



งานวิจัย

เรื่อง

เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

Tamarind Mixing Machine

นายวรวิทย์ วรรณวิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2550

งานวิจัย

เรื่อง

เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

Tamarind Mixing Machine

โดย

นายวรวิทย์ วรรณวิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ในประเทศไทยผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมากมายเป็นสินค้าส่งออกไปสู่ตลาดโลก อาหารแห้งเป็นสินค้าอย่างหนึ่งที่นิยมนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มค่าให้สูงขึ้น มะขามเปียกเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่สามารถนำมาแปรรูปได้หลากหลายเช่น มะขามกวน มะขามแก้ว และ น้ำมะขามเปียกเป็นต้น สำหรับน้ำมะขามเปียกนั้นถูกใช้ในการปรุงอาหารรวมไปถึงเป็นส่วนผสมของอาหารหลายชนิด สำหรับโรงงานน้ำมะขามเปียกในประเทศไทยมีกระบวนการแปรรูปซึ่งเริ่มต้นจากการเลือกมะขามเปียกและการแยกน้ำออกจากกากรวมไปถึงการให้ความร้อน โดยกระบวนการทั้งหมดนั้นจะทำได้ด้วยมือทั้งสิ้น ยิ่งไปกว่านั้นคุณภาพของน้ำมะขามเปียกที่ได้จากประสบการณ์ของคนงานยังไม่สามารถควบคุมให้ได้มาตรฐานซึ่งจะนำไปสู่การเสียหายและการลดลงของคุณภาพ ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวความรู้ทางวิศวกรรมถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาของกระบวนการผลิตผ่านการใช้งานเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

เครื่องกวนน้ำมะขามเปียกนี้ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 HP 220 Volts AC ที่ 1425 rpm เกียร์ทดรอบ 1:40 ใบกวน และถังบรรจุวัตถุดิบ 2 ชั้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 0.5 m and 0.6 m ตามลำดับ โดยระบบการทำงานนั้นจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่งกำลังผ่านเกียร์ทดรอบ ด้วยความเร็วรอบ 35.6 rpm เพื่อใช้ขับใบกวนและให้ความร้อนด้วยแก๊ส LPG ในขณะที่ถังชั้นนอกบรรจุน้ำเพื่อใช้ในการส่งผ่านความร้อนสู่ถังชั้นใน

จากผลการทดสอบเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกจำนวน 70 กิโลกรัม โดยใช้เชื้อเพลิง 0.7 กิโลกรัม พบว่า ภายใต้การพาความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ 80 °C และ 65 นาที ทำให้คุณภาพของน้ำมะขามเปียกเพิ่มขึ้นหรือไม่มีการไหม้ของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบเดิมและยังแสดงให้เห็นว่าเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกนี้ยังสะดวกต่อการใช้งานอีกด้วย

ABSTRACT

In Thailand, the many agricultural products are exported to the world market. The dry foodstuff is very popular to transfigure for value increasing. The tamarind paste can be processed to many products such as stirred tamarind, candy tamarind and tamarind juice. For the tamarind juice has been used for cooking and mixing in many foods. For the Thailand factory, the process to make tamarind juice start from chosen the tamarind paste, separated the flesh and heating. However, all processes are made by manually. Furthermore, the quality of tamarind juice is incompletely-controlled based on operator experiences in order to achieve the damage and quantity decreasing. Based on this condition, the process it needs to resolve a problem though engineering knowledge by using the tamarind mixing machine.

The tamarind mixing machine consist of electric motor 1 HP 220 Volts AC 1425 rpm, gear box ratio by 1:40, gate agitator blade and two layer bucket with inside and outside diameter is 0.5 m. and 0.6 m respectively. In the system is operated by the electric motor transfer the power though gear box with 35.6 rpm for driving the blade and give the heat by LPG. While within the outside layer of bucket contain some water for transferring the heat to product in inside layer of bucket.

The results of experiment with 70 kilograms of tamarind paste by using 0.7 kilograms of fuel. Based on using the convection of water at suitable temperature and period time at 80 °C and 65 minutes respectively, it found that the quantity of tamarind juice is increased by reducing burnt when compared with the original process and also illustrated to be convenient using.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายรูปสัญลักษณ์และคำย่อ	ซ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีการผสมของแข็ง	3
2.2 ทฤษฎีการผสมของของเหลว	4
2.3 ชนิดของการกวน	6
2.4 การผสมในภาชนะ	9
2.5 ใบพัดกวน	9
2.6 การผสมในแนวนอน	10
2.7 การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูง	10
2.8 ค่าความปลอดภัยและการบิด	11
2.9 การออกแบบเพลลา	13
2.10 การหาปริมาตรของทรงกระบอก	15
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลัง	15
2.12 พิกัดกำลังของมอเตอร์ (Power Output) หรือ แรงม้า	16
2.13 การบำรุงรักษามอเตอร์	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.14 การนำความร้อน	20
3. การคำนวณและการออกแบบ	23
3.1 คำนวณหาปริมาตรของถังกวนน้ำมะขามเปียก	24
3.2 การคำนวณหาแรงบิด	25
3.3 คำนวณหาความเร็วรอบของใบกวน	27
3.4 คำนวณหาค่าความร้อน	27
4. ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง	29
4.1 ขั้นตอนในการใช้งานเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก	29
4.2 ขั้นตอนหลังการใช้งานเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก	29
4.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
4.4 วิธีการทดลอง	30
4.5 ขั้นตอนในการทดลอง	31
4.6 ผลการทดลอง	35
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดลองเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก	38
5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก	38
บรรณานุกรม	39
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การคำนวณจุดคุ้มทุน	41
ภาคผนวก ข วงจรไฟฟ้า	44
ภาคผนวก ค แบบโครงสร้างเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก	46
ภาคผนวก ง ประวัติผู้เขียน	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1	35
4.2 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2	37



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องต้นแบบเครื่องกวนน้ำมันมะขามเปียก	1
2.1 ส่วนประกอบความเร็วในการผสม	4
2.2 ลักษณะของตำแหน่งใบพัดที่ใช้ในการผสมแบบความหนืดสูง	5
2.3 รูปแบบของใบพัดกวนแบบปั่นป่วนและไม่ปั่นป่วน	6
2.4 รูปแบบบางชนิดของเครื่องกวน	7
2.5 รูปแบบบางชนิดของใบกวนใบกังหัน	7
2.6 รูปแบบบางชนิดของใบกวนแบบใบจักร	8
2.7 รูปแบบของใบกวนแบบใบจักรที่ต่อกับเพลลาในแนวตรง	8
2.8 แสดงรูปแบบของใบกวนแบบใบจักรที่ต่อกับเพลลาในแนวเอียง	9
2.9 แสดงตัวอย่างใบกวนที่มีลักษณะพิเศษ	9
2.10 แสดงเครื่องผสมแบบใบมีดตัว Z	10
2.11 แสดงสปีทเฟลมอเตอร์ (ก) ภาพของจริง (ข) ไลอะแกรม	17
2.12 แสดงการต่อขดลวดวงจรภายในมอเตอร์	17
2.13 แสดงคาปาซิเตอร์สตาร์ท/อินดักชันรันมอเตอร์ (ก) ภาพของจริง (ข) ไลอะแกรม	19
2.14 แสดงการนำความร้อนกับการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก 3 ชั้น	21
3.1 แสดงโครงสร้างของถังกวน	23
3.2 แสดงโครงสร้างของถังกวนน้ำมันมะขามเปียกใบนอก	24
3.3 แสดงโครงสร้างของถังกวนน้ำมันมะขามเปียกใบใน	25
3.4 แสดงรูปเพลลาของใบกวน	26
3.5 แสดงโครงสร้างของใบกวน	27
4.1 แสดงการจัดเตรียมมะขามเปียกที่จะใช้ในการกวน	31
4.2 แสดงการกวนเพื่อแยกเมล็ดและกากออกจากเนื้อมะขาม	31
4.3 แสดงการกรองน้ำมันมะขาม	31
4.4 แสดงน้ำมันมะขามที่จะทำการกวน	32
4.5 แสดงการชั่งน้ำหนักแก๊ส	32
4.6 แสดงการตั้งอุณหภูมิและเวลาในการทดลอง	32
4.7 แสดงการเดินเครื่องกวนน้ำมันมะขามเปียก	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงการวัดอุณหภูมิน้ำถังนอก	33
4.9 แสดงการวัดอุณหภูมิน้ำมะขามเปียก	33
4.10 แสดงลักษณะการกวนน้ำมะขามเปียก	34
4.11 แสดงการชั่งน้ำหนักแก๊ส	34
4.12 แสดงน้ำมะขามเปียกที่กวนเสร็จแล้วพร้อมบรรจุขวด	34
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการกวนในครั้งที่ 1	36
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการกวนในครั้งที่ 2	37



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
AISI	American Iron and Steel Institute	-
ISO	International Standard of Organization	-
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	mm
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	mm
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm
H	ความสูง	mm
P	กำลังของมอเตอร์	W
N	ความเร็วรอบ	rpm
T	แรงบิด	N-m
V_i	ปริมาตรภายใน	m^3
V_o	ปริมาตรภายนอก	m^3
V_t	ปริมาตรรวม	m^3
g	อัตราเร่ง	m/s^2
g_c	ค่า Factor อัตราเร่ง	kg.m
$\dot{Q}_r$	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
U_i	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	$W/m^2.K$
A_i	พื้นที่ผิวหม้อต้ม	m^2
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	$W/m.K$
T_∞	อุณหภูมิ	K
r	รัศมี	m
L	ความสูง	m
Q	พลังงานความร้อน	W
m	มวล	kg
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะ	$kJ/kg.K$
t	เวลา	sec

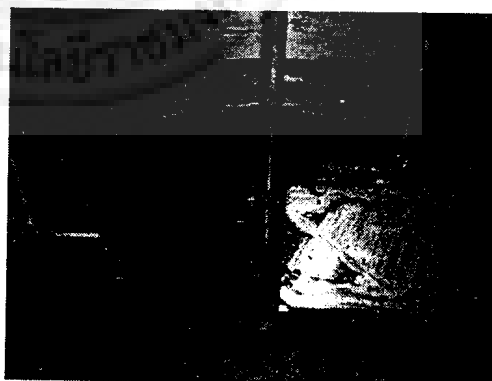
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากในสมัยก่อนเวลาทวนผลไม้เช่น ทูเรียนทวน สับปะรดทวน มะขามทวนนั้นจะใช้กระทะเหล็กตั้งบนเตาถ่านหรือเตาที่ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง แล้วใช้คนในการทวนซึ่งจะทำให้เกิดการไหม้ ต่อมาได้มีการนำแก๊สหุงต้มเข้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทวนซึ่งสามารถควบคุมความร้อนที่จะใช้ในการทวนได้ แต่ไม่สามารถลดระยะเวลาในการทวนได้ต่อมาในปัจจุบันการทวนผลไม้มิใช่เป็นเพียงการทวนเพื่อไว้รับประทานในครอบครัวแต่เพียงอย่างเดียว ยังมีการทวนเพื่อทำเป็นอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยและคิดค้นเครื่องทวนขึ้นมาเพื่อลดระยะเวลาในการทวนและได้ปริมาณมากในการทวนแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามเครื่องทวนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังไม่สมบูรณ์ที่จะสามารถนำมาใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม เพราะจากการใช้งานยังมีความเสียหายของผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบที่ใช้ได้จากการทวนด้วยเครื่องทวนแบบดั้งเดิม

ดังนั้นจึงมีความคิดขึ้นว่าจะหาวิธีการปรับปรุงเครื่องทวนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงได้ศึกษาการทำงานของเครื่องทวนน้ำมะขามเปียกที่ บริษัท คอล อินเตอร์เทรด จำกัด และพบปัญหาที่ทางโรงงานแจ้งให้ทราบหลายอย่าง จึงได้นำปัญหามาหาทางแก้ไขและปรับปรุงเครื่องทวนน้ำมะขามเปียกให้มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของโรงงาน



รูปที่ 1.1 แสดงเครื่องต้นแบบเครื่องทวนน้ำมะขามเปียก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อต้องการพัฒนาเครื่องกวนมะขามเปียกให้ได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องกวนมะขามเปียก
- 1.2.3 เพื่อทดสอบและหาข้อบกพร่องของเครื่องกวนมะขามเปียก
- 1.2.4 เพื่อลดการสูญเสียของน้ำมะขามเปียกในเวลากวน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 อุณหภูมิของน้ำมะขามเปียกขณะกวนอยู่ระหว่าง 75-80 °C
- 1.3.2 สามารถเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ใบกวนได้
- 1.3.3 ถังที่ใช้ทำถังกวนจะต้องเป็นถังสแตนเลส
- 1.3.4 การสูญเสียของน้ำมะขามเปียกขณะกวนไม่เกิน 10 %

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

- 1.4.1 ได้ศึกษาขบวนการการถ่ายเทความร้อน
- 1.4.2 ประหยัดเวลาในการผลิตน้ำมะขามเปียก
- 1.4.3 ได้ทราบถึงการทำงานของเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก
- 1.4.4 เป็นแนวทางที่จะดัดแปลงและพัฒนาในงานที่รูปแบบคล้ายคลึงกันได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การผสม หมายถึง การเกิดปฏิกิริยาภายในของสองอย่าง หรือมากกว่านั้นในระยะเวลาหนึ่ง โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ เป็นอย่างเดียวกันโดยใช้วิธีของไหล โดยปกติของไหลจะทำให้เกิดการผสมโดยทางกล ในระดับเดียวกันจนสำเร็จด้วย Miscible Liquids หรือ Solids ในของเหลวเพื่อทำให้เกิดการผสมผสานกันระหว่าง Immiscible Liquids, Paste – Like Materials และผงฝุ่นในระดับเดียวกัน ความสามารถของกระบวนการผสมจะใช้ของเหลวเป็นส่วนประกอบ การใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบทางเครื่องกลและทางกายภาพที่ถูกต้องและข้อมูลการออกแบบทั้งหมดจะอยู่ในการออกแบบเครื่องผสม

ส่วนวัสดุที่ป้อนเข้าไปในเครื่องผสมอาจจะเป็นของเหลวความหนืดต่ำจนถึงของเหลวความหนืดสูงหรือผงฝุ่น สามารถเรียกชื่อหนึ่งว่า การป้อนแบบเส้นตรง ระบบของการผสมอาจจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. ภาชนะบรรจุคงที่มีการกวนแบบปั่นป่วน
2. ภาชนะบรรจุคงที่มีการกวนแบบคงที่
3. ระบบที่ผสมระหว่างการปั่นป่วนกับคงที่

ทั้งสามแบบนี้จะใช้กับของเหลวความหนืดต่ำ กลางและสูง ส่วนชนิดที่ 2 และ 3 จะเป็นการผสมแบบผงฝุ่น ทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นการประยุกต์มาจากของไหล

2.1 ทฤษฎีการผสมของแข็ง

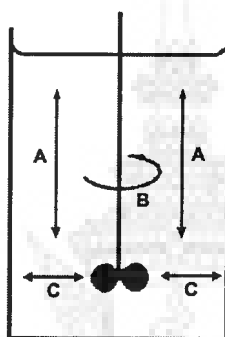
ทฤษฎีการผสมของแข็งจะไม่เหมือนกับการผสมของของเหลว จะเป็นการผสมของแป้งฝุ่นหรือของที่เป็นผงละเอียด องค์ประกอบที่จะทำให้การผสมสำเร็จได้คือ

