สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE MACHINE FOR CONCENTRATED SOUP BY EVAPORATIVE VACUUM SYSTEM

นางสาวนิษฐา คีหนู
นางสาวเมธิณี บุญรอด
นางสาวราวินี สุวรรณรงค์

สนง.
ย 226 ก
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 82973
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2551

b 11958716
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้น
แบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE MACHINE
FOR CONCENTRATED SOUP BY EVAPORATIVE VACUUM SYSTEM

โดย

นางสาวขนิษฐา ดีหนู

นางสาวเมธิณี บุญรอด

นางสาววราวินี สุวรรณรงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำซุบเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE MACHINE FOR CONCENTRATED SOUP BY EVAPORATIVE VACUUM SYSTEM

ผู้จัดทำ

1.นางสาวขนิษฐา ดีหนู รหัสประจำตัว 47010067

2.นางสาวเมธิณี บุญรอด รหัสประจำตัว 47010596

3.นางสาวราวินี สุวรรณรงค์ รหัสประจำตัว 47010630

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ณัตวิภา เจียระไนวชิระ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำซุบเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

นางสาว ขนิษฐา ดีหนู 47010067
นางสาว เมธิณี บุญรอด 47010596
นางสาว ราวินี สุวรรณรงค์ 47010630
ผศ.ดร.ณัตวิภา เจียระไนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ศึกษา การออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ตัวเครื่องประกอบด้วย 1) ถังกวน 2) ใบกวนและมอเตอร์ 3) ฮีตเตอร์ 4) ปั๊มน้ำ และปั๊มสุญญากาศ และ 5) condenser รายละเอียดของตัวเครื่องมีดังนี้ ถังกวนสามารถบรรจุน้ำซุปได้ 5 ลิตร ความเร็วรอบใบกวน5,10,50,100,200 และ 400 rpm ฮีตเตอร์ขนาด 1,500 Watt ช่วงความดันสุญญากาศสัมบูรณ์ ที่ทำได้คือ 50-760 mmHg ปั๊มสุญญากาศมีขนาด 4.5 m^3/hr ในการทดลอง นำน้ำซุปมาศึกษาคุณสมบัติ ได้แก่ สี ,ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids) ซึ่งทดลองทำให้เข้มข้นที่ความเร็วรอบใบกวน 100 และ 200 rpm โดยการติดแผ่นกั้น (Baffle) ที่ถังกวน ที่ได้จากแบบจำลองการกวนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Star CD โดยความดันที่ใช้ 180,280,335 และ760 mmHg เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหยน้ำซุป พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการระเหยน้ำซุป คือ ที่ความเร็วรอบใบกวน 200 รอบต่อนาที ที่ความดัน 180 mmHg อัตราการระเหย 0.2883 กิโลกรัม/ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์น้ำที่ระเหยออกไปเป็น 23.81% โดยน้ำหนัก คุณสมบัติของน้ำซุป และน้ำซุปเข้มข้นเป็น ดังนี้ L* เท่ากับ 68.315 และ 66.235 a* เท่ากับ -0.415 และ -0.295 b* เท่ากับ 13.980 และ 15.110 ตามลำดับ ค่าความสามารถของของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids) เท่ากับ 1.175 และ 2.150 (ต่อน้ำหนักที่หายไป 1000 g), ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE MACHINE FOR CONCENTRATED SOUP BY EVAPORATIVE VACUUM SYSTEM

Kanittha Deenu 47010067

Maytinee Boonrawd 47010596

Rawinee Suwannarong 47010630

Assist. Prof. Nuthvipa Jayranaiwachira Advisor

Assoc. Prof. Panmanns Sirisomboon Co-Advisor

Abstract

The project was to design and development of the machine for concentrated soup by evaporative vacuum system. The machine composed of 1) agitating tank 2) stirring paddle with motor 3) heater and thermometer 4) condenser 5) vacuum pump and water pump. The agitating tank can contain at the maximum of 5 liters soup. The stirring paddle rotational speed was 5, 10, 50, 100, 200 and 400 rpm. Heater power was 1500 watts. Range of vacuum absolute pressure was 50 to 760 mmHg. The vacuum pump flow rate was 4.5 m^3/hr. The pump was driven by ¼ hp motor. At beginning of the test, the properties of the soup (color and total soluble solid) were measure. Concentrating process was studied at different condition (100 and 200 rpm stirrer rotational speeds with baffle that simulated by Star-CD) at 760, 335, 280 and 180 mmHg to indicate the suitable condition which was found that at 200 rpm stirrer speed and 180 mmHg. At this condition, the percentage of water evaporation was 23.81% by weight and evaporation rate was 0.2883 kg/hr. The properties of fresh, concentrated soup were L* of 68.315 , 66.235 ; a* of -0.415, -0.295; b* of 13.980, 15.110; total soluble solid of 1.175,2.150 (per 1000g of water loss) ,respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้อาจจะไม่สำเร็จ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และ คำแนะนำจากหลายๆ ฝ่าย ด้วยกัน

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัตวิภา เจียระไนวชิระซึ่งเป็นบุคคลที่เป็นแรงบันดาลใจในการทำโครงงานเรื่องนี้, ให้คำแนะนำในการทำโครงงาน, ผลักดันให้เกิดความก้าวหน้า, ตรวจสอบการทำงาน และดูแลเอาใจใส่การทำโครงงาน ตั้งแต่เริ่มคิดหัวข้อทำโครงงาน จนโครงงานเล่มนี้เสร็จสิ้น

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ที่เป็นทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำแนวทางการทำโครงงาน, ตรวจสอบการทำงาน และ ให้กำลังใจในการทำโครงงานเล่มนี้เสมอมา

ขอขอบคุณ คณาอาจารย์ทุกท่าน ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สั่งสอนอบรมมาอย่างดี ซึ่งได้นำความรู้ที่อาจารย์สั่งสอนมาใช้ในการทำโครงงานเล่มนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาต่างๆ และอำนวยความสะดวกให้โครงงานเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณร้านพีแอลสเตนเลส ที่ให้คำปรึกษา และ อำนวยความสะดวกในการสร้างถังกวนให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และ น้องๆ ที่ได้ร่วมทุกข์ ร่วมสุข ร่วมเรียน ร่วมทำงาน อีกทั้งยังเป็นที่ปรึกษา และ เป็นกำลังใจให้ต่อสู้กับอุปสรรคทั้งเรื่องงาน และ เรื่องส่วนตัวเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณอย่างสุดซึ้ง แด่ บิดา มารดา ของข้าพเจ้า ที่ได้ให้ชีวิต ให้การเลี้ยงดู ให้การศึกษา และ เป็นทุกสิ่งทุกอย่าง ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้มีวันนี้ ข้าพเจ้าจะขอระลึกพระคุณอันสุดประมาณ และ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัย โปรดคลบันดาล ปกปักษ์รักษาให้ทุกท่านที่ข้าพเจ้าเอ่ยถึงมีสุขภาพ และ พลานามัยสมบูรณ์ แข็งแรง และ มีความสุขตลอดไป

ขอขอบคุณ

นางสาวขนิษฐา ดีหนู
นางสาวเมธิณี บุญรอด
นางสาวราวินี สุวรรณรงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	4
1.4 ขอบเขต และ ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎี และ สมการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำซุป	5
2.2 คุณสมบัติของของเหลว	6
2.2.1 ความหนืด (Viscosity)	6
2.2.2 ชนิดของของเหลวแบ่งตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์	7
2.3 การกวนของเหลว	12
2.3.1 จุดประสงค์ของการกวน	12
2.3.2 ชุดถังกวน	12
2.3.3 การป้องกันการเกิดน้ำวน (Vortex)	19
2.3.4 มาตรฐานการออกแบบ	20
2.3.5 รูปแบบการไหล	21
2.3.6 ประเภทของเครื่องกวน	23
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน	24
2.4.1 การนำความร้อน (Conduction)	24
2.4.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหย	25
2.4.3 หลักการทำระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum evaporating)	32
2.5 ทฤษฎีการออกแบบระบบเครื่องทำระเหยที่ความดันต่ำ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

2.5.1 การออกแบบถังภาชนะความดันผนังบาง (thin – walled pressure vessels) 32

2.5.2 การคำนวณแรงบิด 33

2.5.3 กำลังงานที่ใช้ในการกวนของเหลว 34

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องทำระเหยที่ความดันสุญญากาศ 42

3.1 แนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์โดยใช้สุญญากาศระหว่างการทำระเหยน้ำซุปใสเข้มข้น 42

3.2 การออกแบบเครื่องทำระเหยที่ความดันสุญญากาศระหว่างการทำน้ำซุปใสเข้มข้น 42

3.3 การออกแบบถังกวน 42

3.3.1 ขนาดถัง 42

3.3.2 ความหนาถัง 44

3.3.3 ออกแบบใบกวน 44

3.3.4 กำลังมอเตอร์ 45

3.3.5 ฉนวน 46

3.3.6 ตลับลูกปืน 46

3.4 แบบจำลองชุดถังผสมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 50

บทที่ 4 อุปกรณ์การทดลองและการออกแบบการทดลอง 51

4.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 51

4.1.1 อุปกรณ์การทดลอง 51

4.1.2 การออกแบบการทดลอง 51

4.2 การทดลองจากเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้น 54

4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง 54

4.2.2 วิธีการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ 56

4.2.3 การใช้เครื่องทำระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ 56

4.2.4 การออกแบบการทดลอง 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

4.2.4.1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหยน้ำซุป 57

4.2.4.2 การออกแบบการทดลองเพื่อทำการทดลองที่ความดัน 180 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm 58

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 59

5.1 ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 59

5.2.1 ผลการจำลองการกวนน้ำซุป แบบแสดงค่าความเร็ว (Velocity) 59

5.2.2 ผลการจำลองการกวนน้ำซุป แบบแสดงค่าความความดัน (Pressure) 61

5.2 การทดลองที่ 1 การทดลองการทำระเหยน้ำซุปเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุด63

5.3 การทดลองที่ 2 การหาอัตราการระเหยของน้ำซุปจากสภาวะที่ดีที่สุด 67

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผล 70

6.1 สรุปผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 70

6.2 สรุปผลการทดลอง 70

6.3 สรุปผลการทดลองเพื่อหาอัตราการระเหยของน้ำซุปจากสภาวะที่เหมาะสม 70

6.4 ข้อเสนอแนะ 71

ภาคผนวก 72

(ก.) คุณสมบัติของของเหลว 73

(ข.) คุณสมบัติของใบกวนชนิดต่างๆ 75

(ค.) คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม 78

(ง.) ตารางแสดงคุณสมบัติของตลับลูกปืน ยี่ห้อ SKF 79

(จ.) ผลการทดลอง 80

เอกสารอ้างอิง 102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้าที่**

ตารางที่ 2.1 อัตราเฉือนในกระบวนการผลิตอาหาร 11
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของปริมาตร, รัศมีถัง และ ความสูงถัง 43
ตารางที่ 3.2 ตารางสรุปผลการออกแบบถังกวน 47
ภาคผนวก
ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงการเปลี่ยนหน่วยความหนืดของของเหลวแบบไดนามิกส์ 73
ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงค่าความหนืดของน้ำที่มีผลเปลี่ยนแปลง 74
ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป
ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมบางชนิด 78
ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของตลับลูกปืน ยี่ห้อ SKF 79
ตารางที่ จ.1 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 1 80
ตารางที่ จ.2 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 2 81
ตารางที่ จ.3 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 3 82
ตารางที่ จ.4 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 4 83
ตารางที่ จ.5 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 5 84
ตารางที่ จ.6 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 6 85
ตารางที่ จ.7 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 7 86
ตารางที่ จ.8 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 8 87
ตารางที่ จ.9 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็ง 88
ที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 1
ตารางที่ จ.10 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็ง 89
ที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 2
ตารางที่ จ.11 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็ง 90
ที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 3
ตารางที่ จ.12 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็ง 91
ที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 4
ตารางที่ จ.13 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็ง 92
ที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 5
ตารางที่ จ.14 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็ง 93
ที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้าที่
ตารางที่ จ.15	ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 7	94
ตารางที่ จ.16	ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 8	95
ตารางที่ จ.17	ตารางแสดงผลการทดลองในสภาวะที่ดีที่สุด ครั้งที่ 1	96
ตารางที่ จ.18	แสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ครั้งที่ 1	97
ตารางที่ จ.19	ตารางแสดงค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปครั้งที่ 1	98
ตารางที่ จ.20	ตารางแสดงผลการทดลองในสภาวะที่ดีที่สุด ครั้งที่ 2	99
ตารางที่ จ.21	แสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ครั้งที่ 2	100
ตารางที่ จ.22	ตารางแสดงค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปครั้งที่ 2	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้าที่**

รูปที่ 2.1 ความเร็วในการไหลเมื่อของไหลได้รับความเค้นเฉือน 6
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Newtonian Fluid 8
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Bingham plastic 8
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการไหลของของไหลประเภท Shear-thinning fluid 9
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการไหลของของไหลประเภท Shear thickening fluid 9
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการไหลของของไหล Pseudo-plastic fluid แบบ Power law 10
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการไหลแบบ Time-dependent non-Newtonian fluids 11
รูปที่ 2.8 ชุดถังกวนทั่วไป 13
รูปที่ 2.9 แสดงถังกวนแบบสี่เหลี่ยม ใบกวนแบบ Shape Ribbon Blender 13
รูปที่ 2.10 แสดงการไหลของของไหลแบบ Axial flow 14
รูปที่ 2.11 แสดงการไหลของของไหลแบบ Radial flow 14
รูปที่ 2.12 แสดงการไหลของของไหลแบบ Tangential flow 15
รูปที่ 2.13 แสดงใบกวนพื้นฐาน 16
รูปที่ 2.14 แสดงใบกวนแบบสมอเรือ 16
รูปที่ 2.15 แสดงใบกวนแบบเกลียวโปร่ง 17
รูปที่ 2.16 แสดงใบพัดแบบ 3 ใบมาตรฐาน 17
รูปที่ 2.17 แสดงใบกวนแบบกังหันชนิดใบตรง 18
รูปที่ 2.18 แสดงใบกวนแบบกังหันชนิดใบเอียง 18
รูปที่ 2.19 แสดงการป้องกันการเกิดน้ำวนโดยวิธีการเอียงใบกวน 19
รูปที่ 2.20 แสดงการป้องกันการเกิดน้ำวนโดยวิธีการให้จุดศูนย์กลางใบกวนอยู่ด้านข้าง 19
รูปที่ 2.21 แสดงการติดตั้งแผ่นกั้นที่ผนังของถังกวน 20
รูปที่ 2.22 การวัดขนาดถังกวน และ ใบกวน 21
รูปที่ 2.23 แสดงการไหลแบบหมุนวน 22
รูปที่ 2.24 แสดงการไหลตามแนวรัศมี 22
รูปที่ 2.25 แสดงเครื่องกวนแบบขับเคลื่อนโดยตรง 23
รูปที่ 2.26 แสดงเครื่องกวนแบบผ่านชุดเกียร์ 24
รูปที่ 2.27 แสดงการนำความร้อน และ การพาความร้อน ผ่านผนังทรงกระบอก 25
รูปที่ 2.28 Start operation ภายในเครื่องระเหย 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้าที่**

รูปที่ 2.29 กราฟดูริงค์ สำหรับน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อ 100 กรัมน้ำ 29

