000)/\pi d^3$$

$$= 338,274.28/d^3 \ N/mm^2$$

เนื่องจากโมเมนต์บิดมีค่าคงที่ทำให้ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากันตลอดรอบผิวเพลาดังนั้น $\tau_a = 0$

จาก

$$\tau_m = (16T_m)/\pi d^3(1-K^4)$$

$$= (16\times1.031\times1,000)/\pi d^3$$

$$= 5,250.84 \ N/mm^2$$

จากตารางที่ ค.3 สมมุติให้ $K_f = 2$[1]

ลองเลือกใช้ 0.3C (080M30) ที่ผ่านกระบวนการรีดร้อน[2]

$$\sigma_U = 490 \ N/mm^2, \quad \sigma_Y = 245 \ N/mm^2$$

จากตารางที่ ค.3 ตัวประกอบของผิว $k_a = 0.65$[1]

สมมติให้เพลามีขนาดเล็กกว่า 50 mm ดังนั้นตัวประกอบของขนาด $k_b = 0.85$[1]

$$\sigma'_n = 0.5.\sigma_U = 0.5\times490 = 245 \ N/mm^2[1]$$

เพราะฉะนั้น

$$\sigma_n = 0.65\times0.85\times1\times245 = 135.363 \ N/mm^2[1]$$

ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau_Y = 0.5.\sigma_Y = 0.5\times245 = 122.5 \ N/mm^2$$

จาก

$$1/N = \{[K_f(\sigma_a/\sigma_n)]^2+(\tau_m/\tau_Y)^2\}^{1/2}$$

$$1/2 = \{[2(251,979.2.34/135.363\times d^3)]^2$$

$$+(5250.84/122.5\times d^3)^2\}^{1/2}$$

$$d = 29.5 \ mm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เราเลือกใช้คือ 30 mm เพราะฉะนั้นเหล็กที่เลือกใช้ได้ จากตารางที่ ค.2 เลือกใช้เพลาขนาด 30 mm [1]

4.1.4) การคำนวณหาความเร็ววิกฤติของเพลา

จาก

$$y = w.x/24.E.I.(2.l.x^2 - x^3 - l^3)$$

และ

$$I = \pi d^4/64 [1]$$

$$= \pi \times 30^4/64 = 39,760.782 \text{ mm}^4$$

$$l = 550 \text{ mm}$$

$$E = 307 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 [1]$$

คำนวณหามวลในช่วงความยาว 550 mm

จาก $\rho = m/v$

จะได้ $m = \rho.V$

โดย $V = [(\pi.d^2).L]/4$

$$= [(\pi \times 0.03^2) \times 0.55]/4$$

$$= 3.89 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

ดังนั้น

$$m = 7,810 \times 6.15 \times 10^{-4}$$

$$= 3.036 \text{ kg}$$

เพราะฉะนั้น

$$w = \{(1.5 \times 6 + 3.036) \times 9.81]/550 = 0.215 \text{ N/mm}$$

ดังนั้น

$$y = \{(0.215 \times x)/(24 \times 207 \times 10^3 \times 396,760.762)\} \times$$

$$\{(2 \times 550 \times x^2) - x^3 - 550^3]$$

$$= (1.09 \times 10^{-13} \times x) \times \{(2 \times 550 \times x^2) - x^3 - 550^3]$$

เพราะฉะนั้นระยะโก่งที่แต่ละจุดมีค่าดังนี้

น้ำหนักใบตีที่ระยะ x เท่ากับ 100 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$y_1 = 1.704$ mm

น้ำหนักใบตีที่ระยะ x เท่ากับ 180 mm

$y_2 = 2.679$ mm

น้ำหนักใบตีที่ระยะ x เท่ากับ 260 mm

$y_3 = 3.105$ mm

น้ำหนักใบตีที่ระยะ x เท่ากับ 340 mm

$y_4 = 2.911$ mm

น้ำหนักใบตีที่ระยะ x เท่ากับ 420 mm

$y_5 = 2.125$ mm

น้ำหนักใบตีที่ระยะ x เท่ากับ 500 mm

$y_6 = 0.892$ mm

จาก

$$n_c = 945[(\sum Wy)/(\sum Wy^2)]^{1/2}$$

$$Wy = 1.5 \times 9.81 \times [1.704+2.672+3.105+2.911+2.125+0.892]$$

$$= 197.31$$

$$\sum Wy^2 = 0.5 \times 9.81 \times [1.704^2+2.672^2+3.105^2+2.911^2+2.125^2+0.892^2]$$

$$= 492.5$$

เพราะฉะนั้น

$$n_c = 945[197.31/492.5]^{1/2}$$

$$= 598.140 \text{ rpm}$$

และระยะโก่งสูงสุดเท่ากับ

$$y = 5.w.l^4/384.E.I$$

$$= (5 \times 0.43 \times 550^4)/(384 \times 207 \times 10^3 \times 396{,}760.762)$$

$$= 6.238 \text{ mm}$$

4.1.5) คำนวณและออกแบบแบริ่ง

แรงรวมที่จุด A

$$R_A = [(R_{AX})^2 + (R_{AY})^2]^{1/2}$$

$$= [(3.134)^2+(61.422)^2]^{1/2}$$

$$= 61.5 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงรวมที่จุด B

$$R_B = [(R_{BX})^2 + (R_{BY})^2)^{1/2}$$

$$= [(31.57)^2 + (94.97)^2]^{1/2}$$

$$= 102.131 \text{ N}$$

แรงรวมสูงสุดเกิดขึ้นที่จุด B

กำหนดให้ วงแหวนตัวนอกหมุน (V = 1.2)[7]

จาก $F_c = VF_r$

$$= 1.2 \times 102.13 = 122.558 \text{ N}$$

เนื่องจากขนาดของเพลามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm

จาก ตารางที่ ค.7 เลือก 02-SERIES BALL BEARING ซึ่งมีขนาดรูเจาะ(Bore) 30 mm [7] และ Load rating (C) 14.9 kN

จาก $L = (C/F)^a$

$a = 3$ For ball bearing

$L = [(14.9 \times 10^3)/104.84]^a$

$= 2,870,633.63$ mr

$L_{10} = (2,870,633.63 \times 10^6)/(3,456 \times 60)$

$= 13 \times 10^6$ hr

จาก ตารางที่ ค.9 (Machines for 8-h service which are fully utilized)

L_{10} อยู่ระหว่าง 23-30 kh[7]

แสดงว่า Bearing ที่เลือกใช้ได้

4.1.6) การเลือกขนาดลิ่ม

กำหนดลิ่มและล้อสายพานทำจากวัสดุชนิดเดียวกับเพลาคือใช้วัสดุชนิด 0.3 C จะได้ค่า $\sigma_y = 245 \text{ N/mm}^2$ ให้ค่าความปลอดภัย = 2 ดังนั้นความเค้นอัดใช้งานมีค่าเท่ากับ $\sigma_{CD} = 245/2 = 122.5 \text{ N/mm}^2$

จากตารางที่ ต.1 เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm เลือกใช้ลิ่ม ISO/R 773-A 8×7 [1]

จาก $l_c = 4.T/d.h.\sigma_{CD}$

$= (4 \times 1.031 \times 1,000)/(30 \times 7 \times 122.5)$

$= 0.16$ mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบความเค้นเฉือนบนลิ่ม

$$\tau = 2.T/b.l.d$$

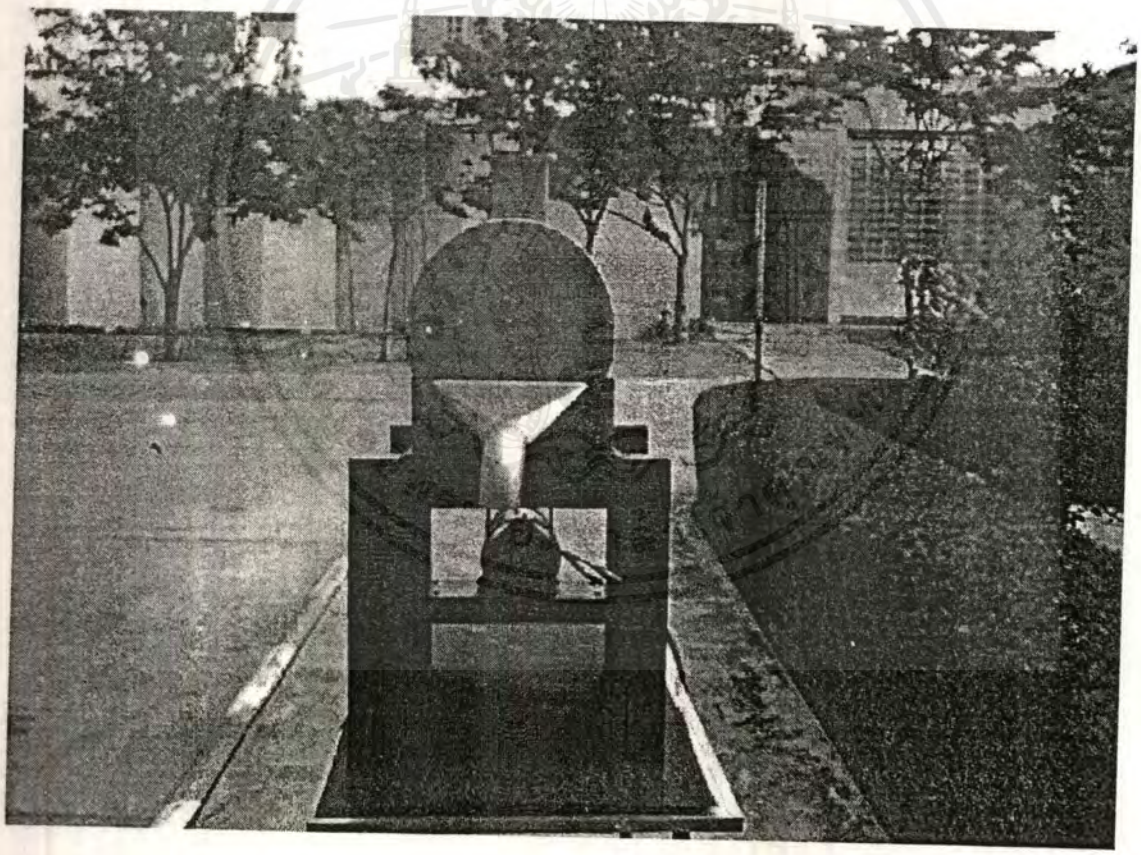
$$= (2\times1.031\times1,000)/(8\times1\times30)$$

$$= 8.6 \text{ N/mm}^2$$

ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน

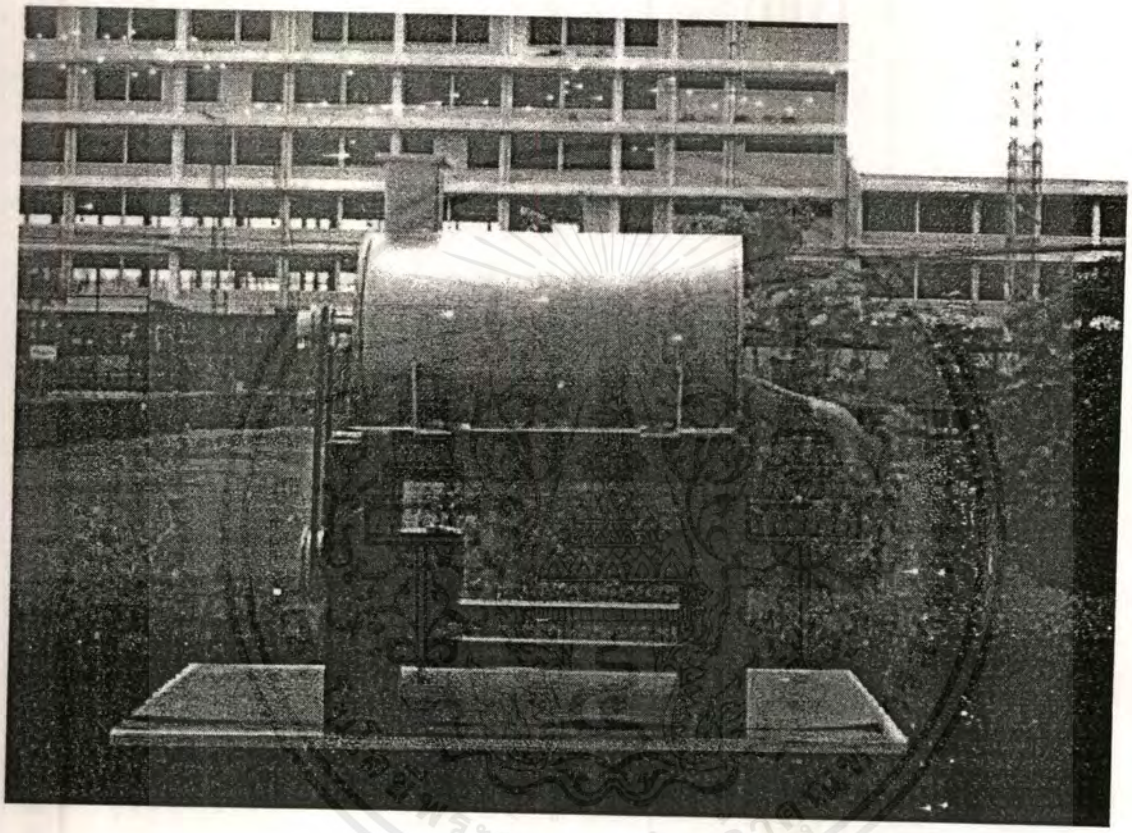
$$\tau_c = 0.6\times\sigma_{CD}$$

$$= 0.6\times122.5 = 73.5 \text{ N/mm}$$



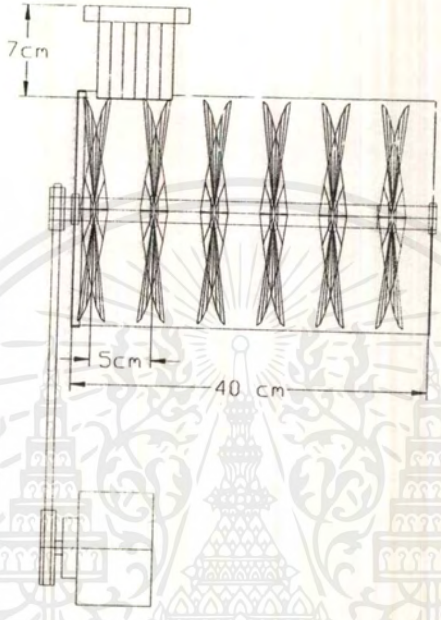
รูปที่ 4.7 ภาพจริงด้านข้างของเครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



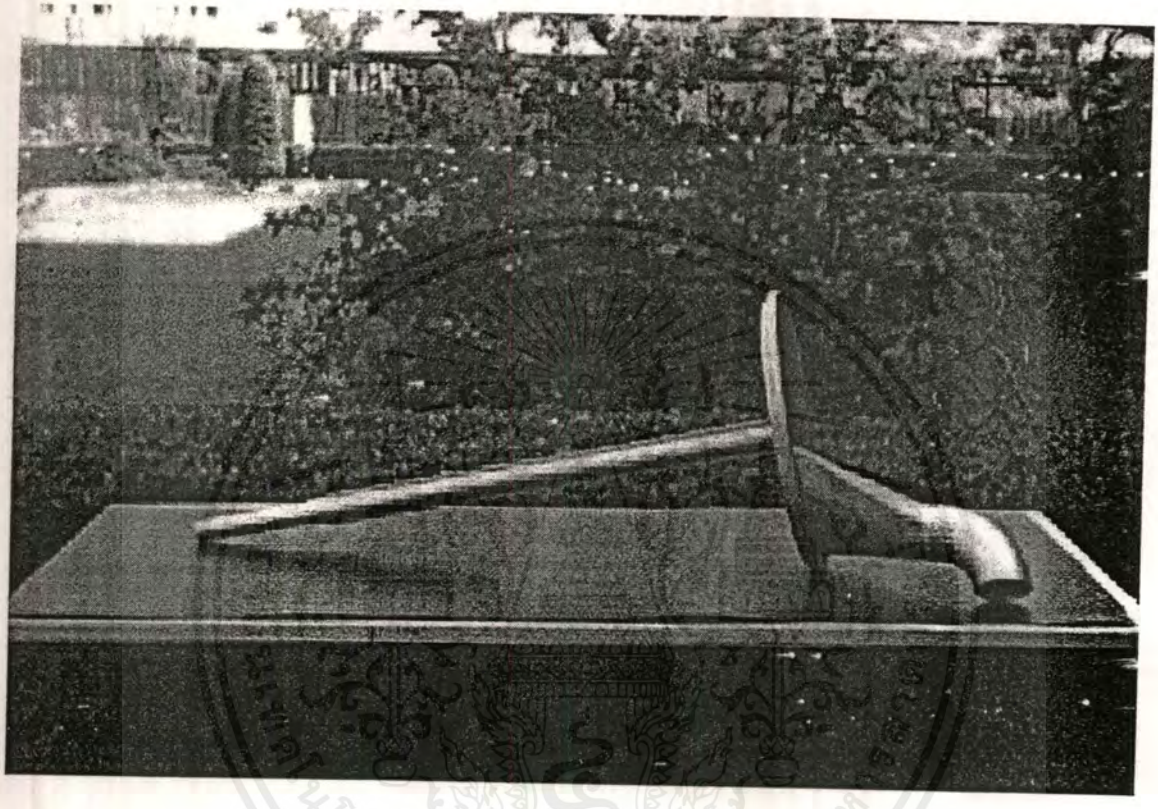
รูปที่ 4.8 ภาพจริงด้านหน้าของเครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



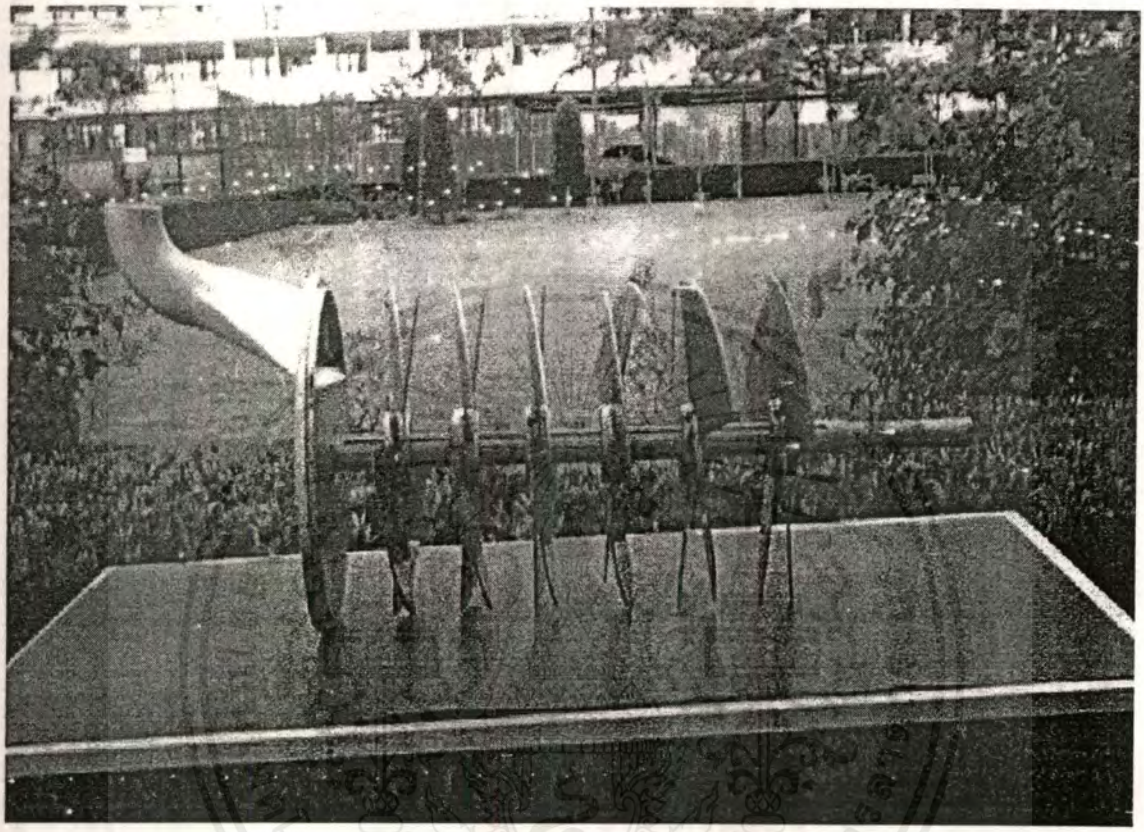
รูปที่ 4.9 ภาพกำหนดขนาดด้านหน้าที่แสดงให้เห็นชุดใบมีดของเครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



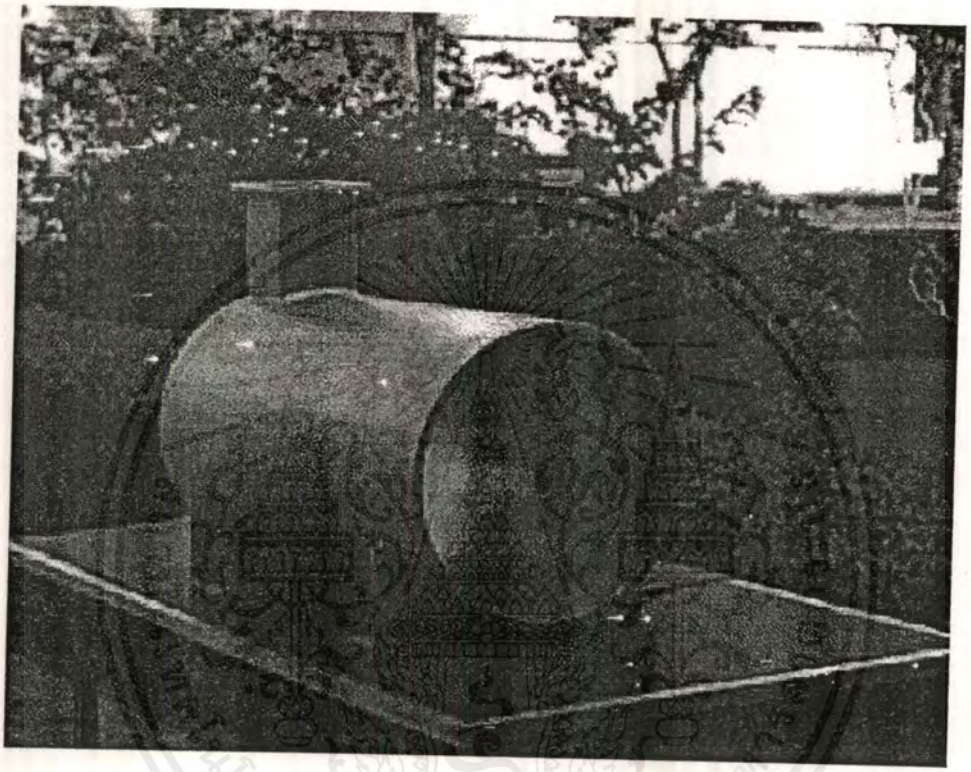
รูปที่ 4.10 ภาพจริงของเพลาที่ประกอบกับฝาครอบของเครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