1. ขนาด และความหนาแน่นของส่วนประกอบ
2. ประสิทธิภาพในการผสมส่วนประกอบเข้าด้วยกัน
3. ความชื้น ความตึงผิว และการกลายแป้นของเหลวของวัตถุดิบ
4. ชนิดของวัตถุดิบ
5. อุณหภูมิ

โดยทั่วไปวัตถุดิบจะมีความคล้ายกันในด้านขนาด รูปร่าง และความหนาแน่น หรือไม่เหมือนกันก็ได้ ในการผสมนั้นจะแตกต่างกันออกไป เพราะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบเองหรือการออกแบบของเครื่องจักรในการผสมซึ่งจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการผสมนั้น ๆ และในการผสมก็จะขึ้นอยู่กับเวลาด้วย

2.2 ทฤษฎีการผสมของของเหลว

ความเร็วเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผสมของของเหลวดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบความเร็วในการผสม

ความเร็วในการหมุนแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ

1. ความเร็วตามแนวรัศมีคือ ตั้งฉากกับเพลลา (C)
2. ความเร็วตามความยาวคือ ขนานกับเพลลา (A)
3. ความเร็วที่หมุนคือ หมุนตามเส้นสัมผัสกับเพลลา(B)

2.2.1 การผสมสำหรับวัสดุที่มีความหนืดสูง

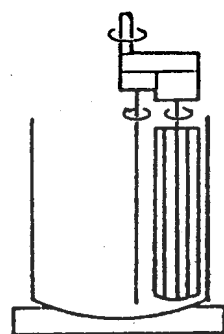
การผสมที่มีความหนืดสูงจะอยู่ในกระบวนการการจัดเตรียมของอุตสาหกรรมรวมทั้งเครื่องผสมแบบต่าง ๆ ในการผสมของเหลวที่มีความหนืดสูง จะทำได้โดย

1. การนวด
2. การทับถมกันเป็นชั้น ๆ
3. การตัด หรือ การบด

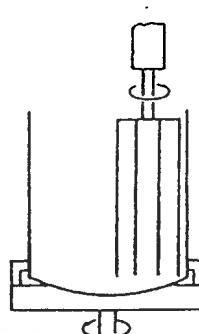
2.2.2 การผสมของเหลวที่มีความหนืดต่ำหรือความหนืดปานกลาง

เครื่องผสมที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับของเหลวความหนืดต่ำและปานกลาง เป็นแบบปั่นป่วน เครื่องผสมชนิดนี้จะประกอบด้วยเพลลาที่มีการหมุน 1 ตัวหรือมากกว่านั้นและมีทางน้ำไหลอยู่ภายใน แต่ทางน้ำไหลก็ให้น้ำยังไม่พอ ระบบของเหลวจะมีการเคลื่อนที่แบบคงที่หรือการเคลื่อนที่

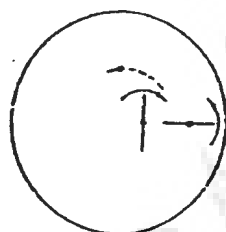
ที่ช้า ๆ และของเหลวที่มีความหนืดต่ำในการผสมนั้น เมื่อมีการผสมเสร็จแล้วก็ถูกส่งออกไปในอัตราการไหลที่เร็ว



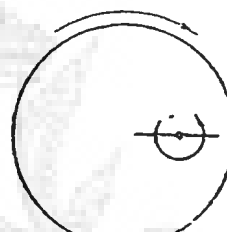
(Section)



(Section)



(Plan)



(Plan)

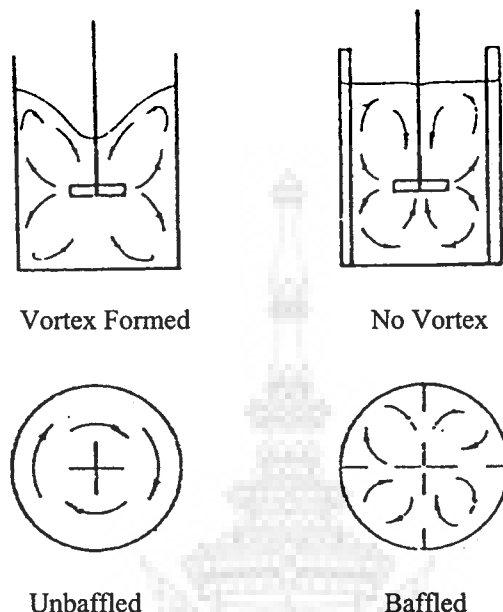
(ก) Stationary Pan Mixer

(ข) Rotating Pan Mixer

รูปที่ 2.2 ลักษณะของตำแหน่งใบพัดที่ใช้ในการผสมแบบความหนืดสูง

ความเร็วของไหลจะถูกกำหนดโดยส่วนประกอบ 3 อย่างภายในดังคือ (1) การกระทำที่ถูควบคุมโดยเพลลาที่ตั้งฉาก (2) ความยาวของเพลลา (3) เกิดจากการหมุนที่สัมพันธ์กันระหว่างเพลลา 2 ตัว ส่วนรัศมีและความสัมพันธ์ของเพลลาจะทำให้เกิดการช่วยกันในการผสมแต่อาจจะไม่ใช่ส่วนประกอบของการหมุนเวียน ในเรื่องของเพลลาหมุนในแนวตั้ง ในการเดินของน้ำในสถานะที่ใช้ในการผสมและการหมุนเวียนนั้นจะอยู่รอบ ๆ เพลลา การหมุนนี้จะทำให้เกิดเป็นแผ่นบาง ๆ และเรียงกันเป็นชั้นของของเหลวเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่อาจจะอยู่ระหว่างชั้นและผลที่เกิดขึ้นก็จะได้รับการผสมที่สมบูรณ์ ตั้งแต่ความสัมพันธ์ของความเร็วของใบพัดกับของเหลว เป็นสิ่งที่น่าสนใจมากในการจำกัดของเหลว นอกจากนี้การสัมผัสกันของส่วนประกอบก็สามารถทำให้เกิดน้ำวนที่เกิดขึ้นก็จะส่งผลทำให้เกิดการดูดและจะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นข้อเสียอื่น ๆ ที่พบก็เกิดจากการหมุนเวียนของแข็งชิ้นเล็ก ๆ ก็อาจจะแยกจากกันเป็นผลทำให้ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลาง

น้ำวนและข้อเสียที่เกิดขึ้นอาจจะลดลงโดยการปั่นตรงกลางภาชนะที่ใช้ผสม จะส่งผลทำให้เป็นระเบียบมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแบบของใบพัดกวนแบบปั่นป่วนและไม่ปั่นป่วน

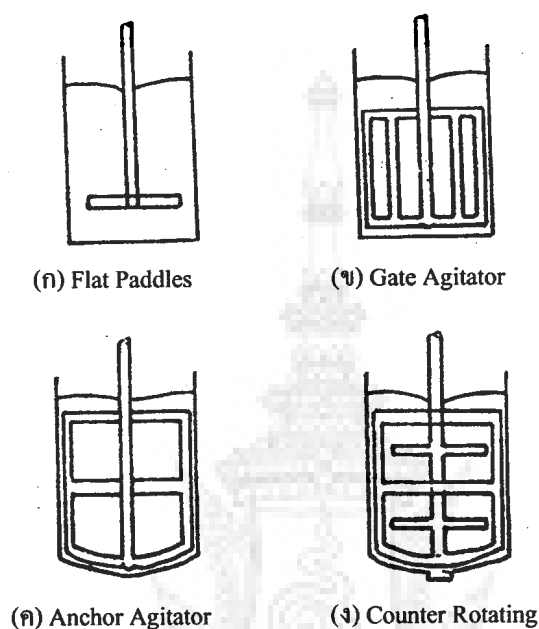
2.3 ชนิดของการกวน

การกวนแบบใบพายจะประกอบด้วยใบมีดที่แบนและหมุนอยู่กับที่ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) เพลานี้จะอยู่ตรงกลางและมีความเร็วรอบอยู่ที่ 20 – 150 รอบ/วินาที เป็นผลทำให้ของเหลวบริเวณนั้นหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงก็อาจจะเกิดการหมุนเหมือนในรูปที่ 2.3 ใบมีดอาจจะมี 2-4 ใบ Multivane Paddles อาจจะใช้กวนกับของที่มีความหนืดสูงอยู่กับที่ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) ใบมีดอาจจะถูกออกแบบให้ขยายใกล้ผนังของภาชนะ (ใบมีดสมอเรือ) แต่อาจจะทำให้เกิดความร้อนที่ภาชนะขึ้นได้ ดังแสดงในรูป 2.4 (ค) แรงต้านที่เกิดจากใบมีดจะทำให้เกิดการเลื่อนตามต้องการกับที่แสดงในรูปที่ 2.4 (ง) ใบมีดจะมีขนาด $1/10 - 1/6$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางภาชนะและความกว้างจะเท่ากับ $1/10 - 1/6$ ของความยาว ใบกวนแบบใบพายจะถือการออกแบบของเครื่องจักรแบบง่าย ๆ และใช้วัสดุที่ทนต่อการสึกกร่อน

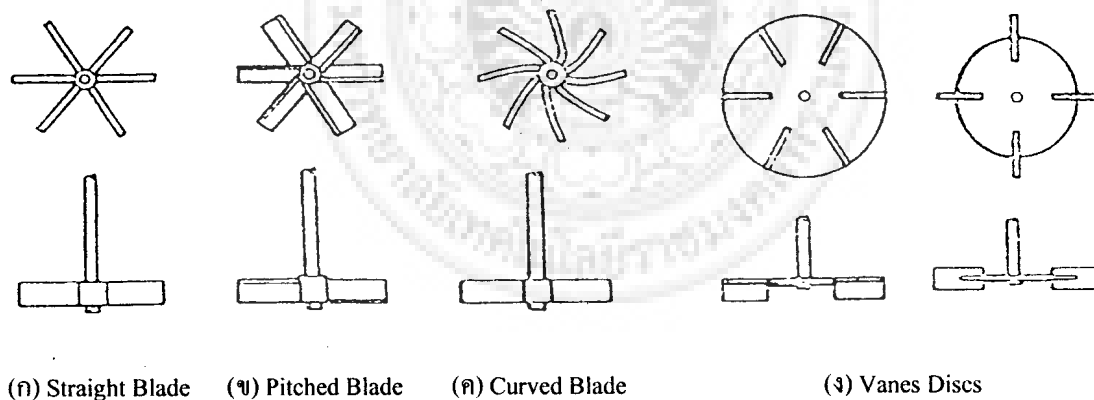
2.3.1 การกวนแบบกึ่งหัน

ในที่นี้การผสมแบบกึ่งหันจะประกอบไปด้วยใบมีด 4 ใบหรือมากกว่านั้นยึดติดอยู่กับเพลาลูกหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) ซึ่งใบมีดจะมีขนาดประมาณ 30-50% ของเส้นผ่านศูนย์กลางภาชนะและมีความเร็วประมาณ 30-500 รอบ/วินาที เพลานั้นจะอยู่ด้านบนของภาชนะและจะหมุนในแนวตั้ง เพื่อจะทำให้เกิดการเฉือนวัสดุ และน้ำจะถูกปล่อยออกมาจากผนังภาชนะดังแสดงในรูป

ที่ 2.3 การกวนที่มีความเร็วจะทำให้การเคลื่อนวัสดุดีขึ้น ใบมีดที่แข็งแรงและมั่นคงจะช่วยเพิ่มอัตรา
การไหลให้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) แผ่นกลม ๆ ที่อยู่ด้านนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ค) จะใช้
วัสดุทนความร้อน การกวนแบบก้านหันจะใช้สำหรับการของเหลวที่มีความหนืดปานกลาง



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบบางชนิดของเครื่องกวน

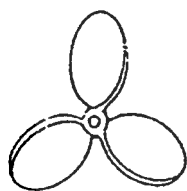


รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบบางชนิดของใบกวนใบก้าน

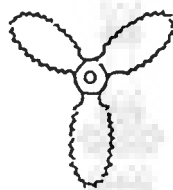
2.3.2 การกวนแบบใบจักร

การกวนแบบใบจักรนี้จะประกอบไปด้วยใบมีดสั้น ๆ ที่มีขนาดประมาณ 1/4 เส้นผ่าน
ศูนย์กลางภาชนะและหมุนด้วยความเร็ว 500 รอบ/นาที หรือมากกว่า การหมุนจะทำให้เกิดกระแส

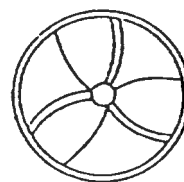
น้ำวน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ก) เนื่องจากใบมีคมีขนาดเล็กแต่ภาชนะใหญ่จึงเหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดต่ำเพราะลักษณะเด่นอยู่ที่การไหลของของไหล ใบมีคจะไม่มีผลต่อการติดตั้งเพลากึ่งกลางภาชนะ เพลาที่อยู่และเพลาก็เอียงเป็นมุม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) ในภาชนะที่ใหญ่ก็อาจจะติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของภาชนะแต่ไม่อยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ค) การออกแบบใบจักรจะใช้ได้ดีกับของเหลวความหนืดต่ำ



(ก) Open three bladed propeller



(ข) Saw - toothed propeller

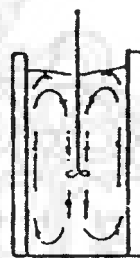


(ค) Guarded propeller

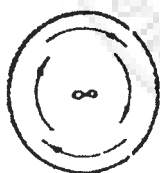
รูปที่ 2.6 รูปแบบบางชนิดของใบกวนแบบใบจักร



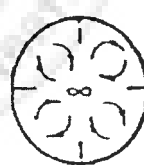
(Section)



(Section)



(Top Plane)

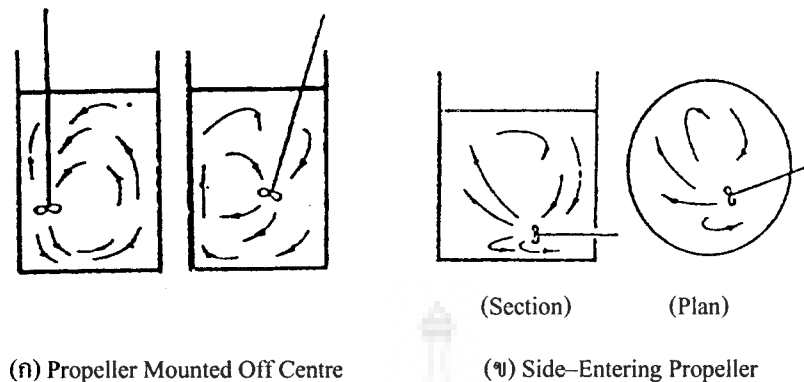


(Top Plane)