รูปที่ 2.30 การกำหนดตัวแปรเพื่อหากำลังงาน 34

รูปที่ 2.31 รูปแบบของ Power curve 36

รูปที่ 2.32 แสดงรูปแบบของกราฟเมื่อใช้ใบกวนแบต่างๆ 37

รูปที่ 2.33 กราฟแสดงอัตราแรงเฉือน ;k_s 39

รูปที่ 3.1 แบบถังกวน 48

รูปที่ 3.2 แบบใบกวน 48

รูปที่ 3.3 แบบฝาปิด 49

รูปที่ 3.4 แบบเพลา 49

รูปที่ 3.5 แสดงการประมวลผลของโปรแกรม Star-CD 50

รูปที่ 4.1 แสดงสัดส่วนของถังกวน 51

รูปที่ 4.2 แสดงสัดส่วนของใบกวน 52

รูปที่ 4.3 แสดงสัดส่วนของแผ่นกั้น 52

รูปที่ 4.4 แสดงสัดส่วนของการแบ่ง Grid ด้านใน 53

รูปที่ 4.5 แสดงการแบ่ง Grid ด้านนอก 54

รูปที่ 4.6 น้ำซุปไก่ 54

รูปที่ 4.7 ชุดถังกวนเพื่อผลิตน้ำซุปเข้มข้น 55

รูปที่ 4.8 เครื่อง Refractometer 55

รูปที่ 4.9 เครื่อง Color meter 55

รูปที่ 5.1 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความเร็ว ที่ความเร็วรอบ 50,100, 200,300 และ 400rpm แบบไม่มีแผ่นกั้น 59

รูปที่ 5.2 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความเร็ว ที่ความเร็วรอบ 50,100, 200,300 และ 400rpm แบบมีแผ่นกั้น 60

รูปที่ 5.3 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความดันที่ความเร็วรอบ 50,100, 200,300 และ 400rpm แบบไม่มีแผ่นกั้น 61

รูปที่ 5.4 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความดันที่ความเร็วรอบ 50,100, 200,300 และ 400rpm แบบมีแผ่นกั้น 62

รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 760 mmHg 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้าที่**

รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 335 mmHg 63
รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 280 mmHg 64
รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 180 mmHg 64
รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความเร็วรอบ 100 rpm 65
รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความเร็วรอบ 200 rpm 65
รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบค่า ผลต่าง ของค่าความสามารของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 66
หลังทำการระเหย-ก่อนทำการระเหย
รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปทุกสภาวะ 66
รูปที่ 5.13 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 200 rpm, 180 mmHg ครั้งที่ 1 และ 2 67
รูปที่ 5.14 แสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น 67
เมื่อทำการระเหยน้ำซุปทุกๆ 20 นาที
รูปที่ 5.15 ค่าสีของน้ำซุปก่อน และ หลังทำการระเหย ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 68
ภาคผนวก
รูปที่ จ.1 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 760mmHg, ความเร็วรอบ100rpm 80
รูปที่ จ.2 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 760mmHg, ความเร็วรอบ200rpm 81
รูปที่ จ.3 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 335mmHg, ความเร็วรอบ100rpm 82
รูปที่ จ.4 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 335mmHg, ความเร็วรอบ200rpm 83
รูปที่ จ.5 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 280mmHg, ความเร็วรอบ100rpm 84
รูปที่ จ.6 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 280mmHg, ความเร็วรอบ200rpm 85
รูปที่ จ.7 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 180mmHg, ความเร็วรอบ100rpm 86
รูปที่ จ.8 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 180mmHg, ความเร็วรอบ200rpm 87
รูปที่ จ.9 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 88
ที่ความดัน 760 mmHg, 100 rpm
รูปที่ จ.10 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 89
ที่ความดัน 760 mmHg, 200 rpm
รูปที่ จ.11 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 90
ที่ความดัน 335 mmHg, 200 rpm
รูปที่ จ.12 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 91
ที่ความดัน 335 mmHg, 200 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้าที่**

รูปที่ จ.13 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 92
ที่ความดัน 280 mmHg, 100 rpm
รูปที่ จ.14 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 93
ที่ความดัน 280 mmHg, 200 rpm
รูปที่ จ.15 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 94
ที่ความดัน 180 mmHg, 100 rpm
รูปที่ จ.16 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด 95
ที่ความดัน 180 mmHg, 200 rpm
รูปที่ จ.17 แสดงอัตราการระเหยของน้ำที่ความเร็วรอบ 200 rpm 96
ความดัน 180 mmHg ครั้งที่ 1
รูปที่ จ.18 แสดงความเข้มข้นของน้ำซุปที่เพิ่มขึ้นในการทดลองครั้งที่ 1 97
รูปที่ จ.19 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำซุป 98
ก่อนVacuum, หลังVacuum และ สีผสม ครั้งที่ 1
รูปที่ จ.20 แ สดงอัตราการระเหยของน้ำที่ความเร็วรอบ 200 rpm 99
ความดัน 180 mmHg ครั้งที่ 2
รูปที่ จ.21 แสดงความเข้มข้นของน้ำซุปที่เพิ่มขึ้นในการทดลองครั้งที่ 2 100
รูปที่ จ.22 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำซุป 101
ก่อนVacuum, หลังVacuum และ สีผสม ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

น้ำซุปใส เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอากระดูกสัตว์มาต้มกับน้ำ โดยใช้ความร้อนต่ำ เพื่อให้น้ำซุปมีความใส น่ารับประทาน เราสามารถนำน้ำซุปใสมาเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารประเภทก๋วยเตี๋ยว หม้อไฟ สุกี้ ต้มยำ หรือใช้เป็นน้ำผัดจานต่าง ๆ ช่วยให้น้ำผัดนั้นหอมและมีรสหวานกลมกล่อม โดยส่วนมากนิยมใช้กระดูกไก่ เนื่องจากเนื้อไก่มีกลิ่นหอม รสเนื้อไก่ดี เพราะมีความเป็นกรดและน้ำหวานในเลือดที่แทรกอยู่ตามเนื้อไก่ นอกจากนี้เนื้อไก่ยังมีสารประกอบที่ทำให้อาหารมีรสชาติเข้มข้นได้ดีกว่าเนื้อสัตว์อื่น ๆดังนั้นจึงนิยมนำโครงกระดูกไก่ไปต้มน้ำซุปไก่ โดยเคี่ยวน้ำซุปให้นาน ๆ เพื่อดึงรสน้ำซุปให้เข้มข้น คุณสมบัติพิเศษอีกอย่างของเนื้อไก่ คือดูดซับเครื่องปรุงรสเข้าไปซุ่มอยู่ในเนื้อได้ดี เมื่อกินจึงได้รสชาติจากเนื้อไก่เข้มข้นกว่าเนื้อสัตว์ประเภทอื่น ๆ เนื้อไก่นอกจากจะมีรสชาติอร่อยแล้ว ยังราคาถูกหาซื้อง่าย เป็นอาหารของทุกชนชั้นและยังทุกเชื้อชาติศาสนา

เนื้อไก่เป็นโปรตีนชั้นดี ในโปรตีนมีกรดอะมิโนหลายชนิด มีวิตามินเกลือแร่ครบครัน มีแคลอรีต่ำ กล้ามเนื้อไก่มีขนาดสั้น จึงทำให้ย่อยง่าย เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก ผู้ป่วย ผู้พักฟื้น ผู้สูงอายุ ตลอดจนเด็ก ๆ และหนุ่มสาว สารอาหารในเนื้อไก่มีโปรตีนและกรดอะมิโนสูงกว่าเนื้อสัตว์อื่น ๆ โปรตีนของเนื้อไก่มี 25 – 35 % เนื้อวัว 21 – 27 % เนื้อหมู 23 – 24 % เนื้อแกะ 21 – 24 % ไขมันของไก่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่าเป็ดและห่าน แสดงว่ามีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวน้อยกว่า และเนื้อไก่ยังมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงกว่าด้วย ไขมันไก่มักอยู่ตามหนังเป็นส่วนใหญ่ ถ้าไม่ต้องการ เพียงแต่ลอกหนังออกไป ก็จะได้โปรตีนล้วน ๆ ส่วนเกลือแร่ต่าง ๆ ในเนื้อไก่ ประกอบด้วยโซเดียม โปแตสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส กำมะถัน คลอรีน และไอโอดีน ซึ่งล้วนแต่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ซุปไก่หรือซุปโครงไก่ร้อนๆ ยังสามารถป้องกันหวัดได้ เพราะมีกรดอะมิโน ซิสทีน (cystine) หรือซิสเทอีน (cysteine) อยู่ กรดอะมิโนที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบกลุ่มนี้สามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแถวทางเดินหายใจตอนบนได้

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความตื่นตัวและดำรงชีวิตอย่างเร่งรีบเพื่อที่จะสามารถปรับเปลี่ยนให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมเมืองที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำซุปใสที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารของธุรกิจ แฟรนชายส์ (Franchise) จึงควรมีการผลิตโดยใช้ระยะเวลาอันสั้น แต่ยังคงคุณค่าทางอาหารและมีรสชาติดี ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการทำน้ำซุปใสให้ได้รสชาติที่ดีนั้น ต้องใช้ระยะเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำน้ำซุปใสเข้มข้น อาศัยหลักการของความดันโดยการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ทำให้จุดเดือดของน้ำซุปลดลง เป็นผลดีต่อการคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณค่าด้านต่างๆที่อาจถูกทำลายด้วยความร้อนสูง ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ยืนยันว่าการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมีผลดีกว่าการใช้ความดันปกติ ทำให้เพิ่มผลผลิต ช่วยลดพลังงานความร้อน และระยะเวลา ซึ่งการศึกษาผลของการใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศในการทำน้ำซุปใส ยังไม่มีผู้ใดศึกษามาก่อน

โครงงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้เครื่องระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศระหว่างการทำน้ำซุปใสเข้มข้นกับวิธีการระเหยในบรรยากาศปกติ และเพื่อออกแบบอุปกรณ์โดยใช้ความดันต่ำ กว่าบรรยากาศระหว่างการทำน้ำซุปใสเข้มข้น และประเมินความเป็นไปได้ในทางคณิตศาสตร์ในการใช้ระบบดังกล่าว เพื่องานอุตสาหกรรม

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยานุช ยศคำลือ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สุญญากาศในการแช่อิ่มว่านหางจระเข้ การออกแบบโดยใช้สุญญากาศก่อนการแช่อิ่ม และการประเมินความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้ระบบดังกล่าวเพื่ออุตสาหกรรมขนาดกลาง พบว่า ปริมาณการสูญเสียน้ำ (Water loss) น้อยกว่า มีการดูดซึมสารละลายออสโมติค(น้ำเชื่อม) มากขึ้น มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า มีความใสมากกว่า และดูน่ารับประทานเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแช่อิ่มที่บรรยากาศปกติ

ชัยยา นิปุณะและคณะ (2549) ได้ศึกษาการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผักผลไม้แบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศจากเครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศเดิม พบว่าการระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้ด้วยความดันต่ำกว่าบรรยากาศเป็นวิธีการที่จะรักษาคุณสมบัติต่างๆของเนื้อและน้ำผักผลไม้ไว้ ด้วยหลักทฤษฎีพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของการระเหย และการเดือดของน้ำ ในภาวะความดันบรรยากาศปกติ (760mmHg) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100°C และเมื่อมีความดันบรรยากาศต่ำลง (ต่ำกว่า 760 mmHg) น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C และจะแปรผันตามกันถ้าความดันยิ่งต่ำลง อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำก็จะต่ำลงด้วย ด้วยหลักการพื้นฐานนี้ จะทำให้เราสามารถลดอุณหภูมิในการระเหยน้ำออกจากเนื้อและน้ำผักผลไม้ได้ โดยควบคุมความดันในกระบวนการผลิต ข้อดีของการลดอุณหภูมิคือจะทำให้สามารถทำการระเหยน้ำในอุณหภูมิต่ำจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง มีสีสันสวยงาม ไม่ไหม้หรือสีเข้ม คงรสชาติหอมหวานตามธรรมชาติไว้ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีคุณลักษณะและคุณภาพเหมือนของสด

วรวิทย์ วรนาวิน (2549) ได้ศึกษาการสร้างเครื่องกวนน้ำมะขามเปียก พบว่า การออกแบบโดยใช้วัสดุเป็นถังสแตนเลสชนิดสองชั้น มีน้ำอยู่ตรงกลางระหว่างถังสองใบ โดยใช้เป็นตัวให้พลังงานความร้อนขณะที่กวนน้ำมะขามเปียกเพื่อเป็นการกำหนดอุณหภูมิขณะกวนให้เหมาะสม สามารถลดการไหม้ติดภาชนะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธีรยุทธ หล่อภูมิพันธ์ (2536) ได้ศึกษาภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง พบว่า ใบกวน 6 ใบแบบติดบนจานที่ตำแหน่งความสูงจากก้นถัง 1/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังจะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ภายในถังและเวลาที่สารเป็นเนื้อเดียวสั้นที่สุด สำหรับถังใบใหญ่จะให้เวลาที่สารอยู่ภายในถังนานกว่าถังใบเล็ก โดยความเร็วรอบของใบพัดที่สูงจะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ในถังนานแต่เวลาในการผสมสั้นกว่าถังใบเล็ก ในระบบที่ใช้ใบพัดขนาดใหญ่กว่ามาตรฐานจะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ภายในถังและเวลาที่สารเป็นเนื้อเดียวเร็วกว่าใบพัดมาตรฐานแต่จะเกิดความปั่นป่วนสูงกว่าทำให้ควบคุมยากกว่าระบบที่ใช้ใบพัดขนาดมาตรฐาน ทิศทางการหมุนของใบพัดเอียง 45 องศาในทิศที่ก่อให้เกิดกระแสขึ้นไปที่ผิวหน้าของเหลวจะให้ค่าเวลาที่สารอยู่ภายในถังนานกว่า แต่เวลาที่ระบบเป็นเนื้อเดียวกันสั้นกว่าทิศทางตรงกันข้าม และอัตราการไหลเข้าที่เร็วกว่าจะให้เวลาที่สารอยู่ในถังนานแต่เวลาในการผสมสั้นกว่าอัตราการไหลเข้าที่ช้ากว่า

ชยันต์ แต้สงเคราะห์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาแบบจำลองการผสมของของเหลวภายในถังกวนและถังผสม โดยใช้โปรแกรม Star-CD เพื่อศึกษารูปแบบของการผสมและเส้นการไหลของของเหลวภายในถังกวน ย่านการผสม(Mixing Zone) รวมถึงการไม่ผสมกันของของเหลวภายในถัง (Dead Zone) การเปรียบเทียบลักษณะการผสมของของเหลวได้แก่ Newtonian fluid Dilatant fluid Pseudoplastic fluid และ Binghamplastic fluid โดยใช้ผลิตภัณฑ์ น้ำ เนยถั่วบด (Peanut Butter) ครีม (Cream) และน้ำซอสเข้มข้น (Ketchup) แทนของเหลวดังกล่าวตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาทั้งหมดคือชนิดของใบกวน ได้แก่ Helical Incline และ Turbine อิทธิพลของการติดแผ่นกั้น (Buffle) และความเร็วรอบของใบกวนแต่ละชนิด ผลการศึกษาพบว่า ของเหลวประเภท Newtonian เหมาะสมกับใบกวน Incline ที่ความเร็วรอบ 97-175 rpm ของเหลวประเภท Pseudoplastic เหมาะสมกับใบกวน Helical ที่ความเร็วรอบ 250-350 rpm ของเหลวประเภท Dilatant และ Binghamplastic เหมาะสมกับใบกวน Turbine ที่ความเร็วรอบ 600-800 rpm ผลของความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นและการติดแผ่นกั้น (Buffle) ทำให้ของเหลวภายในถังมีการผสมทั่วถึงมากขึ้น ย่านที่ไม่มีการผสมกัน (Dead Zone) เกิดบริเวณก้นถัง และใต้ใบกวนจะมีขนาดเล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบ และ สร้างเครื่องผลิตน้ำซุปใสเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันบรรยากาศปกติ

1.3.2 ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (ความดัน ช่วงอุณหภูมิ และเวลา) ในการผลิตน้ำซุปเข้มข้น

1.4 ขอบเขต และ ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำซุป เช่น ความเข้มข้น และ ความใสของน้ำซุป โดยใช้อุปกรณ์เครื่อง Refractometer และ Color meter

1.4.2 วัตถุดิบที่ใช้ คือ น้ำซุปที่ได้จากการเคี่ยวกระดูกสัตว์ คือ กระดูกไก่

1.4.3 ทำการทดลองเบื้องต้น จากเครื่องต้นแบบในการทำระเหยที่ความดันต่ำ และ เปรียบเทียบผลการทดลองที่การทำระเหย ณ ความดันบรรยากาศปกติ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องทำระเหยที่ความดันบรรยากาศต่ำ สำหรับน้ำซุปใส

1.4.4 ออกแบบ และ สร้างเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และ สมการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำซุป [17]

ซุปเป็นอาหารที่เป็นของเหลว ที่มีคุณค่าทางอาหาร ทำจากเนื้อไก่ ปลา หรือผักต่างๆ ในสมัยโบราณใช้น้ำซุบรับประทานเป็นยารักษาโรคต่างๆ โดยใส่สมุนไพรต้มกับน้ำร้อนเป็นซุบยาที่มีคุณค่าในการรักษาโรค

ซุปที่นิยมทำ และ รับประทานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ซุปใสและซุปข้น

1. ซุบใส (Thin Soup หรือ Clear Soup)

การทำซุบใสจะทำจากเศษเนื้อต้ม แล้วใส่ผักปรุงรส การทำซุปใสให้อร่อย ควรใช้เครื่องปรุงที่มีคุณภาพดี เคี่ยวนาน ๆ ใช้ไฟอ่อน ซุบร้อนควรเสิร์ฟร้อน ซุบเย็นควรเสิร์ฟเย็น

ซุบใสมีอยู่ 2 ชนิดคือ คอมซอมเม่ (Consomme) กับบรอธ (Broth)

คอนซอมเม่ (Consomme) เป็นซุบใสใช้เนื้อ ไก่ หรือปลากับผักต่าง ๆ เครื่องปรุงแต่ละอย่างต้องสอดคล้องกัน เช่น น้ำซุปใสเนื้อวัวก็ต้องใช้น้ำสต็อกจากวัว น้ำซุปไก่ใช้น้ำสต็อกจากไก่ ลักษณะน้ำซุป ชนิดนี้ต้องใสในการต้มน้ำซุปต้องใช้เวลาต้มเคี่ยวนาน (เมื่อกรองได้น้ำซุปแล้วต้องต้มอีกครั้งโดยใส่ไข่ขาวตีให้แตกลงในหม้อน้ำซุป พอไข่ขาวแข็งตัวกรองให้ได้น้ำซุปที่ใส) การกรอง ควรกรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อไม่ให้เศษต่าง ๆ ตกลงไป เพื่อให้ได้น้ำซุปใสจริง ๆ

บรอธ (Broth) น้ำต้มเนื้อ โดยนำเนื้อมาสับหรือบดละเอียด ต้มกับผักชนิดต่าง ๆ แล้วกรองเอา แต่น้ำ จะไม่ใสเท่ากับคอนซอมเม่ เวลาเสิร์ฟจะใส่เครื่องปรุง เช่น เนื้อสับ ไก่สับ

2. ซุปข้น (Thicked Soup)

หมายถึง ซุปที่มีลักษณะข้น ไม่ใส จะข้นด้วยแป้ง ผัก หรือเนื้อสัตว์ ซุปข้น น้ำซุปที่ใช้ต้องกรองก่อน ลักษณะของซุปข้น ควรข้นพอดี คือใช้พายไม้คนแล้วยกขึ้นให้ไหลช้า ๆ ถ้าข้นเกินไปจะแก้ไขโดยเติมน้ำหรือนม ครีมซุปที่ใส่ครีมหรือนมไม่ควรแตกมัน เพราะจะทำให้เกิดไขมันเป็นหยดใหญ่ลอยอยู่บนหน้า จึงต้องควรระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

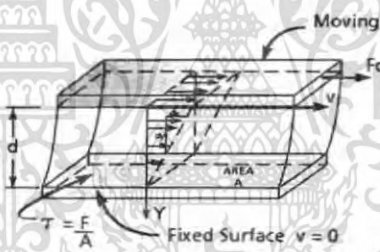
2.2 คุณสมบัติของของเหลว [5]

ของเหลวมีลักษณะเด่น คือ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) อย่างต่อเนื่อง สังเกตได้จากของเหลวจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามภาชนะบรรจุ หรือ ได้รับแรงกระทำ

คุณสมบัติของของเหลวมีผลต่อการเคลื่อนย้ายของเหลวที่สำคัญ ได้แก่ ความหนืด ซึ่งความหนืดนี้เอง จะใช้พิจารณาแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของของไหล ความหนืดจะส่งผลต่อความแรงต้นกำลังที่ใช้ผลักดันให้ของเหลวเคลื่อนที่

2.2.1 ความหนืด (Viscosity) [9]

ความหนืด คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนที่มากระทำ กับอัตราการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation rate) โดยพิจารณาจากพฤติกรรมของของไหลที่อยู่ระหว่างระนาบที่วางขนานกัน 2 แผ่น ซึ่งแผ่นด้านบนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ อันเนื่องมาจากแรงคงที่ที่มากระทำกับแผ่นด้านบนจะเกิดความเค้นเฉือนที่มากระทำ



รูปที่ 2.1 ความเร็วในการไหลเมื่อของไหลได้รับความเค้นเฉือน

ความเค้นเฉือน คือ แรงที่กระทำต่อของไหลในแนวขนาน ต่อพื้นที่สัมผัส จากนิยามความเค้นเฉือนได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\tau_{yz} = \frac{F}{A} \ (N/m^2) \qquad (2.1)$$

โดยที่ τ_{yz} คือ ความเค้นเฉือนในแนวแกน y และ z

F คือ แรงที่กระทำต่อของไหลในแนวขนาน

A คือ พื้นที่สัมผัสระหว่างของไหลกับแผ่นระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$F \alpha A \frac{\Delta v_Z}{\Delta y}$$

ดังนั้น

$$\tau_{yx} \alpha \frac{\Delta v_z}{\Delta y} \quad \Rightarrow \quad \tau_{yz} = \mu \frac{\Delta v_z}{\Delta y} \tag{2.2}$$

เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด (coefficient of viscosity) โดยทั่วไปจะเรียกว่า "ความหนืด" (viscosity) มีหน่วยเป็น แรงคูณเวลาต่อพื้นที่ เช่น $N\text{-}s/m^2$

เมื่อกำหนดให้ ค่า $\Delta_y \rightarrow 0$ จะสามรถเขียนสมการได้

$$\tau_{yz} = \mu \frac{dv_z}{dy} \qquad \text{(SI unit)} \tag{2.3}$$

โดย $\frac{dv_z}{dy}$ คือ velocity gradient ในแนวแกน y เรียกว่า "Shear rate" หรือ อัตราเฉือนมีลักษณะเป็น γ มีหน่วยเป็นส่วนกลับของเวลา โดยปกติ คือ $1/s$

$$\tau_{yz} = \mu\gamma \qquad \text{(SI unit)} \tag{2.4}$$

2.2.2 ชนิดของของเหลวแบ่งตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์ [5]

แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

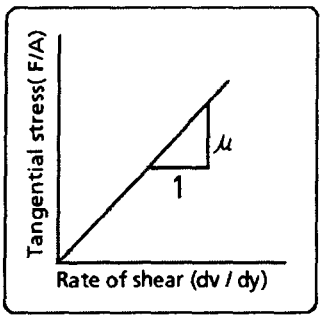
1. นิวโทเนียน (Newtonian)

นิวโทเนียน คือ ของเหลวที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ คือ ความหนาแน่น ความหนืด สม่ำเสมอ และ คงที่ จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิ และ ความดันเปลี่ยนแปลงเท่านั้น เช่น Water, Whole milk, Apple juice, Grape juice, Honey เป็นต้น

แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นหลัก และ ความเค้นเฉือนตามสมการ

$$\tau = \mu\gamma \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Newtonian Fluid

2. นอนนิวโทเนียน (Non-newtonian)

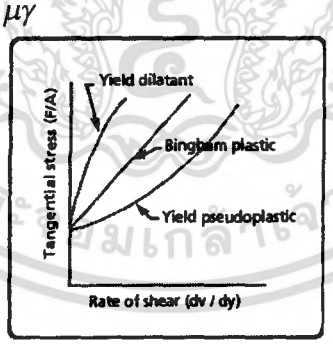
นอนนิวโทเนียน คือ ของเหลวที่มีความเค้นเฉือนไม่แปรผันตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของเหลว ของเหลวประเภทนี้จะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ไม่สม่ำเสมอ แรงเค้น หรือ ความหนืดจะไม่แปรผันโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ต่อระยะทาง ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลเปลี่ยนเท่านั้น ดังนั้นคุณสมบัติของของผสมไม่สามารถคำนวณได้จากสมการ แต่ได้จากการทดลองเท่านั้น

สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท (3) คือ ของเหลวที่การไหลไม่ขึ้นอยู่กับเวลา และ ของเหลวที่การไหลขึ้นอยู่กับเวลา

- ของไหลไม่ขึ้นอยู่กับเวลา (Time-independent non-Newtonian fluids) [9]

  - Bingham plastic มีความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate ดังนี้

    Bingham model: $\tau = \tau_0 + \mu\gamma$

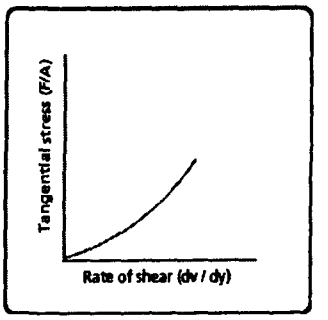


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Bingham plastic

เมื่อ คือ τ_0 ค่า yield stress ของของเหลวชนิดนี้ต้องได้รับความเค้นเฉือนมากกว่า τ_0 จึงเกิดการไหลได้ และ เมื่อเกิดการไหลแล้ว ความหนืดของของเหลวจะไม่ขึ้นอยู่กับค่า Shear rate

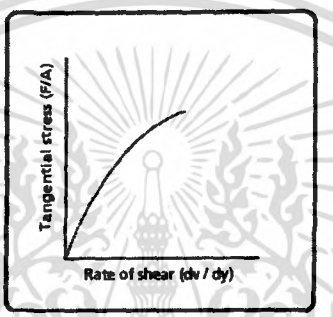
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Shear-thinning fluid (pseudo plastic fluid) มีความหนืดลดลงตาม shear rate



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการไหลของของไหลประเภท Shear-thinning fluid

- Shear thickening fluid หรือ Dilatant fluid มีความหนืดเพิ่มขึ้นตาม shear rate



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการไหลของของไหลประเภท Shear thickening fluid

ทั้ง Pseudo-plastic fluid และ Dilatant fluid จะมี Shear stress และ sheer rate สัมพันธ์กันดังนี้

Power law model:

$$\tau = K\gamma^{n} \qquad (2.6)$$

ในกรณีที่ของเหลวมี Yield stress จะเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

Herschel-Bulkey model:

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^{n} \qquad (2.7)$$

เมื่อ K คือ Consistency Index มีความสัมพันธ์กับความหนืดของของเหลว และ n คือ Flow behavior index เป็นค่าที่บ่งลักษณะการไหลของของเหลว

เมื่อ n>1 คือ Dilatant fluid

n<1 คือ Pseudo-plastic fluid

สามารถคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity; μ_a) ของของเหลวที่มีลักษณะการไหลแบบ Dilatant และ Pseudo-plastic ได้ดังนี้

$$\mu_0 = K\gamma^{n-1} \qquad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

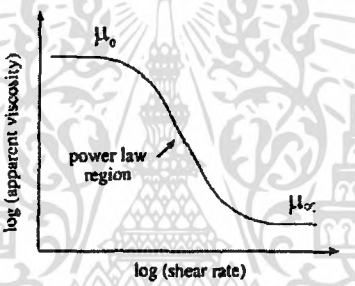
อาหารส่วนใหญ่มีลักษณะการไหลแบบ Pseudo-plastic คือ ยิ่งเกิดการกวนของเหลวมากๆ ความหนืดของของเหลวจะลดลง โดยเฉพาะอาหารที่มีแป้ง หรือ ไฮดรอคลอลอยด์ (Hydrocolloids) อื่นๆ เป็นส่วนผสมหากความเข้มข้นขององค์ประกอบสูง

เปรียบเทียบความหนืดของของเหลวประเภทนิวโทเนียนจะพบว่ามีค่าความหนืดคงที่ Zero-shear viscosity; μ_0 แต่หากเป็นของเหลวประเภท Pseudo-plastic จะเริ่มจากการไหลแบบนิวโทเนียน และจะเริ่มเปลี่ยนแปลงการไหลไปเป็นแบบ Pseudo-plastic ที่ Characteristic time หรือ time constant (t_c)

โดยที่

$$t_c = \frac{1}{\gamma} \qquad (2.9)$$

เมื่อ อัตราเฉือนมีค่าสูงมาก ของเหลวจะมีค่าหนืดที่คงที่ที่ μ_∞ เรียกว่า infinite-shear viscosity



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการไหลของของไหล Pseudo-plastic fluid แบบ Power law

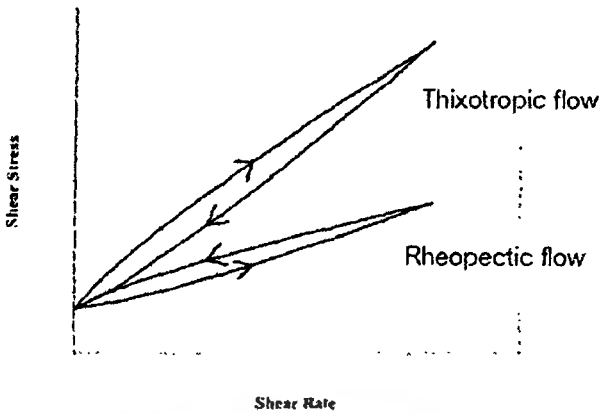
- ของไหลขึ้นอยู่กับเวลา (Time-dependent non-Newtonian fluids)

อาหารที่มีโครงสร้างซับซ้อนมักมีลักษณะการไหลที่ขึ้นอยู่กับเวลาในการให้อัตราเฉือนด้วย สามารถแบ่งของเหลวประเภทนี้ได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- Thixotropic fluid เป็นของเหลวที่มีความหนืดลดลง เมื่อได้รับอิทธิพลเฉือนที่คงที่ในเวลาที่เพิ่มขึ้น

- Rheopectic fluid เป็นของเหลวที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการไหลแบบ Time-dependent non-Newtonian fluids

ตารางที่ 2.1 อัตราเฉือนในกระบวนการผลิตอาหาร [9]