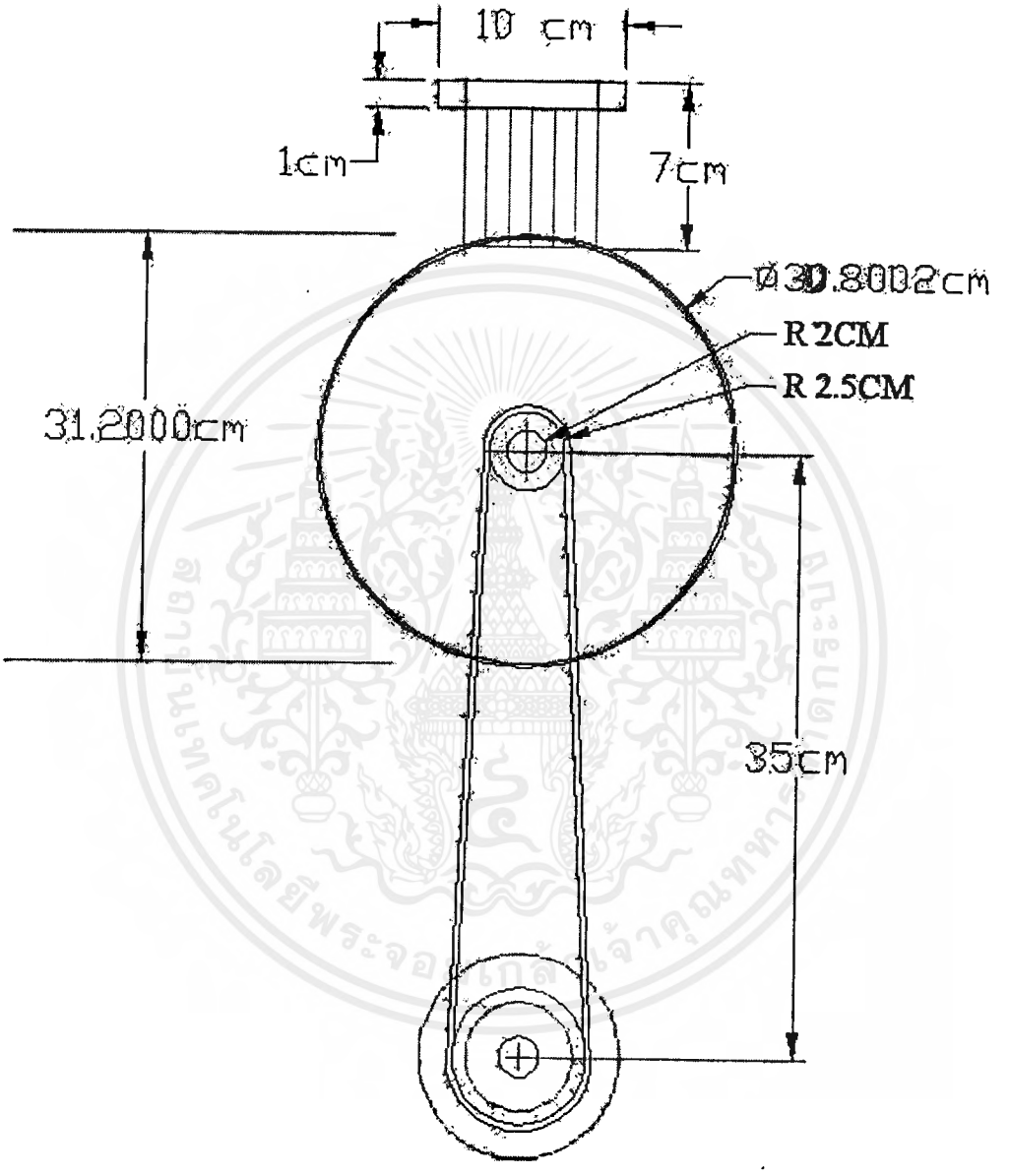
รูปที่ 4.11 ภาพจริงของชุดใบมีดที่ประกอบเข้ากับเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ภาพตัวถังของเครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ภาพกำหนดขนาดด้านข้างของเครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เครื่องแยกกากมะเขือเทศ

เนื่องจากในการคำนวณเครื่องแยกกากนี้เราต้องทำการทดลองหาค่าอัตราการไหลของของไหลที่กรองได้ ณ. pressure drop ค่าต่าง จึงจะสามารถคำนวณหาค่า ความต้านทานของตัวกรอง (filter-medium resistance ; R_m)และค่า specific cake resistance ได้ซึ่งค่าความเร็วเชิงมุม ณ. pressure drop ต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta P = \rho.\omega^2.[(r_2)^2-(r_1)^2]/2.g_c$$

และนำค่าความเร็วเชิงมุมที่ได้ไปแทนลงในสมการ

$$q = \rho.\omega^2.[(r_2)^2-(r_1)^2]/[(2.\mu)(\alpha.m_c/A^2+R_m/A)]$$

เมื่อพื้นที่การกรองไม่แปรผันตามรัศมี

$$q = \rho.\omega^2.[(r_2)^2-(r_1)^2]/[(2.\mu)(\alpha.m_c/A_L.A_a+R_m/A)]$$

เมื่อพื้นที่การกรองแปรผันตามรัศมี

$$A_a = (r_i+r_2).\pi.b$$

$$A_L = 2.\pi.b.[r_2-r_i]/\ln(r_2/r_1)$$

ซึ่งค่าความเร็วเชิงมุมที่ได้จากการทดลองนี้นำไปแทนค่าในสมการข้างบนแล้วได้ค่าอัตราการของของไหลเท่ากันหรือใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่เราต้องการแสดงว่าค่าความเร็วเชิงมุมนี้เป็นความเร็วเชิงมุมอย่างต่ำที่จะใช้ไปคำนวนหาความเร็วรอบอย่างต่ำที่เราต้องการในการแยกน้ำมะเขือเทศออกจากเนื้อเยื่อมะเขือเทศ

ทางผู้จัดทำไม่สามารถทำการทดลองหาค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วเชิงมุมได้เนื่องจากมีจำกัดทางเวลาและเงินทุน ในที่นี้จึงขอสมมุติค่าความเร็วเชิงมุมมาใช้ก่อน ดังนั้นจึงขอกำหนดว่า

ความเร็วเชิงมุมที่เหมาะสมเท่ากับ 500 รอบต่อนาที

ความเร็วขอบผิวของตะแกรง (v) = $\pi.D.n/60 = (\pi\times0.25\times500)/60 = 6.545$ เมตรต่อวินาที

เส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรงเท่ากับ 25 เซนติเมตร

เลือกขนาดของรูตะแกรง 0.4 มิลลิเมตร (เนื่องจากขนาด 0.4 มิลลิเมตรนี้สามารถกรองอนุภาคที่เล็กได้และก็เป็นขนาดที่เล็กที่สุด เราจึงขอเลือกใช้ขนาด 0.4 มิลลิเมตร)

ความสูงของตะแกรงเท่ากับ 16เซนติเมตร

ความยาวเพลา 35 เซนติเมตร

น้ำหนักเพลาเท่ากับ 1 กิโลกรัม

น้ำหนักตะแกรงเท่ากับ 2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหา เส้นผ่านศูนย์กลางเพลา (d)

จาก $\rho = m/v$

จะได้ $V = m/\rho$

$= 1/7,810 = 1.28\times10^{-4}\ m^3$

จาก $V = [(\pi\times d^2)\times L]/4$

จะได้ $d = [(V\times4)/(\pi\times0.35)]^{1/2}$

$= [(6.402\times10^{-4}\times4)/(\pi\times92\times10^{-2})]^{1/2}$

$= 21.582$ mm

จากตารางที่ ค.2 เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร[1]

มวลรวมที่เพลารับไว้มีค่าเท่ากับ 1+2 = 3 กิโลกรัม

ดังนั้นเราจะประมาณหาค่าขนาดของมอเตอร์จากพลังงานจลน์ $= (1/2)m.v^2=(1/2)\times3\times6.545^2$

$= 64.256$ W $= 0.0861$ แรงม้า

ให้ค่าความปลอดภัย = 5

ขนาดมอเตอร์ที่ต้องการ $= 0.0861\times5 = 0.4$แรงม้าดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาดครึ่งแรงม้า

คำนวณหาชนิดของเหล็ก

กำหนดให้

-Safety factor (N) = 2

-ผิวหน้าผ่านการรีดร้อน (HR)

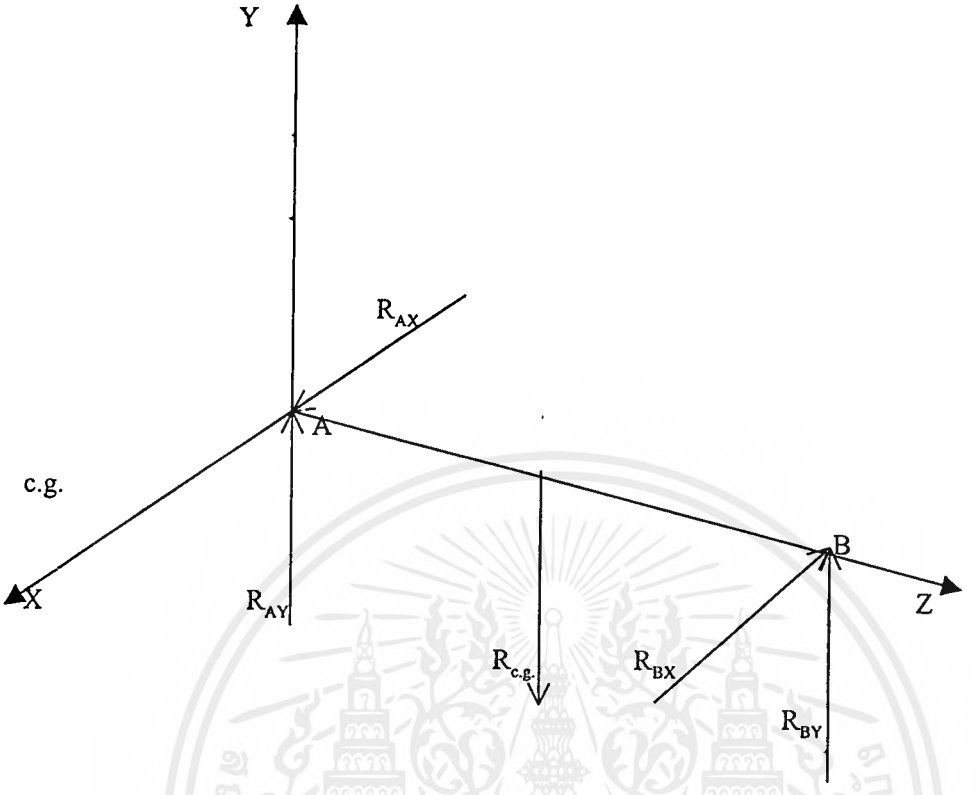
กำลังงานที่เพลา

$W = 2.\pi.N.T$

$746\times1/2 = 2\times\pi\times(1,440/60)\times T$

$T = 2.474$ Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 Free body diagram ที่เพลา

$\sum F_Y = 0$

$R_{c.g} = R_{AY} + R_{BY}$

$R_{AY} + R_{BY} = 30$ ----------(1)

$\sum M_{AX} = 0$

$R_{BY} \times 140 = R_{c.g} \times 70 = 30 \times 70$

$R_{BY} = 2100/140$

$= 15$ N

เนื่องจากเพลาสั้นมากๆดังนั้นความเสียหายต่างๆจะเกิดจากความเค้นเฉือนและความเสียหายที่เกิดจากความเค้นดัดมีค่าน้อย

เนื่องจากโมเมนต์บิดมีค่าคงที่ทำให้ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากันตลอดรอบผิวเพลาดังนั้น $\tau_s = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $\tau_m = (16T_m)/\pi d^3(1-K^4)$

$= (16\times2.747\times1,000)/\pi d^3$

$= 13,990.356\ N/mm^2$

จากตารางที่ ค.3 สมมุติให้ $K_f = 2$[1]

ลองเลือกใช้ 0.3C (080M30) ที่ผ่านกระบวนการรีดร้อน[1]

$\sigma_U = 490\ N/mm^2$, $\sigma_Y = 245\ N/mm^2$

ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$\tau_Y = 0.5.\sigma_Y = 0.5\times245 = 122.5\ N/mm^2$

จาก

$1/N = \{[K_f(\sigma_a/\sigma_n)]^2+(\tau_m/\tau_Y)^2\}^{1/2}$

$1/2 = (13,990.356/122.5\times d^3)^2\}^{1/2}$

$d = 12.3$ mm

จากตารางที่ ค.2 เลือกใช้เพลาขนาด 12 mm[1]

4.2.1) คำนวณและออกแบบแบริ่ง

กำหนดให้ วงแหวนตัวนอกหมุน (V = 1.2)[7]

จาก $F_e = V.F_r$

$F_e = 1.2\times15$

$= 18\ N$

เนื่องจากขนาดของเพลามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12mm (1/2 นิ้ว)

จาก ตารางที่ ค.7 เลือก 02-SERIES BALL BEARING ซึ่งมีขนาดรูเจาะ(Bore) 12 mm [7] และ Load rating = 5.21 kN

จาก $L = (C/F)^a$

$a = 3$ For ball bearing

$L_{10} = \{(5.21\times10^3)/18]^3$

$= 23,014,013.7$ mr

$L_{10} = (23,014,013.7\times10^6)/(1,440\times60)$

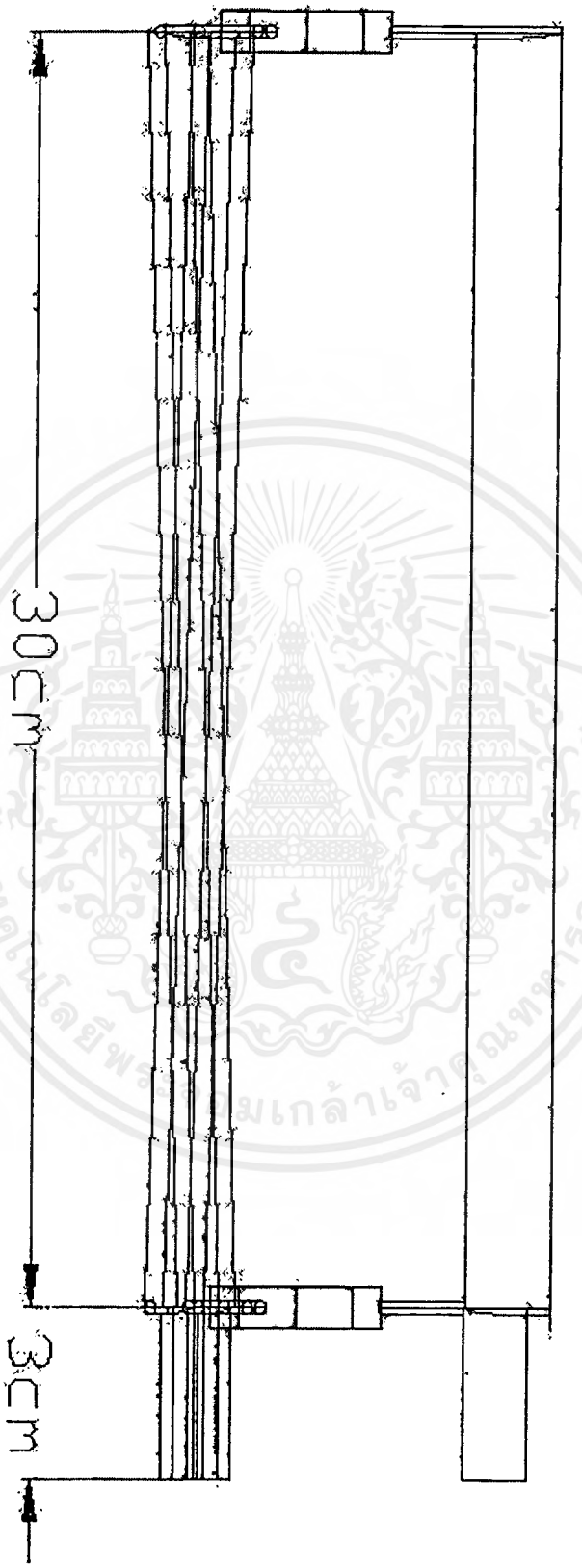
$= 266.36\times10^6$ hr

จากตารางที่ ค.9 (Machines for 8-h service which are fully utilized)

L_{10} อยู่ระหว่าง 23-30 kh[7]

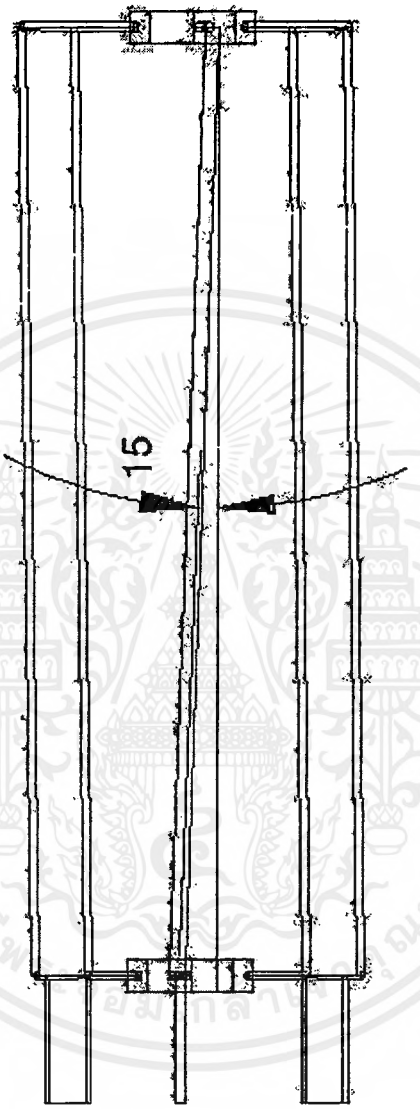
แสดงว่า Bearing ที่เลือกใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



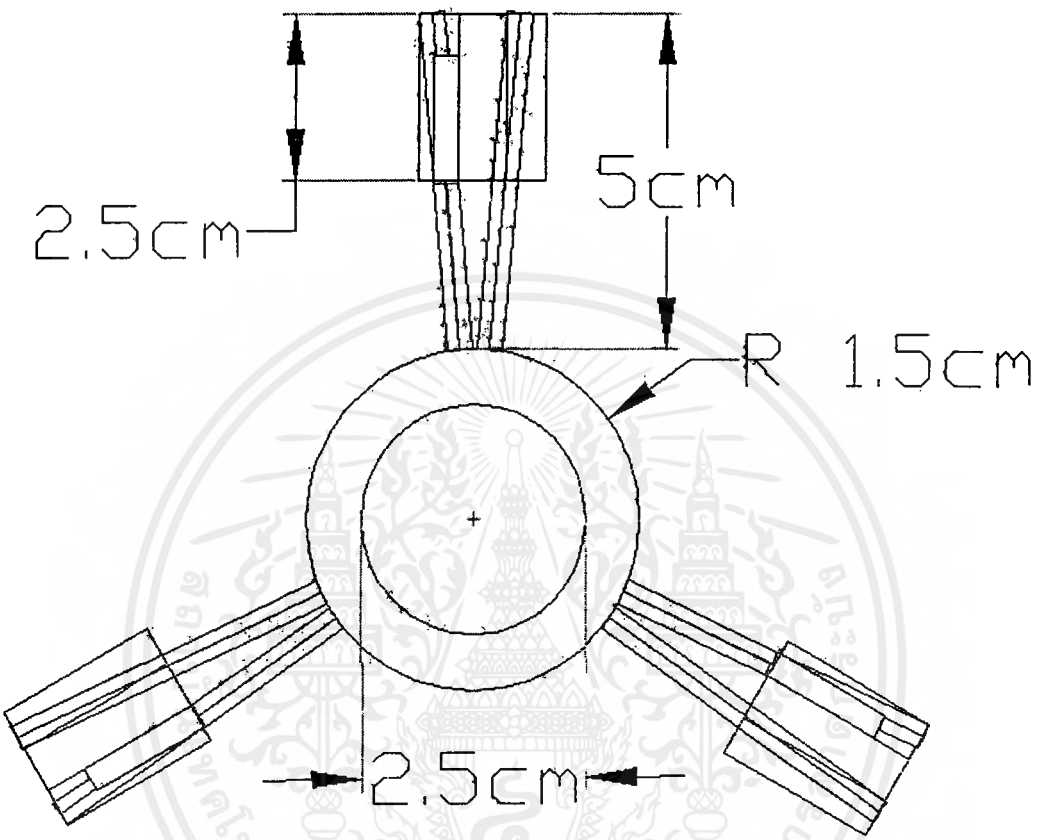
รูปที่ 4.15 ภาพกำหนดขนาดด้านหน้าของใบกวาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



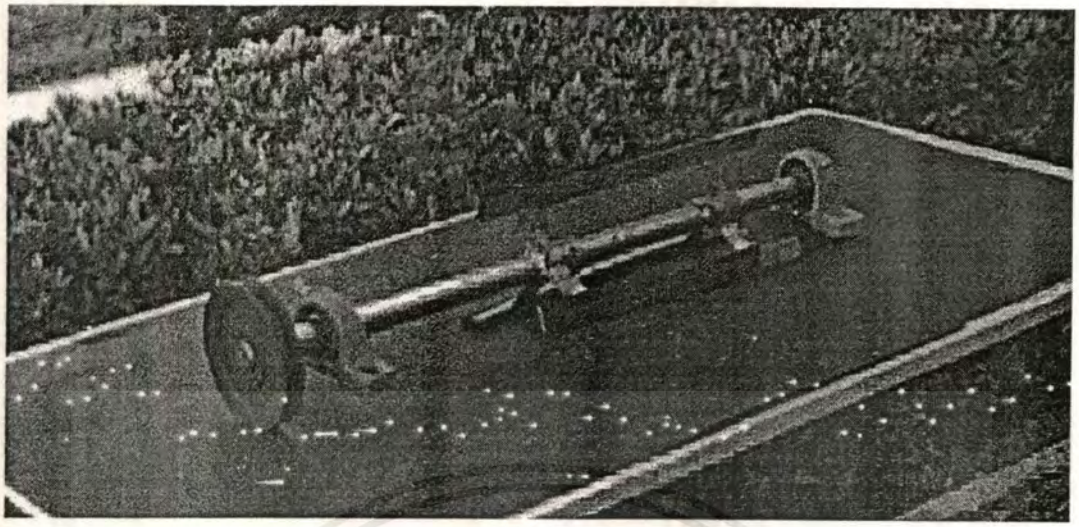
รูปที่ 4.16 ภาพกำหนดมุมด้านบน ของใบกวาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