(ก) Centrally Mounted Propeller in Unbaffled Vessel

(ข) Centrally Mounted Propeller in Baffled Vessel

รูปที่ 2.7 รูปแบบของใบกวนแบบใบจักรที่ต่อกับเพลานในแนวตรง



รูปที่ 2.8 รูปแบบของใบกวนแบบใบจักรที่ต่อกับเพลานในแนวเอียง

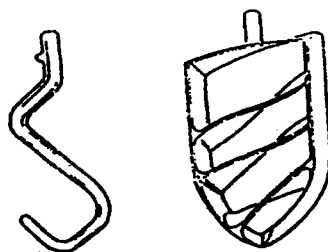
2.4 การผสมในภาชนะ

ในการผสมนี้จะมีหลายรูปร่างภาชนะแต่ภาชนะที่นิยมใช้กันมากคือ ถังรูปทรงกระบอกที่มีก้น เพราะเป็นภาชนะที่มีช่องว่างและแคบน้อยหรือแทบจะไม่มีเลย ภาชนะที่ก้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 – 1.5 แต่ 1.0 จะเป็นขนาดที่นิยมใช้กันมากที่สุด ถ้าภาชนะนั้นสูงมากการติดตั้งใบมีดจะต้องอยู่กึ่งกลางภาชนะ

2.5 ใบพัดกวน

โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 อัน ใบพัดกวนจะอยู่ในรูปที่ 2.2 เป็นส่วนที่สำคัญในการใช้ผสมและจะหมุนรอบตัวเองโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวบังคับ ใบพัดสามารถใช้แบบใบเดี่ยวหรือสองใบก็ได้แล้วแต่การออกแบบและการทำให้วัสดุที่ต้องการผสมเข้ากันและมีขนาดเล็ก ๆ จะขึ้นอยู่กับทุกสิ่งทุกอย่างรวมไปถึงตัวใบพัดด้วย

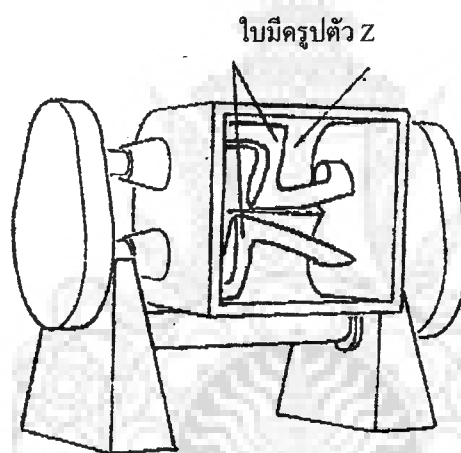
ในรูปที่ 2.2 จะแสดงการหมุนของใบพัดและการหมุนของภาชนะ ทำให้การผสมนั้นได้ประสิทธิภาพมากขึ้นแต่ใบพัดต้องอยู่ใกล้กับผนังภาชนะใบพัดสามารถจะออกแบบได้หลายรูปแบบตามที่เห็นในรูปที่ 2.8 เมื่อต้องการหยุดใบพัดก็สามารถทำได้โดยการยกขึ้นหรือตะแคง



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างใบกวนที่มีลักษณะพิเศษ

2.6 การผสมในแนวนอน

เครื่องผสมนี้จะประกอบไปด้วยใบพัดที่แข็งแรงในแนวนอนของภาชนะ ใบมีดจะอยู่ด้านบนของภาชนะและอาจจะสัมผัสกันหรืออยู่ต่อกัน วัสดุที่ต้องการผสมจะถูกนวดหรือตัดระหว่างใบมีดกับผนังและกันของภาชนะ โดยทั่วไปใบมีดจะหมุนในรอบที่แตกต่างกันและอาจจะหมุนแบบอิสระหรือถูกควบคุมโดยเกียร์ ใบมีดส่วนมากจะออกแบบเป็นรูปตัว Z หรือ Sigma Blade ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ภาชนะอาจเป็นแบบปิดหรือแบบเปิดก็ได้และอาจจะถอดได้ มันอาจจะมีอุณหภูมิควบคุมอยู่ด้านบนก็ได้ การผสมแบบใหม่ Maxta Mixer เป็นการรวมกันของ UX Government's Warren Spring Laboratory และ Gardners of Gloucester Ltd มันถูกออกแบบให้ระยะเวลาในการผสมสั้นลงและได้ปริมาณมากและใช้กับวัสดุ ที่มีความหนืดสูงและแข็งที่มีความเหนียวมาก ๆ



รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องผสมแบบใบมีดตัว Z

2.7 การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูง

ภาชนะบรรจุได้มีการปรับปรุงพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ทำจากดีบุก ต่อมาดีบุกหายากและแพงขึ้น จึงใช้กระป๋องที่ทำด้วยแผ่นเหล็กเคลือบผิวทั้งสองด้านด้วยดีบุก ทำให้ประหยัดปริมาณของดีบุกที่ใช้ได้มาก ขณะเดียวกันก็ได้มีการใช้กระป๋องที่ทำจากอลูมิเนียมซึ่งน้ำหนักเบาแต่มีข้อเสียคือบุนง่าย ส่วนมากจึงใช้ทำกระป๋องเพื่อบรรจุผลไม้ หรือ เครื่องดื่ม หรือ นมสด แต่การใช้กระป๋องอลูมิเนียมไม่แพร่หลายเท่ากับกระป๋องที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก นอกเหนือจากภาชนะจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการถนอมผลิตผลการเกษตรแล้วประเภทของอาหารก็มีความสำคัญมากว่าจะใช้ความร้อนสูงเท่าใดในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารที่ต้องการเก็บรักษา เนื่องจากการถนอมผลิตผลทางการเกษตร โดยความร้อนจะเปลี่ยนสภาพของอาหารจากสดเป็น

อาหารสุกที่พร้อมจะรับประทานได้ ดังนั้นจึงมีการเติมเครื่องปรุงต่าง ๆ หรือเปลี่ยนสภาพเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ ซึ่งในปัจจุบันเรียกว่า "การแปรรูปอาหาร" ส่วนประกอบอาจจะมีทั้งเนื้อสัตว์ ผัก และเครื่องเทศ สำหรับอาหารคาวหรือถ้าเป็นอาหารหวาน เช่น ผลไม้บรรจุในน้ำเชื่อม เป็นต้น กรรมวิธีการผลิตอาหารกระป๋องหรืออาหารในขวดแก้ว จำเป็นต้องใช้ความร้อน เพื่อให้ทำให้อาหารที่บรรจุภายในสุก และเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ความร้อนที่ใช้จะต้องสัมพันธ์กันเพราะถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไป อาจจะทำให้อาหารที่บรรจุในกระป๋อง/ขวดนั้นและไม่น่ารับประทาน ถ้าความร้อนต่ำเกินไปอาจจะมีจุลินทรีย์หลงเหลืออยู่ซึ่งจะทำให้อาหารนั้นเสีย เกิดการบวมและระเบิดได้ในที่สุด การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน หมายถึงการฆ่าเชื้อในอาหารที่บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายหรือเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์หรือจากการทำงานของเอนไซม์ในอาหาร การฆ่าเชื้อโดยความร้อนมี 3 ระดับ คือ การฆ่าเชื้อ (Sterilization) การฆ่าเชื้อระดับการค้า (Commercially Sterilization) และการฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์ (Pasteurization) การฆ่าเชื้อ หมายถึงการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน เพื่อให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั้งหมดถูกทำลาย การฆ่าเชื้อระดับการค้า หมายถึงการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเกือบทั้งหมดเพื่อให้อาหารนั้น ๆ สามารถบริโภคได้โดยไม่เป็นอันตราย และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสียในภาวะปกติ การฆ่าเชื้อแบบพาสเตอร์ หมายถึงการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำเดือด (ต่ำกว่า 100°C) เพื่อทำลายจุลินทรีย์บางส่วน แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงควบคู่กับสภาวะอย่างอื่น เช่น ควรเก็บในตู้เย็นภายหลังการผลิตแล้ว หรืออาหารนั้นมี พีเอช ต่ำ หรือมีปริมาณน้ำตาล หรือเกลือสูง นักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ได้แบ่งกลุ่มอาหารที่บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มอาหารที่เป็นกรด (Acid foods) คืออาหารที่มีค่า พีเอช ต่ำกว่า 4.5 ส่วนมากเป็นพวกผลไม้ เช่น สับปะรด ส้ม หรือผักที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะเขือเทศ กระเจี๊ยบแดง เป็นต้น
2. กลุ่มอาหารที่เป็นกรดต่ำ (Low acid foods) คืออาหารที่มีค่า พีเอช 4.5 หรือสูงกว่า ส่วนมากจะเป็นอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ และผักต่าง ๆ เช่น เนื้อ หมู ปลา ข้าวโพดฝักอ่อน และหน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น

2.8 ค่าความปลอดภัยและการบิด

โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัย หมายถึงตัวเลขที่นำไปหาค่าความต้านแรงหรือความต้านแรงหรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (Working stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบซึ่งเรียกสั้น ๆ ว่าความเค้นออกแบบ (Design stress) หรือความเค้นใช้งาน ตัวอย่างเช่น เหล็กกล้าชนิดหนึ่งมีความต้านแรงดึง และความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 700 MN/m^2

และ 420 MN/m^2 ตามลำดับและในการออกแบบชิ้นงานหนึ่ง โดยใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ ผู้ออกแบบคิดว่าตามลักษณะการใช้งานแล้วความเค้นใช้งานควรจะไม่เกิน 140 MN/m^2 ฉะนั้นค่าความปลอดภัยเมื่อถือความต้านแรงดึงเป็นหลักคือ

$$Nu = \frac{700}{140} = 5$$

และค่าความปลอดภัยเมื่อถือความต้านแรงดึงครากเป็นหลักคือ

$$Nu = \frac{420}{140} = 3$$

ในกรณีที่ได้มีการกำหนดขนาดของชิ้นงานมาแล้ว ค่าความปลอดภัยของชิ้นงานนั้นคือ

$$Ny = \frac{\text{ความต้านแรงดึงสูงสุด}}{\text{ความต้านแรงใช้งาน}} \quad (2.1)$$

สำหรับปัญหาที่ไม่เป็นแบบเชิงเส้น (Nonlinear) เช่น ท่อโลหะ หรือเสาที่อาจจะเสียหายเนื่องจากการโก่งงอ จะต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงที่มากกระทำโดยตรง แทนที่จะใช้กับความเค้น ทั้งนี้เพราะในปัญหาแบบไม่เชิงเส้น ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานอาจจะมีได้แปรผันโดยตรงกับแรง ในกรณีเช่นนี้

$$N = \frac{\text{แรงที่ทำให้แตกหัก}}{\text{แรงที่ใช้ออกแบบ}} \quad (2.2)$$

ค่าความปลอดภัยที่จะเลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบดังนี้

- ก. ชนิดของแรงที่มากกระทำต่อชิ้นงานว่าเป็นแรงที่จัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่งหรือเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งาน
- ข. ลักษณะการใช้งานของชิ้นงานว่าเกี่ยวข้องกับการที่อาจจะสูญเสียชีวิตจำนวนมากหรือไม่
- ค. น้ำหนักของชิ้นงานว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่ เช่น ชิ้นส่วนสำหรับเครื่องบิน เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้การใช้ค่าความปลอดภัยจะต้องพิจารณาอย่างละเอียดเป็นพิเศษ

ง. จำนวนของชิ้นงานที่จะผลิตออกมา ถ้าผลิตครั้งละมาก ๆ ควรระมัดระวังในการใช้ค่าความปลอดภัยที่ไม่สูงจนเกินไป ทั้งนี้เองที่จะให้ประหยัดวัสดุได้มากที่สุด

จ. เนื้อวัสดุที่ผลิตออกมาอาจไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความสามารถในการรับแรงต่างกัน

2.9 การออกแบบเพลา

เนื่องจากว่าเพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลาโดยเฉพาะเพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานต่อไปนี้

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลังแกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สปีนเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุนเช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Headstock spindle) เป็นต้น

สตับชาฟต์ (Stub Shaft) หรือบางครั้งเรียกเฮดชาฟต์ (Head Shaft) เป็นเพลาที่คิดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนที่ยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว (Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลาเมน (Main Shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ

แจ็คชาฟต์ (Jackshaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (Counter Shaft) หรือเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วยแรงเหล่านี้ยังอาจจะมีเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจจะทำให้เพลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโง่งนี่ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลเบริง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (Misalignment) ในการใช้งานพอเหมาะกับเพลาด้วย

2.9.1 วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียว และความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือก ใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.9.2 ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ จึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลา ซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของเบร้งที่ใช้รองรับเพลลาด้วย

2.9.3 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลลา เพื่อให้เพลลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเฉียวไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลาถูกเบี้ยว (Cam Shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่เที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือ เพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งมีผลทำให้เฟืองและเบร้งที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มาตรฐานสำหรับพิสัยมุมบิดของเพลลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลลาในเครื่องจักรกล ทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาวเพลลา 1 m สำหรับเพลลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1.5 องศา ต่อความยาวเพลลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ในกรณีของเพลลาถูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน แล้วจะให้ให้มีมุมบิดได้ไม่เกิน 0.5 องศา ตลอดความยาวของเพลลา

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโก่งเพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลลาที่อยู่ได้แรงภายนอก เป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพาน เฟือง โคร่งของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของเบร้งสำหรับรองรับเพลลาให้เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะโก่งมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (Contact Ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกเบร้งมารองรับเพลลาก็เช่นกัน จำเป็นจะต้องเลือกเบร้งชนิดที่

อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโก่งของเพลลาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร์ริงแบบธรรมดา หรือแบร์ริงแบบปรับแนวได้เอง (Self-Aligning Bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ

ระยะโก่งดังกล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางได้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลลาเครื่องจักรกลทั่วไป ระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร์ริงไม่เกิน 0.08 mm

สำหรับเพลลาที่มีเฟืองตรง (Spur Gear) คุณภาพดีอยู่ด้วย ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลลา ณ ตำแหน่งนี้ควรน้อยกว่า 0.0286 องศา

สำหรับเพลลาที่มีเฟืองคอกงอก (Bevel Gear) คุณภาพดีติดอยู่ ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.075 mm

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลลาอาจจะหามาได้ โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะโก่งของเพลลาที่มีขนาดเท่ากันตลอด อาจทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้มาแล้วในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง (Double Integration) วิธีพื้นที่ของโมเมนต์ดัด (Moment Area) เป็นต้น

2.10 การหาปริมาตรของทรงกระบอก

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \quad (2.3)$$

โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน

H คือ ความสูงของถังกวน

2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลัง

ลักษณะการใช้งานโดยทั่วไปเพลาก็คือ การใช้ส่งกำลังจากส่วนหนึ่งไปอีกส่วนหนึ่งกำลัง (Power) คือ อัตราการทำงาน ดังนั้น กำลังที่เกิดจากแรงบิดหรือโมเมนต์บิด T ก็คือ

$$P = T\omega \quad (2.4)$$

โดยที่ P คือ กำลังที่ส่ง มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น rad/s

$$\begin{aligned} \text{แต่} \quad \omega &= \frac{2\pi N}{60} \\ \text{ดังนั้น} \quad P &= \frac{2\pi NT}{60} \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่ N คือ ความเร็วรอบของเพลา มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