Application	Shear rate (1/s)	Example
Sedimentation of particles	$10^{-6} - 10^{-3}$	Spices in salad dressing
Leveling due to surface tension	$10^{-2} - 10^{-1}$	Frosting, Paints
Draining under gravity	$10^{-1} - 10$	Painting and costing
▪ Extrusion	$1 - 10^{3}$	▪ Snack food, Cereal, Pasta
▪ Pipe flow		▪ Food processing
▪ Calendaring	$10 - 10^{2}$	▪ Dough sheeting
▪ Pouring from bottle		▪ Foods & cosmetics
▪ Chewing and swalloeing		▪ Food
Mixing and Stiring	$10 - 10^{3}$	Food processing
Rubbing	$10^{2} - 10^{4}$	Application of lotion
Brushing	$10^{3} - 10^{4}$	Lipstick, nail polish
Spraying	$10^{3} - 10^{5}$	Spray drying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การกวนของเหลว [3,18]

2.3.1 จุดประสงค์ของการกวน

ของถูกนำมากวนด้วยจุดประสงค์หลายๆประการ ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการทำงานในขั้นตอนนั้นๆ จุดประสงค์การกวนของเหลว มีดังนี้

- Dispersion เพื่อแขวนลอยของแข็งภายในของเหลว
- Suspension การผสมของแข็งกับของเหลว
- Blending เพื่อผสมของเหลวที่สามารถละลายเข้ากันได้(miscible liquid) เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ กับ น้ำ เป็นต้น
- Aeration เพื่อกระจายฟองก๊าซเล็กๆ ให้ผสมในของเหลว หรือขบวนการถ่ายเทมวล (mass transfer) เช่น ในกระบวนการหมัก
- Emulsion เพื่อทำของเหลวสองชนิดซึ่งไม่สามารถเข้ากันได้ (immiscible liquid) ให้อยู่ในรูปEmulsion หรือ ให้เกิดการแขวนลอยเป็นหยดสารเล็กๆ เช่น ในกระบวนการแยกสารออกจากสารละลาย
- Heat transfer เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนให้เย็นลง หรือ ร้อนขึ้นระหว่างของเหลวกับ ขดลวดร้อน หรือ ถังกวน โดยให้ของเหลวผ่านผิวสัมผัสภาชนะ

ในบางครั้งการกวนอาจจะมีมากกว่า 1 จุดประสงค์ เช่น กระบวนการ Catalytic Hydrogenation พร้อมๆกับถ่ายเทความร้อนให้ ขดลวดทำความเย็น และ ตัวถังกวนไปด้วยในตัว

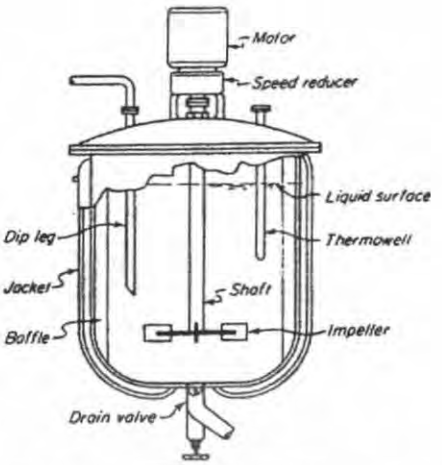
2.3.2 ชุดถังกวน

ถังกวนประกอบด้วยส่วนหลักสำคัญ คือ ถังกวน และ ใบกวน

1. ถังกวน (Tank) [4]

ถังกวน หรือ ภาชนะที่ใช้สำหรับกวน มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น ถังทรงกระบอก ถังรูปกรวย ถังกลม เป็นต้น แต่โดยส่วนมากมักมีลักษณะรูปทรงกระบอกตั้ง ฝาเปิด โดยขนาดและสัดส่วนขึ้นอยู่กับสภาพการกวนนั้นๆ ถังกวนในรูปที่ 2.8 คือถังกวนที่เป็นรูปแบบมาตรฐานทั่วไป พื้นถังกวนมีลักษณะโค้งมน ไร้ขอบมุม เพื่อป้องกันการทะลุ อันเกิดจากแรงหมุนของของเหลว เมื่อจะทำการกวนมักใส่ของเหลวให้มีความลึกใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน โดยต้องเผื่อพื้นที่ด้านบนไว้พอสมควร เพลาขับใบกวนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ โดยเชื่อมต่อโดยตรง หรือ ผ่านระบบเกียร์ นอกจากนี้ยังติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ท่อดูดสารเข้าออก ขดลวด และ เทอร์โมมิเตอร์ หรือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ชุดถังกวนทั่วไป

ฐานของถังอาจเป็นแผ่นเรียบ,เว้าเข้า หรือแบบกรวยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของที่ว่างหรือของแข็งที่ลอยตัว ถ้าใช้ฐานลึกแบบกรวยจะต้องมั่นใจว่าเพียงพอกับการผสมกันในกรวยเพื่อให้ได้ผลดีต้องเลื่อนตำแหน่งใบกวนให้ต่ำลงแต่อาจเกิดอันตรายสำหรับการผสมเกิดบริเวณใกล้กับผิวหน้าของเหลว ในบางกรณี อาจจำเป็นต้องใช้ใบกวนสองอันบนเพลาเดียวกันเพื่อให้ผสมกันได้ดีทั้งส่วนบนและส่วนล่างของถัง ในบางกรณีที่มีการป้องกันการเปลี่ยนตำแหน่งของของแข็งที่ก้นถังโดยเฉพาะการออกแบบให้เหมาะสมกับรูปร่างในรูป 2.9 ซึ่งการปรับปรุงเครื่องนั้นควรได้รับการสนับสนุนจากเหตุผลทางกายภาพ ในการออกแบบเครื่องผสมหรือตัวถังผสมหน่วยของการสกัดสารละลาย มีจุดประสงค์ที่จะใช้ถังสี่เหลี่ยมจัตุรัส เนื่องจากประหยัดค่าใช้ จ่ายและใช้กับงานที่ต้องการความจุขนาดใหญ่ซึ่งง่ายต่อการประกอบและนำไปใช้ [21]

รูปที่ 2.9 แสดงถังกวนแบบสี่เหลี่ยม ใบกวนแบบ Shape Ribbon Blender

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

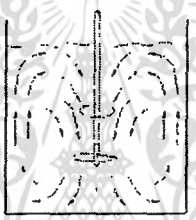
บางถังถูกติดตั้งในแนวนอน โดยเฉพาะสำหรับการควบคุมใบพัดกับความหนืดของแป้งเปียก และสำหรับแป้งเปียกจะใช้ใบกวนแบบ Ribbon และ Z-bladeในหน่วยการทำงานนี้เกี่ยวข้องกับขนาดเล็ก และใบพัดขนาดใหญ่ที่ใช้ผสมอยู่ในโครงสร้าง

2. ใบกวน (Impeller) [18]

ใบกวนมีหน้าที่สร้างระบบการไหลให้กับของเหลว โดยของเหลวจะเหวี่ยงออกจากจุดหมุนของใบกวน ให้ของเหลวออกไปชนผนังของภาชนะ แล้วย้อนกลับมาที่ใบพัดอีกครั้งหมุนเวียนไปเรื่อยๆ

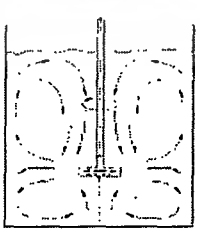
รูปแบบของใบกวนแบ่งตามลักษณะการพัดพาของของไหล 3 ประเภท คือ

- กลุ่ม Axial flow ใบกวนประเภทนี้จะให้การไหลในแนวขนานกับเพลา เหมาะสำหรับการผสมของเหลวให้เข้ากันหรือการทำให้ของแข็งแขวนลอยอยู่ในของเหลว



รูปที่ 2.10 แสดงการไหลของของไหลแบบ Axial flow

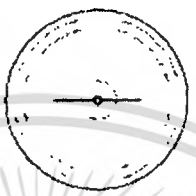
- กลุ่ม Radial flow ใบกวนประเภทนี้จะผลักของเหลวออกในแนวรัศมี หรือในแนวตั้งฉากกับแกนเพลาเหมาะสำหรับการเฉือนของเหลวที่ไม่ผสมกันเป็นเนื้อเดียวให้มีขนาดเล็กลง หรือการลดขนาดของของแข็งเพื่อให้แขวนลอยอยู่ในของเหลวได้เป็นเวลานานๆ โดยทั่วไปแล้วที่เส้นผ่านศูนย์กลางใบและความเร็วรอบที่เท่ากัน กลุ่ม radial flow จะกินกำลังงาน (power) มากกว่ากลุ่ม axial flow ดังนั้น จึงเหมาะกับงานเฉพาะทางดังกล่าวข้างต้น ไม่เหมาะสำหรับใช้ในกรณีทั่วไป



รูปที่ 2.11 แสดงการไหลของของไหลแบบ Radial flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กลุ่ม Tangential flow และ Mixed flow โดยปกติใบกวนที่มีขนาดใหญ่และหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำจะมี tangential flow อยู่ด้วย เป็นลักษณะการไหลของของเหลวที่หมุนรอบขอบถัง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนหรือความเย็นกับภาชนะที่บรรจุได้ แต่ tangential flow ไม่ค่อยช่วยในการผสมของเหลวให้เข้ากัน ดังนั้น เราจึงใช้แผ่นกั้น (baffles) ในการเปลี่ยนทิศของเหลวให้ขึ้นลงในแนวดิ่ง ทำให้การผสมของเหลวให้เข้ากันกินเวลาน้อยลง ซึ่งสามารถใช้กับความเหลวที่ความหนืดต่ำสำหรับของเหลวที่มีความหนืดปานกลางกับสูง เรามักใช้ใบกวนที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนชั้นมากในการกวนของเหลวให้เข้ากัน



รูปที่ 2.12 แสดงการไหลของของไหลแบบ Tangential flow

รูปแบบใบกวนแบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ 3 ชนิด ดังนี้ [10]

1. แบบใบกวน (Paddle)

ตามทั่วไปมักมี 2-3 ใบ เหมาะสำหรับงานที่กวนด้วยความเร็วต่ำ ใบกวนตั้งอยู่ตกกลางถังกวน โดยจะผลักของเหลวออกไปในแนวรัศมี พร้อมทั้งหมุนของเหลวให้เคลื่อนที่ไปรอบๆ ในขณะที่แรงผลักแนวตั้งมีน้อยมาก หรือ แทบไม่มีเลย ยกเว้นกรณีที่เป็นใบกวนแบบใบเจียเท่านั้น เส้นการไหลจะถูกผลักออกจากศูนย์กลางใบกวน พุ่งชนผนังถังกวน จากนั้นจึงแยกออกเป็น 2 ส่วน ไหลขึ้นและลงขนานไปกับผนัง สำหรับถังกวนที่มีความลึกมากๆ สามารถติดตั้งใบกวนได้มากกว่า 1 ชุด เรียงกันตามแนวแกนเดียวกัน

ในทางอุตสาหกรรมใบกวน Paddle มักหมุนที่ความเร็วรอบประมาณ 20-50 รอบ/นาที และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-80% ของเส้นผ่านศูนย์กลางถังกวน มีความกว้างใบกวนประมาณ 1/6 หรือ 1/10 ของความยาวใบ ใบกวนจะใช้รอบในการกวนต่ำ ทำให้การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) ถ้าใช้รอบสูงจะเกิดน้ำวน (Vortex) ขึ้นได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีแผ่นกั้นขอบถัง (Baffles) ติดตั้งด้วยเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ใบกวนแบบพื้นฐาน (Basic Paddle) [11]

รูปที่ 2.13 แสดงใบกวนพื้นฐาน

ใบกวนชนิดนี้ใช้งานได้หลากหลาย และ สามารถใช้งานได้กับของเหลวเกือบทุกชนิด จึงสามารถใช้แทนใบกวนชนิดอื่นได้ โดยที่ อัตราส่วน D/T ขึ้นอยู่กับชนิด และ ความหนืดของของเหลว โดยที่ของเหลวความหนืดสูงจะใช้ค่า D/T ประมาณ 0.6-0.8 แต่ถ้าเป็นของเหลวที่มีความหนืดต่ำ จะใช้ ที่ D/T ประมาณ 0.2-0.4 แต่ใบกวนชนิดนี้จะให้ประสิทธิภาพในการผสมน้อย ใช้เวลาในการผสมนาน ดังนั้นใบกวนชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับงานถ่ายเทความร้อนด้านข้าง

1.2 ใบกวนแบบสมอเรือ (Anchor Agitator)

รูปที่ 2.14 แสดงใบกวนแบบสมอเรือ

ใบกวนชนิดนี้สามารถป้องกันการตกตะกอนบนผิวหน้าที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี ให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง แต่ให้คุณสมบัติการผสมได้ไม่ดีนัก ปฏิบัติการที่ความเร็วต่ำ เหมาะสำหรับของเหลวที่มีความหนืดปานกลาง หรือ สูง ที่ความหนืด 5000 cP – 50000 cP ใช้งานได้ดีกับของเหลวแบบนิวโทเนียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

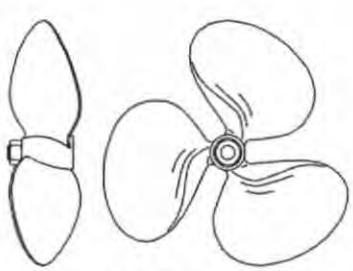
1.3 ใบกวนแบบเกลียวโปร่ง (Helical Ribbon)

รูปที่ 2.15 แสดงใบกวนแบบเกลียวโปร่ง

ใบพัดกวนชนิดใบกวนแบบเกลียวโปร่ง เป็นใบพัดกวนแบบใบกวนชนิดพิเศษที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกวนสูงขึ้น และ สามารถใช้ได้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงมาก

2. แบบใบพัด (propellers)

เป็นใบพัดประเภท axial flow impeller สามารถกวนของเหลวความหนืดต่ำด้วยความเร็วสูง โดย Propellers ขนาดเล็กจะหมุนที่ความเร็วเต็มที่ 1150 รอบ/นาที หรือ 1750 รอบ/นาที แต่ถ้าเป็นใบพัด Propellers ขนาดใหญ่จะหมุนที่ 400 รอบ/นาที ถึง 800 รอบ/นาที เท่านั้น ลักษณะการทำงานของใบพัดชนิดนี้ ของเหลวจะไหลผ่านใบพัดและพุ่งตรงออกไปเป็นเส้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของเหลวที่ไหลผ่านนั้นถูกตัดและเฉือนกับใบพัดอย่างรวดเร็ว ใบพัดชนิดนี้สามารถดึงของเหลวให้ไหลผ่านตัวเองได้อย่างต่อเนื่องและทั่วถึง จึงเหมาะกับใช้ถังกวนขนาดใหญ่ ใบของใบพัดชนิดนี้มีลักษณะบิดเป็นเกลียวก้นหอย โดยเกลียวเหล่านี้ทำหน้าที่ผลักให้ของเหลวไหลผ่านออกไป เมื่อหมุนได้ครบ 1 รอบ ของเหลวจะถูกผลักออกไปเป็นระยะทางเท่ากับระยะเกลียว 1 รอบหมุน อัตราส่วนระหว่างระยะทางที่ของเหลวไหลผ่าน เมื่อใบพัดหมุน 1 รอบ ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเรียกว่า Pitch เท่ากับ 1 ซึ่งเรียกว่า Square Pitch ใบพัด Square Pitch แบบ 3ใบ เป็นใบพัดแบบมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป โดยทั่วไปมักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 18 นิ้ว เพื่อการกวนของเหลวแบบปั่นป่วน (Turbulent) ที่รุนแรงมากขึ้น ให้ติดตั้งใบกวนมากว่า 1 ใบ ให้หมุนในทิศทางตรงกันข้าม ดึงของเหลวลงไปตามใบพัด (Push-Pull)



รูปที่ 2.16 แสดงใบพัดแบบ 3 ใบมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
82973

3. แบบกังหัน (Turbines)