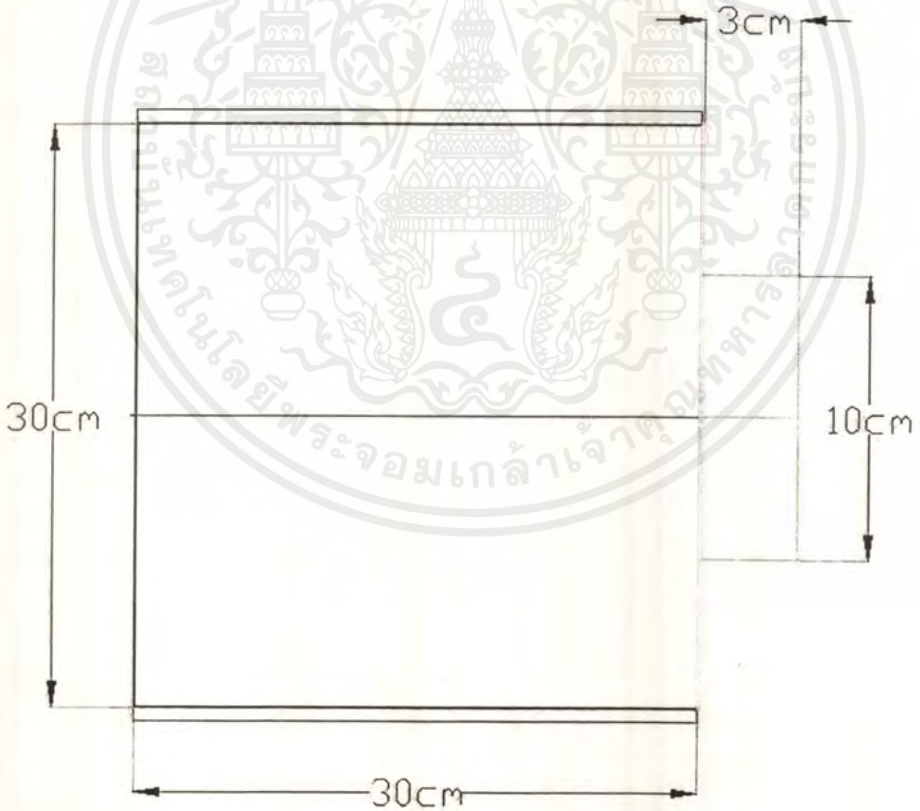


รูปที่ 4.17 ภาพกำหนดขนาดด้านข้างของใบกวาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

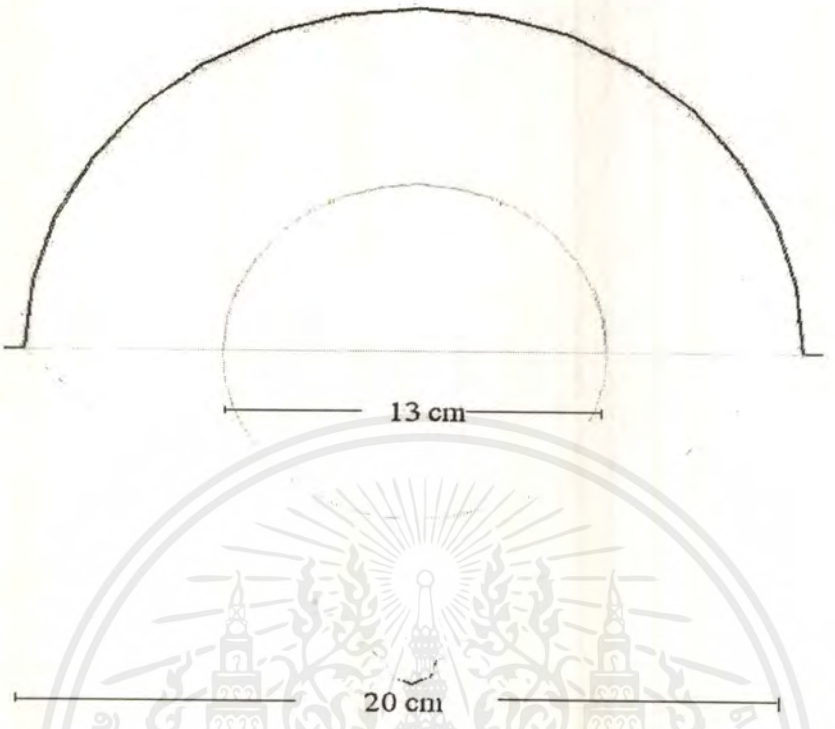


รูปที่ 4.18 ภาพจริงของใบกวาด

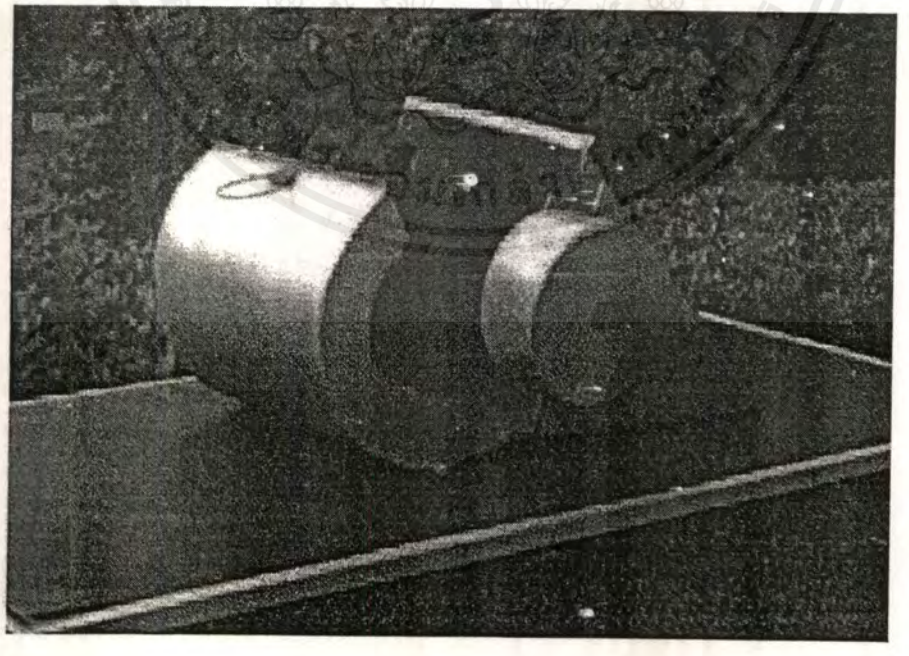


รูปที่ 4.19 ภาพกำหนดขนาดของตัวถังด้านบนเครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

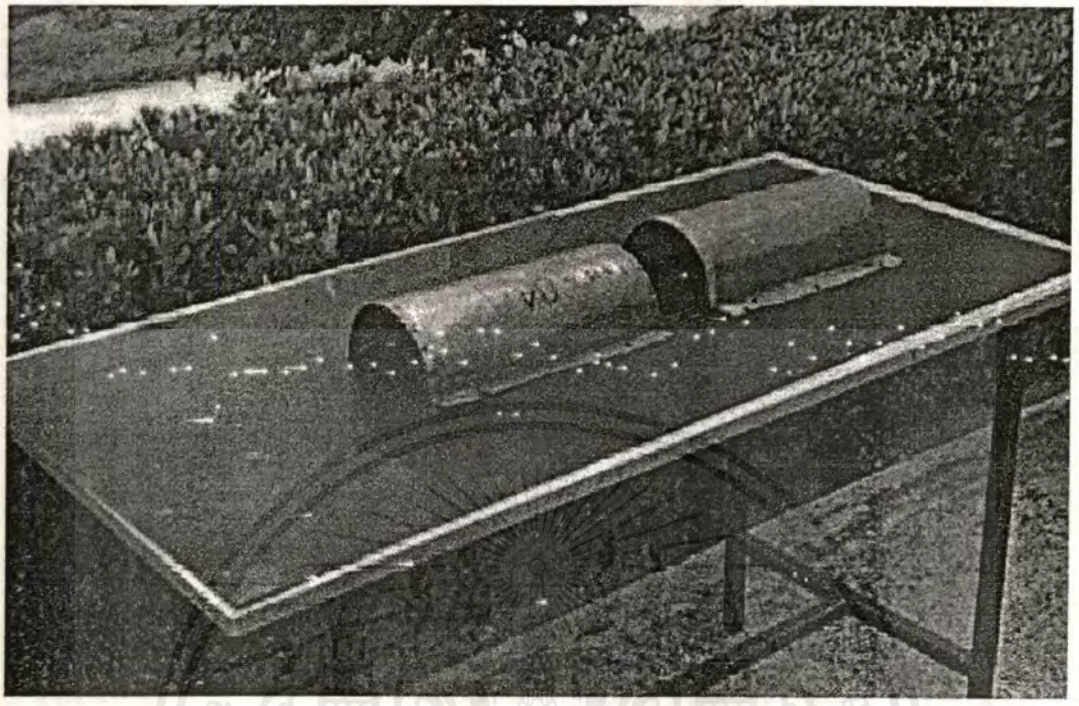


รูปที่ 4.20 ภาพกำหนดขนาดด้านข้างของตัวถังเครื่องแยกกาก

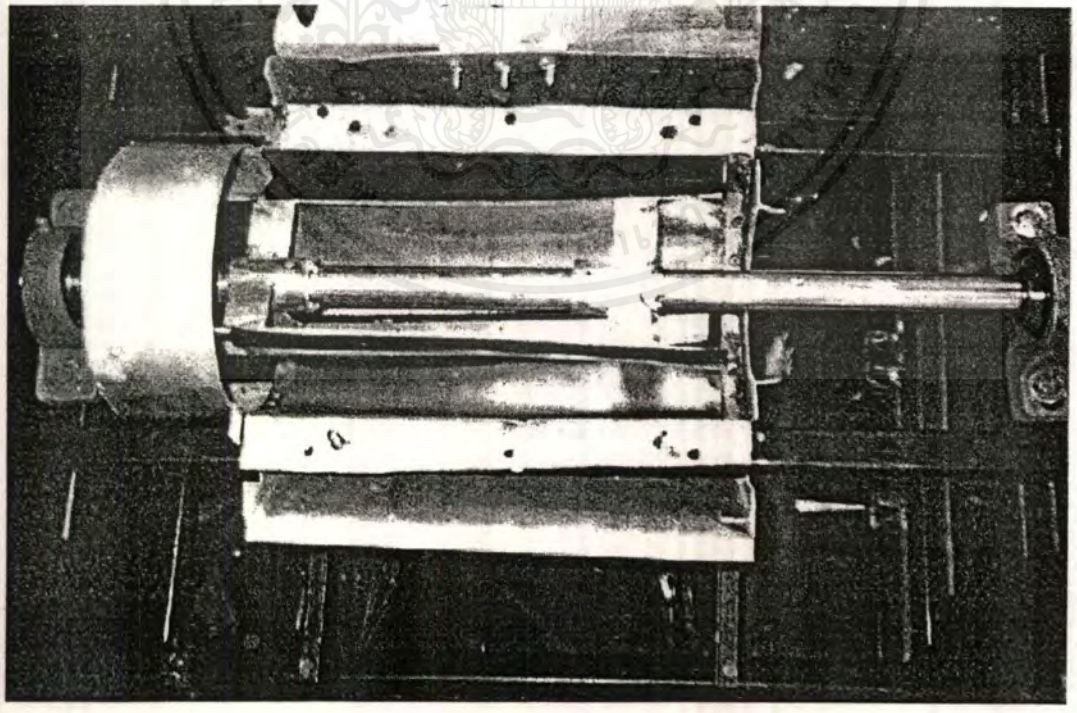


รูปที่ 4.21 ภาพจริงของตัวถังเครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

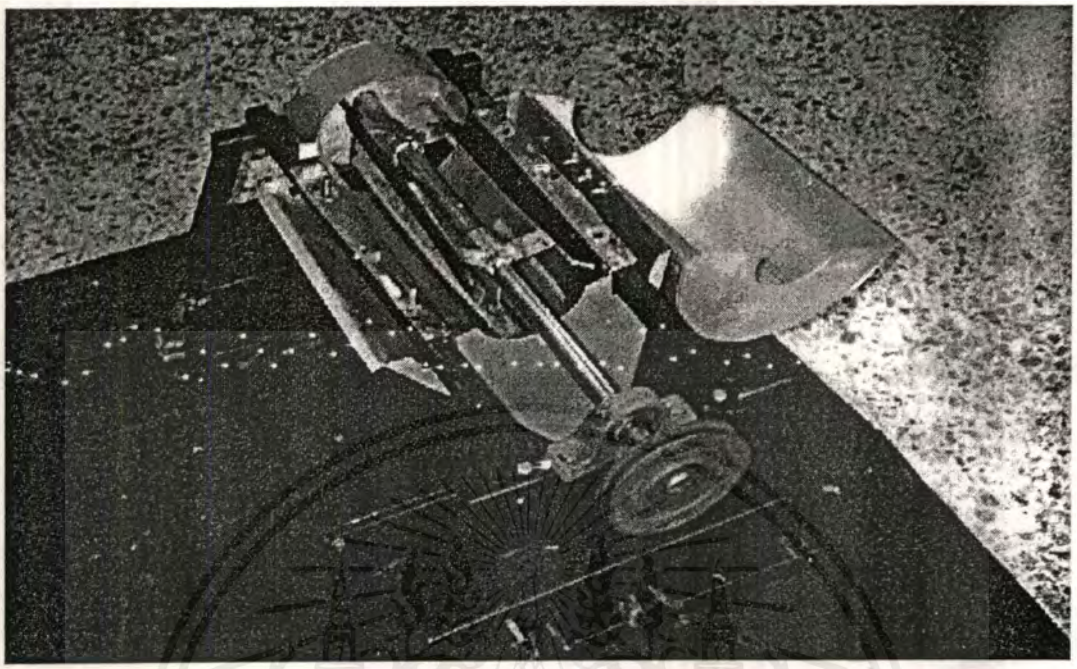


รูปที่ 4.22 ภาพจริงของตะแกรงกรอง

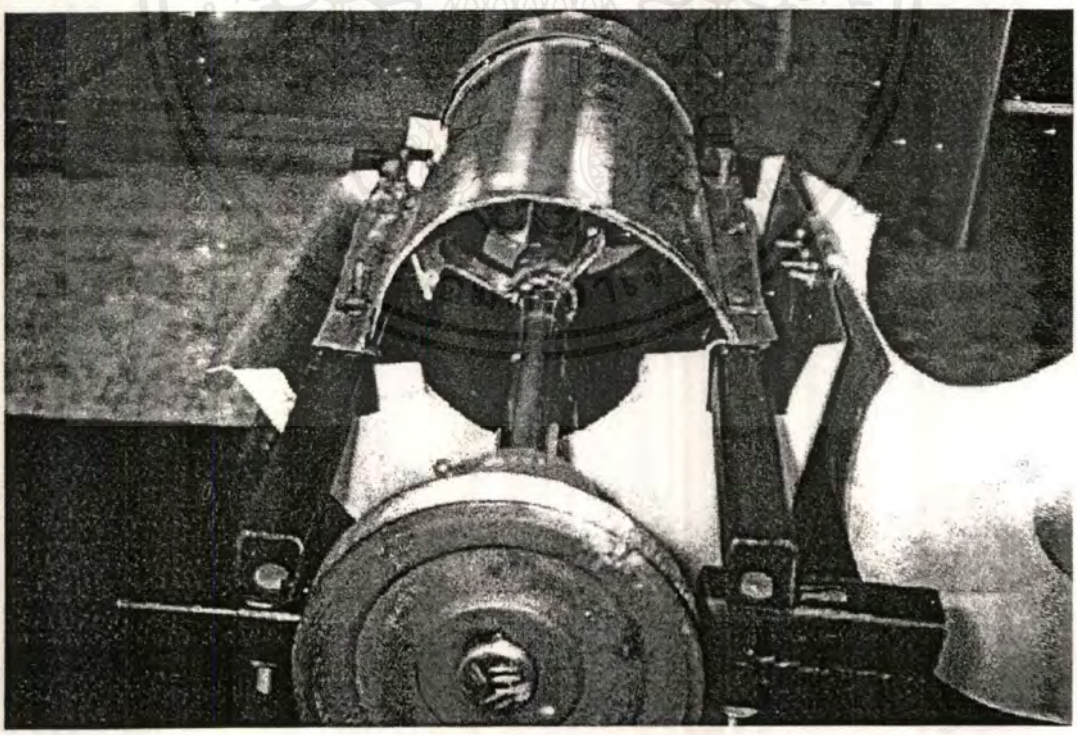


รูปที่ 4.23 ภาพจริงด้านบนที่เปิดให้เห็นใบกวาดข้างใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

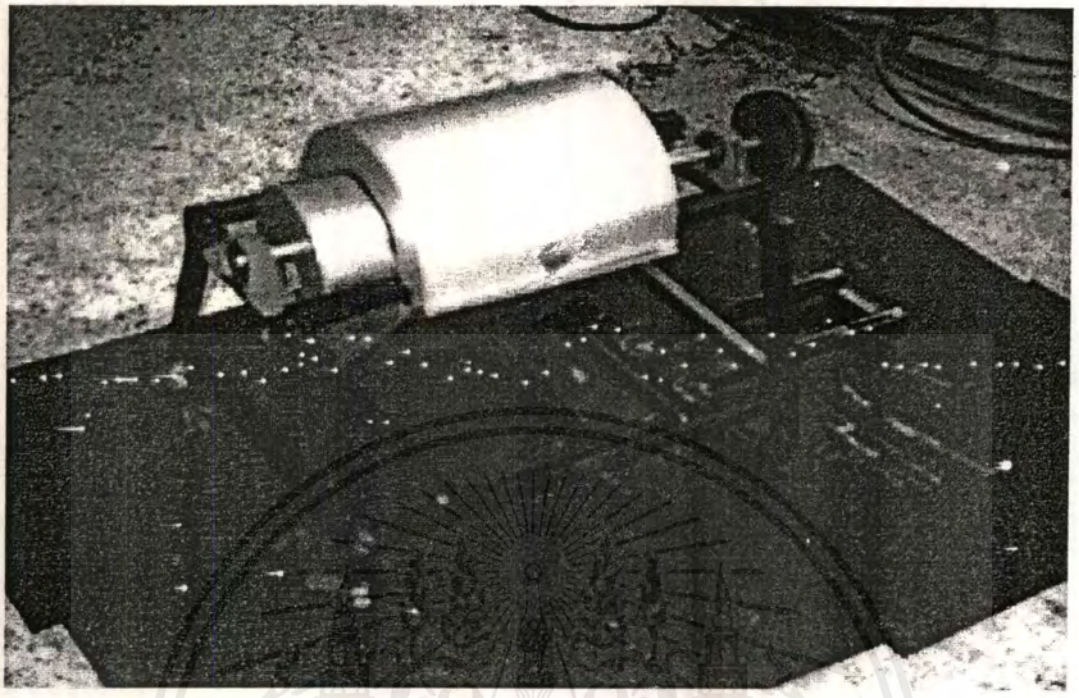


รูปที่ 4.24 ภาพจริงไอโซเมติกของเครื่องแยกกาก



รูปที่ 4.25 ภาพจริงด้านข้างของเครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ภาพจริงของเครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ได้ทำการทดสอบ และทดลองใช้งาน เพื่อจะได้นำค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง มาปรับปรุงแก้ไข ให้เครื่องจักรที่สร้างขึ้นเหมาะสมตามการใช้งานจริง โดยจะทำการทดลองเพื่อหาขนาดและเปอร์เซ็นต์น้ำของมะเขือเทศที่ได้จากเครื่องตีปั่น โดยจะทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 1765,2000,2143,2400 rpm จำนวน 3 ครั้งต่อรอบ และจะทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำที่ได้จากเครื่องแยกกากโดยจะทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 1200,1566,1818,2232,2400,2694,3000 rpm จำนวน 3 ครั้งต่อรอบ

5.1 การทดลองเครื่องตีปั่น

5.1.1) วัตถุประสงค์

เพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการปั่นเพื่อให้ได้น้ำมากที่สุดและทำให้มะเขือเทศละเอียดที่สุด

5.1.2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องตีปั่น
- เครื่องปรับความเร็วรอบ (inverter 0-60 Hz)
- osiloscope (ใช้วัดความเร็วรอบโดยแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้เป็นความเร็วรอบ)
- ตาชั่ง
- มะเขือเทศ 20 kg
- ผ้าขาวบาง

5.1.3) ขั้นตอนการทดลอง

1.คัดเลือกมะเขือเทศที่มีน้ำหนักผลละประมาณ 0.05 kg จำนวน 14-16 ผล

2.ปรับความถี่ของ inverter โดยเริ่มที่ 45 Hz

3.ใส่มะเขือเทศที่คัดจากข้อ 1. ประมาณ 0.8 kg เข้าเครื่องตีปั่น โดยใส่ทีละลูกห่างกันลูกละประมาณ 0.5 วินาที

4.อ่านค่าความเร็วรอบโดยแปลงสัญญาณที่ได้จาก SCOPE

5.นำมะเขือเทศไปชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งวัดขนาดของมะเขือเทศที่ปั่นได้โดยสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่างแล้วนำมาเฉลี่ย จากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง ชั่งน้ำหนักน้ำที่ได้จากการกรอง บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำจากสมการ

เปอร์เซ็นต์น้ำ = (น้ำหนักของน้ำที่กรองได้/น้ำหนักมะเขือเทศก่อนกรอง)x100

7.คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมอยู่ในเครื่องตีปั่นจากสมการ

เปอร์เซ็นต์กาก={(น้ำหนักน้ำมะเขือเทศหลังก่อนปั่น-น้ำหนักมะเขือเทศหลังปั่น)/ น้ำหนักมะเขือเทศก่อนปั่น}x100