T คือ โมเมนต์บิดหรือแรงบิดที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

2.12 พิกัดกำลังของมอเตอร์ (Power Output) หรือ แรงม้า

แรงม้า คือ พิกัดกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ กำหนดเป็นแรงม้า หรือ กำลังม้าจริง (Horse Power) ในปัจจุบันได้มีการตกลงกันในการกำหนดหน่วย (Unit) เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก ได้แก่ ระบบ SI Unit ดังนั้นการระบุพิกัดกำลังของมอเตอร์ ในปัจจุบันจะระบุค่าเป็นกิโลวัตต์ (kW) ทั้งหมด

1 แรงม้า = 0.746 kW ดังนั้น จึงสามารถเปลี่ยนหน่วยจากแรงม้าเป็นกิโลวัตต์ได้โดยการคูณแรงม้า ด้วยค่า 0.746 kW เช่น มอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า $\times 0.746 = 1.119$ kW หรือ เรียกมอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า $\times 0.746 = 0.248$ kW เป็นต้น

ขนาดพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่ระบุไว้บนแผ่นป้าย เป็นตัวกำหนดขีดความสามารถในการทำงานของมอเตอร์ หรือเป็นขนาดพิกัดกำลังที่ส่งออกมาจากแกนเพลา (Power Output) ของมอเตอร์นั่นเองและถือว่าเป็นพิกัดกำลังสำหรับขับโหลดเต็มพิกัด (Full-Load Power Output) ของมอเตอร์ ซึ่งสามารถใช้งานมอเตอร์ได้โดยไม่เกิดอันตรายแต่อย่างใด

การคำนวณหารอบที่ใช้ขับเพลา

$$\text{รอบที่ใช้งาน} = \left(\frac{n \times D_1}{D_2} \right) / \text{อัตราทดเกียร์} \quad (2.6)$$

โดยที่ n คือ ความเร็วรอบมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางฟูล์ดวับ

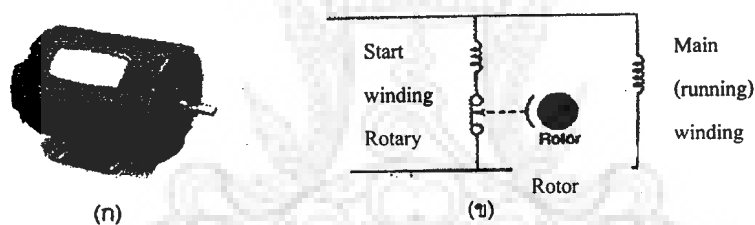
D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางฟูล์ดวตาม

2.12.1 มอเตอร์ 1 เฟส

มอเตอร์ 1 เฟส เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ภายในบ้าน เช่น มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในเครื่องทำความเย็น มอเตอร์สว่านไฟฟ้า มอเตอร์ปั๊ม

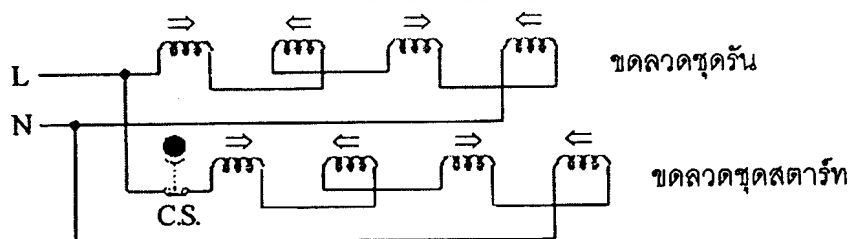
น้ำ ใต้เป่าลม พัดลมเพดาน พัดลมตั้งพื้น เป็นต้น มอเตอร์ชนิด 1 เฟสจึงมีด้วยกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ สปลิตเฟสมอเตอร์

สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split Phase Motor) หรือเรียกว่า Induction Start/Induction Run Motor รูปที่ 2.11 ประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุดคือ ชุดสตาร์ท (Start Winding) กับชุดรัน (Main หรือ Running Winding) ขดลวดชุดสตาร์ทจะใช้ลวดทองแดงเส้นเล็กและพันจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดรันเพราะมอเตอร์ต้องการแรงบิดช่วยในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนและใช้กระแส 7-10 เท่าของกระแสที่แผ่นป้ายระบุ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วเกินกว่าร้อยละ 75 ของความเร็วสูงสุดที่ระบุไว้ที่แผ่นป้าย มอเตอร์จะอาศัยกลไกสวิตช์ชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Switch :C.S.) หรือ โรตารีสวิตช์ หรือรีเลย์ ปลดขดลวดชุดสตาร์ทออก จึงทำให้มอเตอร์ใช้กระแสตามปกติที่แผ่นป้ายระบุ (แต่ถ้ามอเตอร์หมุนโดยไม่ได้ออกเข้ากับสายพานหรือโหลดชนิดอื่น มอเตอร์จะใช้กระแสต่ำกว่าแผ่นป้ายระบุ)



รูปที่ 2.11 สปลิตเฟสมอเตอร์ (ก) ภาพของจริง (ข) ไคอะแกรม

สปลิตเฟสมอเตอร์จะมีแรงบิดขณะเริ่มหมุนต่ำ โดยทั่วไปมีแรงบิด 1 ถึง 1.75 เท่าของ พิกัดโหลด จึงมักนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนต่ำ เช่น เครื่องขัด เครื่องบด เครื่องเป่าลม พัดลมขนาดเล็ก มีกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 1/2-1/3 HP เป็นต้น



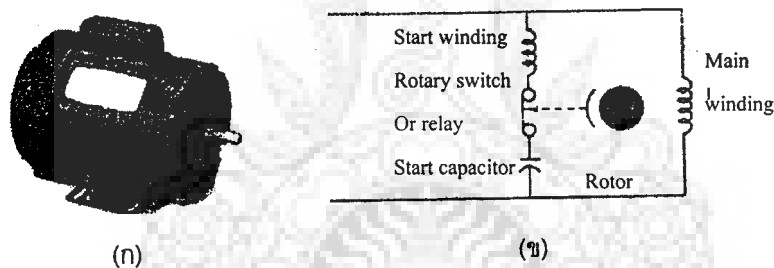
รูปที่ 2.12 แสดงการต่อขดลวดวงจรภายในมอเตอร์

2.12.2 การต่อใช้งานและการกลับทางหมุน

ขดลวดชุดรันและสตาร์ทจะวางตำแหน่งต่างกัน 90 องศา ต่อขดลวดคอนนักรวมกันในแต่ละขดให้มีทิศทางกระแสไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตรงข้ามกัน จากรูปที่ 2.12 เพื่อให้ชุดขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กต่างขั้วกัน ส่วนการกลับทางหมุนของมอเตอร์ สามารถทำได้โดยกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดชุดสตาร์ท

2.12.3 คาปาซิเตอร์สตาร์ท/อินดักชันรันมอเตอร์

คาปาซิเตอร์สตาร์ท/อินดักชันรันมอเตอร์ (Capacitor Start/Induction Run Motor) หมายถึงมอเตอร์ที่มีการทำงานโดยใช้คาปาซิเตอร์ช่วยให้มีแรงบิดเริ่มหมุนสูง เมื่อมอเตอร์มีความเร็วเกินกว่าร้อยละ 75 ของความเร็วสูงสุดที่ระบุไว้ที่แผ่นป้าย มอเตอร์จะอาศัยกลไกสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางปลดขดลวดชุดสตาร์ทกับคาปาซิเตอร์ออก ทำให้อุปกรณ์ทำงานเหมือนกับสปลิทเฟสมอเตอร์



รูปที่ 2.13 แสดงคาปาซิเตอร์สตาร์ท/อินดักชันรันมอเตอร์ (ก) ภาพของจริง (ข) ไลอะแกรม

มอเตอร์ที่ใช้คาปาซิเตอร์ในช่วงเริ่มหมุนจะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดสูงขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปมีแรงบิดขณะเริ่มหมุน 2 ถึง 4 เท่าของพิกัดโหลด และเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะใช้กระแส 4.5 ถึง 5.75 เท่าของกระแสปกติตามแผ่นป้ายระบุมอเตอร์ชนิดนี้จะมีราคาแพงกว่าสปลิทเฟสมอเตอร์ เพราะมีราคาค่าคาปาซิเตอร์รวมเข้าไปด้วย

คาปาซิเตอร์สตาร์ท/อินดักชันรันมอเตอร์มักใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง มีกระแสต่ำในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน เช่น เครื่องเล่นสายพาน เครื่องเป่าลมและปั๊มขนาดใหญ่ หรืออาจใช้ขับเฟืองหรือเกียร์ในงานต่าง ๆ เป็นต้น

การกลับทางหมุนมอเตอร์ ทำได้โดยกลับทิศทางกระแสไหลของกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดชุดสตาร์ท

2.13 การบำรุงรักษามอเตอร์

การบำรุงรักษามอเตอร์มีจุดประสงค์เพื่อรักษาให้มอเตอร์คงมีประสิทธิภาพในการทำงานดีตลอดไป ความร้อนและความชื้นมีผลให้ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมไป รวมทั้งความฝืดจากตัวลูปป็น สายพานและระบบชุดเฟืองต่างๆ การติดตั้งมอเตอร์ที่ไม่ได้มาตรฐานหรือผิดตำแหน่งจะทำให้มอเตอร์หมุนสั้นทำงานไม่เรียบรวมทั้งระบบไฟที่มีขนาดไม่ถูกต้องและไม่ใช้คลื่นรูปไซน์หรือเรียกว่า ฮาร์โมนิก จะทำให้มอเตอร์ได้รับความร้อนขึ้นด้วย ทั้งหมดล้วนทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพลดลง การบำรุงรักษามอเตอร์อาจแบ่งออกได้ดังนี้ คือ

1. การทำความสะอาด(Cleaning)
2. การเติมสารหล่อลื่น(Lubrication)
3. การวางตำแหน่งติดตั้งเพื่อลดอาการสั่น(Vibration)
4. การตรวจสอบขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า(Voltage Testing)
5. การทดสอบฉนวน(Insulation Testing)

2.13.1 การทำความสะอาด

สิ่งสกปรก ฝุ่นและคราบไขมันที่เกาะติดกับฉนวนของมอเตอร์ ตะแกรงและพัดลมระบายความร้อนรวมทั้งตัวลูปป็นมักเป็นสาเหตุให้การทำงานของมอเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงควรเปิดทำความสะอาดในส่วนที่มอเตอร์สร้างความสกปรกและห้ามใช้สารชนิดไวไฟทำความสะอาด

2.13.2 การเติมสารหล่อลื่น

โดยทั่วไปตัวลูปป็นมักเติมสารหล่อลื่นด้วยจารบี ทุกครั้งที่มีการเติมจารบีจะต้องทำความสะอาดให้สิ่งสกปรกเดิมออกไปก่อน จารบีของเดิมเมื่อรวมกับฝุ่นละออง ความร้อนและความชื้นอาจแข็งตัวหรือกลายเป็นคราบได้ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การหมุนของมอเตอร์มีความฝืด

2.13.3 การวางตำแหน่งติดตั้งเพื่อลดอาการสั่น

การประกอบชิ้นส่วนมอเตอร์เป็นสิ่งสำคัญ การถอดฝาครอบ สกรู จะต้องใส่ให้ถูกตำแหน่ง การใช้แรงตีเคาะอาจทำให้ตัวมอเตอร์ยวบหรือเปลี่ยนรูปทรงได้ รวมทั้งสายพานที่หดรัดหรือติดตั้งไม่ได้ขนาดล้วนมีผลให้มอเตอร์เกิดอาการสั่นได้

2.13.4 การตรวจสอบขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

การตรวจสอบขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อให้มอเตอร์ได้รับขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกต้อง โดยทั่วไปมอเตอร์จะถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้หากมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มหรือลดลงร้อยละ 10 ของขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แผ่นป้ายระบุไว้ในระบบ

ไฟฟ้า 3 เฟสหากมีขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไม่เท่ากันหรืออาจมีรูปคลื่นไม่ใช่รูปไซน์จะส่งผลให้การ
ทำงานของมอเตอร์มี อุณหภูมิสูงขึ้น

2.13.5 การทดสอบฉนวน

การทดสอบฉนวนเป็นสิ่งสำคัญเพราะหากฉนวนเริ่มเสื่อมลงจะทำให้เกิดการลัดวงจร
ระหว่างขดลวดซึ่งมีผลให้มอเตอร์ร้อนผิดปกติและอาจร้อนจนทำให้ขดลวดไหม้ในที่สุด
ระยะเวลาและสภาพการใช้งานหนักการระบายความร้อนไม่พอเพียง ตลอดจนสิ่งแวดล้อม
สารเคมี ความร้อนและความชื้นมีผลให้ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมลงซึ่งเป็นสาเหตุให้มอเตอร์มีอายุ
สั้นลงด้วย

2.14 การนำความร้อน

การนำความร้อน หมายถึง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการ
ถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยส่งถ่าย
ความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นใน
ตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำ
ความร้อนคำนวณจากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law)

การวิเคราะห์การนำความร้อนของผนังทรงกระบอกหลายๆ ชั้นโดยผิวตัวกลางทั้ง 2 ด้าน
สัมผัสกับของเหลว

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนรวมกับการพาความร้อนผ่านชั้นตัวกลางดังรูปที่ 2.14 โดย
ไม่คำนึงถึงความต้านทานผิวสัมผัส

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นตัวกลางสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_r = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 4})}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}} \quad (2.7)$$

พิจารณาในพจน์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

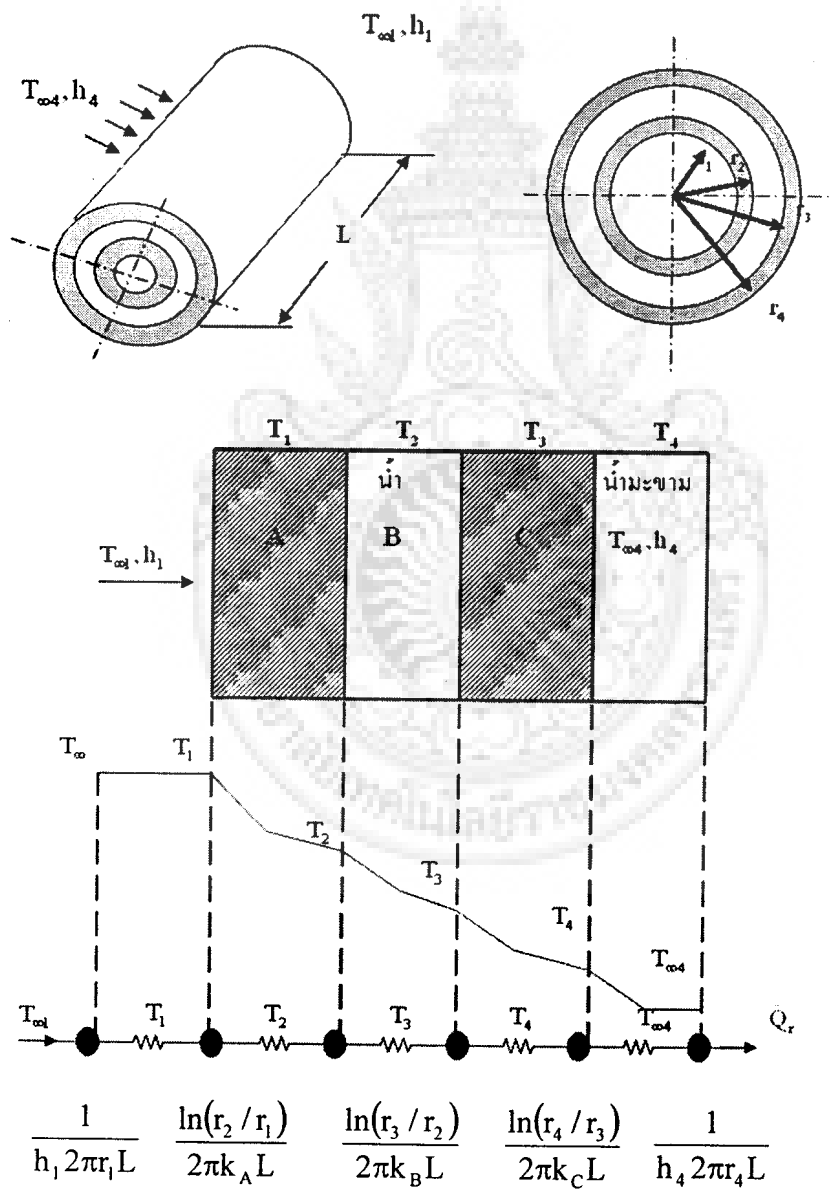
$$\dot{Q}_r = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 4})}{R_{tot}} = U_1 A_1 (T_{\infty 1} - T_{\infty 4}) \quad (2.8)$$