มีลักษณะใบสั้นและหมุนด้วนความเร็วสูง ตัวใบมีลักษณะตั้งตรง โค้ง หรือ แบบ Pitch ก็ได้ ใช้ได้กับของเหลวหลายช่วงความหนืด ที่ของเหลวความหนืดต่ำ ของเหลวจะไหลปะทะกับผนังถังกวนอย่างรุนแรง โดยของเหลวจะพุ่งออกทางแนวแกนรัศมี และ หมุนวนรอบถังกวน ซึ่งทำให้เกิดลักษณะน้ำวน (Vortex) ป้องกั้นได้โดยการติดตั้งแผ่นกั้นขอบถัง (Baffles)

3.1 กังหันชนิดใบตรง (Flat Blade Turbine)

รูปที่ 2.17 แสดงใบกวนแบบกังหันชนิดใบตรง

เป็นใบพัดกวนที่นิยมใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากออกแบบง่าย ราคาไม่แพงนัก สามารถใช้ได้กับของเหลวเกือบทุกชนิด มีแรงเฉือนสูงจึงเหมาะสำหรับกวนของเหลวในกระบวนการอีมัลชัน ในของเหลวที่ไม่ผสมกัน

3.2 กังหันชนิดใบเอียง (Pitch Blade Turbine)

รูปที่ 2.18 แสดงใบกวนแบบกังหันชนิดใบเอียง

เป็นใบพัดกวนที่สามารถใช้ได้กับของเหลวเกือบทุกชนิด มีแรงเฉือนสูงจึงเหมาะสำหรับกวนของเหลวในระบบอีมัลชัน ในของเหลวที่ไม่ผสมกัน

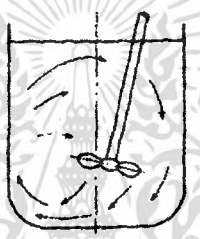
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การป้องกันการเกิดน้ำวน (Vortex) [9]

ลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลว กรณีใช้ถังกวนที่มีแกนหมุนในแนวดิ่ง จะถือความเร็วจะอยู่ในแนวรัศมี และ จะทำให้ของเหลวถูกผลักให้เคลื่อนที่เป็นวงในแนวนอน และจะถือความเร็วในแนวดิ่งเป็นแกนตั้ง ความเร็วไหลตามแนวแกนรัศมีและแนวดิ่งนั้นถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการผสมของของเหลวในถังกวน แต่หากผลของความเร็วในการไหลในแนวดิ่งลดลงจะทำให้เกิดน้ำวน (Vortex) ทำให้ของแข็งที่ผสมอยู่ในของเหลวนั้นตกตะกอนได้ และ ในกรณีที่ใช้ความเร็วในการหมุนสูง ของเหลวอาจจะมีลักษณะเป็นน้ำวนลึกถึงก้นถังได้ ซึ่งทำให้เกิดการปะปนระหว่างอากาศ กับของเหลวได้

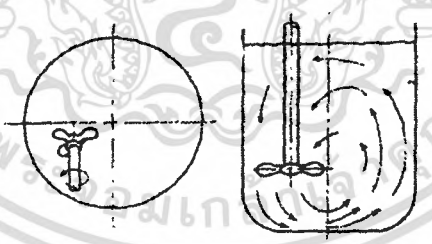
เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำวน สามารถป้องกันได้ ดังนี้

- สำหรับถังกวนขนาดเล็ก ใช้วิธีการเอียงใบกวนไม่ให้อยู่ในแนวกลางถัง



รูปที่ 2.19 แสดงการป้องกันการเกิดน้ำวนโดยวิธีการเอียงใบกวน

- สำหรับถังกวนขนาดกลาง หรือ ขนาดใหญ่ ใช้วิธีเลื่อนจุดหมุนไปด้านข้าง

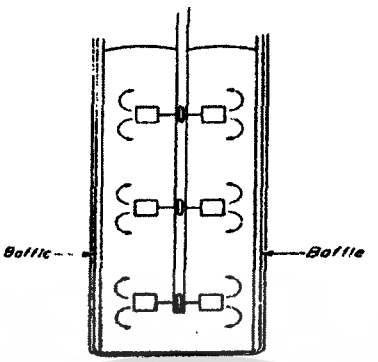


รูปที่ 2.20 แสดงการป้องกันการเกิดน้ำวนโดยวิธีการให้จุดศูนย์กลางใบกวนอยู่ด้านข้าง

*วิธีทั้งสองนี้ จะทำให้รัศมีการกระจายตัวของของเหลวเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การติดตั้งแผ่นกั้น Baffles[10]



รูปที่ 2.21 แสดงการติดตั้งแผ่นกั้นที่ผนังของถังกวน

Baffles คือ แผ่นกั้นที่ใช้สำหรับขัดขวางพฤติกรรมการวนเป็นลำของของไหล เพื่อไม่ให้ของเหลวไหลไปตามแนวรัศมีได้ สำหรับของเหลวมีความหนืดต่ำจะถูกทำให้ปั่นป่วนในถังทรงกระบอกแนวตั้งด้วยใบกวน baffles จะถูกติดตั้งบริเวณผนังของถัง โดยทั่วไปจะใช้ baffles จำนวน 4 อันแต่ละอันมีความกว้างหนึ่งในสิบของเส้นผ่านศูนย์กลางถัง ในบางกรณี baffles จะติดตั้งราบเรียบเสมอกันพอดีที่ผนัง แม้ว่าบางครั้งมีระยะห่างขนาดเล็กระหว่าง baffles กับผนังถัง โดยทั่วไปจะไม่ใช้ baffles กับของเหลวที่มีความหนืดสูงแต่จะใช้เมื่อการไหลวนเกิดปัญหา

* แบบใช้ใบกวนแบบเทอร์ไบน์ จะต้องมีความกว้างของแผ่นกั้นไม่เกิน 1/20 ของเส้นผ่านศูนย์กลางถัง

* แบบใช้ในกวนแบบใบพัด ต้องมีความกว้างแผ่นกั้น ไม่เกิน 1/18 ของเส้นผ่านศูนย์กลางถัง

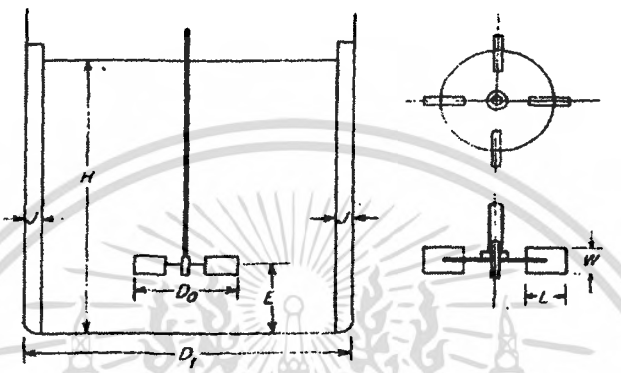
2.3.4 มาตรฐานการออกแบบ [3]

โดยปกติเราสามารถออกแบบชุดถังกวนได้หลายส่วนทั้ง ชนิดใบกวน ขนาดและสัดส่วนของถังกวน แผ่นกั้นและจำนวนแผ่นกั้น ฯลฯ การออกแบบเหล่านี้มีผลต่อลักษณะความเร็วการไหลของเหลว รวมถึงการสิ้นเปลืองกำลังงานที่ใช้ ก่อนจะกล่าวถึงการออกแบบชนิดอื่นจะเสนอรูปแบบการกวนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนี้

$$\frac{D_a}{D_t}=\frac{1}{3};\qquad \frac{H}{D_t}=1;\qquad \frac{J}{D_t}=\frac{1}{12}$$
$$\frac{E}{D_t}=\frac{1}{3};\qquad \frac{W}{D_a}=\frac{1}{5};\qquad \frac{L}{D_a}=\frac{1}{4} \qquad (2.10)$$



รูปที่ 2.22 การวัดขนาดถังกวน และ ใบกวน

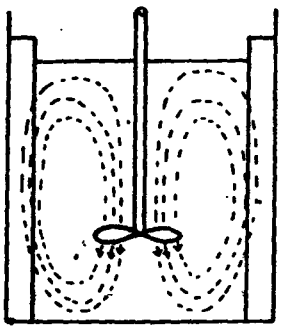
ถังกวนดังกล่าวนี้เป็นลักษณะมาตรฐาน ซึ่งในทางปฏิบัติอาจใช้แผ่นกั้นได้ตั้งแต่ 4-16 ใบ นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงตัวแปร เพื่อปรับให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ตำแหน่งของใบกวน อาจจะจัดวางในตำแหน่งที่สูง หรือ ต่ำลงได้

2.3.5 รูปแบบการไหล [3]

รูปแบบการไหลของของเหลวเฟสเดียวในถังกวนจะถูกทำให้ปั่นป่วนโดยใบกวนชนิดต่างๆ การทดลองทางด้านเทคนิคจะใช้ coloured tracer liquid, ส่วนที่ลอยน้ำร่วมกัน, การเกิดฟองไฮโดรเจน ส่วนค่าความหนืดเฉลี่ย ทำการวัดโดยใช้ pitot probes, อุปกรณ์ hot-film และ lasers

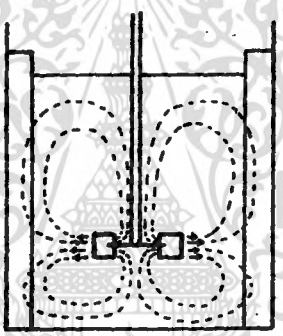
การดำเนินการกับของเหลว Newtonian ในบริเวณการไหลแบบ turbulent ใบพัดถูกสร้างให้ ของไหลไหลตามแนวแกนผ่านใบพัดและจุดศูนย์กลางการไหล แนวแกนจะอยู่ด้านบนหรือด้านล่าง ขึ้นกับตำแหน่งของการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงการไหลแบบหมุนวน

อิทธิพลจากรูปแบบการหมุนวนต่อการหมุนใบกวนด้านล่าง แสดงดังรูปที่ 2.23 ดังนั้น ความเร็ว ณ จุดใดๆ จะเป็นแบบสามมิติและไม่เสถียร แต่รูปแบบการหมุนเช่นนี้ จะมีประโยชน์ในการหลีกเลี่ยงจาก บริเวณที่ไม่เกิดการผสม (dead zone) และการเลือกใช้ใบกวนให้เหมาะสมกับหน้าที่ที่ได้รับ



รูปที่ 2.24 แสดงการไหลตามแนวรัศมี

ใบมีดแบนของ turbine ทำให้เกิดการไหลตามแนวรัศมีออกจากใบกวน ดังรูปที่ 2.24 การสร้างบริเวณการหมุนวนในบริเวณข้างบนและข้างล่างของถังกวน การไหลชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนรูปทรงของใบกวน จากตัวอย่าง ถ้าใบมีดของ turbine ทำมุมในแนวดิ่ง จะก่อให้เกิดองค์ประกอบด้านความแข็งแรงของการไหลตามแนวแกน และถือเป็นข้อได้เปรียบด้านการทำงาน รวมไปถึงการแขวนลอยของของแข็ง paddle แบบแบนทำให้เกิดสนามการไหลกับองค์ประกอบของเส้นสัมผัสของความเร็ว ซึ่งไม่มีผลต่อการใช้เครื่องผสมต่างๆ อย่างไรก็ตาม ความเร็วตามแนวแกนง่ายต่อการเหนี่ยวนำโดยการใช้ paddle แบบใบเจีย

แม้ว่า ใบพาย, ใบพัด และ ใบแบบกังหัน เป็นรูปแบบหลักของใบกวนสำหรับใช้ที่ระบบความหนืดต่ำ นั่นคือ ในบริเวณ turbulent และบริเวณที่มีการส่งผ่าน บางครั้งจะใช้กับแรงเฉือนที่เบาบางและของเหลว non-Newtonian ในกรณีเหล่านี้มันเป็นไปได้ที่จะสร้างความเร็วสูงในบริเวณใบกวนและมีบริเวณที่เฉื่อยใกล้ๆ กับผนัง พฤติกรรมนี้เรียกว่า "cavern" พฤติกรรมนี้เป็นสิ่งที่เราไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ สามารถหลีกเลี่ยงได้ในหลายๆกรณี โดยการเปลี่ยนใบกวนให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นหรือมากกว่าที่ก้านใบกวนเดิม

การไหลในถังโดยการกวนโดยใช้ใบกวนแบบสมอ (anchor) มีการศึกษารายละเอียดโดยปีเตอร์ และ สมิทธ์ (Peters and Smith) ใบกวนนี้ทำให้ของไหลเคลื่อนที่เข้าใกล้ผนังถังกวน แต่บริเวณใกล้เคียงกับก้านใบกวนเมื่อเทียบกันแล้วจะไม่มีการไหล สิ่งที่เกิดเพิ่มขึ้นคือการหมุนวนกลับเล็กๆจากบนลงล่าง เพื่อที่จะแสดงการเคลื่อนที่จากบนลงล่าง เราจะใช้ใบกวนแบบใบเกลียว (ribbon) และส่วนใหญ่จะเพิ่มสกรูที่เพลาเพื่อบังคับการเคลื่อนที่ในบริเวณศูนย์กลางของถังกวน

2.3.6 ประเภทของเครื่องกวน [18]

โดยทั่วไปเครื่องกวนจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ตามต้นกำลังหรือตัวขับดังนี้

1. Direct drive agitator or Direct drive motor (DDM)

เครื่องกวนประเภทนี้จะใช้มอเตอร์เป็นตัวขับอย่างเดียว การเปลี่ยนรอบของมอเตอร์จะใช้อัตราส่วนของลูกรอก (pulley) เป็นตัวกำหนด ทำให้ไม่สามารถลดความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ต่ำมากได้เพราะสายพานจะเลื่อนหลุดจากลูกรอกตัวขับ (driver pulley) ได้ เหมาะสำหรับถังขนาดเล็กและปานกลาง

รูปที่ 2.25 แสดงเครื่องกวนแบบขับเคลื่อนโดยตรง

2. Gear drive agitator or Transmission drive agitator (TDA)

เครื่องกวนประเภทนี้ใช้เกียร์เป็นตัวขับให้เพลาหมุน สามารถกำหนดความเร็วรอบได้ตามความต้องการ เหมาะสำหรับถังขนาดปานกลางและใหญ่ รวมทั้งของเหลวซึ่งมีความหนืดปานกลางถึงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26 แสดงเครื่องกวนแบบผ่านชุดเกียร์

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน [6]

2.4.1 การนำความร้อน (Conduction)

ความรู้เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ การถ่ายเทพลังงานในแง่ของความร้อนนั้นไม่สามารถที่จะวัดโดยตรงได้ แต่สามารถพิจารณาได้จากวิธีการทางฟิสิกส์ เพราะว่าความร้อนเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่วัดได้ โดยการสังเกตพบว่า เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในระบบแล้ว จะมีการไหลของความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

เราสามารถแยกพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเป็น 3 แบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี อันที่จริงแล้วการกระจายตัวของอุณหภูมิในตัวกลางหนึ่งจะถูกควบคุมโดยการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ จึงไม่สามารถแยกแบบใดแบบหนึ่งได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวก เราจะแยกพิจารณาแบบใดแบบหนึ่ง เช่น พิจารณาการนำความร้อนอย่างเดียว เมื่ออิทธิพลการพาและการแผ่รังสีน้อยมาก ตัวอย่าง เช่น โลหะที่มีค่าการนำความร้อนสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการพาความร้อน

การนำความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยเคลื่อนที่แบบจลน์ (Kinetic motion) หรือการชนกันโดยตรงของโมเลกุลซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง

การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่นำมาพิจารณา คือ การนำความร้อนผ่านทรงกระบอกกลวง ซึ่งหาได้จากสมการ[6]

$$Q = UA\Delta T \qquad (2.11)$$

โดยที่ $U = \frac{1}{R_{cond}}$

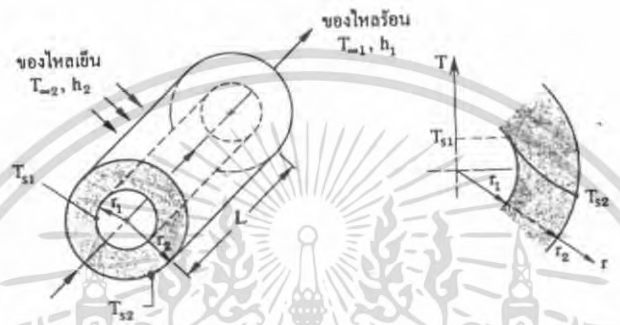
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่คำนึงหน้าผิวสัมผัส $\dot{Q}$ (บางตำราใช้ q)

$$\dot{Q}_r = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{\left[\frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi kL}\right]} = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{R_{cond}} \tag{2.12}$$

ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนในกรณีทรงกระบอกกลวง อยู่ในรูป

$$R_{cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \quad (K/W) \tag{2.13}$$



รูปที่ 2.27 แสดงการนำความร้อน และ การพาความร้อน ผ่านผนังทรงกระบอก

หากพิจารณากระบวกกลวงโดยมีวัสดุทำกระบอกหลายชั้น (กรณีที่ไม่คำนึงหน้าผิวสัมผัส)

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty n})}{R_{total}} \tag{2.14}$$

ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนในกรณีทรงกระบอกกลวง R_{total} คือ

$$R_{cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_2/r_3)}{2\pi k_B L} + \ldots + \frac{\ln(r_{n-1}/r_n)}{2\pi k_n L} \tag{2.15}$$

2.4.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหย [10]

การระเหย (Evaporation) คือ การกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารเหลว ด้วยการต้มโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความสามารถในการระเหยของน้ำและตัวทำละลาย ในระหว่างการระเหย การถ่ายเทความร้อนแฝงจากตัวกลางให้ความร้อน เช่น ไอน้ำไปยังอาหารและความร้อนสัมผัสจะทำให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือด ความดันไอของอาหารเหลวจะสูงขึ้นและไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนแฝงในการระเหย ทำให้เกิดฟองไอขึ้นในของเหลว ไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปจากผิวหน้าของน้ำเดือด อัตราการระเหยกำหนดได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารและอัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำจากอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงเรียกว่า "ความร้อนแฝง" (Latent Heat); Q_l และ ความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิโดยสารไม่เปลี่ยนสถานะ เรียกว่า "ความร้อนสัมผัส" (Sensible Heat); Q_s

- ความร้อนแฝง (Latent Heat) [9]

ความร้อนแฝง (Latent heat) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสาร ซึ่งมี 2 ประเภท คือ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ความร้อนแฝงของสารแต่ละชนิดมีค่าเฉพาะตัว

1. ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Latent heat of fusion) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของแข็งให้กลายเป็นของเหลว ณ จุดหลอมเหลวของสาร

ตัวอย่างเช่น ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งเท่ากับ 334.8 กิโลจูลต่อกิโลกรัม หมายความว่า ถ้าต้องการทำให้น้ำแข็ง 1 กิโลกรัม ที่ 0 ^{0}C เปลี่ยนเป็นน้ำ 1 กิโลกรัมที่ 0 ^{0}C ต้องใช้พลังงาน 334.8 กิโลจูล

2. ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของเหลวให้กลายเป็นไอ ณ จุดเดือดของของเหลวนั้น

ตัวอย่างเช่น ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำเท่ากับ 2256 กิโลจูลต่อกิโลกรัม หมายความว่า ถ้าต้องการทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม ที่ 100 ^{0}C เปลี่ยนเป็นไอน้ำ 1 กิโลกรัมที่ 100 ^{0}C ต้องใช้พลังงาน 2256 กิโลจูล

ใช้ความร้อนแฝงจำเพาะของสารชนิดนั้น เป็นตัวกำหนดปริมาณความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนสถานะ [6]

$$Q = mL \qquad (2.16)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อน (Cal , Kcal , J , KJ)

m = มวลสาร (g , Kg)

L = ความร้อนแฝงจำเพาะ (Cal/g , Kcal/kg , *C , J/kg , K)

- ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

เมื่อสสารได้รับพลังงานความร้อน ตามปกติอุณหภูมิของสารจะเพิ่มขึ้น (ยกเว้นกำลังเปลี่ยนสถานะ) ปริมาณความร้อนที่พอดีทำให้สารทั้งก้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 °C เรียกว่า ความจุความร้อน (Heat capacity) ถ้าให้ Q เป็นพลังงานความร้อนที่สสารได้รับ ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT และ C เป็นความจุความร้อนของสสาร

$$Q = C\,\Delta T \quad T_2 < T_1 \qquad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจุความร้อนจำเพาะ(c) ของสสาร คือ ความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของสสาร ดังนั้นถ้าพลังงานความร้อน Q ถูกถ่ายเทให้แก่มวลสสาร มวล m ;kg และทำให้อุณหภูมิของมันเปลี่ยนไป ΔT ความจุความร้อนจำเพาะ c คือ [2]

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \qquad (2.18)$$

มีหน่วยเป็น J/kg°C หรือ cal/g°C

ด้วยนิยามของความจุความร้อนจำเพาะนี้ จึงสามารถหาพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างสสารที่มีมวล m และสิ่งแวดล้อมของมันได้ เมื่ออุณหภูมิของสสารเปลี่ยนแปลง ΔT ได้เป็น

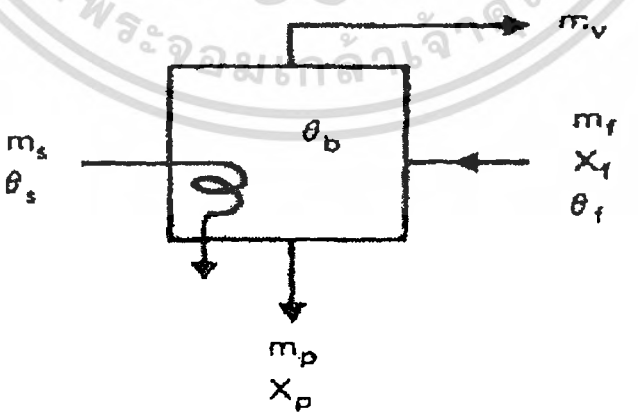
$$Q = mc\Delta T \qquad (2.19)$$

จากสมการ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น $\Delta T = T_2 - T_1$ จะเป็นค่าบวก (+) ทำให้ Q มีค่าเป็นบวกด้วย ซึ่งหมายความว่า พลังงานความร้อนถูกถ่ายเท จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สสาร แต่เมื่ออุณหภูมิของสสารลดลง คือ $\Delta T = T_2 - T_1$ $(T_2 < T_1)$ จะมีค่าเป็นลบ (-) ทำให้ค่า Q มีค่าเป็นลบด้วย ซึ่งหมายความว่าพลังงานความร้อนถูกถ่ายเทออกจากสสารสู่สิ่งแวดล้อม

2.4.3 ระบบการทำระเหย [12]

- การถ่ายเทมวลและความร้อน

การถ่ายเทความร้อนแฝงจากตัวกลางให้ความร้อน เช่น ไอน้ำไปยังอาหารและความร้อนสัมผัสในระหว่างการระเหยจะทำให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือด ความดันไอของอาหารเหลวจะสูงขึ้นและไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนแฝงในการระเหยและทำให้เกิดฟองไอขึ้นในของเหลว ไอน้ำถูกกำจัดออกไปจากผิวหน้าของน้ำที่เดือดอยู่ อัตราการระเหยกำหนดได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหาร และอัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำจากอาหาร รูปที่ 2.28 แสดงกลไกการระเหย



รูปที่ 2.28 Start operation ภายในเครื่องระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m_f = อัตราการถ่ายเทมวลของอาหารเหลวที่ส่งเข้า (kg/s)

m_p = อัตราการถ่ายเทมวลของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (kg/s)

X_f = สัดส่วนของแข็งในอาหารที่ส่งเข้ามา

X_p = สัดส่วนของแข็งในผลิตภัณฑ์

m_v = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่เกิดขึ้น (kg/s)

m_s = อัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่ใช้ (kg/s)

θ_r = อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารที่ส่งเข้ามา (°C)

θ_b = จุดเดือดของอาหาร (°C)

θ_s = อุณหภูมิของไอน้ำ (°C)

ในการคำนวณระดับการทำให้ข้น การใช้พลังงานและเวลาในกระบวนการต้องใช้สมการสมดุลมวลและความร้อนของเครื่องระเหย การสมดุลมวลแสดงให้เห็นว่ามวลของอาหารที่ถูกส่งเข้ามาจะเท่ากับมวลของผลิตภัณฑ์และไอน้ำที่ออกจากเครื่องระเหย สามารถเขียนสมการสำหรับองค์ประกอบของน้ำได้ดังนี้

$$m_f(1- X_f) = m_p (1- X_p)+ m_v \qquad (2.20)$$

สำหรับมวลของแข็งซึ่งเป็นตัวถูกละลายที่ถูกส่งเข้ามาในเครื่องระเหยจะเท่ากับมวลของของแข็งที่ออกจากเครื่องระเหย

$$m_f X_f = m_p X_p \qquad (2.21)$$

สมการสมดุลมวลทั้งหมดคือ

$$m_f = m_p + m_v \qquad (2.22)$$

สำหรับสมการสมดุลความร้อนนั้น จากสมมติฐานว่าเกิดการสูญเสียความร้อนน้อยมากจนตัดทิ้งได้ แสดงว่าความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำจะเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารถึงจุดเดือดและความร้อนที่ให้ไอน้ำเดือด

$$Q = m_s \lambda_S \qquad (2.23)$$

$$Q = m_f C_p (\theta_b - \theta_f) + m_v \lambda_V \qquad (2.24)$$

โดยที่ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (J/s)

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอาหารส่วนที่เป็นของเหลว (J/kg°C)

λ_V = เป็นค่าความร้อนแฝงของการควบแน่นไอน้ำ (J/kg)

λ_S = เป็นค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (J/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงได้โดย

ความร้อนจากไอน้ำ = ความร้อนสัมผัส + ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอน้ำ (2.25)

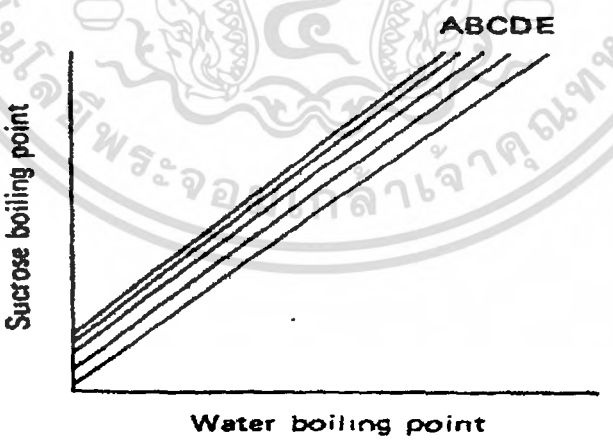
อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเครื่องระเหยและฟิล์มบางๆรอบวัตถุ คำนวณได้จากสมการ

$$Q = UA(\theta_s - \theta_b) \quad (2.26)$$

- ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน [10]

อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่อการกำหนดเวลาในการให้ความร้อนและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่

(1) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำและน้ำเดือด การระเหยภายใต้สุญญากาศจะทำให้จุดเดือดของอาหารลดต่ำลงและค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองสูงขึ้น ในทางปฏิบัติจะไม่มีการลด จุดเดือดในเครื่องระเหยที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่ำลงกว่า 40 °C เพราะต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการทำให้เกิดสุญญากาศสูงของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการต้องมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ ความแตกต่างของอุณหภูมินี้จะน้อยลงเมื่ออาหารมีความเข้มข้นสูงขึ้น เนื่องจากจุดเดือดของอาหารจะสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงลดลงเมื่อทำการระเหยต่อไป สามารถใช้กราฟของดูริงค์ (*Duhring Plot*) (รูปที่ 2.28)ในการหาจุดเดือดของสารละลายที่ความดันต่างๆได้ ในเครื่องระเหยขนาดใหญ่ จุดเดือดของของเหลวที่บริเวณด้านล่างอาจจะสูงขึ้น เนื่องจากความดันจากน้ำหนักของของเหลวที่กดลงมา (Hydrostatic Head) ในการคำนวณต่างๆในกระบวนการจะใช้ค่าจุดเดือดที่จุดกึ่งกลางจากด้านล่างขึ้นมา หรือ เรียกว่า "จุดร้อนช้าที่สุด"



รูปที่ 2.29 กราฟดูริงค์ สำหรับน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อ 100 กรัมน้ำ
กราฟ A, 1000 กรัม; กราฟ B, 800 กรัม;กราฟ C, 600 กรัม; กราฟ D, 400 กรัม; กราฟ E, 200 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) อาหารที่ติดค้างอยู่บนผิวของการถ่ายเทความร้อนที่เรียกว่าตะกรัน (Fouling) ซึ่งเกิดบนผิวของเครื่องระเหยจะลดอัตราการถ่ายเทความร้อน การเกิดตะกรันดังกล่าวเกี่ยวข้องกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอาหารและผิวเครื่องให้ความร้อน เนื้อและองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร เช่น การเสียสภาพของโปรตีนหรือตะกอนแป้ง โพลิแซคคาไรด์ทำให้อาหารไหม้บนผิวร้อน ในเครื่องระเหยบางชนิดจะมีการกำจัดอาหารออกจากผนังของเครื่องอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามโลหะด้านที่โดนไอน้ำอาจเกิดการกัดกร่อนได้ การลดการกัดกร่อนนี้ทำได้โดยการเคลือบผิวโลหะด้วยสารกันสนิมหรือใช้เหล็กปลอดสนิมในการทำโครงสร้างของเครื่อง

(3) ฉนวนฟิล์ม (Boundary Film) ฟิล์มของของเหลวที่หยุดนิ่งบนผิวของเครื่องระเหยเป็นตัวต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญ การลดความหนาของฟิล์มทำได้โดยการพาความร้อนแบบบังคับโดยวิธีเชิงกลเพื่อเพิ่มการไหลเวียนแบบ turbulent ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะให้ความหนืดของอาหารเพิ่มขึ้นด้วย มีผลทำให้ค่า Reynolds number และอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องนานขึ้น จึงทำให้เกิดการสูญหายเนื่องจากความร้อนมากขึ้น

- คุณสมบัติของของเหลวที่มีผลต่อการระเหย [9]

(Influence of Feed Liquor Properties on Evaporation)

การเลือกชนิดของเครื่องระเหยจะขึ้นกับคุณสมบัติของของเหลวซึ่งได้แก่

1. ความหนืด (Viscosity)

เมื่ออาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้น อัตราการหมุนเวียนจะลดลง และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลงด้วย โดยทั่วไป ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหย ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเมื่อการระเหยดำเนินต่อไป

ตะกรัน (Fouling-Scaling)

ตะกรันเป็นปัญหาสำคัญของการระเหยน้ำออกจากอาหาร โดยเฉพาะพวกโปรตีนและน้ำตาล (Polysaccharides) ที่มีอยู่ในอาหารสามารถเกาะติดค้างอยู่ที่ผิว ซึ่งยากต่อการกำจัดออกไป และมีผลทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดลดลง (ค่า U ลดลง) อย่างไรก็ตามปัญหาเรื่องตะกรันจะเกิดขึ้นน้อยลง เมื่อกระแสของอาหารไหลด้วยความเร็วสูง