8.ทำการทดลองซ้ำข้อ1-7 อีก 2 ครั้ง

9.ทำการทดลองซ้ำ ข้อ1. - ข้อ8. โดยเพิ่มความถี่ครั้งละ 5 Hz โดยทดลองที่ 50,55 และ 60 Hz ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ตารางบันทึกผลการทดลองเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	น้ำหนักน้ำมะเขือเทศก่อนเข้าเครื่องตีปั่น (g)			น้ำหนักน้ำมะเขือเทศหลังผ่านเครื่องตีปั่น (g)			น้ำหนักน้ำมะเขือเทศหลังกรองด้วยผ้าขาวบาง(g)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
20	ใบพัดไม่หมุน	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30		-	-	-	-	-	-	-	-	-
40		-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	1765	797.2	799.7	795.4	609.5	604.4	622.1	188.6	183.9	201.0
50	2000	799.1	802.8	810.1	697.3	692.8	695.4	265.1	297.9	272.5
55	2143	803.2	807.9	798.4	752.1	741.7	732.5	349.1	333.7	324.8
60	2400	794.5	790.6	795.2	758.8	763.4	750.3	362.9	335.3	334.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศ (%)			เปอร์เซ็นต์กากสะสมภายในเครื่อง (%)			ขนาดกากมะเขือเทศ (กว้าง X ยาว) (cm)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
20	ใบพัดไม่	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	หมุน	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40		-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	1765	30.95	30.42	32.31	23.54	24.42	21.78	3.5x1	3.5x1	3.5x1
50	2000	38.02	42.99	39.18	12.74	13.7	14.16	3x1	3x1	3x1
55	2143	46.42	44.99	44.34	6.36	8.19	8.25	2x1	2x1	2x1
60	2400	47.83	43.92	44.62	4.50	3.44	5.64	2x1	2x1	2x1

5.2 การทดลองเครื่องแยกกาก

5.2.1) วัตถุประสงค์

เพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สามารถแยกน้ำได้มากที่สุด

5.2.2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องแยกกาก
- เครื่องปรับความเร็วรอบ (inverter 0-60 Hz)
- osiloscope (ใช้วัดความเร็วรอบ)
- ตาชั่ง
- มะเขือเทศหลังผ่านเครื่องตีปั่นแล้ว 10 Kg

5.2.3) ขั้นตอนการทดลอง

1.ปรับความถี่ของ inverter โดยเริ่มต้นที่ 10 Hz

2.นำมะเขือเทศที่ตีปั่นแล้วที่ความเร็วรอบ 2143 rpm (ซึ่งเป็นรอบที่ให้เปอร์เซ็นต์น้ำมากที่สุด) ไปชั่งน้ำหนัก

3.นำมะเขือเทศที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าเครื่องแยกกากในอัตราประมาณ 0.05 kg/s พร้อมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านค่าความเร็วรอบโดยแปลงสัญญาณที่ได้จาก SCOPE

4.นำน้ำและกากมะเขือเทศที่แยกได้ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลการทดลอง

5.คำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำจากสมการ

เปอร์เซ็นต์น้ำ = (น้ำหนักมะเขือเทศหลังผ่านเครื่องแยกกาก/น้ำหนักมะเขือเทศก่อนเข้าเครื่องแยกกาก)x100

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมอยู่ภายในเครื่อง

เปอร์เซ็นต์กาก = {[น้ำหนักมะเขือเทศก่อนเข้าเครื่อง-(น้ำหนักน้ำหลังผ่านเครื่อง+น้ำหนักกากหลังผ่านเครื่อง)]/น้ำหนักก่อนเข้าเครื่อง}x100

7. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-6 อีก 2 ครั้ง

8.เพิ่มความถี่ครั้งละ 5 Hz โดยทดลองที่ 15,20,25,30,35 และ40 Hz ตามลำดับ แล้วทดลองตามข้อ 2-7

ตารางที่ 5.2 ตารางบันทึกผลการทดลองเครื่องแยกกาก

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	น้ำหนักน้ำมะเขือเทศก่อนเข้าเครื่องแยกกาก (g)			น้ำหนักน้ำมะเขือเทศหลังผ่านการแยกกาก (g)			น้ำหนักกากหลังทำการแยกกาก (g)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	1200	592.8	598.7	608.8	271.7	291.3	299.7	218.4	193.3	182.6
15	1566	603.5	611.2	589.8	312.9	297.9	260.8	191.4	219.4	230.9
20	1818	597.4	604.4	600.2	312.7	307.5	312.7	179.8	210.4	180.5
25	1132	610.0	603.8	593.8	326.6	302.0	328.5	209.2	221.2	179.4
30	2400	606.2	593.3	605.4	386.7	360.2	359.6	160.0	191.7	184.5
35	2694	599.3	591.1	596.4	396.1	372.4	399.6	147.1	166.4	149.0
40	3000	592.6	607.5	601.0	398.2	418.7	405.5	146.3	140.3	147.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านค่าความเร็วรอบโดยแปลงสัญญาณที่ได้จาก SCOPE

4.นำน้ำและกากมะเขือเทศที่แยกได้ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลการทดลอง

5.คำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำจากสมการ

เปอร์เซ็นต์น้ำ = (น้ำหนักมะเขือเทศหลังผ่านเครื่องแยกกาก/น้ำหนักมะเขือเทศก่อนเข้าเครื่องแยกกาก)x100

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมอยู่ภายในเครื่อง

เปอร์เซ็นต์กาก = {[น้ำหนักมะเขือเทศก่อนเข้าเครื่อง-(น้ำหนักน้ำหลังผ่านเครื่อง+น้ำหนักกากหลังผ่านเครื่อง)]/น้ำหนักก่อนเข้าเครื่อง}x100

7. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-6 อีก 2 ครั้ง

8.เพิ่มความถี่ครั้งละ 5 Hz โดยทดลองที่ 15,20,25,30,35 และ40 Hz ตามลำดับ แล้วทดลองตามข้อ 2-7

ตารางที่ 5.2 ตารางบันทึกผลการทดลองเครื่องแยกกาก

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	น้ำหนักน้ำมะเขือเทศก่อนเข้าเครื่องแยกกาก (g)			น้ำหนักน้ำมะเขือเทศหลังผ่านการแยกกาก (g)			น้ำหนักกากหลังทำการแยกกาก (g)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	1200	592.8	598.7	608.8	271.7	291.3	299.7	218.4	193.3	182.6
15	1566	603.5	611.2	589.8	312.9	297.9	260.8	191.4	219.4	230.9
20	1818	597.4	604.4	600.2	312.7	307.5	312.7	179.8	210.4	180.5
25	1132	610.0	603.8	593.8	326.6	302.0	328.5	209.2	221.2	179.4
30	2400	606.2	593.3	605.4	386.7	360.2	359.6	160.0	191.7	184.5
35	2694	599.3	591.1	596.4	396.1	372.4	399.6	147.1	166.4	149.0
40	3000	592.6	607.5	601.0	398.2	418.7	405.5	146.3	140.3	147.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศที่แยกได้จากเครื่องแยกกาก (%)			เปอร์เซ็นต์กากมะเขือเทศที่สะสมอยู่ภายในเครื่อง (%)		
		1	2	3	1	2	3
10	1200	45.83	48.66	49.23	17.32	19.05	20.78
15	1566	51.85	48.75	44.23	16.44	15.36	16.62
20	1818	52.35	50.87	52.10	17.56	14.32	17.82
25	1132	53.55	50.02	55.32	12.17	13.35	14.47
30	2400	63.80	60.72	59.41	9.82	6.98	10.12
35	2694	66.10	63.01	67.00	9.37	8.85	8.01
40	3000	67.20	68.93	67.47	8.12	7.99	8.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทวิจารณ์และสรุปผล

6.1 วิเคราะห์ผลการทดลองเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ

ที่ความถี่ 20 Hz และ 30 Hz เครื่องตีปั่นไม่สามารถปั่นมะเขือเทศได้เนื่องจากความเร็วรอบน้อยเกินไป และเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น 40 Hz คือความเร็วรอบ 1667 รอบต่อนาที เครื่องตีปั่นก็สามารถทำงานได้แต่ความเร็วรอบก็ยังน้อยเกินไป มะเขือเทศที่ถูกตีปั่นแล้วก็ไหลออกมาได้น้อยมาก

ที่ความถี่ 45 Hz ความเร็วรอบ 1765 รอบต่อนาที เครื่องตีปั่นสามารถตีปั่นมะเขือเทศได้ดีขึ้นและมะเขือเทศที่ถูกตีปั่นแล้วสามารถไหลผ่านเครื่องออกมาได้ดีแต่ขนาดของกากที่ได้ยังมีขนาดใหญ่ (ประมาณ 3.5x1 cm) ดังรูปที่ 6.3 ค่าเปอร์เซ็นน้ำที่วัดได้ยังมีค่าน้อยอยู่เมื่อเทียบกับความเร็วรอบที่สูง ขึ้นดังรูปที่ 6.1 และค่าเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมอยู่ภายในเครื่องก็ยังมีค่ามาก ดังรูปที่ 6.2

เมื่อทดลองที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และที่ 55 Hz ความเร็วรอบ 2143 รอบต่อนาที พบว่าขนาดของกากที่ได้มีขนาดเล็กลงและค่าเปอร์เซนต์น้ำที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมอยู่ภายในเครื่องก็มีค่าลดลง

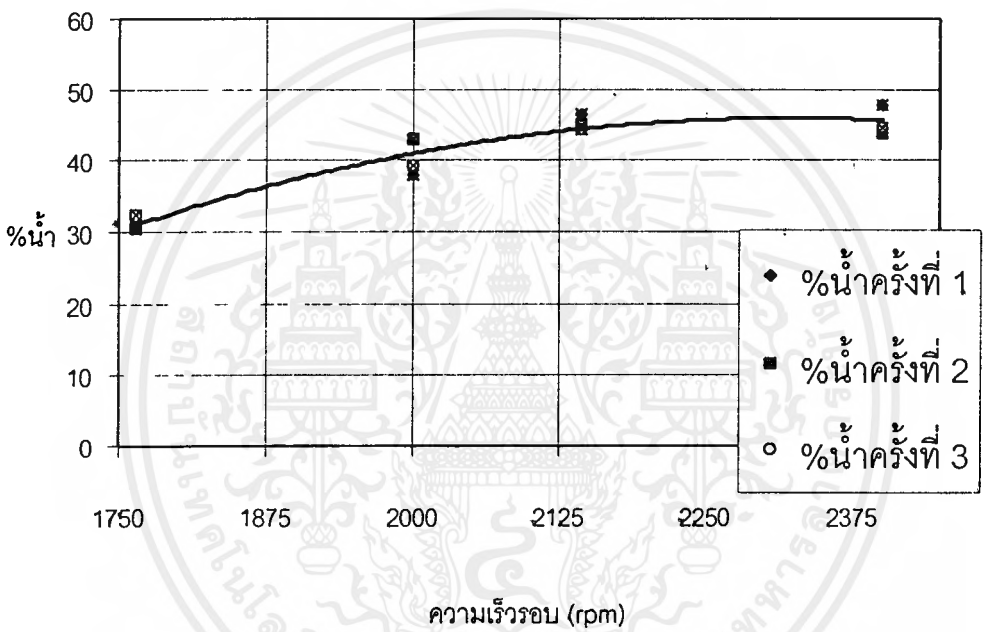
ที่ความถี่ 60 Hz ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาทีจะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับที่ 55 Hz ความเร็วรอบ 2143 รอบต่อนาที ส่วนขนาดของกากก็มีค่าใกล้เคียงกัน

สรุปผลการทดลองเครื่องตีปั่น

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับเครื่องตีปั่นมะเขือเทศที่สร้างขึ้นนี้อยู่ในช่วง 2143 – 2400 รอบต่อนาทีเพราะทำให้ได้น้ำมะเขือเทศแยกออกจากผลมะเขือเทศได้มากที่สุด ขนาดของกากที่ได้โดยเฉลี่ยมีขนาดที่ค่อนข้างเล็กกว่าคือประมาณ 2x1 cm

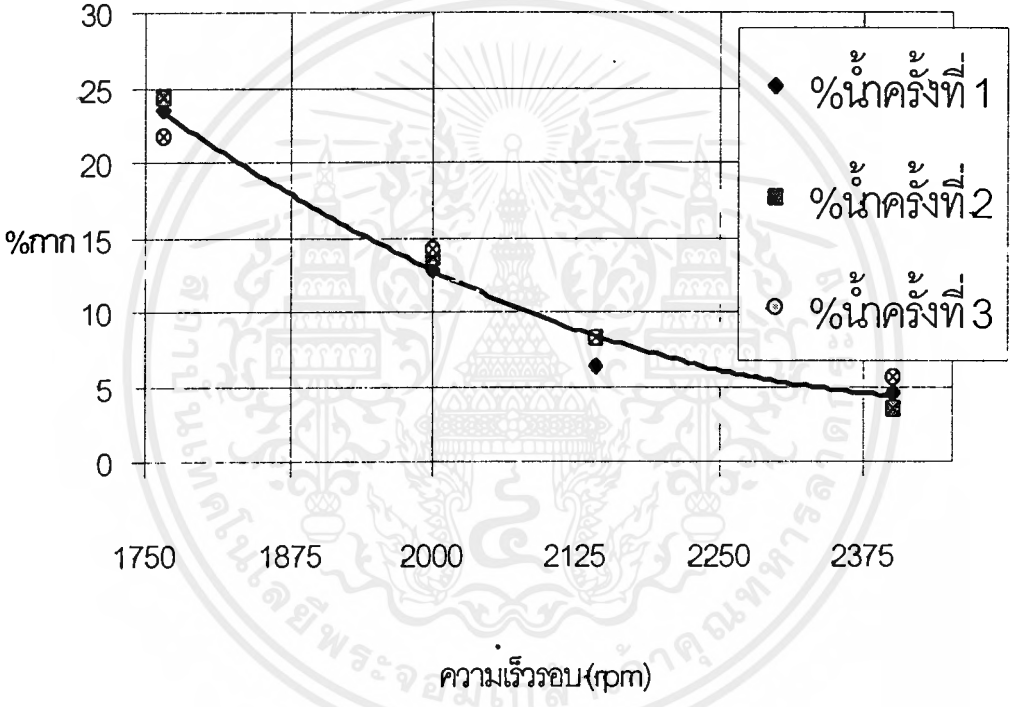
และเปอร์เซ็นต์ของกากที่สะสมค่อนข้างน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



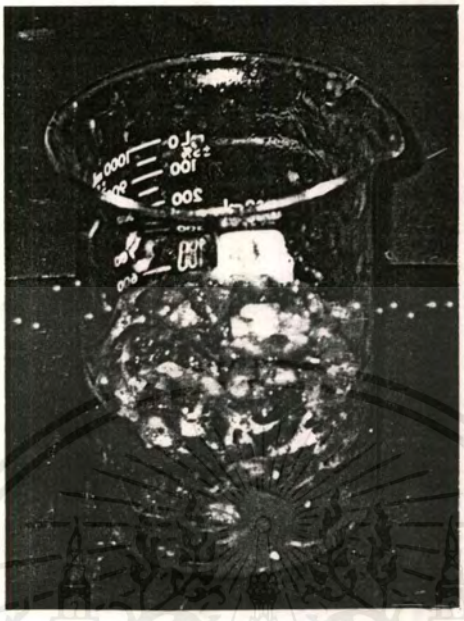
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำและความเร็วรอบ(rpm)เครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมภายในเครื่องและความเร็วรอบ (rpm)เครื่องตีปั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

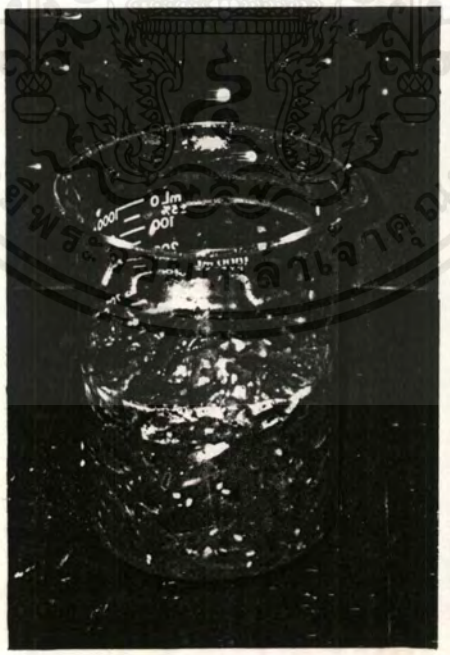


รูปที่ 6.3 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 1765 รอบต่อนาที

รูปที่ 6.4 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.5 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 2143 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.6 ภาพมะเขือเทศที่ผ่านการตีปั่นที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

เนื่องจากเปอร์เซ็นต์น้ำของน้ำมะเขือเทศที่ได้ยังมีค่าน้อยและขนาดของกากยังมีขนาดใหญ่อยู่ ฉะนั้น แนวทางการแก้ไขคือ

1.เพิ่มจำนวนชุดใบมีดให้มากขึ้นกว่าเดิมเพื่อให้มะเขือเทศที่อยู่ในเครื่องมีโอกาสถูกสับมากขึ้นซึ่งเดิมที่ทำไว้คือ 6 ชุดใบมีด

2.เพิ่มจำนวนใบของใบมีดแต่ละชุดให้มีจำนวนมากขึ้นเพื่อให้มะเขือเทศถูกสับได้มากครั้งขึ้นอาจจะทำให้มะเขือเทศละเอียดมากขึ้นได้ ซึ่งเดิมที่ทำไว้คือ 4 ซี่ ต่อ 1 ชุดใบมีด

3.เพิ่มหรือลดขนาดมุมเอียง(บิด)ของซี่ใบมีดของแต่ละชุดใบมีดให้มีขนาดที่เหมาะสม ซึ่งจะมีผลคือถ้ามุมเอียงมีขนาดมากจะทำให้มะเขือเทศที่ถูกสับไหลออกมาเร็วขึ้นแต่ขนาดมะเขือเทศจะมีขนาดใหญ่ และถ้ามุมเอียงมีขนาดน้อยก็จะตรงข้ามกันคือจะทำให้มะเขือเทศที่ถูกสับไหลออกมาช้ากว่าแต่ขนาดของมะเขือเทศที่ได้จะมีขนาดเล็กลงด้วย ฉะนั้นขนาดมุมเอียงที่เหมาะสมที่ว่านี้ก็มุมที่ทำให้มะเขือเทศละเอียดที่สุดและได้อัตราไหลที่เราต้องการซึ่งต้องทำการทดลองและพัฒนาต่อไปในอนาคต (เดิมที่ทำไว้คือ 20 องศา)

4.เพิ่มขนาดท่อทางออกของมะเขือเทศที่ถูกตีปั่นแล้วให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้มะเขือเทศที่ถูกตีถูกตีปั่นไหลออกได้สะดวก (ลด Pressure drop ที่ท่อทางออก ซึ่งเดิมทำไว้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

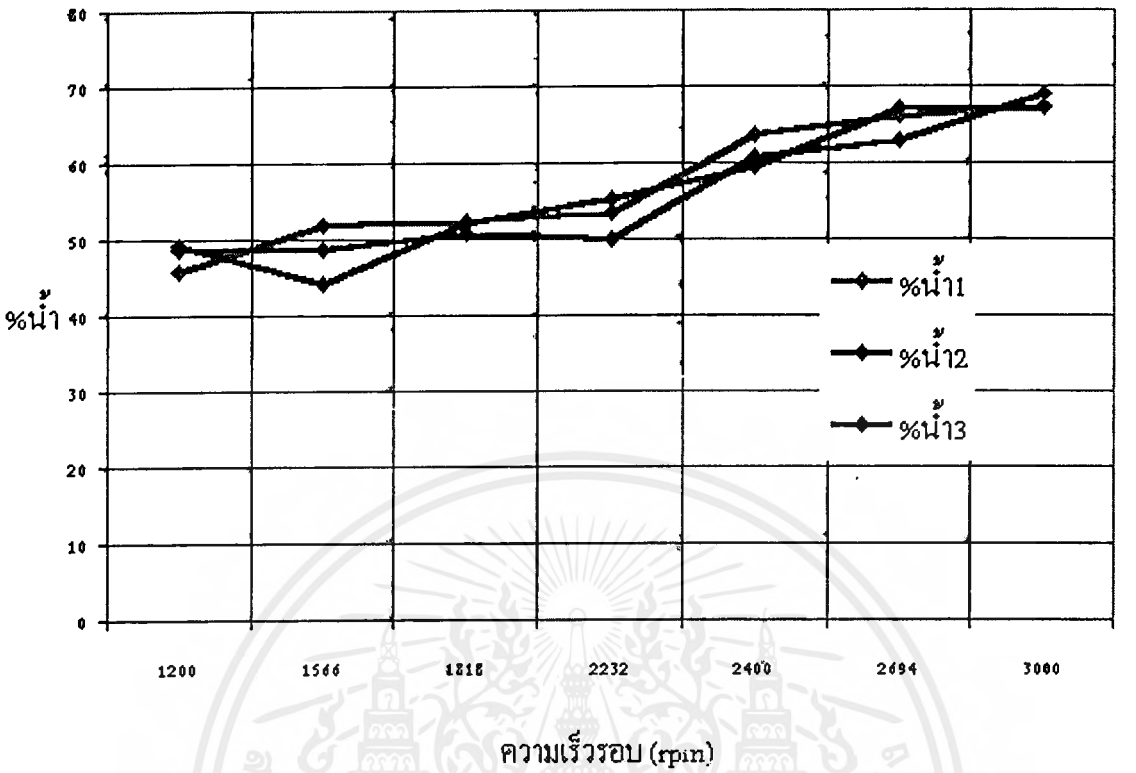
6.2 วิเคราะห์ผลการทดลองเครื่องแยกกากมะเขือเทศ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความถี่จะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศมากขึ้น โดยในช่วงความถี่ 15 - 25 Hz ความเร็วรอบ 1566 – 2232 รอบต่อนาทีเปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือ เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 6.7 และเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมภายในเครื่องก็มีค่ามากอยู่ ดังรูปที่ 6.8 แต่เมื่อทดลองที่ความถี่ 30 Hz ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากที่ความเร็วรอบขณะนั้นสามารถทำให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศบางส่วนผ่านตะแกรงกรองออกมาได้จึงออกมารวมกับน้ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศที่ได้มีค่าเพิ่มอย่างมาก และเมื่อเพิ่มความถี่เป็น 35 และ 40 Hz ความเร็วรอบ 2634 และ 3000 รอบต่อนาที เปอร์เซ็นต์น้ำมะเขือเทศที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 30 Hz ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาทีเล็กน้อยตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมอยู่ภายในเครื่องก็ลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น