โดยที่

$$A_1 = 2\pi r_1 L_1 \quad (2.9)$$

$$U_1 = \frac{1}{\left(\frac{r_1}{k_A} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + \frac{r_1}{k_B} \ln \left(\frac{r_3}{r_4} \right) + \frac{r_1}{k_C} \ln \left(\frac{r_4}{r_3} \right) + \frac{r_1}{r_4} \right)} \quad (2.10)$$

นำสมการ (2.9) , (2.10) แทนลงใน (2.8) จะได้ $\dot{Q}_r$



รูปที่ 2.14 แสดงการนำความร้อนกับการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก 3 ชั้น

ปกติ U_1 จะผิวพื้นที่ผิวภายใน A_1 หรือใช้ U_4 ซึ่งจะอิงพื้นที่ผิวภายนอก A_4

ดังนั้น
$$U_1 A_1 = U_4 A_4 = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \text{ มีหน่วย W/K}$$

กำหนดให้

$\dot{Q}_1$ = อัตราการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$k_A = k_{\text{สแตนเลส}} = 14.9 \text{ W/m.K}$

$k_B = k_{\text{น้ำ}} = 0.675 \text{ W/m.K}$

$k_C = k_{\text{สแตนเลส}} = 14.9 \text{ W/m.K}$

$T_{\text{in}} = \text{อุณหภูมิผิวถัง} = 90^\circ\text{C} \Rightarrow 363 \text{ K}$

$T_{\text{out}} = \text{อุณหภูมิน้ำมะขาม} = 80^\circ\text{C} \Rightarrow 353 \text{ K}$

$r_1 = 0.49 \text{ m}$

$r_2 = 0.5 \text{ m}$

$r_3 = 0.59 \text{ m}$

$r_4 = 0.6 \text{ m}$

$L_1 = 0.5 \text{ m}$

$L_2 = 0.6 \text{ m}$

หาค่าพลังเบความร้อนที่น้ำได้รับ

$$Q = \frac{m C_p \Delta T}{t} \quad (2.11)$$

กำหนดให้

Q = พลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

m = น้ำหนักของน้ำ ($62 \text{ L} \approx 62 \text{ kg}$)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ย 4.192 มีหน่วยเป็น kJ/kg.K

t = ระยะเวลาที่ใช้ในการกวน $75 \text{ นาที} \Rightarrow 4500 \text{ sec}$

ค่า C_p ที่ $90^\circ\text{C} = 4.206 \text{ kJ/kg.K}$

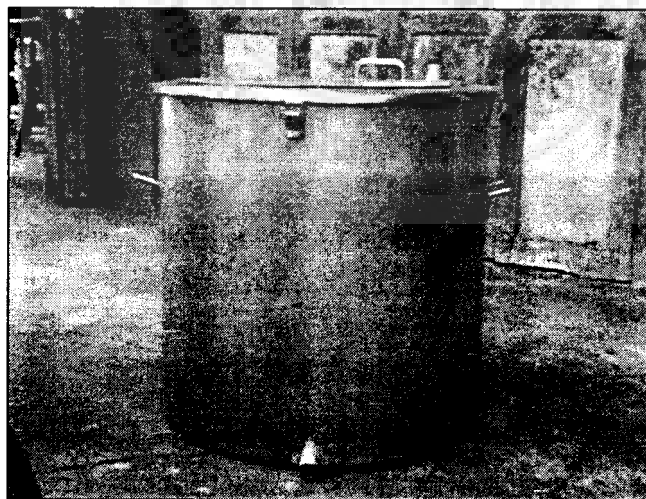
ค่า C_p ที่ $32^\circ\text{C} = 4.178 \text{ kJ/kg.K}$

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

โดยการออกแบบเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถทำงานได้ด้วยประสิทธิภาพสูง มีความสะดวกในการปฏิบัติงาน ลักษณะถังของเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของถังนอก 60 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร มีความหนา 1 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของถังใน 50 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร มีความหนา 1 มิลลิเมตร และถังทั้ง 2 ใบทำจากสแตนเลส AISI 304 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กับอาหาร โดยใช้ความร้อนจากแก๊ส เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อน ตัวโครงสร้างทำจากเหล็กรูปตัว L ซึ่งมีขนาดของฐานที่รองรับถัง $62 \times 64 \times 35.5$ ภายนอกมีชุดต้นกำลังและชุดส่งกำลังอยู่ โดยชุดต้นกำลังจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 HP แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 โวลต์ มีความเร็วรอบคงที่ ชุดส่งกำลังประกอบด้วย ชุดเกียร์ทด ซึ่งการควบคุมการทำงานในลักษณะนี้จะใช้คนเดียวควบคุมการทำงานได้

สิ่งที่สำคัญที่จำเป็นต้องทราบในการออกแบบ คือ จะต้องเลือกความเร็วของการกวนให้มีขนาดเหมาะสม และต้องมีความสัมพันธ์กับขนาดกำลังขับเคลื่อนด้วย ตลอดจนไปถึงภาระของการทำความร้อนการกวนไปถึงการควบคุมเวลาในการกวนด้วย



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของถังกวน

3.1 กำหนดหาปริมาตรของถังกวนน้ำมะขามเปียก

3.1.1 ปริมาตรถังกวนน้ำมะขามเปียกใบนอก



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของถังกวนน้ำมะขามเปียกใบนอก

จากสมการ (2.3)

$$V_o = \frac{\pi}{4} \times D_o^2 \times H_o$$

โดยที่ V_o คือ ปริมาตรของถังนอก

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถังนอก

H_o คือ ความสูงของถังนอก

แทนค่า

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{\pi}{4} \times 0.60^2 \times 0.60 \\ &= 0.169 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

หรือ

$$= 169 \text{ L}$$

3.1.2 ปริมาตรถังกวนน้ำมะขามเปียกใบใน

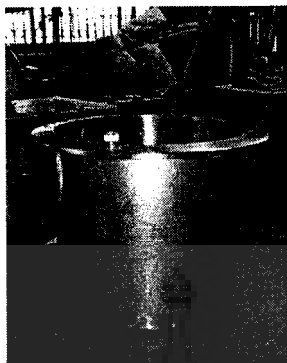
จากสมการ (2.3)

$$V_i = \frac{\pi}{4} \times D_i^2 \times H_i$$

โดยที่ V_i คือ ปริมาตรของถังใน

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถังใน

H_i คือ ความสูงของถังใน



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของถังกวนน้ำมะขามเปียกใบใน

แทนค่า

$$V_i = \frac{\pi}{4} \times 0.50^2 \times 0.50$$

$$= 0.0981 \text{ m}^3$$

หรือ

$$= 98.1 \text{ L}$$

3.1.3 ปริมาตรระหว่างถังนอกกับถังใน

จากสมการ

$$V_t = V_o - V_i$$

โดยที่ V_t คือ ปริมาตรระหว่างถังนอกกับถังใน

V_o คือ ปริมาตรถังนอก

V_i คือ ปริมาตรถังใน

แทนค่า

$$V_t = 0.169 - 0.0981$$

$$= 0.071 \text{ m}^3$$

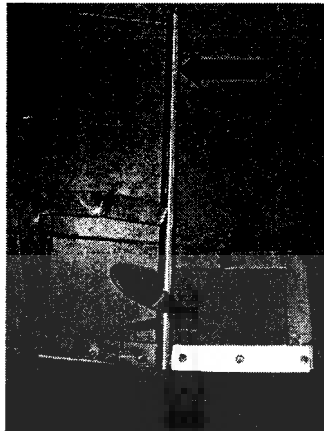
หรือ

$$= 71 \text{ L}$$

3.2 การคำนวณหาแรงบิด

จากสมการ (2.5)

$$P = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{60}$$



รูปที่ 3.4 แสดงรูปเพลลาของใบกวน

โดยที่ P คือ กำลังที่ส่ง (W)

N คือ ความเร็วรอบของเพลลา (rpm)

T คือ โมเมนต์บิดหรือแรงบิดที่เกิดขึ้น (N m)

แทนค่า

$$746 \text{ Watt} = \frac{2\pi(1425)T}{60}$$

$$T = \frac{746 \times 60}{2\pi(1425)}$$

$$T = 4.999 \text{ N m}$$

Gear มี ratio 1:40 จะได้

$$T = 4.999 \times 40$$

$$= 199.96 \text{ N m (แรงออกจาก Gear)}$$

3.2.1 การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์

จากสมการ (2.5)

$$P = \frac{2\pi \times T \times N}{746}$$

$$= \frac{2\pi \times 199.96 \times 35.62}{746 \times 60}$$

$$= 0.999 \text{ HP}$$

จากสมการที่ (2.10)

$$U_1 = \frac{1}{\left(\frac{r_1}{k_A} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + \frac{r_1}{k_B} \ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right) + \frac{r_1}{k_C} \ln \left(\frac{r_4}{r_3} \right) + \frac{r_1}{r_4} \right)}$$

$$U_1 = \frac{1}{\left(\frac{0.49}{14.9} \ln \left(\frac{0.5}{0.49} \right) + \frac{0.49}{0.675} \ln \left(\frac{0.59}{0.5} \right) + \frac{0.49}{14.9} \ln \left(\frac{0.6}{0.59} \right) + \frac{0.49}{0.6} \right)}$$

$$U_1 = 1.075 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

นำ (2.9), (2.10) แทนลงใน (2.8)

$$\begin{aligned} \dot{Q}_r &= (1.075)(1.53)(363 - 353) \\ &= 16.45 \text{ W} \end{aligned}$$

3.4.2 การคำนวณหาพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ

จากสมการที่ (2.11) $Q = mC_p \Delta T$

$$\begin{aligned} &= (62)(4.192)(331) \\ &= \frac{86028.22}{4500} \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \\ &= 19.117 \text{ kW} \end{aligned}$$

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

การทดลองเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก (Tamarind Mixing Machine) หลักการของการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกจะทดสอบโดยการเดินเครื่องในลักษณะการทำงานจริง ซึ่งจะทำการทดสอบเพื่อหาวัตถุดิบในการกวนและขั้นตอนในการทำงานของเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

4.1 ขั้นตอนในการใช้งานเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

- 4.1.1 ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกทุกระบบ
- 4.1.2 ทำการจัดเตรียมวัตถุดิบที่จะทำการกวน
- 4.1.3 นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้บรรจุลงในถังกวน
- 4.1.4 ทำการตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกวน
- 4.1.5 เปิดสวิตช์เครื่องกวนและจุดแก๊สที่ใช้ในการให้ความร้อน
- 4.1.6 สังเกตการทำงานของเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก
- 4.1.7 เมื่อเครื่องทำงานถึงอุณหภูมิและเวลาที่ตั้งไว้แล้ว ให้ตัดการทำงานของแก๊สและการกวนทันที
- 4.1.8 เมื่อเครื่องกวนหยุดการทำงานจึงนำวัตถุดิบออก

4.2 ขั้นตอนหลังการใช้งานเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

- 4.2.1 เมื่อเครื่องหยุดการทำงานและไม่ต้องการทำงานต่อให้ปิดวาล์วที่ถังแก๊ส
- 4.2.2 เปิดวาล์วระบายน้ำที่ถังนอกทิ้ง
- 4.2.3 ถอดใบที่ใช้ในการกวนออกเพื่อที่จะนำไปทำความสะอาด
- 4.2.4 ถอดตัวล็อกที่ใช้ยึดถังขึ้นนอกกับฐานออก
- 4.2.5 นำถังกวนออกจากเครื่อง
- 4.2.6 ปลดล็อกถังระหว่างถังขึ้นนอกกับถังขึ้นใน นำถังขึ้นในไปทำความสะอาด
- 4.2.7 หลังจากทำความสะอาดถังและใบกวนแล้วให้นำไปประกอบติดตั้งกับตัวเครื่องไว้เพื่อเตรียมใช้งานในครั้งต่อไป

4.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 4.3.1 มะขามเปียก
- 4.3.2 น้ำสะอาด
- 4.3.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 4.3.4 เทอร์โมมิเตอร์
- 4.3.5 ฝาทำความสะอาด
- 4.3.6 ถังมือยาง
- 4.3.7 นาฬิกาจับเวลา

4.4 วิธีการทดลอง

- 4.4.1 จัดเตรียมมะขามเปียกที่จะทำการทดลอง
- 4.4.2 นำมะขามเปียกที่จะทำการทดลองมาผสมกับน้ำ โดยจะทำการทดลองในอัตราส่วนมะขามเปียก 50 กิโลกรัม ผสมกับน้ำสะอาด 50 ลิตร
- 4.4.3 เทน้ำมะขามเปียกลงในถังกวน
- 4.4.4 ชั่งถังแก๊สที่จะใช้ในการกวนและบันทึกค่าไว้
- 4.4.5 ปรับตั้งอุณหภูมิที่จะใช้ในการกวนที่ 80 องศาเซลเซียส และเวลาที่จะให้ทำการกวนต่อหลังจากอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส แล้วกวนต่ออีก 15 นาที
- 4.4.6 ทำการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำที่ถังชั้นนอกและอุณหภูมิของน้ำมะขามเปียกทุกๆ 10 นาที
- 4.4.7 หลังจากทำการกวนเสร็จสิ้นตรวจสอบดูความเสียหายของน้ำมะขามเปียก
- 4.4.8 ทำการชั่งน้ำหนักของถังแก๊สหลังจากการกวน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลที่จดบันทึกไว้ก่อนทำการกวนเพื่อนำไปหาปริมาณของแก๊สที่ใช้ในการกวนแต่ละครั้ง

4.5 ขั้นตอนในการทดลอง

1. มะขามเปียกที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดเตรียมมะขามเปียกที่จะใช้ในการกวน