2. การกัดกร่อน (Corrosion)

อาหารบางอย่างเช่นน้ำผลไม้ มักจะมีองค์ประกอบที่สามารถกัดกร่อนผิวที่แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นอันตรายต่อเครื่องมือและยังก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะในอาหารได้ ดังนั้นเครื่องระเหยส่วนมากจะใช้เหล็กปลอดสนิมเป็นโครงสร้าง และทำให้เข้มข้นขึ้นโดยเครื่องระเหยแบบบังคับการหมุนเวียน (Force Circulation) ซึ่งมี ค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด (U) ที่สูงกว่า และใช้พื้นที่ผิวลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความว่องไวต่ออุณหภูมิ (Temperature Sensitivity)

เพื่อลดการเสื่อมเสียอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนระหว่างการระเหย อุณหภูมิจุดเดือดของอาหารควรจะมีค่าต่ำและใช้เวลาอยู่ในเครื่อง (Residence Time) ในช่วงให้ความร้อนสั้น อุณหภูมิจุดเดือดจะลดต่ำลงได้โดยการลดความดันของเครื่องระเหย ความแตกต่างของอุณหภูมิไอน้ำต่ำลง

4. การสูญเสียกลิ่น (Aroma Loss)

องค์ประกอบของกลิ่นรส (Aroma and Flavor) ในอาหารเหลวหลายชนิด เช่นน้ำผลไม้นั้นสามารถระเหยเป็นไอ (Volatile) ได้มากกว่าน้ำเมื่อของเหลวนั้นถูกทำให้เข้มข้นขึ้น องค์ประกอบเหล่านี้จะถูกกำจัดออกไปพร้อมกับไอน้ำที่ได้จากการระเหยทำให้คุณภาพของอาหารเข้มข้นนั้นเสื่อมเสีย องค์ประกอบของสารระเหยง่ายนี้สามารถเก็บกัก (Recover) จากไอที่ไว้เป็นหัวเชื้อ (Essence) โดยการกลั่นลำดับส่วนแล้วผสมกลับเข้าไปในอาหารเหลวเข้มข้นภายหลัง

- ส่วนประกอบเครื่องระเหย

(1) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เรียกว่าคาแลนเดรีย (Calandria) ซึ่งถ่ายเทความร้อนจากไอไปยังอาหาร

(2) เครื่องแยกไอน้ำที่ผลิตได้

(3) ปั๊มกลหรือปั๊มสุญญากาศฉีดไอน้ำ

ปั๊มกลใช้ค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำ แต่ใช้เงินลงทุนสูงกว่าปั๊มฉีดไอน้ำ ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกเครื่องระเหยให้เหมาะสมมีดังต่อไปนี้

(1) ความสามารถในการทำงานแสดงในหน่วยกิโลกรัมน้ำที่ถูกกำจัดต่อชั่วโมง

(2) ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ แสดงโดย % ของแข็งในผลิตภัณฑ์

(3) ความสัมพันธ์ระหว่างความไวต่อความร้อนของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในเครื่อง และอุณหภูมิระหว่างการระเหย

(4) ความต้องการเครื่องมือสำหรับการนำสารระเหยมาใช้ใหม่

(5) ความยากง่ายในการทำความสะอาด

(6) ความยากง่ายในการเดินเครื่องหรือการทำงานและความเชื่อถือได้ของเครื่อง

(7) ความสัมพันธ์ระหว่างเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกับความสามารถในการทำงานของเครื่องและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เครื่องระเหยในอุดมคติควรจะเป็นเครื่องที่สามารถขจัดน้ำออกไปได้โดยไม่เกิดการสูญเสียองค์ประกอบของตัวละลาย เมื่อเจือจางแล้วได้วัตถุดิบตั้งต้นใหม่ได้ อย่างไรก็ตามเครื่องที่สามารถทำสิ่งดังกล่าวนี้ได้มากเท่าไหร่ก็จะมีราคาสูงขึ้นเท่านั้น การเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งก็เช่นเดียวกับเครื่องมืออื่นๆ ที่จะต้องมีการพิจารณาระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิตกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การลงทุนสูงต้องได้รับผลตอบแทนสูงเพียงพอเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น เช่น เครื่องระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม หรือเครื่องระเหยเร่งด้วยความร้อนใช้เวลาสั้น (Thermally Accelerated Short-Time Evaporator, TASTE) การรวมเครื่องระเหย 2 แบบเข้าด้วยกันอาจคุ้มค่าใช้จ่ายในการประยุกต์ใช้ในงานบางอย่าง เช่น การทำให้ข้นด้วยเครื่องระเหยคาแลนเดรียและตามด้วยเครื่องระเหยนิยมใช้การทำงานแบบต่อเนื่อง แต่ยังมีการใช้การระเหยแบบกะ (Batch-Boiling-Pan) สำหรับวัตถุดิบปริมาณน้อยหรือสำหรับงานที่อาจจะมีการเปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์บ่อยๆ [10]

2.4.3 หลักการทำระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum evaporating)

วัสดุที่มีความชื้นเมื่อนำไปอยู่ภายใต้สุญญากาศ ความชื้นจะถูกขจัดออกได้เนื่องจากความดันสุญญากาศต่ำกว่าความดันไอของน้ำ

การขจัดไอทำได้โดยใช้ปั๊มสุญญากาศเชิงกลหรือปั๊มขับไอ (Steam ejector) ควบคู่ไปกับเครื่องควบแน่น ความเย็นที่อุณหภูมิประมาณ -35 °C เครื่องควบแน่นความเย็นจัดจะช่วยขจัดไอออกจากห้องสุญญากาศ เนื่องจากผลต่างของความดันไอของสารกับความดันไอของน้ำแข็งที่เครื่องควบแน่น เช่น วัสดุที่อุณหภูมิ -10 องศา ความดันไออาจมีค่าประมาณ 2 torr ถ้าให้อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น -40 °C ความดันไอของน้ำแข็งจะมีค่า 0.093 torr ผลต่างของความดันนี้เพียงพอจะขจัดไอออกจากห้องสุญญากาศกรณีอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน (Heat Sensitivity) การระเหยควรทำภายใต้ความดันสุญญากาศค่อนข้างสูง (ความดันต่ำ) จะทำให้ผลิตภัณฑ์ระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงสามารถลดความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้ [10]

2.5 ทฤษฎีการออกแบบระบบเครื่องทำระเหยที่ความดันต่ำ

2.5.1 การออกแบบถังภาชนะความดันผนังบาง (thin – walled pressure vessels) [7]

ภาชนะผนังบาง หมายถึง ภาชนะที่ความหนาของผนังมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรัศมีความโค้ง ถ้าให้ t เป็นความหนา และ R เป็นรัศมีความโค้ง ถ้า R/t มีค่ามากกว่า 10 ก็อาจจะจัดได้ว่าเป็นภาชนะผนังบาง

ภาชนะความดันผนังบาง โดยปกติจะมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลม ทรงกระบอกหรือรูปวงรี จุดประสงค์เพื่อบรรจุของเหลวหรือก๊าซภายใต้ความดัน ในทางปฏิบัติภาชนะความดันประกอบด้วยเปลือกหรือผนังเพื่อบรรจุที่มีความดันด้วย Flange Rings และยึดด้วยรอยต่อและทนต่อแรงดันสูง ในที่นี้ใช้ภาชนะผนังบางทรงกระบอกกลม ความเค้นสูงสุดจะเกิดในแนวความโค้ง เรียกว่า ความเค้นรัด (hoop stress) หรือความเค้นในแนวเส้นรอบวง (circumferential stress) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\sigma_h = \frac{pR}{t} \qquad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกนของทรงกระบอก เรียกว่า ความเค้นในแนวแกน (longitudinal stress) มีค่าน้อยกว่าความเค้นในแนวเส้นรอบวงครึ่งหนึ่ง นั่นคือ

$$\sigma_l = \frac{pR}{2t} \qquad (2.28)$$

โดยปกติแล้วการทำภาชนะความดันส่วนมากจะมีตะเข็บหรือรอยต่อ ซึ่งบริเวณตะเข็บจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าบริเวณเนื้อผนัง เพราะฉะนั้นความหนาของผนังที่คำนวณได้จากสมการ หรือดังนั้นจึงควรใช้ความหนาของผนังที่คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

สำหรับภาชนะผนังบางทรงกระบอก

$$t = \frac{pR}{\eta\sigma} \qquad (2.29)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของตะเข็บหรือรอยต่อ

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบภาชนะผนังบางจะต้องทำตามเกณฑ์ของภาชนะความดัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความปลอดภัย และภาชนะที่ใช้จะได้มาตรฐานเพียงพอตามหลักเกณฑ์ต่างๆ เช่น หลักของสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) เป็นต้น จึงต้องคิดค่าความปลอดภัย (Safety Factor) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5

2.5.2 การคำนวณแรงบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \qquad (2.30)$$

โดยที่ T คือ โมเมนต์บิด

L คือ ความยาว

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (polar area moment of inertia)

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad \text{สำหรับท่อกลมตัน} \qquad (2.31)$$

$$J = \frac{\pi(d^4 - d_i^4)}{32} \quad \text{สำหรับท่อกลมกลวง} \qquad (2.32)$$

d คือ ขนาดผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau = \frac{Tr}{J} \qquad (2.33)$$

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อนกลม

2.5.3 กำลังงานที่ใช้ในการกวนของเหลว

1. กำลังงานป้อนเข้า

การหากำลังงานอย่างคร่าวๆสำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งกำลังมาตามเพลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

$$W_p = T\omega = 2\pi nT \qquad (2.34)$$

โดยที่ W_p คือ กำลังขับเป็น W

T คือ โมเมนต์บิดเป็น N.m

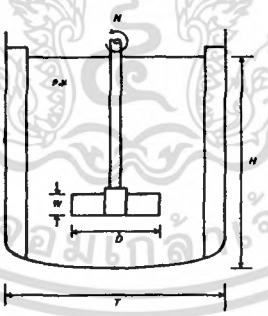
ω คือ ความเร็วเชิงมุมเป็น rad/s

n คือ ความเร็วรอบเป็น rev/s

2. การคำนวณหากำลังงานแยกตามประเภทของของเหลว

หากต้องการหากำลังงานอย่างละเอียดนั้น ต้องหาจากคุณสมบัติแรงเฉือนของของเหลวที่ใช้กวน ได้แก่ ของเหลวประเภท นิวโทเนียน และ นอนนิวโทเนียน ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

- การหากำลังงานที่ใช้กวนของเหลวประเภท Newtonian [3]



รูปที่ 2.30 การกำหนดตัวแปรเพื่อหากำลังงาน

พิจารณาถังกวนดังแสดงในรูปที่ 2.31 เมื่อกำหนดให้ Newtonian Liquid มีความหนาแน่น ρ และความหนืด μ ถูกกวนโดยใบกวนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D หมุนด้วยความเร็วรอบ N ถังกวนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง T ใบกวนหนา W และของเหลวมีความลึก H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการกำลังงานของใบกวน P ภายใต้เงื่อนไขข้างต้นจะสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ ดังนี้

$$P=f(\rho, \mu, N, g, D, T, W, H, other\ dimensions) \quad (2.35)$$

P คือความต้องการกำลังงานของใบกวน แสดงให้เห็นถึงอัตราการกระจายตัวของพลังงานภายในของเหลว พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ จะมีค่ามากกว่า P เนื่องมาจากการสูญเสียกำลังงานที่มอเตอร์ ห้องเกียร์ และแบริ่ง

มันเป็นไปไม่ได้ที่จะได้ความสัมพันธ์ในสมการที่ (1.1) โดยการวิเคราะห์ทางด้านกลศาสตร์ของไหลที่อยู่ภายในถัง เนื่องจากความซับซ้อนทางด้านเรขาคณิตของตัวถัง,ใบกวน ,และส่วนประกอบเสริมอื่นๆ เช่น คอยล์ร้อน อย่างไรก็ตาม การใช้ลักษณะรูปร่างมาวิเคราะห์จำนวนค่าที่เกิดการผันแปรมาช่วยแก้ปัญหาสามารถย่อสมการ ให้เล็กลงได้เป็น

$$P/\rho N^3D^5 = f\{\rho ND^2/\mu, N^2D/g, T/D, W/D, H/D, etc.\} \quad (2.36)$$

เมื่อ $P/\rho N^3D^5$ คือ Power Number (เลขกำลังงาน); P_o

$\rho ND^2/\mu$ คือ the Reynolds Number; $R_e\gamma$

N^2D/g คือ Froude Number; F_r

Froude Number โดยทั่วไปจะมีความสำคัญเฉพาะในกรณีที่มีการไหลวนมากๆและอาจไม่ต้องนำมาพิจารณาหากค่า Reynolds Number มีค่าน้อยกว่า 300 สำหรับของไหลที่มี Reynolds Number สูงๆ ค่า Froude Number จะไม่ถูกนำมาพิจารณา เมื่อมีการใช้ baffles หรือลักษณะการคนแบบ off-centre

ดังนั้นในกรณีนี้เราจึงสามารถตัดค่า Froude Number ออก จะได้

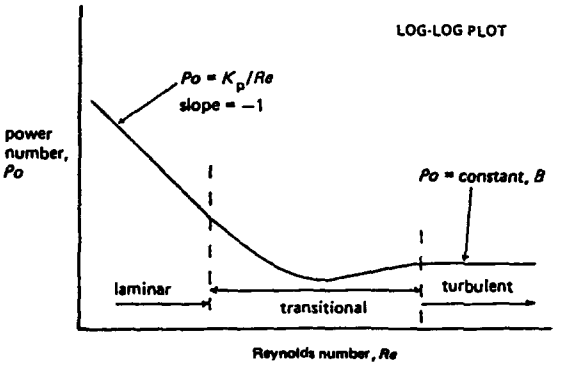
$$P_o = f(R_e, \text{อัตราส่วนทางด้านเรขาคณิต}) \quad (2.37)$$

และเมื่อเราพิจารณาให้ ลักษณะรูปร่างเหมือนกันทั้งระบบ จะได้

$$P_o = f(R_e) \quad (2.38)$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะพบแต่ในเฉพาะการทดลองซึ่งกำลังงานที่ต้องการวัดค่าโดยการหมุนใบกวนที่ความเร็วรอบต่างๆในของไหลที่มีความหนาแน่นและความหนืดต่างๆกัน ถังหลายชนิดที่มีลักษณะทางเรขาคณิตเหมือนกันถูกนำมาใช้ เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟ log-log ระหว่าง P_o และ R_e จะได้ curve กำลังงานของระบบ ข้อมูลทางการทดลองของของเหลว 1 เฟสทั้งหมดจะให้เส้น curve ลักษณะเฉพาะ 1 เส้น เพื่อใช้ในการออกแบบทางด้านเรขาคณิตของถังกวนและใบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 รูปแบบของ Power curve