สรุปผลการทดลองเครื่องแยกกาก

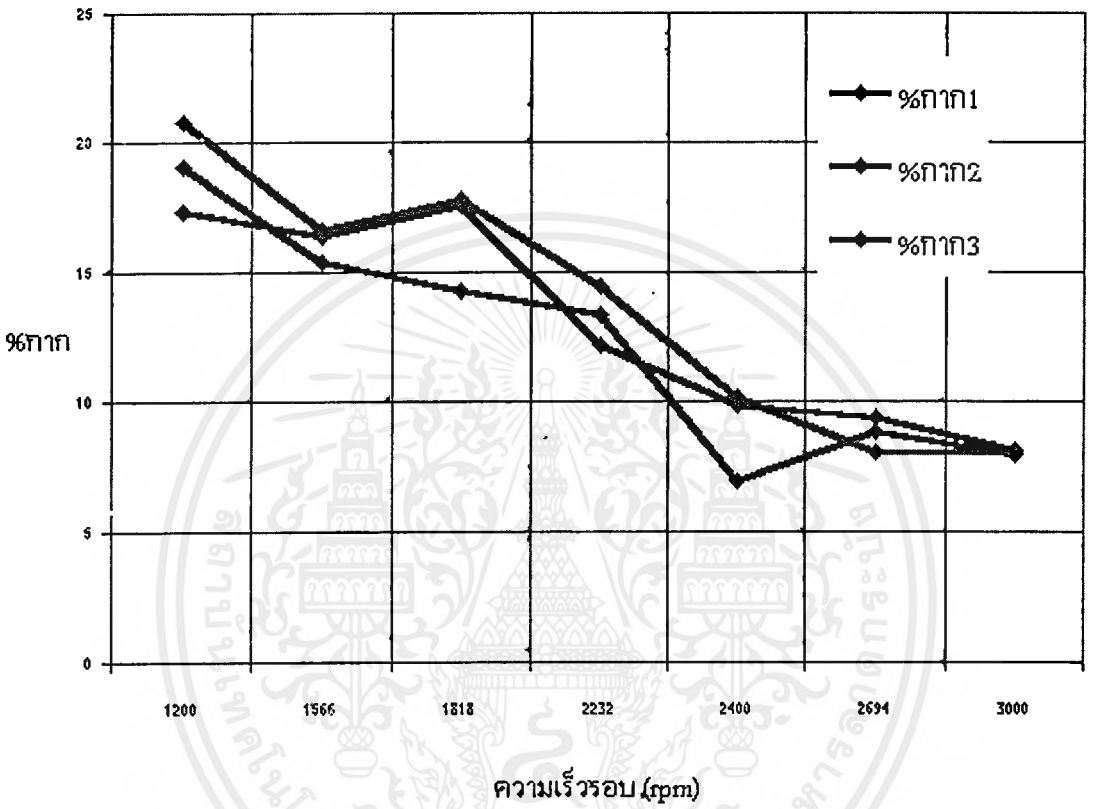
ความเร็วรอบที่ใช้สำหรับเครื่องแยกกากควรใช้ที่ 2400 – 2694 รอบต่อนาที โดยที่ความเร็วรอบในช่วงนี้เครื่องแยกกากสามารถแยกน้ำออกจากกากได้ดีที่สุดและมีเปอร์เซนต์ของกากที่สะสมภายในเครื่องค่อนข้างน้อย แต่ไม่ควรใช้ความเร็วรอบที่สูงกว่านี้เพราะถึงแม้ว่าจะเพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้น เปอร์เซ็นต์-น้ำมะเขือเทศที่ได้จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและที่ความเร็วรอบสูงๆ เครื่องจักรที่ใช้ทดลองก็จะสั่นมาก ซึ่งอาจจะเกิดอันตรายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



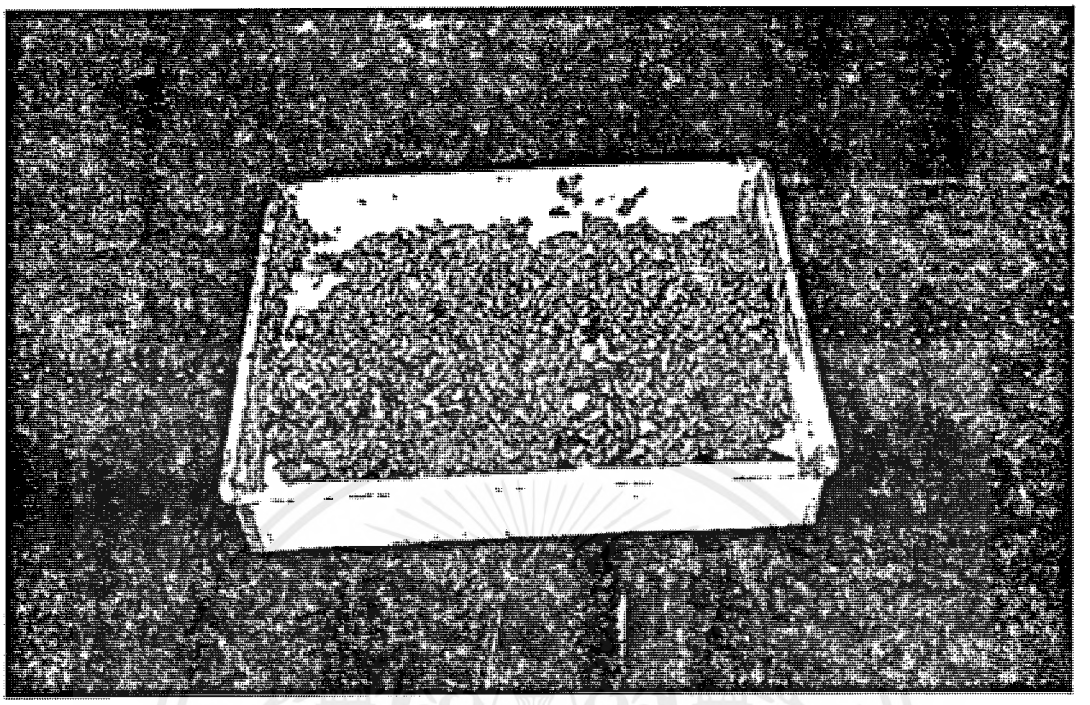
รูปที่ 6.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำและความเร็วรอบ(rpm)เครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

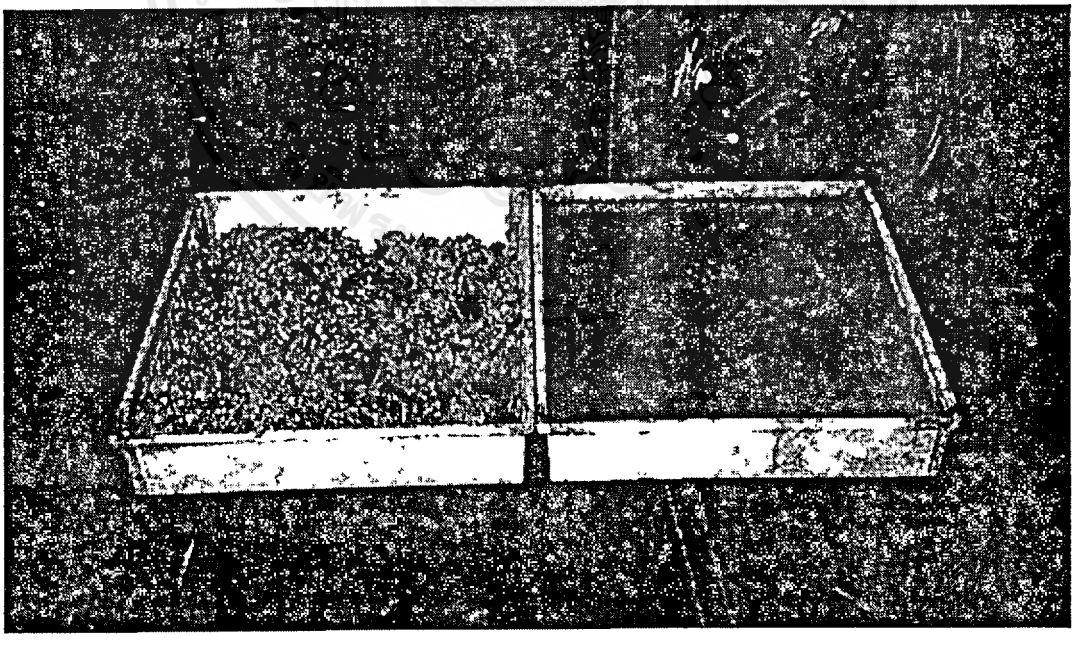


รูปที่ 6.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กากที่สะสมภายในเครื่อง และความเร็วรอบ(rpm)เครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

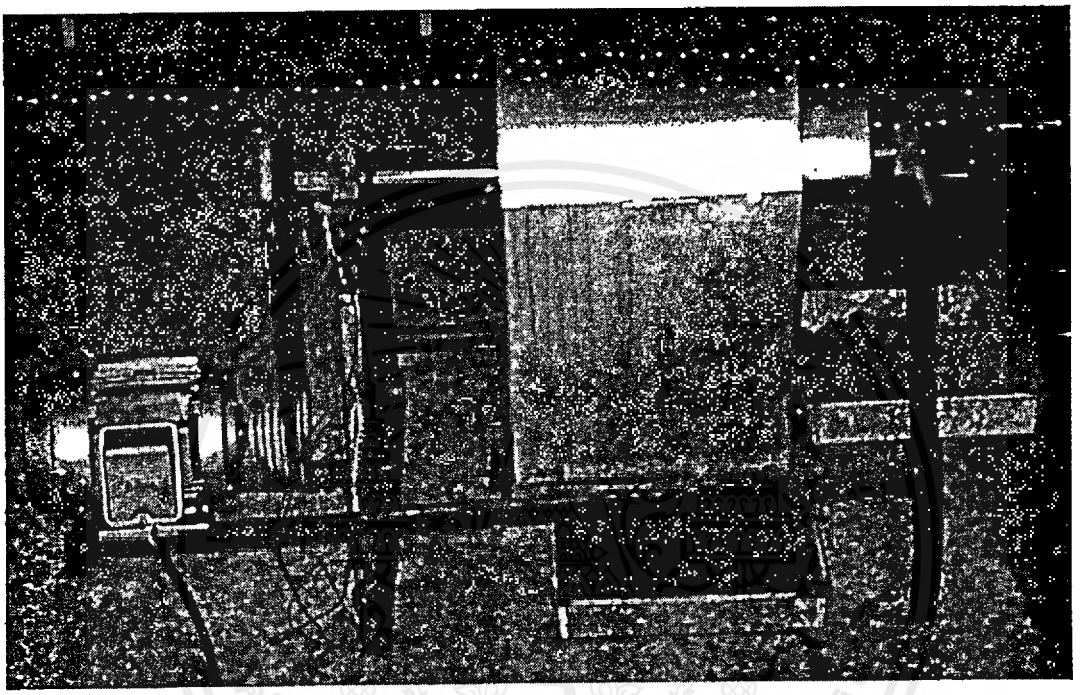


รูปที่ 6.9 ภาพกากมะเขือเทศ



รูปที่ 6.10 ภาพกากและน้ำมะเขือเทศที่ได้จากเครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 ภาพการทำงานของเครื่องแยกกาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

เนื่องจากเครื่องแยกกากที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องทดลองซึ่งมีขนาดเล็ก จึงมีความยาวของตะแกรงกรองสั้นจึงกรองได้น้อยและเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ก็ไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานที่ความเร็วรอบสูงๆ ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงขอเสนอแนะบางอย่างที่ปรับปรุงแล้วอาจจะทำให้ประสิทธิภาพหรือการทำงานของเครื่องแยกกากนี้ดีขึ้นได้

1.เพิ่มขนาดของตะแกรงคือพื้นที่ในการกรองให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการกรอง อาจเพิ่มได้จากเพิ่มขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางตระแกรงกรอง หรือ เพิ่มความยาวของตระแกรงซึ่งเดิมที่ทำไว้คือ 1225 cm^2

2.ควรทำการทดลองเพื่อหาขนาดของรูตระแกรงที่เหมาะสมกับความเร็วรอบที่เหมาะสมอีกครั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแยกกากนี้แต่ขนาดตะแกรงจะต้องเล็กกว่าเมล็ดของมะเขือเทศคือน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร

3.เพิ่มหรือลดขนาดมุมเอียงของใบกวาดให้เหมาะสมซึ่งขนาดมุมเอียงที่เหมาะสมนี้มีผลคือ ถ้าเอียงมากก็จะทำให้กากของมะเขือเทศไหลออกที่ทางออกกากเร็วเกินไปและกรองน้ำออกได้น้อย แต่ถ้าเอียงน้อยเกินไปก็จะทำให้กากมะเขือเทศไหลออกช้าแต่จะสามารถกรองน้ำออกได้มากขึ้นเพราะมะเขือเทศที่ถูกกรองจะใช้เวลาในการกรองมากขึ้น ดังนั้นความเอียงของใบกวาดที่เหมาะสมจริงๆ อาจจะต้องทำการทดลองและพัฒนาต่อไปในอนาคตซึ่งเดิมที่ทำไว้ทำมุมกับแกนเพลา 15 องศา

4.เพิ่มความแข็งแรงและคงทนของเครื่องให้มากขึ้นเพื่อรองรับที่ความเร็วรอบสูงๆ กว่านี้ซึ่งอาจจะทำให้ได้ผลการทดลองหรือประสิทธิภาพดีขึ้น(เดิมที่ทำไว้ มีขนาดเล็กและความแข็งแรงอาจจะยังน้อยเพราะจุดประสงค์สร้างขึ้นเพื่อทำการทดลองเท่านั้น)

6.3 วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนต่อปีของเครื่องและจุดคุ้มทุน

มีรายละเอียดของเงินทุนและค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้

1.ราคาเครื่อง	20,000	บาท
2.มูลค่าซาก	5,000	บาท
3.อายุการใช้งาน	5	ปี
4.ค่าซ่อมบำรุงเมื่อสิ้นปี		
ปีที่ 1	500	บาท
เพิ่มปีละ	200	บาท
5.เครื่องใช้งาน	8	ชม./วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.ใช้แรงงานในการผลิต		1	คน
7.มอเตอร์	ขนาด	1	แรงม้า
	ประสิทธิภาพ	80	%
8.ราคาขายน้ำมะเขือเทศ		5	บาท/ขวด
	1 ลิตร มี	4	ขวด
9.ผลิตน้ำมะเขือเทศ		280	ก.ก./วัน
10.จำนวนวันผลิต		300	วัน/ปี
11.ใช้มะเขือเทศ			
	ราคา	20	บาท/ก.ก.
12.ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย		3	บาท/หน่วย
13.ค่าแรงงาน		150	บาท/วัน
14.ค่าขวด		1	บาท/ขวด

ต้นทุนคงที่ (คิดค่าเสื่อมแบบทุนจม)

ค่าเสื่อมราคา + ดอกเบี้ย = P(CRF,i%,n) – L(SFF,i%,n)

เปิดตารางที่ ค.16 ที่ i = 10% ที่ n = 5

จะได้ค่า CRF = 0.26380 และ SFF = 0.16380 แทนค่า

P(CRF,10%,5) – L(SFF,10%,5) = 20,000(0.26380) - 5,000(0.16380)

= 4,457 บาท/ปี

ต้นทุนแปรผัน

ค่าซ่อมบำรุง/ปี = 500+300(GUSF,10%,5)

เปิดตารางที่ ค.16 จะได้(GUSF,10%,5) = 1.81

500+200(GUSF,10%,5) = 500+300(1.81)

= 1,043 บาท/ปี

ค่าแรงในการผลิต = 150บาท/วัน×300 วัน/ปี

= 45,000 บาท/ปี

ค่าไฟฟ้า = 0.8×1 hp×0.76 Kw/hp×8 hr/วัน×3 บาท/Kw/hp-hr×300 วัน/ปี

= 4,377.6 บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามะเขือเทศ = 280 kg/วัน× 20บาท/ก.ก. ×300 วัน/ปี

ค่าขวด = 1,068,000 บาท/ปี

ค่าขวด = 1×1,000×300 วัน/ปี = 300,000 บาท/ปี

ต้นทุนแปรผันรวม = 2,030,420.6 บาท

ต้นทุนทั้งหมด4,457+1,730,420.6 = 2,034,877.6 บาท/ปี

รายได้จากการขาย = 10 บาท/ขวด×1,000 ขวด×300 วัน/ปี

= 3,000,000 บาท/ปี

กำไรสุทธิ 3,000,000-2,030,420.6 = 969,579.4 บาท/ปี

ดังนั้นอัตราผลตอบแทนต่อปี = (กำไรสุทธิ×)100/เงินลงทุนทั้งหมด

= (969,579.4×100)/ 2,034,877.6 = 48.48%

เปรียบเทียบจุดคุ้มทุน (BEP : Break Event Point) กับคนผลิต

ให้ N = จำนวนวันที่ใช้ในการผลิต (วัน/ปี)

กรณีใช้เครื่องผลิต

ต้นทุนคงที่ 4,457 บาท/ปี

ต้นทุนแปรผัน ได้แก่

ค่าซ่อมบำรุง = 1,043 บาท/ปี

ค่าแรงการผลิต150×N = 150N บาท/ปี

ค่าไฟฟ้า = 0.8×1 hp×0.746 Kw/hp×8 hr/วัน×3 บาท/Kw/hp-hr×N วัน/ปี

= 14.32N บาท/ปี

ค่ามะเขือเทศ 280 kg/วัน× 20 บาท/ก.ก. ×N = 5,600N บาท/ปี

ค่าขวด = 1,000N บาท/ปี

ต้นทุนแปรผันรวม = 4,457+1,043+150N+14.32N+5,600N+1,000N

= 1,043+6,764.3N บาท/ปี

ต้นทุนทั้งหมด = 4,457+1,043+6,764.3N

= 5,500+6,764.3N บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีใช้คนผลิต

ใช้แรงงานในการผลิต 10 คน

ใช้ไฟฟ้า 8 hr/วัน

ต้นทุนแปรผัน

ค่าแรงการผลิต = 10คน×150×N = 1,500N บาท/ปี

ค่ามะเขือเทศ = 280 kg/วัน× 20 บาท/ก.ก. ×N = 5,600N บาท/ปี

ค่าขวด = 1,000N บาท/ปี

ต้นทุนทั้งหมด = 8,100N บาท/ปี

BEP (เครื่อง) = BEP (คน)

5,500+6,764.3N = 8,100 N

, N = 5 วัน

ดังนั้นถ้าทำการขายมากกว่า 5 วัน ควรเลือก การใช้เครื่อง

ชนิดของต้นทุน	รายจ่าย	จำนวนเงิน (บาท/ปี)
ต้นทุนคงที่	- ค่าเสื่อมราคา+ดอกเบี้ย	4,457
ต้นแปรผัน	- ค่าซ่อมบำรุง	1,043
	- ค่าแรงในการผลิต	45,000
	- ค่าไฟฟ้า	4,377.6
	- ค่ามะเขือเทศ	1,068,000
	- ค่าขวด	300,000
ต้นทุนแปรผันรวม		2,030,420.6
ต้นทุนทั้งหมด		2,030,4877.6
รายได้จากการขาย		3,000,000
กำไรสุทธิ		969,579.4
อัตราผลตอบแทนต่อปี		48.480 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณเครื่องตีปั่นมะเขือเทศ

เพลา

N = ค่าความปลอดภัย

σ_U = ความต้านทานแรงดึงดราก(Tension Strength)

σ_Y = ความต้านทานแรงดึง(Yield Strength)

σ_m = ความเค้นเฉลี่ย(Mean Stress)

σ_a = ความเค้นส่วนเปลี่ยน(Stress Amplitude)

σ_n = ค่าความต้านทานแรงทนทาน

$\sigma_{n'}$ = ค่าความเค้นสูงสุดที่กระทำซ้ำกันสองทิศทาง (Reversed Stress)

τ_Y = ค่าความต้านแรงเฉือนดราก(Yield Strength In Shear)

τ_m = ความเค้นเฉือนเฉลี่ย(Shear Stress Mean)

τ_a = ความเค้นเฉือนส่วนเปลี่ยน(Shear Stress Amplitude)

τ_n = ค่าความต้านแรงทนทาน

K_f = ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจริง(Actual Stress Concentration Factor)

K_{fs} = ค่าตัวประกอบความหนาแน่นของความเค้นเฉือน

M_m = โมเมนต์ดัดเฉลี่ย

M_a = โมเมนต์ดัดส่วนเปลี่ยน

T_m = โมเมนต์บิดเฉลี่ย

T_a = โมเมนต์บิดส่วนเปลี่ยน

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา

K = ขึ้นอยู่กับลักษณะของเพลา; ถ้าเพลาตัน $K = 0$, ถ้าเพลากลวง $K = d_i/d$

d_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลา

n_c = ความเร็ววิกฤตของเพลา

W = น้ำหนักที่ติดอยู่กับเพลา

Y = ระยะโก่ง

ชุดสายพาน

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานตัวใหญ่

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานตัวเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของล้อสายพานตัวใหญ่และล้อสายพานตัวเล็ก (Center Distance)

θ_s = มุมสัมผัสระหว่างสายพานและล้อสายพานตัวเล็ก

θ_L = มุมสัมผัสระหว่างสายพานและล้อสายพานตัวใหญ่

L = ความยาวของสายพาน

F_1 = แรงดึงด้านตึง(Tight – Side Tension)

F_2 = แรงดึงด้านหย่อน(Slack – Side Tension)

F_c = แรงหนีศูนย์(Centrifugalforce)

V = ความเร็วขอบของล้อสายพาน

H = กำลังที่ส่งถ่าย

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน(Coefficient Friction)ระหว่างสายพานและล้อสายพาน

m = มวลของสายพานต่อหน่วยความยาวของสายพาน

โรเลอร์ เบริ่ง

F_e = แรงเสมือนในแนวรัศมี (Equipvalent radail load)

F_r = แรงในแนวรัศมี(Radial Load)

F_a = แรงรุน(Trush Load)

X = ตัวประกอบในแนวรัศมี(Radial Factor)

Y = ตัวประกอบรุน(Trush Factor)

V = ตัวประกอบการหมุน(Rotation Factor)

L = อายุการใช้งานของแบริ่ง.