1. การผสมมะขามเปียกกับน้ำ



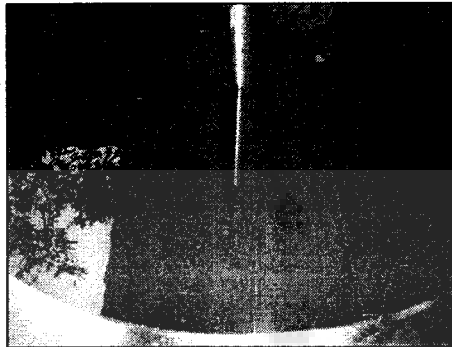
รูปที่ 4.2 แสดงการกวนเพื่อแยกเมล็ดและกากออกจากเนื้อมะขาม

3. ขั้นตอนการกรองและแยกกากออกจากร้าน้ำมะขาม



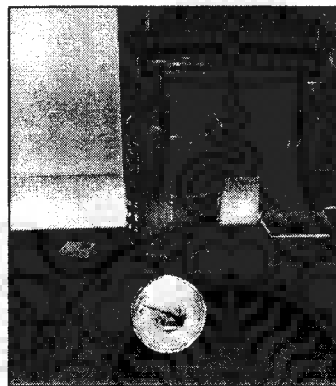
รูปที่ 4.3 แสดงการกรองน้ำมะขาม

4. เทน้ำมะขามเปียกที่ผ่านการกรองแล้วลงในถังกวน



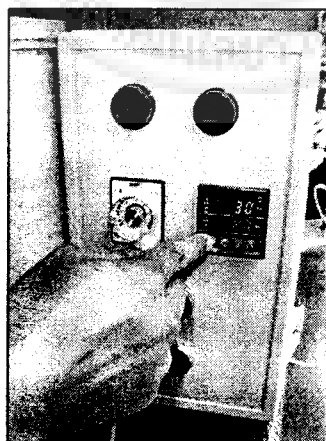
รูปที่ 4.4 แสดงน้ำมะขามที่จะทำการกวน

5. ทำการชั่งน้ำหนักแก๊สก่อนทำการกวน



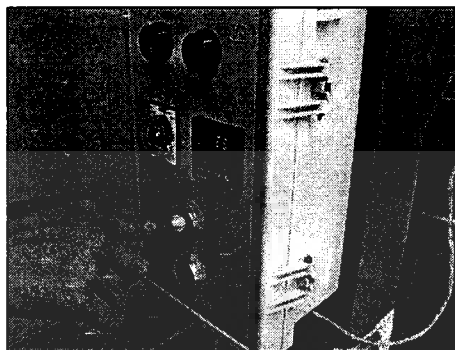
รูปที่ 4.5 แสดงการชั่งน้ำหนักแก๊ส

6 ทำการตั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกวน



รูปที่ 4.6 แสดงการตั้งอุณหภูมิและเวลาในการทดลอง

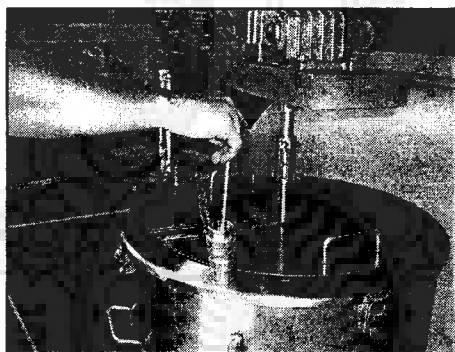
7. เปิดสวิตช์ Start ของเครื่องกวนแล้วสังเกตไฟแสดงการทำงาน



รูปที่ 4.7 แสดงการเดินเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

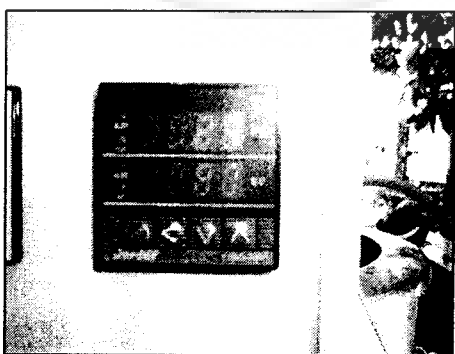
8. จุดแก๊สที่อยู่ใต้ถังกวน

9. ทำการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำถังนอก



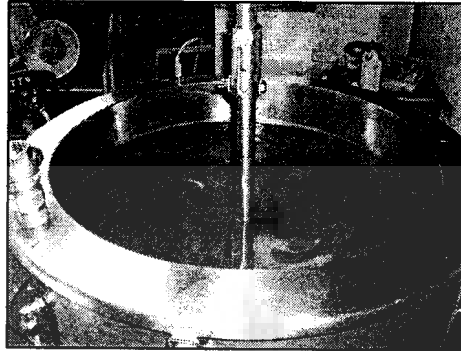
รูปที่ 4.8 แสดงการวัดอุณหภูมิถังนอก

10. ทำการวัดอุณหภูมิน้ำมะขามเปียก



รูปที่ 4.9 แสดงการวัดอุณหภูมิน้ำมะขามเปียก

11. ขณะทำการกวนน้ำมะขามเปียก



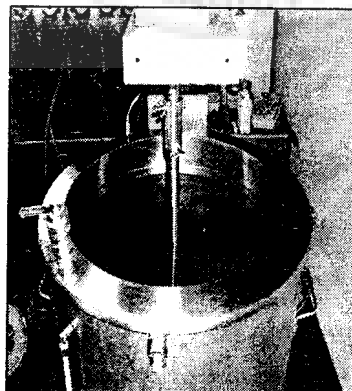
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะการกวนน้ำมะขามเปียก

12. หลังจากการกวนเสร็จสิ้นทำการชั่งแก๊สอีกครั้ง



รูปที่ 4.11 แสดงการชั่งน้ำหนักแก๊ส

13. น้ำมะขามเปียกที่ทำการกวนเสร็จแล้ว



รูปที่ 4.12 แสดงน้ำมะขามเปียกที่กวนเสร็จแล้วพร้อมบรรจุขวด

4.6 ผลการทดลอง

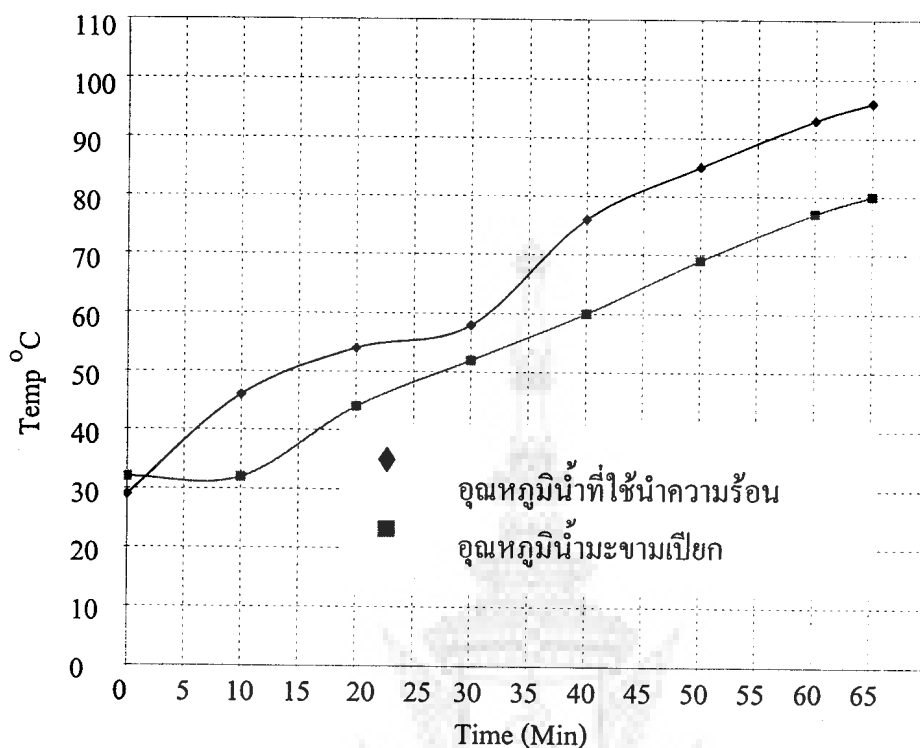
4.6.1 การทดลองครั้งที่ 1

วัตถุดิบที่ใช้ทดลอง	น้ำมะขามเปียก จำนวน 70 กิโลกรัม
อุณหภูมิภายนอกก่อนทำการทดลอง	30 °C
อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการนำความร้อน	29 °C
อุณหภูมิของน้ำมะขามเปียก	32 °C
น้ำหนักของแก๊สก่อนทำการทดลอง	31.0 กิโลกรัม
น้ำหนักของแก๊สหลังทำการทดลอง	30.3 กิโลกรัม

จากการทดลองกวนน้ำมะขามเปียกจำนวน 70 กิโลกรัม ใช้เชื้อเพลิงจำนวน 0.7 กิโลกรัมเวลาที่ใช้ในการกวน 65 นาที ความเสียหายของน้ำมะขามเปียกหลังจากการกวนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = 0 %

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการนำความร้อน °C	อุณหภูมิของน้ำมะขามเปียก °C
0	29	32
10	46	32
20	54	44
30	58	52
40	76	60
50	85	69
60	93	77
65	96	80



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการกวนในครั้งที่ 1

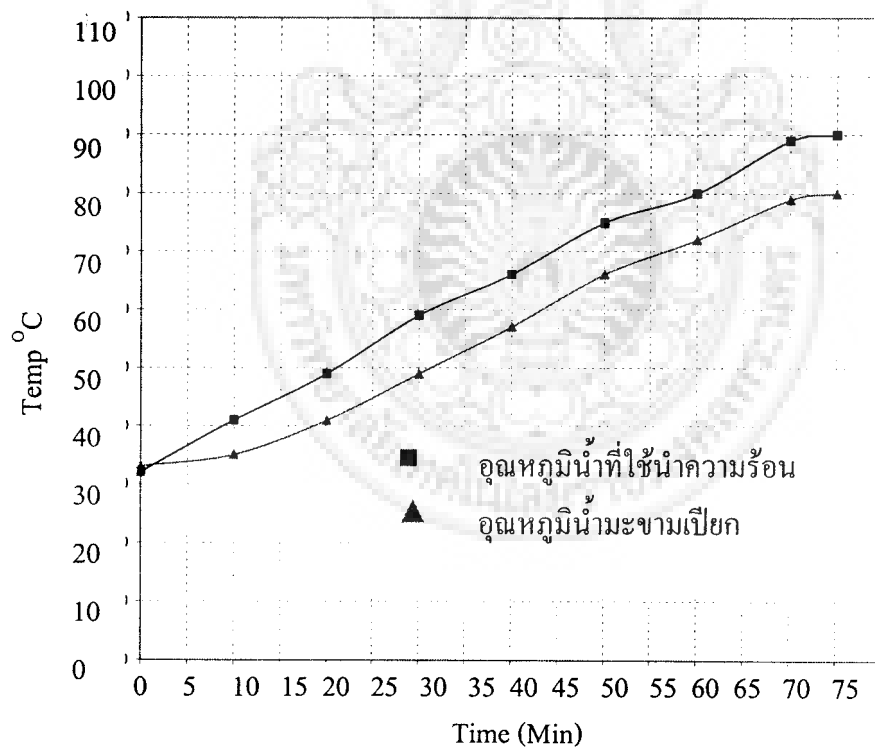
4.6.2 การทดลองครั้งที่ 2

วัตถุดิบที่ใช้ทดลอง	น้ำมะขามเปียก จำนวน 100 กิโลกรัม
อุณหภูมิภายนอกก่อนทำการทดลอง	33 °C
อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการนำความร้อน	32 °C
อุณหภูมิของน้ำมะขามเปียก	33 °C
น้ำหนักของแก๊สก่อนทำการทดลอง	30.0 กิโลกรัม
น้ำหนักของแก๊สหลังทำการทดลอง	28.7 กิโลกรัม

จากการทดลองกวนน้ำมะขามเปียกจำนวน 100 กิโลกรัม ใช้เชื้อเพลิงจำนวน 1.3 กิโลกรัม เวลาที่ใช้ในการกวน 75 นาที ความเสียหายของน้ำมะขามเปียกหลังจากการกวนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = 0 %

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำที่ใช้น้ำความร้อน °C	อุณหภูมิน้ำมะขามเปียก °C
0	32	33
10	41	35
20	49	41
30	59	49
40	66	57
50	75	66
60	80	72
70	89	79
75	90	80



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการกวนในครั้งที่ 2

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

จากที่ได้ไปศึกษาถึงเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกที่ได้ใช้งานอยู่จริงที่โรงงานได้พบถึงปัญหาเกี่ยวกับการไหม้ของน้ำมะขามเปียกและความไม่สะดวกในการปฏิบัติงานในการกวน จึงได้นำปัญหามาศึกษาเพื่อปรับปรุงแก้ไข และสร้างเครื่องกวนน้ำมะขามเปียกขึ้นโดยใช้เป็นถัง 2 ชั้นใช้น้ำเป็นตัวนำความร้อนเพื่อลดการไหม้ของตัวน้ำมะขามเปียก และใช้การวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลมาควบคุมการทำงานของเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

จากการทดลองกวนน้ำมะขามเปียกในปริมาณ 70 กิโลกรัม โดยให้อุณหภูมิของมะขามเปียกอยู่ที่ 80 °C ใช้ระยะเวลาในการกวน 65 นาที ใช้ปริมาณแก๊ส 0.7 กิโลกรัม ผลปรากฏว่าแก้ปัญหาการไหม้ของตัวน้ำมะขามเปียกได้ และยังมีความสะดวกในการใช้งาน โดยควบคุมการทำงานโดยใช้คนเพียงคนเดียวและยังสามารถถอดประกอบได้จึงง่ายต่อการทำความสะอาด อีกทั้งตัวเครื่องมีขนาดเหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือกลุ่มแม่บ้านที่ต้องการแปรรูปอาหาร

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

5.2.1 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและยังสามารถเปลี่ยนแปลงแหล่งพลังงานความร้อนจากการใช้แก๊สมาเป็นการใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าแทนได้

5.2.2 สารที่เป็นตัวนำความร้อนสามารถเปลี่ยนใช้สารที่มีจุดเดือดที่สูงขึ้น เพื่อป้องกันการระเหยของสารตัวนำได้

5.2.3 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของการกวนที่สูงขึ้นควรนำฉนวนหุ้มที่ถังใบนอกเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

5.2.4 เครื่องกวนนี้ยังสามารถนำมาปรับปรุงเพื่อให้กวนวัตถุดิบอย่างอื่นได้อีก

บรรณานุกรม

วริทธิ์ อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1.

กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2546.