σ_c = ความเค้นอัดบนลิ่ม

F = แรงที่กระทำกับลิ่ม

b = ความกว้างของลิ่ม

h = ความสูงของลิ่ม

l = ความยาวของลิ่ม

ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณเครื่องแยกกากมะเขือเทศ

q = อัตราการไหลของน้ำมะเขือเทศที่กรองได้

ρ = ความหนาแน่นของน้ำมะเขือเทศ

ω = ความเร็วเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ = ความหนืดของน้ำมะเขือเทศ

m_C= มวลของกากในเค็ก(Cake)

A = พื้นที่กรอง

R_m= ความต้านทานของตัวกรอง (Filter – Medium Resistance)

r_1=รัศมีที่วัดจากพื้นผิวด้านในของของเหลว

r_i=รัศมีที่วัดจากพื้นผิวด้านในของเค้ก(cake)

r_2=รัศมีด้านไนของตะกร้า(basket)

t = เวลาที่ใช้กรอง

ΔP = ความดันลด(Pressure Drop)ของน้ำมะเขือเทศ

g_c= Newton's Lows Poportionality Factor ; 32.174 $ft - lb/lb_f - s^2$

K_c ,$1/q_o$ = ค่าคงที่

N = ความเร็วรอบของมอเตอร์

α = Specific Cake Resistance

A_2 = Arae Of Filter Medium

A_a = Arithmetic Mean Cake Arae

A_L = Logarithmic Mean Cake Arear

ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณเครื่องถ่ายเทความร้อนให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลว

Ts = อุณหภูมิของพื้นผิวที่ก้นถังความดัน

Tsat = อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ความดันใดๆ

qs" = อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่จากพื้นผิวก้นถังความดันไปสู่น้ำ

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

ΔT_e = Excess Temperature

μ_l = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิอิ่มตัว

ρ_l = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิอิ่มตัว

P_{rl} = Prandtl Number ของน้ำที่อุณหภูมิอิ่มตัว

σ = ความตึงผิว (Surface Tension) ของน้ำ ณ อุณหภูมิอิ่มตัว

h_{fg} = ค่าความร้อนแฝง (Latent Heat) ของน้ำ ณ อุณหภูมิอิ่มตัว

$C_{P,l}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ของน้ำ ณ อุณหภูมิอิ่มตัว

ρ_v = ความหนาแน่นของไอ ณ อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C_{s,f}$ และ n ; ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวที่ก้นถังความดันและชนิดของ ๆ เหลว ค่าของมันให้ไว้ในตารางที่ 10.1

g = แรงโน้มถ่วงของโลก

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(Overal Heat tranfer Coefficient)

h_i = สัมประสิทธิ์การพาความของเนื้อเยื่อมะเขือเทศ

h_o= สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำเดือด

Nu_D= Nusselt Number

w = อัตราการไหลของเนื้อเยื่อมะเขือเทศ เหลว

c_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลว

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

L = ความยาวท่อ

N_{GZ} = Gratz Number

m = Consistency Coefficient

n = Folw Behavior Index

m_b = Consistency Coefficient ของเนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลวเสมือนที่อุณหภูมิผิวท่อ

m_s = Consistency Coefficient ของเนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลว

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

Re_D = Reynolds Number

T_m = อุณหภูมิเฉลี่ยของๆ เหลวที่ทางเข้าและทางออก

A = พื้นที่ๆ เกิดการถ่ายเทความร้อน

ΔT_{lm} = Log Mean Temperature Difference

q_{conv} = อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข[3]

เครื่องถ่ายเทความร้อน

เนื่องจากในการทำน้ำมะเขือเทศจะต้องมีการให้ความร้อนแก่น้ำมะเขือเทศเพื่อให้ผิวมะเขือเทศแยกออกจากเนื้อมะเขือเทศ (ในกระบวนการทำน้ำมะเขือเทศเข้มข้น) และมีผลดีทางด้านถนอมอาหารในการพลาสเจอร์ไรส์ฆ่าเชื้อโรคก่อนนำไปรับประทาน จึงอาจเพิ่มเครื่องนี้เข้าไปในกระบวนการผลิตด้วยก็ได้แต่ในงานวิจัยนี้มิได้ทำขึ้น

ข.1 การถ่ายเทความร้อน

การให้ความร้อนนี้จะทำให้ผิวของมะเขือเทศแยกออกจากเนื้อมะเขือเทศ และมะเขือเทศมีลักษณะเหลวยิ่งขึ้น การให้ความร้อนจะใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งแบ่งออกได้เป็น

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เป็นแผ่นเหล็กปลอดสนิมบาง ๆ เอามาจัดให้เกิดส่วนนูนเว้า เพื่อให้ของเหลวไหลแบบ เทอร์บูแลนซ์ ซึ่งช่วงในการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเหมาะสำหรับอาหารเหลว ที่มีความหนืดต่ำ และถ้ามีอนุภาคของแข็งอยู่ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคควรน้อยกว่า 0.3 cm ถ้าอนุภาคใหญ่เกินไปอาจจะติดอยู่ระหว่างแผ่น ก่อให้เกิดการไหม้ได้

2.เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไอน้ำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไอน้ำ จะมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างไอน้ำและผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลว จะถูกปั๊มขึ้นไปยังส่วนบน ของเครื่อง แล้วไหลลงมาในลักษณะแผ่นบาง ๆ ในส่วนให้ความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงเมื่อไอน้ำสัมผัสกับหยดเล็ก ๆ ของอาหาร ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ข.2 เครื่องถ่ายเทความร้อน

ในการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องถ่ายเทความร้อนในที่นี้นั้นเราได้แสดงวิธีการถ่ายเทให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศไว้ 2 วิธี ได้แก่

1.การถ่ายเทความร้อนให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศโดยใช้หลักการ ของการเปลี่ยนสถานะของของไหล ซึ่งกระบวนการที่ใช้จะใช้การเดือด (boiling) ซึ่งลักษณะของเครื่องถ่ายเทความร้อนโดยใช้วิธีการเดือดของน้ำนี้จะประกอบด้วยชุดหม้อต้มและท่อขดเป็นรูปวงกลมอยู่ภายในชุดหม้อต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การถ่ายเทความร้อนให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศโดยใช้วิธีการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะมีลักษณะเป็นท่อนำความร้อนโดยจะปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปที่ท่อ และท่อนี้สวมอยู่กับท่อลำเรียงเนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลว ซึ่งท่อที่ได้รับกระแสไฟฟ้านี้จะได้รับความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้ท่อลำเรียงเนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลวอีกที

ทฤษฎีการคำนวนในการให้ความร้อนแก่เนื้อเยื่อมะเขือเทศโดยอาศัยกระบวนการของการเดือด

การเดือดคือการที่ของเหลวบริเวณผิวสัมผัสระหว่างของแข็ง และของเหลวระเหยกลายเป็นไอ กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของพื้นผิว (T_s) มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลว ที่ความดันนั้น (T_{sat})

สำหรับสมการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวไปสู่ของเหลวที่เหมาะสมในรูปของ Newton's law of cooling ได้แก่

$$q_s'' = h.(T_s-T_{sat}) = h.(\Delta T_e)$$

โดย $\Delta T_e = T_s-T_{sat}$ มีชื่อเรียกว่า excess temperature

เนื่องจากการเดือด อาจเกิดได้หลายรูปแบบ แต่ที่เราจะใช้ในการถ่ายเทความร้อนให้มะเขือเทศจะพิจารณาการเดือดแบบ pool boiling ซึ่งของเหลวแต่เดิมจะอยู่กับที่ และต่อมาเมื่อเกิดการเดือดของเหลวดังกล่าวจะเคลื่อนที่ของมันบริเวณใกล้กับพื้นผิว เป็นผลมาจากทั้งการพาความร้อนตามธรรมชาติและจากการที่ฟองขยายตัว ผสมผสานกันและลอยตัวออกจากพื้นผิว รูปแบบของ pool boiling จาก boiling curve ของน้ำที่ความดัน 1 bar โดยย่านต่าง ๆ ของการเดือดนี้จำแนกตามค่า ΔT_e ได้ 4 ย่าน

1. free convection การเดือดรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ $\Delta T_e < \Delta T_{e,a}$ โดย $\Delta T_{e,a}$=5 °C ในย่านนี้จะมีจำนวนไอไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเดือดที่อุณหภูมิอิ่มตัว การเคลื่อนที่ของของไหลจะเป็นผลมาจาก การพาความร้อนตามธรรมชาติเป็นหลัก

2 nucleate boiling การเดือดรูปแบบนี้เกิดในย่าน $\Delta T_{e,A} < \Delta T_e < \Delta T_{e,C}$ โดย $\Delta T_{e,C}$= 30 °C ย่าน nucleate boiling สามารถแยกออกเป็น 2 ย่าน ในย่าน A-B จะเกิดฟองทีละฟอง (isolated bubbles) ขึ้นที่จุดเกิดฟองและแยกตัวออกจากพื้นผิวในย่านนี้ การถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นโดยตรงระหว่างพื้นผิวทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและค่า heat flux เพิ่มขึ้นอย่างมากในย่าน B-C นี้ฟองจะแยกตัวออกจากพื้นผิวในลักษณะของเจ็ต (jets) หรือเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อน ซึ่งต่อมาจะรวมตัวกันเป็นก้อนฟองขนาดใหญ่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป

เนื่องจากการเดือดในย่าน nucleate boiling นี้ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงในขณะที่ excess temperature มีค่าต่ำด้วยเหตุนี้เราจึงออกแบบให้เครื่องถ่ายเทความร้อนทำงานในย่านนี้

3. transition boiling ย่านที่อยู่ระหว่าง $\Delta T_{e,C} < \Delta T_e < \Delta T_{e,D}$ โดยที่ $\Delta T_{e,D} = 120\ ^{\circ}C$ ในย่านนี้ฟองจะก่อตัวขึ้นอย่างรวดเร็วมากจนกระทั่ง เกิดเป็นชั้นของไอครอบคลุมเบนพื้นผิวที่จุดใด ๆ บนพื้นผิวการเดือดจะเปลี่ยนสภาพกลับไปกลับมาระหว่าง film และ nucleate boiling โดยที่เมื่อ ΔT_e สูงขึ้นสัดส่วนของพื้นผิวที่ครอบคลุมโดยชั้นของไอมากขึ้นและเนื่องจากสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของไอมีค่าน้อยกว่าของเหลวมาก ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและ heat fluxในการเดือดชนิดนี้จะลดลงเมื่อ ΔT_e เพิ่มขึ้น

4. film boiling การเดือดเกิดเมื่อ $\Delta T_e > \Delta T_{e,D}$ การเดือดในย่านนี้ค่า heat flux จะเพิ่มขึ้นเมื่อ ΔT_e สูงขึ้นทั้งนี้เป็นเพราะ การแผ่รังสีความร้อนผ่านชั้นของไอจะมีผลมากเมื่ออุณหภูมิของพื้นผิวสูงขึ้น

เนื่องจากการเดือดในย่าน nucleate pool boiling จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงและ heat flux สูงในขณะที่ ΔT_e ต่ำ เราจึงออกแบบให้เครื่องถ่ายเทความร้อนให้มะเขือเทศใช้ได้ดีในย่านนี้ ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการส่งถ่ายความร้อนได้ถูกนำเสนอโดย Rohsenow คือ

$$q''_s = \mu_l h_{fg} [g(\rho_l-\rho_v)/\sigma]^{1/2} [(C_{p,l}\Delta T_e)/(C_{s,f} h_{fg} P_{rl}^{\ n})]^3$$

ค่าสัมประสิทธิ์ $C_{s,f}$ และกำลัง n ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวและชนิดของของเหลว ซึ่งค่าของมันให้ไว้ในตาราง ค.14

สำหรับตัวห้อย l,v หมายถึงค่าที่สภาวะของเหลวและไอตามลำดับ

ในการหาความยาวท่อเราจำเป็นจะต้องรู้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$U = 1/[(1/h_i)+(1/h_o)]$$

h_i = สัมประสิทธิ์การพาความของเนื้อเยื่อมะเขือเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_o= สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำเดือด

สำหรับในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำเดือดนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของ Newton's law of cooling และสมการอัตราการถ่ายเทความร้อนของ Rohsenow และการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศนั้นเราจะสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu_D = (8/\pi)+(4/\pi)[(w.c_p)/(kL)]^{1/2}$$

สมการนี้ใช้ได้เมื่อเนื้อเยื่อมะเขือเทศเป็นการไหลแบบราบเรียบและใช้ได้ดีสำหรับค่า Gratz Number ประมาณ 100 ซึ่งสมการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับค่า Gratz Number ที่มากกว่า 500 ขึ้นไป

ซึ่ง Gratz ได้เสนอสมการ Gratz Number ที่เหมาะสม ไว้ดังนี้คือ

$$N_{GZ} = (w.c_p)/(k.L)$$

และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศ สามารถคำนวณหาได้จากสมการของ Pigford ซึ่งเหมาะสมในการใช้แบบราบเรียบสำหรับ Newtonian Fluid และ Nonnewtonian Fluid

$$Nu_D = 1.75[(3n+1)/4n]^{1/3} N_{GZ}$$

สำหรับสมการที่ได้จากการทดลองเพื่อหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน pseudoplastic Fluid ซึ่งได้ถูกเสนอโดย Charm และ Merrill ดังนี้คือ

$$Nu_D = 2[(w.c_p)/(k.L)]1/3[(m_b/m_s)(3n+1)/2(3n-1)]^{0.14}$$

สำหรับการไหลแบบ เทอร์บูแลนซ์ Reynold Number $\geq$ 10,000 ได้เสนอสมการสำหรับย่านการไหลแบบปั่นป่วนไว้ดังนี้คือ

$$Nu_d = 0.0041[(D^n u^{2-n}\rho)/(m8^{n-1})]^{0.99} . \{(mc_p/k)(8u/D)^{n-1}]^{0.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสมการต่างๆ ที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลวที่ได้กล่าวมานี้จะใช้ได้ถูกต้องก็ต่อเมื่อเราทราบคุณสมบัติทางความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งผู้จัดทำไม่สามารถหาคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ได้ ฉนั้นเราจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติเหล่านี้มาแต่เนื่องจากเพื่อความสะดวกและประหยัดเวลาของผู้จัดทำทางผู้จัดทำจึงขอเสนอวิธีอื่นเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจทำเครื่องถ่ายเทความร้อนให้มะเขือเทศได้เปรียบเทียบกับสมการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งผู้จัดทำขอแนะนำให้ใช้สมการข้างต้นสำหรับสมการที่ผู้จัดทำจะใช้ในที่นี้คือ

$$Nu_D = 4.36$$

เมื่อเป็นการไหลแบบราบเรียบและ heat flux ที่ผนังคงที่

และสมการของ Dittus-Boelter เมื่อเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ดังนี้คือ

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^{1/3}$$

โดยที่ n = 0.4 สำหรับการให้ความร้อน (heating ; $T_s > T_m$) และ 0.3 สำหรับการระบายความร้อน (cooling ; $T_s < T_m$) สมการเหล่านี้ได้จากการทดลองและแนะนำให้ใช้ในย่าน

$$0.7 \leqslant Pr \leqslant 160$$

$$Re_D \geqslant 10000$$

$$L/D \geqslant 10$$

ซึ่งค่าคุณสมบัติทางความร้อนต่าง ๆ ของเนื้อเยื่อมะเขือเทศเราอาจจะทำการสุมมติให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำ

เนื่องจากสมการที่ใช้หาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศที่ได้กล่าวมานี้เหมาะสมที่จะใช้กับของไหล(น้ำ) ดังนั้นเมื่อเรานำมาใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศนั้นค่าที่คำนวณได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนสูงซึ่งอาจมีผลทำให้ความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศที่เราต้องการตรงทางออกจากเครื่องถ่ายเทความร้อนไม่ได้เป็นไปตามที่เราต้องการซึ่งตรงนี้เราสามารถทำการแก้ไขได้โดยมาทำการปรับแก้หลังจากทำการสร้างเครื่องถ่ายเทความร้อนนี้ออกมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณหาขนาดความยาวของท่อเราสามารถคำนวนได้อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมคือ

$$q = A.U.\Delta T_{lm}$$

และ

$$A = \pi.D.L$$

จาก control volume จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมจะเท่ากับพลังงานความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศที่เพิ่มขึ้น

ทฤษฎีการคำนวณในการให้ความร้อนแก่เนื้อเยื่อมะเขือเทศโดยการใช้ไฟฟ้าซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ไฟฟ้านี้ค่อนข้างจะคงที่เพราะฉะนั้นเราจึงสมมติได้ว่า การให้ความร้อนแบบนี้เป็นการให้ความร้อนในลักษณะ heat flux ที่ผนังมีค่าคงที่เพราะฉะนั้นอัตราการพาความร้อนตลอดท่อหาได้จาก

$$q_{conv} = q_s".PL = q_s'.\pi.D.L$$

ซึ่งจากกฎการไม่สูญหายของพลังงานและสมมติฐานที่ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดหน้าตัดของท่อมีค่าคงที่ ดังนั้นเราจะได้ว่าอัตราการพาความร้อนสู่ของไหลต้องเท่ากับอัตราที่พลังงานความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราพลังงานความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถประมาณได้จากสมการ

$$q = mc_p\Delta T$$

จากสมการที่ได้กล่าวมาในหัวข้อนี้เราสามารถประมาณหาความยาวท่อได้

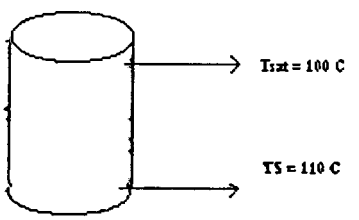
ข.3 การคำนวณและออกแบบเครื่องถ่ายเทความร้อนให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศ

ข.3.1 การคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำเดือด (h_o)

จาก สมการสำหรับการเดือดในย่าน nucleateboiling

$$q"_s = \mu_l.h_{fg}.[g.(\rho_l-\rho_v)/\sigma]^{1/2}[(C_{p,l}.\Delta T_e)/(C_{s,f}.h_{fg}.P_{rl}^{n})]^3$$

D = 30 cm



รูปที่ ข.1 แสดงลักษณะของอุณหภูมิในภาชนะถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Assume

1. Steady State Condition
2. น้ำในกระทะเปิดสู่บรรยากาศ
3. น้ำมีอุณหภูมิเท่ากับที่ T_{sat} ตลอด
4. ด้านล่างภาชนะทำด้วยStainless Steel
5. ไม่คิด heat loss
6. h_o คงที่

คุณสมบัติ : จากตารางที่ ค.15

ของเหลว (100 ^{0}C) · $\rho_l = 1/V_f = 957.9$ kg/m^3 , $C_{p,l} = C_{p,f} = 4.217$ kJ/kg.K

$\mu_l = \mu_f = 279\times10^{-6}$ Ns/m , $P_{rl}^{\ n} = P_{rf}^{\ n} = 1.76$

$h_{fg} = 2257$ kJ/kg , $\sigma = 58.9*10^{-3}$ N/m

ไอ (100 ^{0}C) : $\rho_v = 1/V_g = 0.5955$ kg/m^3

จะได้ Excess Temperature

$\Delta T_e = 110-100 = 10\ ^0$C

จาก ตารางที่ ค.14 เลือก Stainless steel (Mechanically polish)

$C_{s,f} = 0.013$, $n = 1$

เพราะฉะนั้น Heat flux มีค่า

$$q''_s = \{279\times10^{-6})(2,257\times10^3)[\{9.81)(957.9-0.5955)/(58.9\times10^{-3})]^{1/2}$$

$$\times[(4.217\times10^3)(10)/(0.013\times257\times10^3\times1.79)]^3$$

$$= 138.687 \text{ kW/m}^2$$

จาก $q''_s = h_o\Delta T_e$

เพราะฉะนั้น $h_o = (138.687\times10^3)/10$

$= 13,868.7$ W/m^{2}k

ข.3.2) การคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเนื้อเยื่อมะเขือเทศ (h_i)

Assume

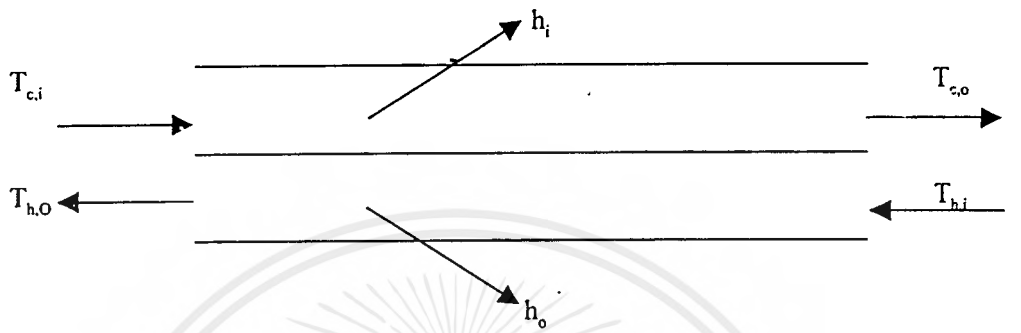
1. Steady State Condition
2. คุณสมบัติทางความร้อนต่างๆของเนื้อเยื่อมะเขือเทศใกล้เคียงกับน้ำ
3. เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.76 cm
4. h_i คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของมะเขือเทศ 0.08 kg/s

เนื้อเยื่อมะเขือเทศเข้าเครื่องถ่ายเทความร้อนที่ 27 C ($T_{c,i}$) และออกที่ 90 C ($T_{c,o}$)

น้ำเดือดไหลเข้าและออกที่ 100 C



รูปที่ ข.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อน้ำร้อนกับท่อลำเรียงมะเขือเทศ

คุณสมบัติของเนื้อเยื่อมะเขือเทศ[(27+90)/2 = 58.5 = 332 K]:

$\mu = 474.6\times10^{-6}$ N.s/m

$C_{P.C} = 4.185$ kJ/kg.K

$k = 652.4\times10^{-3}$ W/m.K

$Pr = 3.042$

จาก

$$Re_D = (4m)/(\pi.D.\mu)$$

$$= (4\times0.08)/(\pi\times3.7610^{-2}\times474.6\times10^{-6})$$

$$= 5{,}708.007$$

ซึ่ง Re_D $> 2{,}300$ แสดงว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

จาก

$$Nu_D = 0.023(Re_D)^{4/5}(Pr)^n$$

$$= 0.023(5{,}708.007)^{4/5}(3.042)^{0.}$$

$$= 36.323$$

จาก $Nu_D = h.D/k$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น

$$h_i = (36.323 \times 652.4 \times 10^{-3}) / (3.76 \times 10^{-2})$$

$$= 630.244 \quad W/m^2k$$

ข.3.3) การคำนวณหาความยาวท่อ

Assume

เนื่องจากผนังท่อบางมากๆจึงไม่คิดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ไม่คิดการถ่ายเทความร้อนตามความยาวท่อ

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$U = 1/[(1/h_i)+(1/h_o)]$$

$$= 1/[(1/630.244)+(1/13,868.7)$$

$$= 602.848 \ W/m^2k$$

$$\Delta T_{lm} = [(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})]/\ln[(T_{h,i} - T_{c,o}) /(T_{h,o} - T_{c,i})]$$

$$= [(100 - 90) - (100 - 27)]/\ln[(100-90) /(100 - 27)]$$

$$= 31.692 \ C$$

$$q = m_c.C_{p,c}(T_{c,o} - T_{c,i})$$

$$= 0.08 \times 4.185 \times 10^3 \times (90-27)$$

$$= 21,092.4 \ W$$

จาก $q = A.U.\Delta T_{lm}$

และ $A = \pi.D.L$

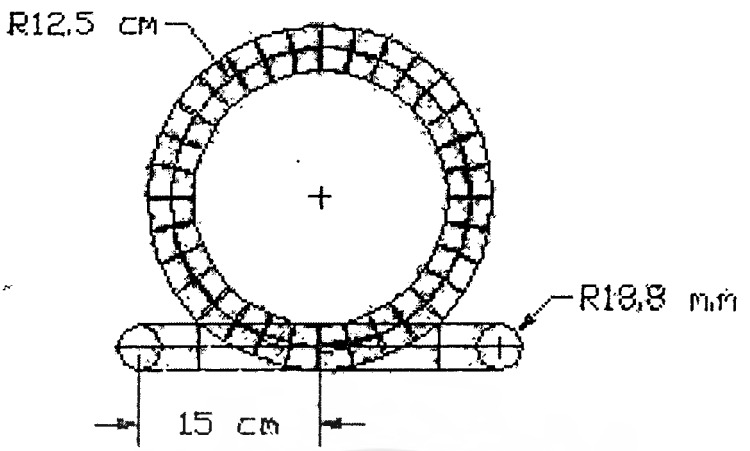
เพราะฉะนั้น

$$L = q/(U.\pi.D.\Delta T_{lm})$$

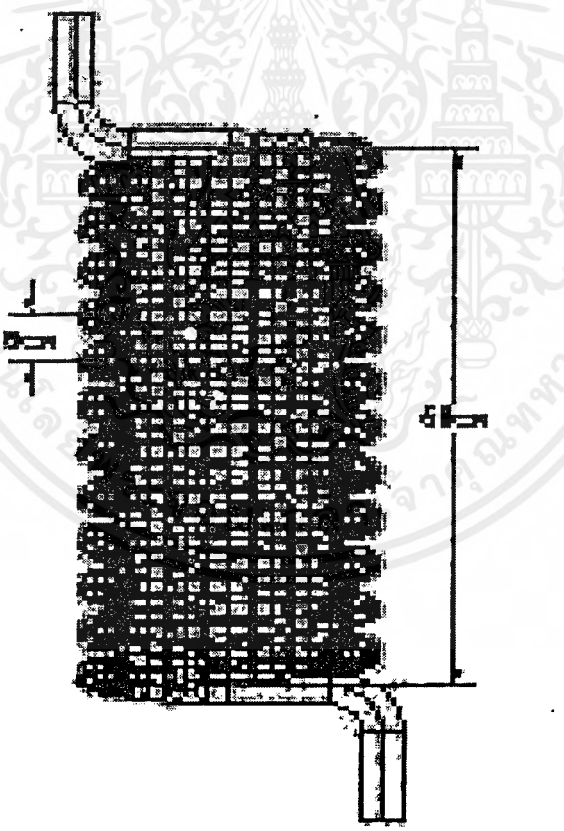
$$= 21,092.4/(602.848 \times \pi \times 3.76 \times 10^{-2} \times 31.692)$$

$$= 9.347 \ m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

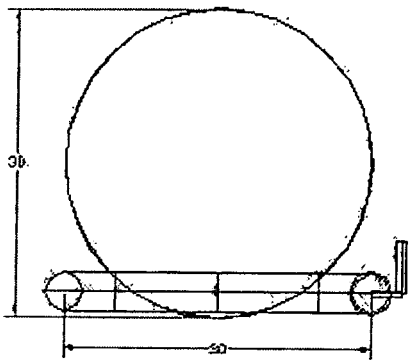


รูปที่ ข.3 ภาพกำหนดขนาดด้านบนของท่อถ่ายเทความร้อน

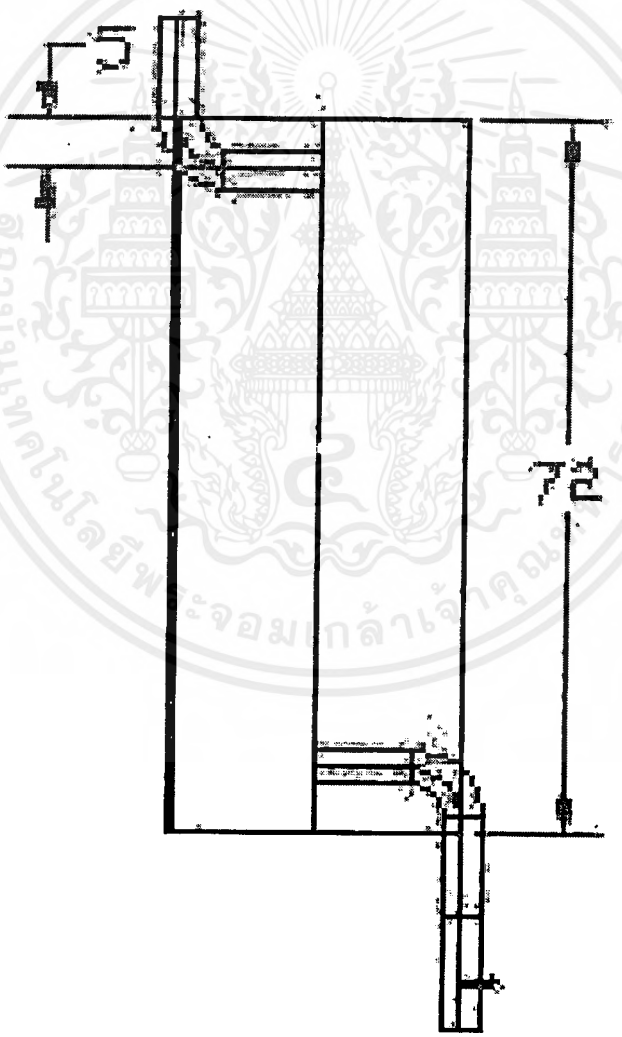


รูปที่ ข.4 ภาพด้านข้างของท่อถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ภาพด้านบนของถังความดัน



รูปที่ ข.6 ภาพด้านหน้าของถังความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ ค.1 ขนาดลิ่มมาตราฐานที่ใช้กับเพลาขนาดต่าง ๆ

ขนาดเพลา(d) mm	ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส ISO/R 773 ISO/R 774 b×h	ลิ่มแบน ISO 2491 ISO 2492 b×h	แซดเดิลคีย์* DIN 6881 b×h	ลิ่มวงเดือน ISO 3912		
				b×h₁×R	t_1	t_2
3-4				1.0×1.40×4	1.0	0.6
4-5				1.5×2.60×7	2.0	0.8
5-6				2.0×2.60×7	1.8	1.0
6-7	2×2			2.0×3.70×10	2.9	1.0
7-8	2×2			2.5×3.70×10	2.7	1.2
8-10	3×3			3.0×5.00×13	3.8	1.4
10-12	4×4			3.0×6.50×16	5.3	1.4
12-14	5×5	5×3		4.0×6.50×16	5.0	1.8
14-16	5×5	5×3		4.0×7.50×19	6.0	1.8
16-18	5×5	6×4		5.0×6.50×16	4.0	2.3
18-20	6×6	6×4		5.0×7.50×19	5.5	2.3
20-22	6×6	6×4		5.0×9.00×22	7.0	2.3
22-25	8×7	8×5	8×3.5	6.0×9.00×22	6.5	2.8
25-28	8×7	8×5	8×3.5	6.0×10.0×25	7.5	2.8
28-32	8×7	8×5	8×3.5	8.0×11.0×28	8.0	3.3
32-38	10×8	10×6	10×4.0	10.0×13.0×32	10.0	3.3
38-44	12×8	12×6	12×4.0			
44-50	14×9	14×6	14×4.5			
50-58	16×10	16×7	16×5.0			
58-65	18×11	18×7	18×5.0			
65-75	20×12	20×8	20×6.0			
75-85	22×14	22×9	22×7.0			
85-95	25×14	25×9	25×7.0			
95-110	28×16	28×10	28×7.5			
110-130	32×18	32×11	32×8.5			
130-150	36×20	36×12	36×9.0			
150-170	40×22	40×14				
170-200	45×25	45×16				
200-230	50×28	50×18				
230-260	56×32					
260-290	63×32					

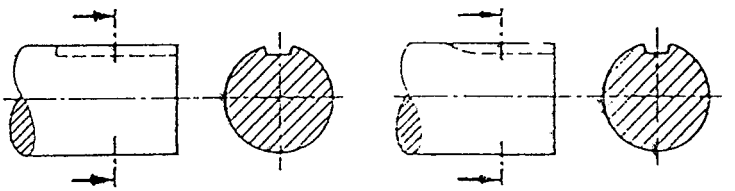
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ขนาดระบุของเพลามาตราฐาน ISO/R775-1967

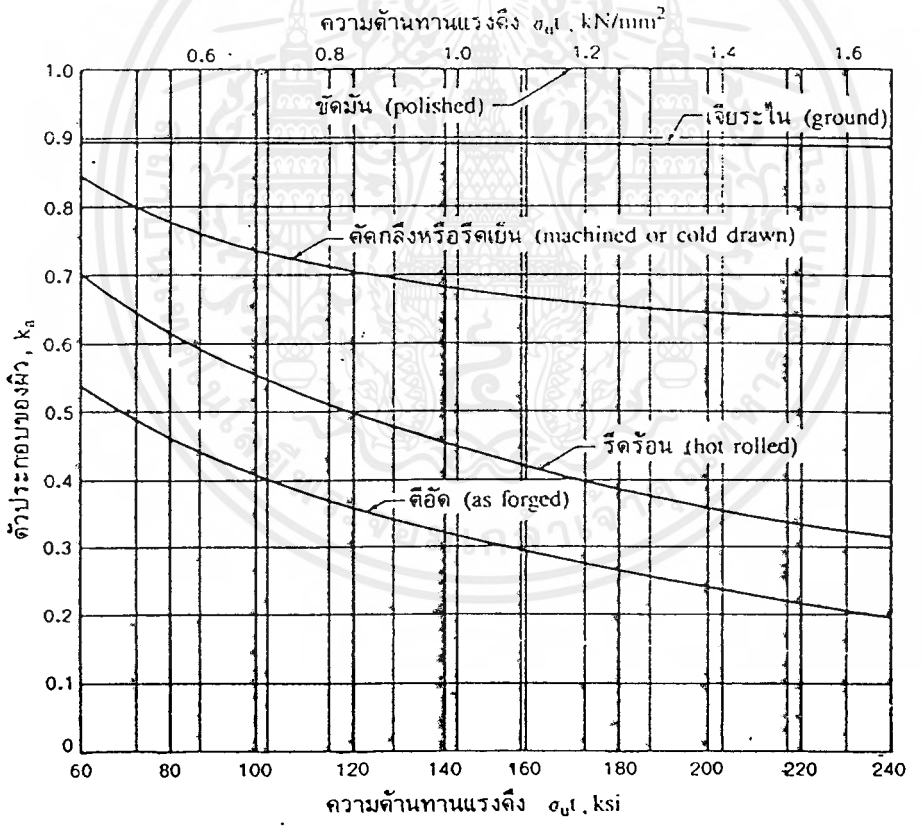
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับร่องลิ่ม (K_f)



		PROFILE		SLED-RUNNER	
		คัด	บิด	คัด	บิด
K_f	แอนนีล	1,6	1,3	1,3	1,3
	ชุบและรีด	2,0	1,6	1,6	1,6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ความกว้างของสายพานแบบส่งกำลังและความกว้างของล้อสายพานที่สอดคล้องกันตามมาตรฐาน ISO 22-1975(E)

สายพาน		ล้อสายพาน		สายพาน		ล้อสายพาน	
mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
16	0.63	20	0.8	140	5.6	160	6.3
20	0.8	25	1	160	6.3	180	7.1
25	1	32	1.25	180	7.1	200	8
32	1.25	40	1.6	200	8	224	9
40	1.6	50	2	224	9	250	10
50	2	63	2.5	250	10	280	11.2
63	2.5	71	2.8	280	11.2	315	12.5
71	2.8	80	3.15	315	12.5	355	14
80	3.15	90	3.55	355	14	400	16
90	3.55	100	4	400	16	450	18
100	4	112	4.5	450	18	500	20
112	4.5	125	5	500	20	560	22.4
125	5	140	5.6			630	25.0

หมายเหตุ ในบางครั้งเพื่อผลทางด้านเทคนิค อาจเลือกใช้ล้อสายพานกว้างกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพาน kw/25 mm สำหรับโค้งสัมผัส 180°

ชั้น	RPM ของเพลาหมุนเร็ว	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานเล็ก, mm										
		80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
3	720	0.48	0.67	0.94	1.35	1.97	2.70	3.73	5.58	6.93	8.30	-
	960	0.62	0.86	1.19	1.71	2.50	3.40	4.64	6.79	8.15	-	-
	1440	0.88	1.21	1.67	2.38	3.40	4.51	5.94	-	-	-	-
	100	0.09	0.12	0.17	0.24	0.35	0.49	0.68	1.05	1.35	1.71	2.15
	200	0.15	0.22	0.31	0.45	0.65	0.90	1.26	1.92	2.47	3.13	3.91
	300	0.22	0.31	0.43	0.64	0.93	1.28	1.79	2.73	3.49	4.41	5.45
	400	0.29	0.40	0.56	0.82	1.19	1.64	2.29	3.48	4.44	5.56	6.79
	500	0.35	0.48	0.68	0.99	1.45	1.99	2.77	4.19	5.31	6.59	7.89
	600	0.41	0.57	0.79	1.16	1.69	2.32	3.22	4.85	6.10	7.46	8.72
	700	0.47	0.65	0.91	1.32	1.93	2.64	3.65	5.46	6.81	8.18	9.23
	800	0.53	0.74	1.02	1.48	2.15	2.95	4.05	6.02	7.41	8.71	-
	900	0.58	0.81	1.13	1.62	2.37	3.23	4.43	6.52	7.91	-	-
	1000	0.64	0.89	1.23	1.76	2.58	3.51	4.78	6.95	8.29	-	-
	1100	0.69	0.97	1.34	1.91	2.78	3.77	5.10	7.32	8.55	-	-
	1200	0.76	1.03	1.44	2.06	2.96	4.01	5.39	7.62	-	-	-
	1300	0.80	1.11	1.54	2.19	3.14	4.23	5.64	-	-	-	-
	1400	0.86	1.19	1.64	2.32	3.32	4.43	5.86	-	-	-	-
	1500	0.96	1.25	1.73	2.45	3.49	4.62	6.05	-	-	-	-
	1600	0.98	1.32	1.83	2.57	3.65	4.78	6.19	-	-	-	-
	1700	1.01	1.39	1.91	2.70	3.79	4.94	6.29	-	-	-	-

		250	315	400	500	630	800	1000
4	720	2.48	4.08	5.80	7.87	10.11	-	-
	960	-	5.03	7.01	9.10	-	-	-
	100	0.46	0.76	1.10	1.56	2.12	2.78	3.48
	200	0.84	1.39	2.01	2.84	3.86	5.05	6.27
	300	1.19	1.97	2.86	4.02	5.43	7.04	8.64
	400	1.52	2.52	3.64	5.10	6.84	8.76	10.53
	500	1.84	3.04	4.38	6.09	8.08	10.17	11.84
	600	2.14	3.53	5.06	6.97	9.13	11.21	-
	700	2.42	3.99	5.69	7.73	9.97	11.83	-
	800	2.69	4.42	6.25	8.37	10.56	-	-
	900	-	4.81	6.75	8.87	-	-	-
	1000	-	5.16	7.17	9.22	-	-	-
	1100	-	5.48	7.52	-	-	-	-
	1200	-	-	7.78	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพาน kw/25 mm สำหรับโค้งสัมผัส 180°(ต่อ)

ชั้น	RPM ของเพลาหมุนเร็ว	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสวยพวมเล็ก, mm								
		500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250
5	720	–	9.05	10.47	11.60	–	–	–	–	–
	100	1.51	1.86	2.22	2.64	3.17	3.73	4.17	4.74	5.27
	150	2.15	2.65	3.16	3.75	4.50	5.29	5.90	6.70	7.43
	200	2.76	3.40	4.05	4.80	5.75	6.74	7.50	8.49	9.39
	250	3.34	4.11	4.89	5.79	6.92	8.09	8.97	10.12	11.13
	300	3.89	4.79	5.69	6.71	8.00	9.34	10.31	11.57	12.63
	350	4.42	5.43	6.45	7.57	9.01	10.47	11.50	12.82	13.86
	400	4.93	6.04	7.16	8.37	9.92	11.48	12.53	13.84	14.80
	450	5.41	6.62	7.82	9.10	10.74	12.35	13.38	14.63	15.40
	500	5.86	7.16	8.44	9.75	11.45	13.08	14.04	15.15	–
	550	6.29	7.67	9.00	10.33	12.05	13.65	14.40	–	–
	600	6.68	8.13	9.51	10.81	12.53	14.06	–	–	–
	650	–	8.55	9.95	11.21	12.88	–	–	–	–
	700	–	8.92	10.33	11.51	13.10	–	–	–	–
	750	–	9.24	10.65	11.70	–	–	–	–	–
	800	–	–	10.89	–	–	–	–	–	–
	850	–	–	11.06	–	–	–	–	–	–

		800	900	1000	1120	1250	1400
6	100	2.88	3.39	3.79	4.97	6.02	6.88
	150	4.06	4.76	5.35	7.01	8.48	9.67
	200	5.23	6.13	6.78	8.87	10.70	12.15
	250	6.26	7.32	8.06	10.53	12.66	14.31
	300	7.28	8.50	9.02	11.99	14.34	16.09
	350	8.18	9.50	10.17	13.21	15.70	17.44
	400	9.08	10.50	10.95	14.18	16.71	18.33
	450	9.78	11.24	11.52	14.85	17.32	–
	500	10.48	11.97	11.87	15.21	–	–
	550	11.18	12.71	11.97	–	–	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_s สำหรับสายพานแบน

ผลต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางพูลเล่ย์ทั้งสองของสายพาน, mm	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง, C, เป็น m															
	0.5	1	2	2.5	3	4.5	5	5.5	6	6.5	7.5	9	10	12	14	16
50	.98	.99	.99	.99	.99	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
100	.96	.98	.98								1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
150	.94	.97	.98													
200	.92	.96	.97													
250	.90	.95	.97	.97												
300	.88	.94	.96	.97			ตัวประกอบ = .99									
350	.85	.93	.95	.96	.97											
400	.83	.92	.95	.96	.97	.97										
450	.81	.91	.94	.95	.96	.97	ตัวประกอบ = .98									
500	.79	.90	.93	.95	.96	.97	.97									
550	.76	.89	.93	.94	.96	.97	.97	.97								
600	.74	.88	.92	.94	.95	.97	.97	.97								
650	.71	.87	.91	.93	.95	.96	.97	.97	.97							
700	.69	.85	.90	.93	.94	.96	.97	.97	.97	.97						
750	.63	.83	.90	.92	.94	.96	.96	.97	.97	.97						
800	.63	.82	.89	.92	.93	.95	.96	.97	.97	.97	.97					
850	.58	.82	.88	.91	.93	.95	.96	.96	.97	.97	.97					
900	.54	.81	.88	.91	.93	.95	.95	.96	.97	.97	.97					
950		.78	.85	.89	.91	.94	.95	.95	.96	.97	.97	.97				
1050		.74	.83	.88	.90	.93	.94	.95	.95	.96	.97	.97	.97			
1400		.70	.81	.86	.89	.92	.93	.94	.94	.95	.96	.97	.97	.97		
1500		.66	.79	.84	.88	.91	.92	.93	.94	.94	.95	.96	.97	.97	.97	
1700		.61	.76	.83	.86	.90	.92	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.97	.97	.97
1800		.54	.74	.81	.85	.89	.91	.92	.93	.93	.94	.95	.96	.97	.97	.97
2000			.71	.79	.84	.89	.90	.91	.92	.93	.94	.95	.95	.96	.97	.97
2150			.69	.78	.82	.88	.89	.90	.92	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.97
2300			.66	.76	.81	.87	.88	.90	.92	.92	.93	.94	.95	.95	.96	.97
2400			.63	.74	.80	.86	.88	.89	.91	.91	.92	.93	.94	.95	.96	.96
2600			.58	.72	.78	.85	.88	.88	.90	.90	.92	.93	.94	.95	.95	.96
2800			.54	.70	.77	.84	.87	.88	.89	.90	.91	.93	.94	.94	.95	.96
2900				.68	.75	.83	.86	.87	.88	.89	.91	.92	.93	.94	.95	.95
3000				.66	.74	.82	.84	.86	.88	.89	.90	.92	.93	.94	.95	.95
3200				.64	.73	.81	.83	.85	.87	.88	.89	.91	.93	.94	.94	.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ขนาดและ ค่า basic load ratings สำหรับ 02-series ball bearings

Bore, mm	OD, mm	Width, mm	Fillet radius, mm	Shoulder diameter, mm		Load rating, kN
				d_S	d_H	
10	30	9	0.6	12.5	27	3.58
12	32	10	0.6	14.5	28	5.21
15	35	11	0.6	17.5	31	5.87
17	40	12	0.6	19.5	34	7.34
20	47	14	1.0	25	41	9.43
25	52	15	1.0	30	47	10.8
30	62	16	1.0	35	55	14.9
35	72	17	1.0	41	65	19.8
40	80	18	1.0	46	72	22.5
45	85	19	1.0	52	77	25.1
50	90	20	1.0	56	82	26.9
55	100	21	1.5	63	90	33.2
60	110	22	1.5	70	99	40.3
65	120	23	1.5	74	109	44.1
70	125	24	1.5	79	114	47.6
75	130	25	1.5	86	119	50.7
80	140	26	2.0	93	127	55.6
85	150	28	2.0	99	136	64.1
90	160	30	2.0	104	146	73.9
95	170	32	2.0	110	156	83.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ขนาดและค่า basic load ratings สำหรับ straight roller bearings