ไพโรจน์ ทรัพย์เจริญกุล. การวิเคราะห์และการปรับปรุงเครื่องกล. มหาวิทยาลัยสยาม

มนตรี พิรุณเกษตร, การถ่ายเทความร้อน. คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 3, มกราคม 2545



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การคำนวณจุดคุ้มทุน



ภาคผนวก ก การคำนวณจุดคุ้มทุน

$$\text{ต้นทุนคงที่} = 30,000 \text{ บาท}$$

ต้นทุนผันแปร

$$\text{ค่าแรง} = \frac{260 \text{ บาท/วัน}}{300 \text{ kg/วัน}} = 0.86 \text{ บาท/kg}$$

มะขาม กิโลกรัมละ 30 บาท

$$\text{ค่ามะขาม} = \frac{4,500 \text{ บาท/วัน}}{300 \text{ kg/วัน}} = 15 \text{ บาท/kg}$$

ไฟฟ้า 3.7 บาทต่อหน่วย

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \frac{9.522 \text{ บาท/วัน}}{300 \text{ kg/วัน}} = 0.0317 \text{ บาท/kg}$$

แก๊ส 260 บาทต่อถัง 15 กิโลกรัม

$$\text{ค่าแก๊ส} = \frac{67.5 \text{ บาท/วัน}}{300 \text{ kg/วัน}} = 0.225 \text{ บาท/kg}$$

$$\text{ค่าบำรุง} = \frac{11.36 \text{ บาท/วัน}}{300 \text{ kg/วัน}} = 0.037 \text{ บาท/วัน}$$

ค่าเสื่อมสภาพของเครื่องจักรคิดเป็นร้อยละ 10 ต่อปี

$$= \frac{3,000 \text{ บาท/ปี}}{264 \text{ วัน/ปี} \times 300 \text{ kg/วัน}}$$

$$= 0.037 \text{ บาท/kg}$$

รายได้ที่ได้จากเครื่องกวน

$$= 100 \text{ บาท/kg}$$

กำไรที่ได้จากเครื่องกวน

$$= \text{รายได้} - \text{รายจ่าย}$$

$$= 100 - 0.86 - 15 - 0.0317 - 0.225 - 0.037 - 0.037$$

$$= 83.809 \text{ บาท/kg}$$

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{มูลค่าลงทุน}}{\text{กำไร}}$$

$$= \frac{30,000}{83.809}$$

$$\text{ต้องการมะขามจำนวน} = 357.95 \text{ kg} \quad \text{ถึงจะคุ้มทุน}$$

1 วันสามารถกวนมะขามเปียกได้ 300 kg

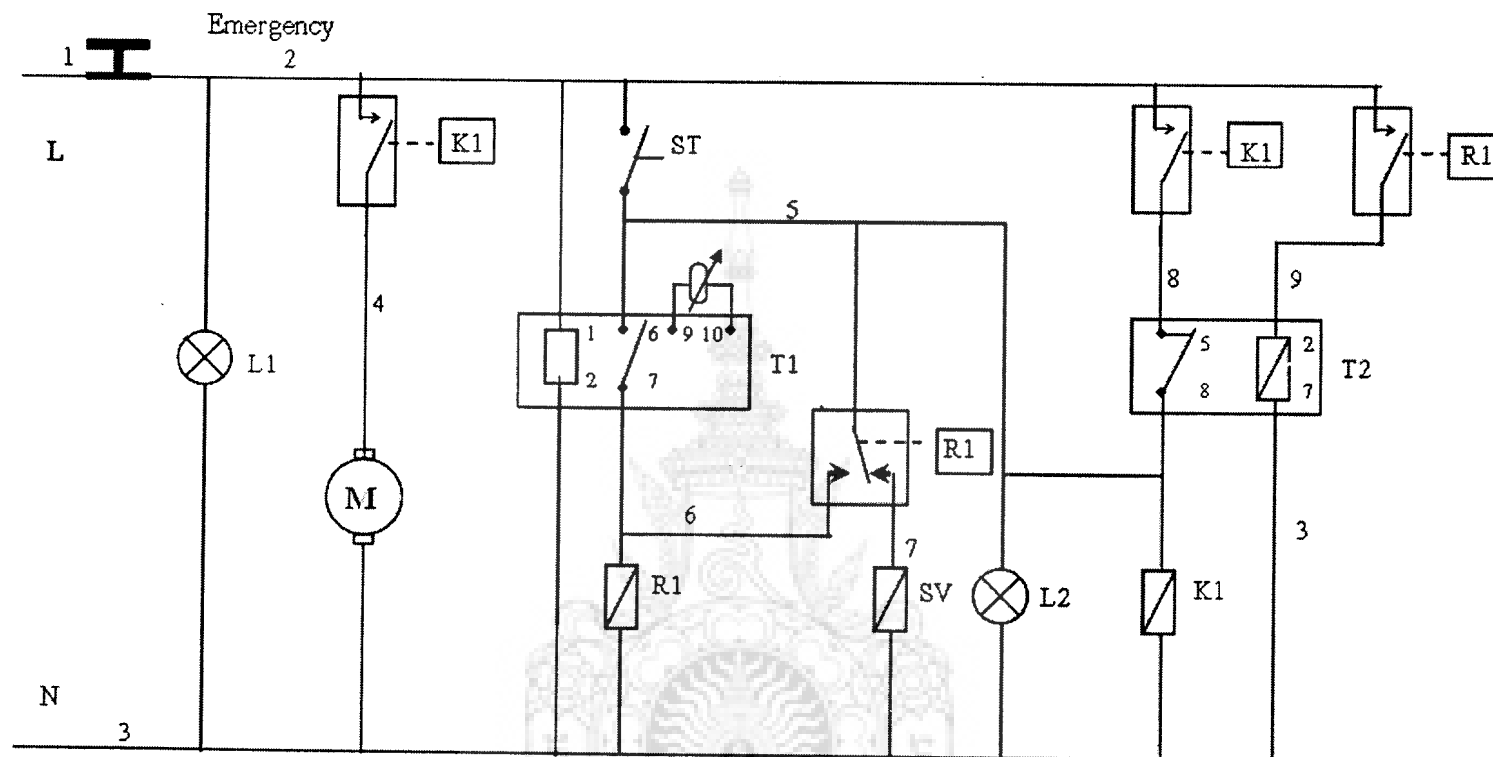
$$\text{จะต้องทำการกวน} = \frac{357.95}{300}$$

$$= 1.193 \text{ วัน}$$



ภาคผนวก ข
วงจรไฟฟ้า





- K1 = Magnetic switch for M
 L1 = Power lamp red
 T1 = Temperature control
 S1 = Start Switch
 R1 = Relay
 L2 = Operation lamp
 T2 = Time delay motor
 SV = Solenoid valve for LPG



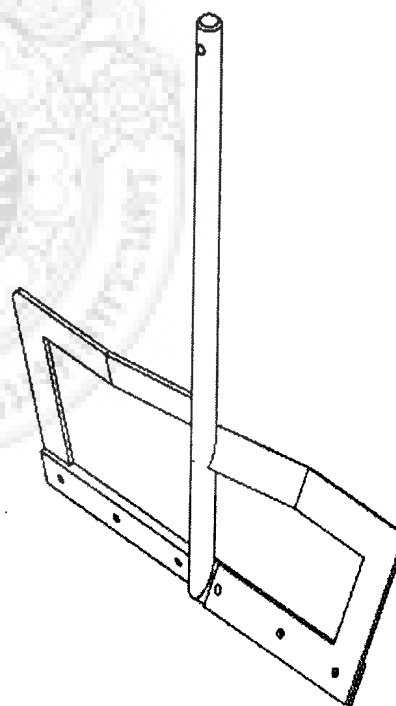
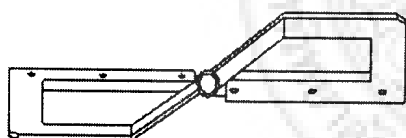
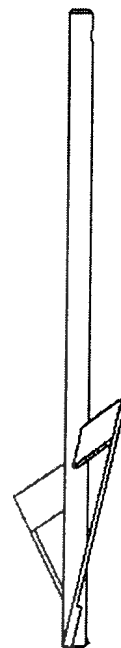
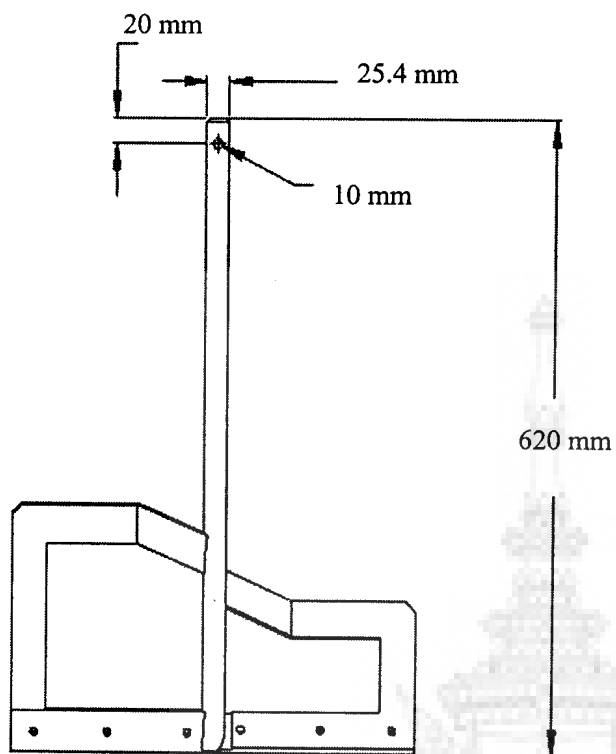
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

ผู้เขียน	นายวรวิทย์ วรรณวิน
ผู้ออกแบบ	นายวรวิทย์ วรรณวิน
ผู้ตรวจ	นายวรวิทย์ วรรณวิน

แบบเครื่องกวนน้ำ
 มะขามเปียก
 Tamarind Mixing Machine

ภาคผนวก ค
แบบโครงสร้างเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก





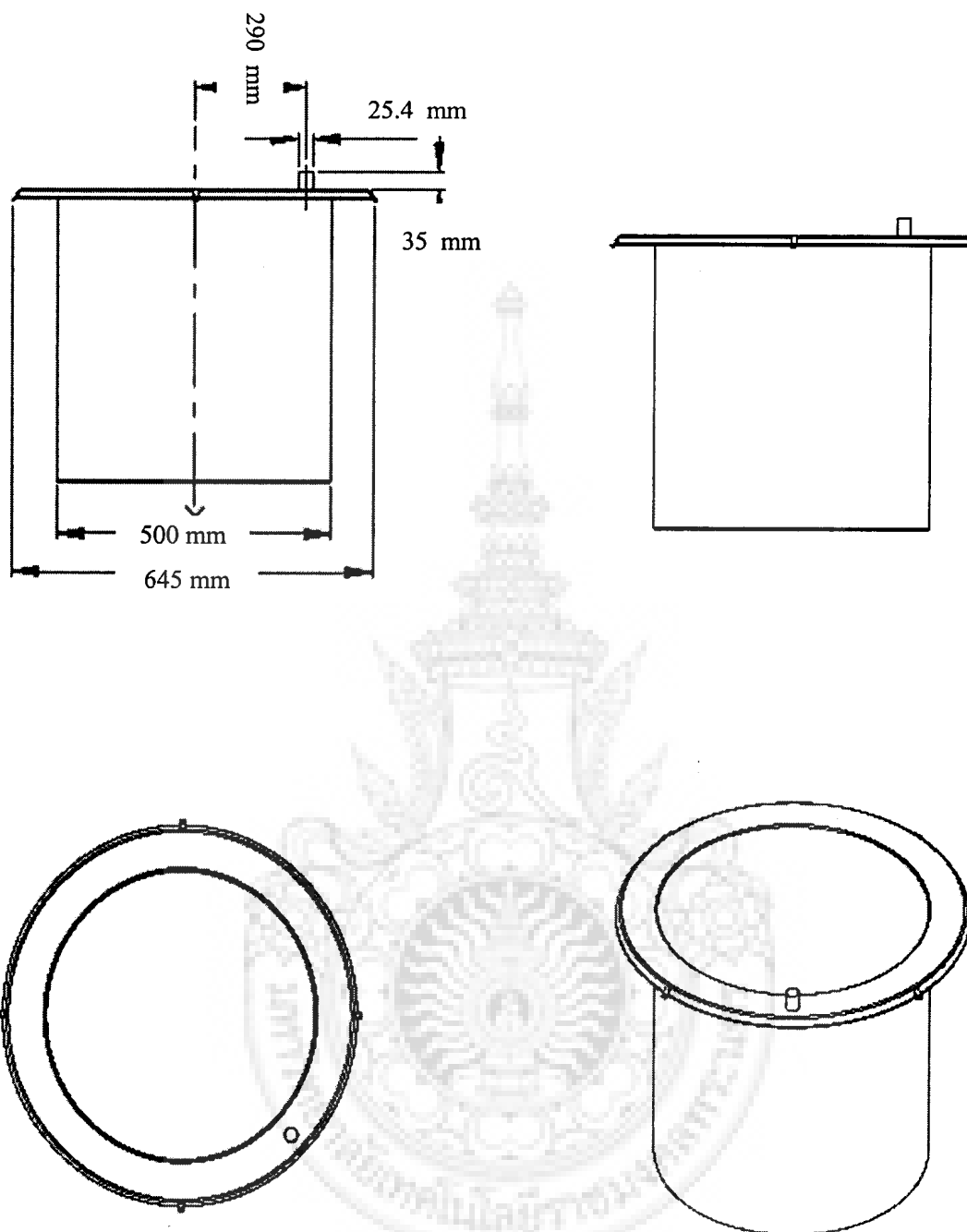
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