	02-series			03-series		
Bore, mm	OD, mm	Width, mm	Load, kN	OD, mm	Width, mm	Load, kN
25	52	15	10.9	62	17	23.1
30	62	16	18.0	72	19	30.3
35	72	17	26.0	80	21	39.2
40	80	18	34.0	90	23	46.3
45	85	19	35.6	100	25	63.6
50	90	20	36.9	110	27	75.7
55	100	21	45.4	120	29	92.6
60	110	22	55.6	130	31	103.0
65	120	23	65.0	140	33	116.0
70	125	24	65.8	150	35	136.0
75	130	25	80.1	160	37	162.0
80	140	26	87.2	170	39	163.0
85	150	28	99.7	180	41	196.0
90	160	30	126.0	190	43	211.0
95	170	32	140.0	200	45	240.0
100	180	34	154.0	215	47	274.0
110	200	38	205.0	240	50	352.0
120	215	40	220.0	260	55	416.0
130	230	40	239.0	280	58	489.0
140	250	42	280.0	300	62	538.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 อายุของแบริ่งตามการใช้งานของเครื่องจักร

Type of application	Life, kh
Instruments and apparatus for infrequent use	Up to 0.5
Aircraft engines	0.5–2
Machines for short or intermittent operation where service interruption is of minor importance	4–8
Machines for intermittent service where reliable operation is of great importance	8–14
Machines for 8-h service which are not always fully utilized	14–20
Machines for 8-h service which are fully utilized	20–30
Machines for continuous 24-h service	50–60
Machines for continuous 24-h service where reliability is of extreme importance	100–200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 คุณสมบัติของสายพานแบนที่ทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ

Material	Joint	Allowable tension kN/m	Ultimate load kN/m	Ultimate strength MPa	Weight kg/m^3
Oak-tanned leather	Solid		125	20-30	1000-1250
Oak-tanned leather	Riveted		53-106	7-14	1000-1250
Oak-tanned leather	Laced		53-106	7-14	1000-1250
Rubber cotton duck	Vulcanized	2.6-4.4	50		1100
Rubber cotton duck	Vulcanized	2.6 4.4	53		1300
	Vulcanized	2.6 4.4	56		1400
All cotton	Woven			35	1250
All cotton	Sewn			48	1200
Nylon	Core only			240	
Balatta duck	Vulcanized	3.9-4.4			1100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

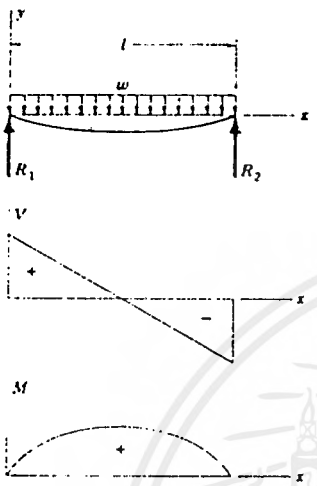
ตารางที่ ค.11 ค่าคงที่ของวัสดุ

Material	Modulus of elasticity E, GPa	Modulus of rigidity G, GPa	Poisson's ratio ν	Density ρ, Mg/m^3
Aluminum (all alloys)	71.0	26.2	0.334	2.71
Beryllium copper	124.0	48.3	0.285	8.22
Brass	106.0	40.1	0.324	8.55
Carbon steel	207.0	79.3	0.292	7.81
Cast iron, gray	100.0	41.4	0.211	7.20
Copper	117.0	44.7	0.326	8.91
Douglas fir	11.0	4.1	0.33	0.44
Glass	46.2	18.6	0.245	2.60
Inconel	214.0	75.8	0.290	8.90
Lead	36.5	13.1	0.425	11.38
Magnesium	44.8	16.5	0.350	1.80
Molybdenum	331.0	117.0	0.307	10.19
Monel metal	179.0	65.5	0.320	8.83
Nickel silver	127.0	48.3	0.322	8.75
Nickel steel	207.0	79.3	0.291	7.75
Phosphor bronze	111.0	41.4	0.349	8.17
Stainless steel (18-8)	190.0	73.1	0.305	7.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 แรงเฉือน โมเมนต์ และระยะโก่งตัวของคาน

7 Simple supports—uniform load



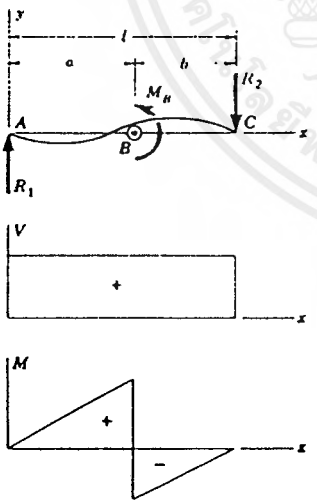
$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \qquad V = \frac{wl}{2} - wx$$

$$M = \frac{wx}{2}(l - x)$$

$$y = \frac{wx}{24EI}(2lx^2 - x^3 - l^3)$$

$$y_{max} = -\frac{5wl^4}{384EI}$$

8 Simple supports—moment load



$$R_1 = -R_2 = \frac{M_B}{l} \qquad V = \frac{M_B}{l}$$

$$M_{AB} = \frac{M_B x}{l} \qquad M_{BC} = \frac{M_B}{l}(x - l)$$

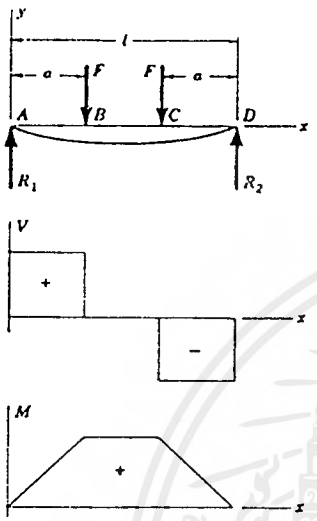
$$y_{AB} = \frac{M_B x}{6EIl}(x^2 + 3a^2 - 6al + 2l^2)$$

$$y_{BC} = \frac{M_B}{6EIl}[x^3 - 3lx^2 + x(2l^2 + 3a^2) - 3a^2l]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 แรงเฉือน โมเมนต์ และระยะโก่งตัวของคาน(ต่อ)

9 Simple supports—twin loads



$$R_1 = R_2 = F \qquad V_{AB} = F \qquad V_{BC} = 0$$

$$V_{CD} = -F$$

$$M_{AB} = Fx \qquad M_{BC} = Fa$$

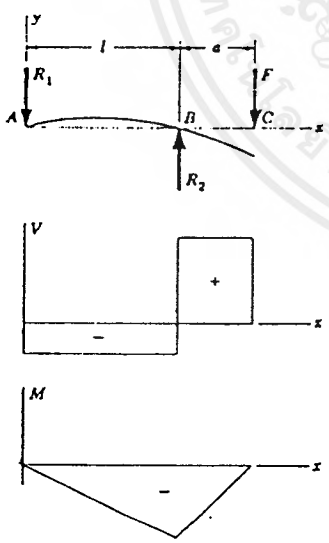
$$M_{CD} = F(l - x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{6EI}(x^2 + 3a^2 - 3la)$$

$$y_{BC} = \frac{Fa}{6EI}(3x^2 + a^2 - 3lx)$$

$$y_{max} = \frac{Fa}{24EI}(4a^2 - 3l^2)$$

10 Simple supports—overhanging load



$$R_1 = -\frac{Fa}{l} \qquad R_2 = \frac{F}{l}(l + a)$$

$$V_{AB} = -\frac{Fa}{l}$$

$$V_{BC} = F \qquad M_{AB} = -\frac{Fax}{l}$$

$$M_{BC} = F(x - l - a)$$

$$y_{AB} = \frac{Fax}{6EIl}(l^2 - x^2)$$

$$y_{BC} = \frac{F(x - l)}{6EI}[(x - l)^2 - a(3x - l)]$$

$$y_C = -\frac{Fa^2}{3EI}(l + a)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 คุณสมบัติของเหล็กชนิดต่าง ๆ

Material	British standard	Processing*	Maximum section size, mm	Yield strength S_y, MPa (N/mm^2)	Tensile strength S_{ut}, MPa (N/mm^2)	Elongation† $5.65\sqrt{A_0}$, %	Hardness number‡ HB
0.20C	070M20	HR	152	215	430	22	126–179
			254	200	400	20	116–170
		CD	13	385	530	12	154
			76	340	430	14	125
0.30C	080M30	HR	152	245	490	20	143–192
			254	230	460	19	134–183
		CD	13	470	600	10	174
			63	385	530	12	154
		H&T	63	385	550–700	13	152–207
0.40C	080M40	HR	150	280	550	16	152–207
		CD	63	430	570	10	165
		H&T	63	385	625–775	16	179–229
0.50C	080M50	HR	150	310	620	14	179–229
		CD	63	510	650	10	188
		H&T	150	430	625–775	11	179–229
1Cr	530M40	H&T	100	525	700 -850	17	201–255
			29	680	850 -1000	13	248–302
1.5MnMo	605M36	H&T	150	525	700-850	17	201-255
			29	755	925 1075	12	269–331
1.25NiCr	640M40	H&T	152	525	700 850	17	201–255
			102	585	770 -930	15	223–277
			64	680	850 -1000	13	248–302
			29	755	930–1080	12	269–331
3NiCr	653M31	H&T	64	755	930 -1080	12	269–331
				680	850–1000	12	248–302
1CrMo	708M40	H&T	150	525	700–850	17	201–255
			13	940	1075–1225	12	311–375
3CrMo	722M24	H&T	152	680	850–1000	13	269–331
				755	930-1080	12	269–331
2.5NiCrMo	826M40	H&T	150	755	925–1075	12	269–331
				850	1000-1150	12	293–352
				1020	1150-1300	10	341-401
3NiCrMo	830M31	H&T	254	650	850–1000	13	248-302
			152	680	850-1000	12	248-302
			64	940	1080 -1240	11	311-375
1.5MnNiCrMo	945M38	H&T	152	525	690 850	17	201–255
			64	680	850–1000	13	248–302
			29	850	1000–1160	12	293–352

* HR, hot rolled and normalized; CD, cold drawn; H&T, hardened and tempered.

† Percentage elongation in gauge length $L_0 = 5.65\sqrt{A_0}$ where A_0 = original cross-sectional area in mm^2.

‡ Approximate Brinell hardness number.

Sources: *Iron and Steel Specifications*, 5th ed., British Steel Corporation, Sheffield, 1979. British Standards Institution, BS 970: Part 1: 1983. Eric A. Brandes, *Smithells Metals Reference Book*, 6th ed., Butterworths, London, 1983.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 ค่า $C_{s,f}$ สำหรับลักษณะของพื้นผิวและชนิดของเหลวต่าง ๆ

FLUID–SURFACE COMBINATION	$C_{s,f}$	n
Water–copper		
Scored	0.0068	1.0
Polished	0.0130	1.0
Water–stainless steel		
Chemically etched	0.0130	1.0
Mechanically polished	0.0130	1.0
Ground and polished	0.0060	1.0
Water–brass	0.0060	1.0
Water–nickel	0.006	1.0
Water–platinum	0.0130	1.0
n-Pentane–copper		
Polished	0.0154	1.7
Lapped	0.0049	1.7
Benzene–chromium	0.101	1.7
Ethyl alcohol–chromium	0.0027	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 ตารางไอน้ำอิ่มตัว

TEMPERATURE, T	PRESSURE, P (bars)[a]	SPECIFIC VOLUME (m^3/kg) $v_f \cdot 10^3$	SPECIFIC VOLUME (m^3/kg) v_g	HEAT OF VAPORIZATION, h_{fg} (kJ/kg)	SPECIFIC HEAT (kJ/kg · K) $c_{p,f}$	SPECIFIC HEAT (kJ/kg · K) $c_{p,g}$	VISCOSITY (N · s/m²) $\mu_f \cdot 10^4$	VISCOSITY (N · s/m²) $\mu_g \cdot 10^4$	THERMAL CONDUCTIVITY (W/m · K) $k_f \cdot 10^3$	THERMAL CONDUCTIVITY (W/m · K) $k_g \cdot 10^3$	PRANDTL NUMBER Pr_f	PRANDTL NUMBER Pr_g	SURFACE TENSION, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	EXPANSION COEFFICIENT, $\beta_f \cdot 10^4$ (K^{-1})	TEMPERATURE, T (K)
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	−68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	−32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.5	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1		440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	154	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9		450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7		460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5		470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.25	36.2		480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9	—	490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6	—	500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3	—	510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.35	621	47.5	0.84	1.35	26.9	—	520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5	—	530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1	—	540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7	—	550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.45	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3	—	560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0	—	570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8	—	580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5	—	590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4	—	600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3	—	610
620	159.1	1.765	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5	—	620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5	—	625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	413	130	2.0	4.8	2.6	—	630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.6	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5	—	635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	<4	9.6	0.8	—	640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.3	—	645
647.3[c]	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0	—	647.3[c]

[a] Adapted from Reference 19.
[b] 1 bar = 10^5 N/m².
[c] Critical temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 ตารางคำนวณสูตรดอกเบี้ย

อัตราดอกเบี้ย 10 %

	ระบบจ่ายทีเดียว		ระบบจ่ายเป็นอนุกรม				
n	Compound Amount Factor CAF	Present Worth Factor PWF	Sinking Fund Factor SFF	Capital Recovery Factor CRF	Compound Amount Factor SCAF	Present Worth Factor SPWF	n
1	1.1000	0.9091	1.000 00	1.100 00	1.000	0.909	1
2	1.2100	0.8264	0.476 19	0.576 19	2.100	1.736	2
3	1.3310	0.7513	0.302 11	0.402 11	3.310	2.487	3
4	1.4641	0.6830	0.215 47	0.315 47	4.641	3.170	4
5	1.6105	0.6209	0.163 80	0.263 80	6.105	3.791	5
6	1.7716	0.5645	0.129 61	0.229 61	7.716	4.355	6
7	1.9487	0.5132	0.105 41	0.205 41	9.487	4.868	7
8	2.1436	0.4665	0.087 44	0.187 44	11.436	5.335	8
9	2.3579	0.4241	0.073 64	0.173 64	13.579	5.759	9
10	2.5937	0.3855	0.062 75	0.162 75	15.937	6.144	10
11	2.8531	0.3505	0.053 96	0.153 96	18.531	6.495	11
12	3.1384	0.3186	0.046 76	0.146 76	21.384	6.814	12
13	3.4523	0.2897	0.040 78	0.140 78	24.523	7.103	13
14	3.7975	0.2633	0.035 75	0.135 75	27.975	7.367	14
15	4.1772	0.2394	0.031 47	0.131 47	31.772	7.606	15
16	4.5950	0.2176	0.027 82	0.127 82	35.950	7.824	16
17	5.0545	0.1978	0.024 66	0.124 66	40.545	8.022	17
18	5.5599	0.1799	0.021 93	0.121 93	45.599	8.201	18
19	6.1159	0.1635	0.019 55	0.119 55	51.159	8.365	19
20	6.7275	0.1486	0.017 46	0.117 46	57.275	8.514	20
21	7.4002	0.1351	0.015 62	0.115 62	64.002	8.649	21
22	8.1403	0.1228	0.014 01	0.114 01	71.403	8.772	22
23	8.9543	0.1117	0.012 57	0.112 57	79.543	8.883	23
24	9.8497	0.1015	0.011 30	0.111 30	88.497	8.985	24
25	10.8347	0.0923	0.010 17	0.110 17	98.347	9.077	25
26	11.9182	0.0839	0.009 16	0.109 16	109.182	9.161	26
27	13.1100	0.0763	0.008 26	0.108 26	121.100	9.237	27
28	14.4210	0.0693	0.007 45	0.107 45	134.210	9.307	28
29	15.8631	0.0630	0.006 73	0.106 73	148.631	9.370	29
30	17.4494	0.0573	0.006 08	0.106 08	164.494	9.427	30
31	19.1943	0.0521	0.005 50	0.105 50	181.943	9.479	31
32	21.1138	0.0474	0.004 97	0.104 97	201.138	9.526	32
33	23.2252	0.0431	0.004 50	0.104 50	222.252	9.569	33
34	25.5477	0.0391	0.004 07	0.104 07	245.477	9.609	34
35	28.1024	0.0356	0.003 69	0.103 69	271.024	9.644	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 ตารางคำนวณสูตรดอกเบี้ย(ต่อ)

Gradient to Uniform Scries Conversion Factor (GUSF)

n	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	10%	n
2	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	2
3	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	3
4	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.40	1.38	4
5	1.98	1.96	1.94	1.92	1.90	1.88	1.86	1.85	1.81	5
6	2.47	2.44	2.41	2.39	2.36	2.33	2.30	2.28	2.22	6
7	2.96	2.92	2.88	2.84	2.81	2.77	2.73	2.69	2.62	7
8	3.45	3.40	3.34	3.29	3.24	3.20	3.15	3.10	3.00	8
9	3.93	3.87	3.80	3.74	3.68	3.61	3.55	3.49	3.37	9
10	4.42	4.34	4.26	4.18	4.10	4.02	3.95	3.87	3.73	10
11	4.90	4.80	4.70	4.61	4.51	4.42	4.33	4.24	4.06	11
12	5.38	5.26	5.15	5.03	4.92	4.81	4.70	4.60	4.39	12
13	5.86	5.72	5.59	5.45	5.32	5.19	5.06	4.94	4.70	13
14	6.34	6.18	6.02	5.87	5.71	5.56	5.42	5.27	5.00	14
15	6.81	6.63	6.45	6.27	6.10	5.93	5.76	5.59	5.28	15
16	7.29	7.08	6.87	6.67	6.47	6.28	6.09	5.90	5.55	16
17	7.76	7.52	7.29	7.07	6.84	6.62	6.41	6.20	5.81	17
18	8.23	7.97	7.71	7.45	7.20	6.96	6.72	6.49	6.05	18
19	8.70	8.41	8.12	7.83	7.56	7.29	7.02	6.77	6.29	19
20	9.17	8.84	8.52	8.21	7.90	7.61	7.32	7.04	6.51	20
21	9.63	9.28	8.92	8.58	8.24	7.92	7.60	7.29	6.72	21
22	10.10	9.70	9.32	8.94	8.57	8.22	7.87	7.54	6.92	22
23	10.56	10.13	9.71	9.30	8.90	8.51	8.14	7.78	7.11	23
24	11.02	10.55	10.10	9.65	9.21	8.80	8.39	8.01	7.29	24
25	11.48	10.97	10.48	9.99	9.52	9.07	8.64	8.23	7.46	25
26	11.94	11.39	10.85	10.33	9.83	9.34	8.88	8.44	7.62	26
27	12.39	11.80	11.23	10.66	10.12	9.60	9.11	8.64	7.77	27
28	12.85	12.21	11.59	10.99	10.41	9.86	9.33	8.83	7.91	28
29	13.30	12.62	11.96	11.31	10.69	10.10	9.54	9.01	8.05	29
30	13.75	13.02	12.31	11.63	10.97	10.34	9.75	9.19	8.18	30
31	14.20	13.42	12.67	11.94	11.24	10.57	9.95	9.36	8.30	31
32	14.65	13.82	13.02	12.24	11.50	10.80	10.14	9.52	8.41	32
33	15.10	14.22	13.36	12.54	11.76	11.02	10.32	9.67	8.52	33
34	15.54	14.61	13.70	12.83	12.01	11.23	10.50	9.82	8.61	34
35	15.98	15.00	14.04	13.12	12.25	11.43	10.67	9.96	8.71	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จขึ้นมาได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายๆ ท่านดังนี้

อ. สรรวริศ อุ่ยวัฒนา ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ รวมไปถึงความห่วงใย อาทร คำเตือน คำสอน ทั้งในและนอกเวลาราชการ (ดึกๆ ดื่นๆ)

ผศ. สาทิป รัตนภาสกร ที่ได้ให้คำปรึกษาบางส่วนรวมไปถึงความสะดวกในการเบิกค่าใช้จ่ายล่วงหน้าบางส่วนในการทำโครงงานครั้งนี้

อ. กุสุมาลย์ เลิศชาญวุฒิ , อ. กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา ที่ให้คำปรึกษาทางด้านทฤษฎีในบางส่วน

อาจารย์ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร ที่ให้แหล่งข้อมูลในการทำโครงงาน

พ.ต.ท. เจริญ และ คุณสวรรณสิริ น้ำทอง , น้องแอ๊น , น้องแอม , ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และคำแนะนำบางส่วนในการทำโครงงานครั้งนี้

พี่แมน , พี่บุญนำ ที่ให้ความสะดวกในการเบิกจ่ายและช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์ในการทำงาน

พี่ๆ ที่อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ที่ให้ความสะดวกในการปฏิบัติงาน

พี่เป้า ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง Osiloscope มาใช้ในการทดลอง

เอก , ตี๋ , เจมส์ , อู , ปล้น , อึ่ง , เล็ก , โอ , ที่ให้ความช่วยเหลือ น้ำใจและสร้างเสียงเฮฮาในการปฏิบัติงาน

น้องเอ๋ ที่ให้กำลังใจและคำแนะนำในการหาข้อมูล

คุณพ่อ คุณแม่ ของผู้จัดทำทุกท่าน ที่ให้โอกาสได้ศึกษาเล่าเรียนและกำลังใจในการศึกษาด้วยดีตลอดมา มันมีค่ามากที่สุดแล้วในการทำโครงงานนี้ได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2521, " การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1", ซีเอ็ด ยูเคชั่น
2. ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2521, " การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2", ซีเอ็ด ยูเคชั่น
3. ดร. มนชัย กาทอง, " การถ่ายเทความร้อน ", เอกสารประกอบการเรียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ผศ. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ ผศ. สาทิป รัตนภาสกร, " สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, " ผักและผลไม้ ", คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. สามารถ เลิศอมรกุล, 2538, " มะเขือเทศเพื่อการค้า ", ไทยวัฒนาพานิช
7. Joseph Edward Shigley, 1986, " Mechanical Engineering design, McGraw – Hill Book
8. Warren L. McCabe and C. Smith Julian and Harriott Peter, 1993, Unit Operation of Chemical Engineering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้