ผู้เขียน นายวรวิทย์ วรรณวิน

ผู้ออกแบบ นายวรวิทย์ วรรณวิน

ผู้ตรวจ นายวรวิทย์ วรรณวิน

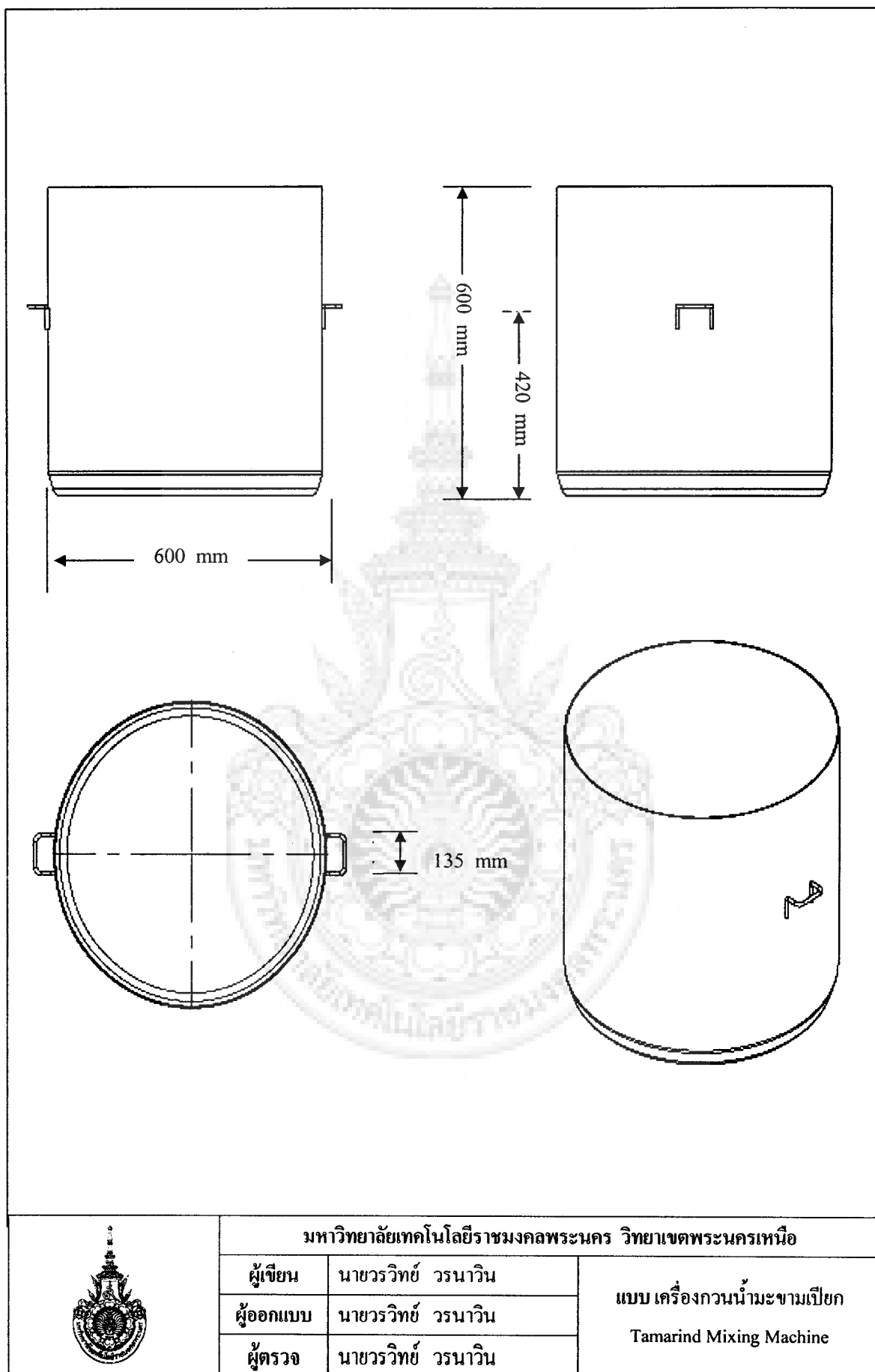
แบบ เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก
Tamarind Mixing Machine

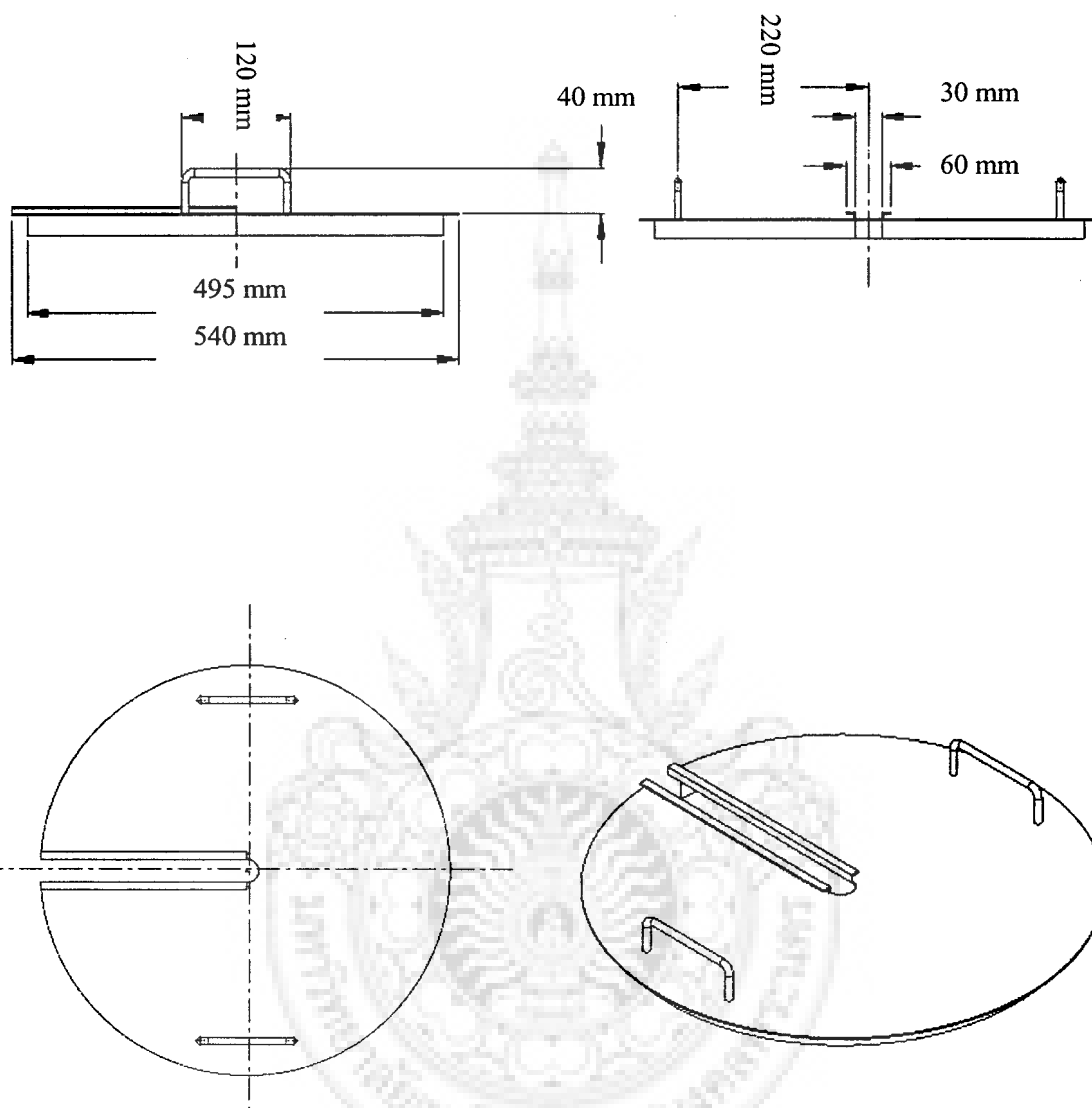


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

ผู้เขียน	นายวรวิทย์ วรรณวิน
ผู้ออกแบบ	นายวรวิทย์ วรรณวิน
ผู้ตรวจ	นายวรวิทย์ วรรณวิน

แบบ เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก
Tamarind Mixing Machine





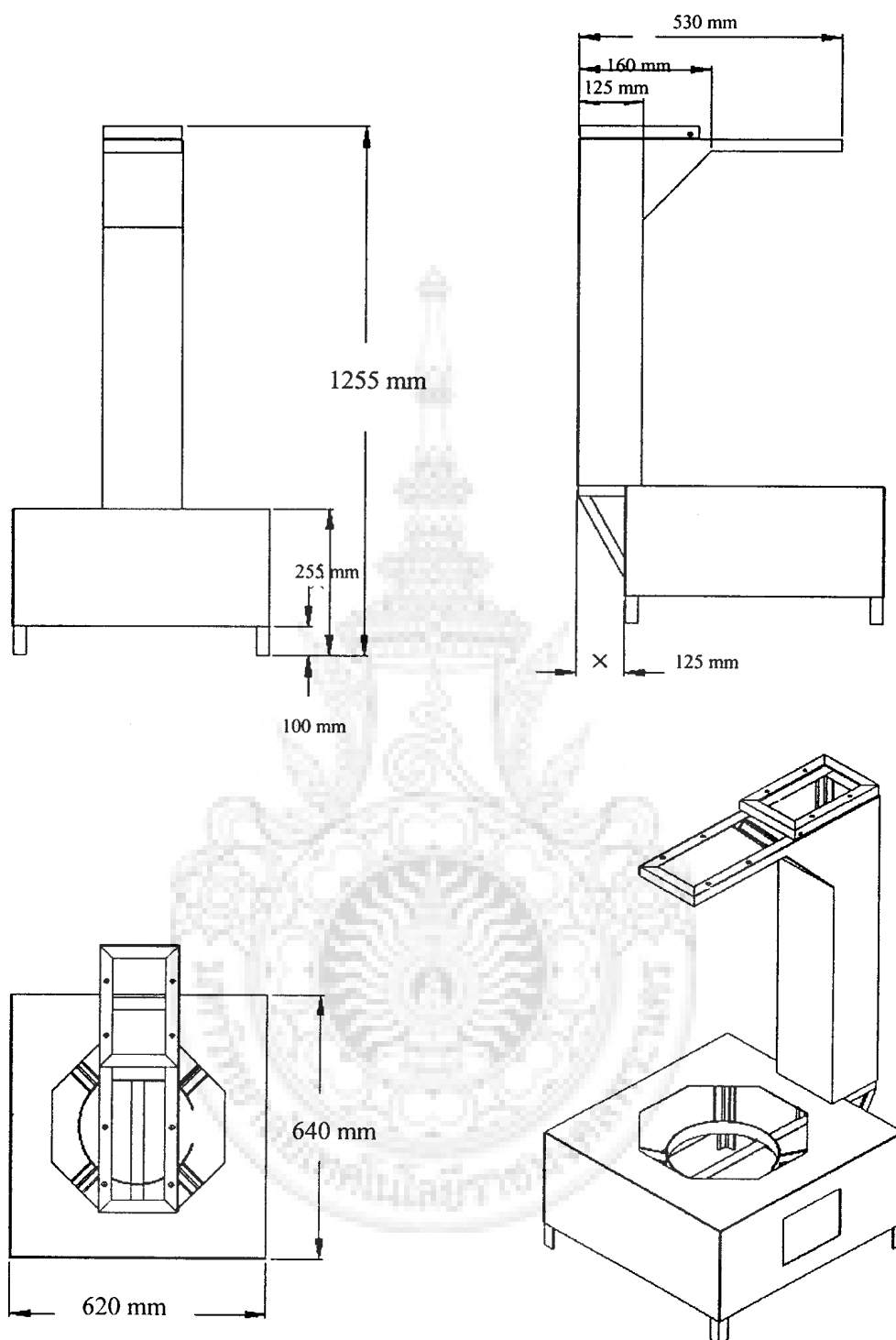
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

ผู้เขียน นายวรวิทย์ วรรณวิน

ผู้ออกแบบ นายวรวิทย์ วรรณวิน

ผู้ตรวจ นายวรวิทย์ วรรณวิน

แบบ เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก
Tamarind Mixing Machine



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

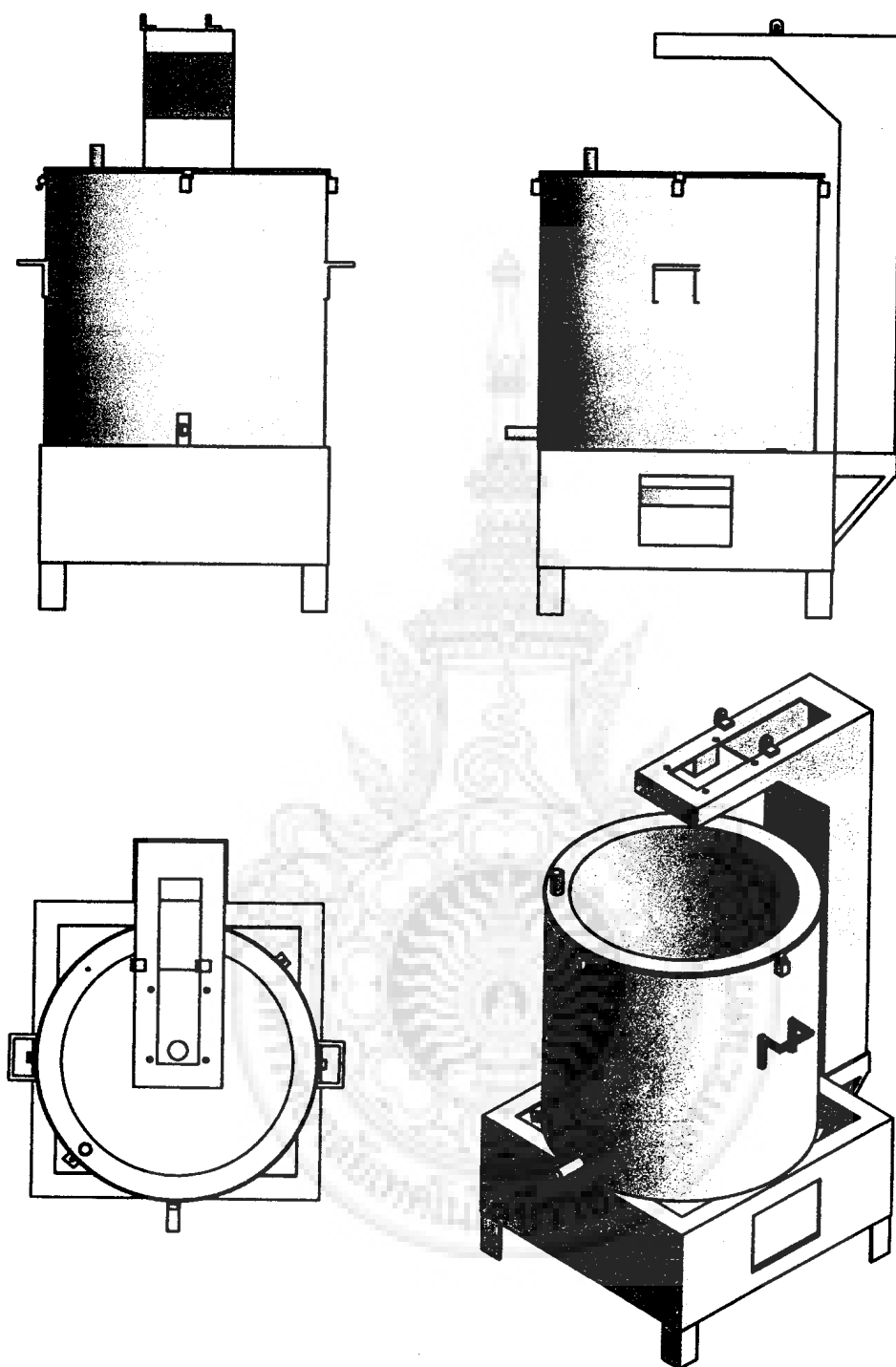
ผู้เขียน นายวรวิทย์ วรรณวิน

ผู้ออกแบบ นายวรวิทย์ วรรณวิน

ผู้ตรวจ นายวรวิทย์ วรรณวิน

แบบ เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก

Tamarind Mixing Machine



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ

ผู้เขียน	นายวรวิทย์ วรรณวิน
ผู้ออกแบบ	นายวรวิทย์ วรรณวิน
ผู้ตรวจ	นายวรวิทย์ วรรณวิน

แบบ เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก
Tamarind Mixing Machine

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นาย วรวิทย์ วรรณวิน
ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) MR.VORAWIT VORANAWIN
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1002 02319 320
3. ตำแหน่งบริหาร/วิชาการ ที่เป็นปัจจุบัน
ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ ระดับ 7 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
4. หน่วยงานที่สังกัด
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล 1381 ถ.พหลุสงคราม เขตบางซื่อ กทม.10800
โทรศัพท์ 02-9132424 ต่อ 138 โทรสาร 02-9132424 ต่อ 138
E-mail: vorawit_nbk@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
พ.ศ.2540 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คอ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
 - 6.1 Safety Engineering
 - 6.2 Vehicle Electrical and Electronics systems