รูปแบบของ power curve แสดงดังรูปที่ 2.32 จะเห็นได้ว่าที่ค่า Reynolds Number ต่ำ คือน้อยกว่า 10 จะเกิดบริเวณการไหลแบบ laminar ซึ่งการไหลนี้มีอิทธิพลมาจากแรงหนืด ความชันของ power curve ในกราฟ log-log มีค่าเท่ากับ -1 แสดงดังสมการ

$$P_o = K_p/Re \qquad (2.39)$$

เมื่อ K_p คือค่าคงที่ขึ้นกับระบบทางเรขาคณิต

ในบริเวณการไหลแบบ laminar การผสมจะขึ้นช้าๆและการคลุกเคล้าในตอนเริ่มต้นเกิดจากการแพร่กระจายของความเร็วในถัง เนื่องจากการกระจายความเร็วแบบ turbulent จะขาดช่วงและจะส่งผลให้การแยกตัวของโมเลกุลของของเหลวในระบบเกิดขึ้นช้า ท้ายที่สุดแล้วการแพร่กระจายความเร็วจะก่อให้เกิดความตึงที่ผิวหน้าขยายเป็นวงกว้างระหว่างส่วนประกอบซึ่งเกิดขณะทำการคลุกเคล้าและส่งผลต่อการกระจายตัวของโมเลกุล ของเหลวหนืดทีมีค่า Renolds number ต่ำ จะใช้ใบกวนแบบ anchors หรือแบบ ribbons และแนวคิดบวกกับทฤษฎีอื่นๆที่สอดคล้องกัน

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงทางด้านเรขาคณิตสำหรับการออกแบบใบกวน สามารถขยายให้กว้างขึ้นโดยการรวมเอาอัตราส่วนทางเรขาคณิตและข้อสนับสนุนด้านการไหลแบบ laminar กล่าวคือ

$$P_o = K_p' Re^{-1} (G_1)^a (G_2)^b \qquad (2.40)$$

ความสัมพันธ์ข้างต้นมีความถูกต้องสูง และจะพบว่าค่า K_p',a,... จะไม่ขึ้นกับขนาดของอุปกรณ์ ความสัมพันธ์ที่ได้สามารถหาค่าได้ในช่วงกว้าง ซึ่งสมการของใบกวนแบบ anchors และ ribbons ใช้ความสัมพันธ์ในการใช้หาค่าในขอบเขตของการไหลแบบ laminar

Helical ribbon

$$P_o = 150\, Re^{-1} (C/D)^{-0.28} (/D)^{-0\,53} (h/D)(W/D)^{0.33} N_b^{\,0.54} \qquad (2.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anchor

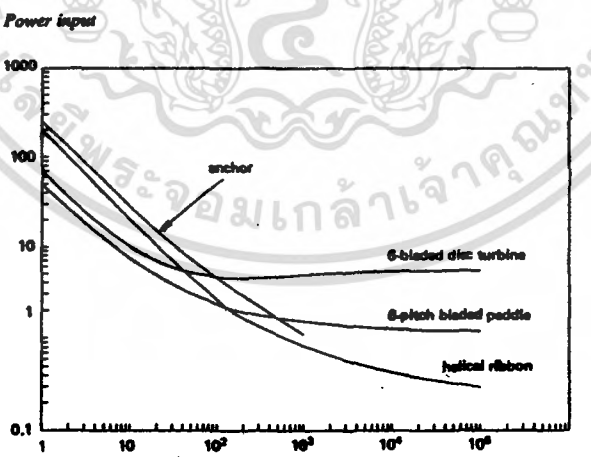
$$P_o=85\ Re^{-1}(C/T)^{-0.31}(h/D)^{0.48} \qquad (2.42)$$

ที่ค่า Reynolds number สูง มากกว่า10^4 การไหลจะเป็นแบบ turbulent และการผสมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นลักษณะของการหมุนวนแบบ turbulent ขอบเขตของ P_o จะขึ้นกับค่าคงที่ คือ

$$P_o=B \qquad (2.43)$$

การผสมกันของ gas/liquid, solid/liquid, และ liquid/liquid ในช่วงการไหลนี้เกิดการผสมจะใช้ใบพัดที่มีความเร็วสูง เช่น ใบกวนแบบ turbine หรือ paddles แม้ว่าการผสมของไหลจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กระบวนการโดยรวมแล้วถือว่ายังคงเกิดขึ้นช้าเนื่องจากเงื่อนไขทางด้าน mass transfer

ระหว่างการไหลแบบ laminar ที่ค่า Reynolds number ต่ำ และการไหลแบบ turbulent ที่ค่า Reynolds number สูง บริเวณที่เกิดการแพร่กระจายซึ่งไม่สามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่เข้าใจได้ง่าย ในรูปของ Power number กับ Reynolds number curve กำลังงานสำหรับใบกวนแบบต่างๆควรจะต้องจดจำให้ได้ ในขณะเดียวกัน curve กำลังงานจะใช้ได้เหมาะสมกับของเหลว 1 เฟส ที่มีค่าความเร็วใบกวนต่างๆกัน โดย curve หนึ่งๆก็จะมีผลต่อระบบทางเรขาคณิตระบบหนึ่ง คือ หากถังกวนขนาดต่างๆกันซึ่งขึ้นกับ ขนาดใบกวน,สิ่งที่ใส่เสริมเข้าไป และอื่นๆ นั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับ curve ที่มีอยู่ ดังนั้น curve กำลังงาน (จากรูปที่ 2.33) สามารถใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังงานในการขับเคลื่อนใบกวน หากเราทราบคุณลักษณะของถังกวน ใบกวน คุณสมบัติของของไหล และความเร็วใบกวน หากไม่มี curve ใดสามารถใช้กับถังกวนหรือใบกวนที่เราสนใจ งานด้านการทดลองจะเป็นตัวช่วยในการหารูปแบบของ curve



รูปที่ 2.32 แสดงรูปแบบของกราฟเมื่อใช้ใบกวนแบบต่างๆ

- การหากำลังงานที่ใช้กวนของเหลวประเภท Non-Newtonian

ความสัมพันธ์เบื้องต้นระหว่าง Newtonian และ non-Newtonian แสดงโดยใช้ข้อมูลการใช้กำลังงานในการไหลแบบ laminar มีการใช้ความสัมพันธ์ของ Metzner และ Otto เป็นพื้นฐานในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

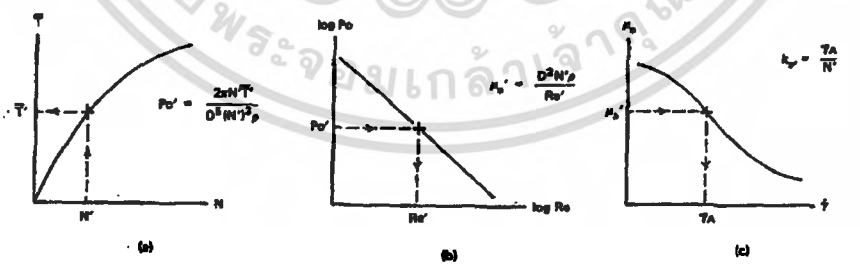
คำนวณหาความหนืดของการผสม โดยพื้นฐานของวิธีการนี้มาจากการสันนิษฐาน ก็คือค่าเฉลี่ยของอัตราแรงเฉือนในการผสมซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้กำลังงานและอัตราแรงเฉือนนี้ได้สัดส่วนพอเหมาะกับความเร็วของใบกวน

$$\dot{\gamma}_a = k_s N \qquad (2.44)$$

เมื่อ k_s คืออัตราแรงเฉือนของการผสม เป็นค่าคงที่คำจำกัดความของค่าเฉลี่ยอัตราแรงเฉือน $\dot{\gamma}_a$ ก็คือความหนืดที่ใช้ในการทำนายค่ากำลังงานสำหรับของไหลแบบ non-Newtonian ความหนืดนี้จะมีผลถูกต้องแน่นอน หากเลือกใช้อัตราแรงเฉือนที่เหมาะสมและใช้กับ curve Power number-Reynolds number ของของไหล Newtonian (Power curve) เพื่อทดสอบสมมติฐาน จึงมีการวัดลักษณะเฉพาะของ Power curve-Reynolds number ของของไหลแบบ non-Newtonian ค่าที่วัดได้คือการใช้กำลังงานสำหรับของไหลแบบ non-Newtonian Power number และ Reynolds number ที่สอดคล้องกัน สามารถคำนวณได้จาก Power curve ของของไหล Newtonian ดังนั้นจะได้คำจำกัดความของ Reynolds number ที่มีผลต่อของเหลวแบบ non-Newtonian ดังนี้

$$Re = ND^2 \rho / \mu_a \qquad (2.45)$$

μ_a สามารถบ่งชี้ได้ อัตราแรงเฉือนสอดคล้องกับค่าความหนืด สามารถหาค่าได้จากข้อมูลความหนืด อัตราแรงเฉือนของของไหล non-Newtonian ดูได้จากรูปที่ 2.34 ค่าคงที่อัตราแรงเฉือนการผสม, k_s สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.38) ค่า k_s เป็นค่าบ่งชี้ได้โดย Metzner และ Otto ใช้ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กันในช่วงความเร็วของใบกวนต่างๆและคุณสมบัติของของไหล และค่าเฉลี่ยนี้ยังสามารถใช้ในการทำนายหาข้อมูลการใช้กำลังงานของของเหลว non-Newtonian ได้อีกด้วย ค่าเฉลี่ยของแรงเฉือนกับความหนืดปรากฏจะทำนายและแสดงค่าการใช้กำลังงานที่เป็นไปได้ของของเหลวแบบ thixotropic



รูปที่ 2.35 กราฟแสดงอัตราแรงเฉือน ;k_s

a) Non-Newtonian power consumption

b) Newtonian power consumption

c) Non-Newtonian viscometry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกฎของกำลังงานของของไหล k_s สามารถรวมเข้ากับ สมการของ Power number-Reynolds number กฎของกำลังงานของของไหล คือ

$$\tau = k_s(\dot{\gamma}_A)^n \quad (2.46)$$

ความหนืดปรากฏคือ

$$\mu_a = \tau / \dot{\gamma}_A = k(\dot{\gamma}_A)^{n-1} \quad (2.47)$$

ถ้า $\dot{\gamma}_A = k_s N$ จะได้ว่า

$$\mu_a = K(k_s N)^{n-1} \quad (2.48)$$

ค่า μ_a จะรวมเข้ากับ Reynolds number คือ

$$Re = ND^2 / \mu_a = N^{2-n}D^2 / K(k_s)^{n-1} \quad (2.49)$$

สมการ Power number สำหรับการไหลแบบ laminar เขียนได้ใหม่เป็น

$$P_o = K_p [N^{2-n}D^2 / K(k_s)^{n-1}]^{-1} \quad (2.50)$$

เมื่อ K_p คือค่าที่ใช้ได้กับของเหลวแบบ Newtonian และ non-Newtonian ซึ่งมีความสำคัญต่อการกำหนดค่าคงที่ของแรงเฉือนในการผสม ในสมการของ Power number และความสัมพันธ์อื่นๆซึ่งไม่รวมเอาค่าคงที่นี้หรือที่เสมือนกัน ดังนั้นจึงควรระมัดระวัง ตรวจสอบก่อนนำมาใช้งาน

หลักการพื้นฐานของค่าเฉลี่ยแรงเฉือนการผสมนำมาใช้ในห้องทดลองและงานด้านอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง และในด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง หลักการนี้จะมีสมมติฐานว่า ค่าคงที่ของแรงเฉือน k_s เป็นฟังก์ชั่นของชนิดใบกวน งานวิจัยที่ดำเนินการเรื่องเกี่ยวกับอิทธิพลที่มีผลต่อดัชนีพฤติกรรมการไหล คุณลักษณะด้านความยืดหยุ่น และขั้นตอนต่างๆเพื่อใช้ในการอธิบายการใช้กำลังงานของ Dilatant fluids ซึ่งจะสามารถพยากรณ์เกี่ยวกับกำลังงานและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดแบบจำลองกฎของกำลังงาน จะต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง ความหลากหลายของค่า k_s ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในสมการกฎของกำลังงาน

เมื่อการคำนวณจะสนใจถึงค่าเฉลี่ยแรงเฉือนที่ทำการค้นคว้า ($\dot{\gamma}_A = k_s N$) ที่อยู่ภายในช่วงของข้อมูลด้านความหนืดของกฎกำลังงาน

เราตั้งข้อสันนิษฐานและผลที่ปรากฏได้ว่าค่าคงที่อัตราเฉือน, k_s เป็นอิสระไม่ขึ้นกับขนาดเครื่องมือ และความหลากหลายของรูปทรงของเครื่องมือ

ใบกวนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางถัง ค่าคงที่ k_s ที่ตามมาจะเป็นดังนี้

Turbine	6 ใบ	$k_s = 11.5$
Paddle	2 ใบ	$k_s = 10$
Propeller	3 ใบ	$k_s = 10$

สำหรับใบกวนแบบ helical และ ribbons อิทธิพลของช่องว่างระหว่างใบพัดและถัง ค่า k_s จะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ribbons; k_s = 34-114 (C/D) เมื่อ 0.026<(C/D)<0.164 (2.51)

Anchors; k_s = 33-172 (C/T) เมื่อ 0.02<(C/T)<0.13 (2.52)

ค่า k_s ในเบื้องต้นมาจากการวัดกำลังงานในลักษณะการไหลแบบ laminar ไม่มีผลมากนักต่อการส่งผ่านและการไหลแบบ turbulent อย่างไรก็ตาม ในบริเวณการไหลแบบ turbulent การกระจายกำลังงานจะมีอิทธิพลโดยส่งผลกระทบต่อภายในและไม่มีอิทธิพลต่อความหนืด ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต่อการหาค่าความหนืด

ส่วนมากการใช้พลังงานของถังคนจะต่ำกว่าถังผสม จึงกำหนดความต้องการกำลังงานอย่างคร่าวๆ เพื่อเป็นแนวทางในการหาประสิทธิภาพของเครื่อง เรียกว่าค่า rule-of-thumb เพื่อใช้คำนวณหา Power curve ที่เหมาะสม

กำลังงานต่ำ	ของแข็งที่แขวนลอยเล็กน้อย,การผสมของไหลความหนืดต่ำ 0.2 kW/m^3
กำลังงานปานกลาง	งานที่เกี่ยวข้องทางด้าน heat transfer, การแพร่กระจายของก๊าซ,การผสมกันของของเหลว/ของเหลว,ของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นปานกลาง 0.6 kW/m^3
กำลังงานสูง	ของแข็งแขวนลอยมากๆ,emulsification,การแพร่กระจายของก๊าซ 2 kW/m^3
กำลังงานสูงมาก	การผสมแป้งเปียก,แป้ง doughs 4 kW/m^3

เราต้องให้ความสนใจกับความต้องการกำลังงานซึ่งคำนวณจาก Power curve ที่สามารถวัดการกระจายตัวของพลังงานภายในของเหลว

โดยเฉพาะมันไม่สามารถจำกัดการสูญเสียซึ่งเกิดจาก motor, gearbox, bearings ซึ่งจะต้องคำนึงถึงขนาดของหน่วยที่ใช้ขับเคลื่อน

มันเป็นสิ่งที่คุ้มค่าหากเราคำนวณหาความต้องการใช้กำลังงานโดยการใช้ความรู้ทางด้านความเร็วของใบกวนและสิ่งนี้มีค่าซึ่งยากต่อการค้นหา เช่น

(1) อะไรเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความเร็วของใบกวนในการผสมภายในถังกวน ภายในระยะเวลาที่กำหนด

(2) ความเร็วของใบกวนต้องการอะไรเพื่อให้อัตราของ mass transfer เป็นไปตามที่ต้องการเพื่อให้ gas/liquid ผสมเข้ากันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำตอบของคำถามเหล่านี้ ดังเช่น ความต้องการต่างๆเพื่อพิจารณาการผสม mass transfer mechanism จะได้ทำการศึกษาต่อไป แต่ในขณะนี้จะพิจารณาถึงวิธีการคำนวณหากำลังงานป้อนเข้าของระบบของเหลว 1 เฟส ซึ่งทราบเพียงความเร็วของใบกวน

มันสามารถพิจารณาค่าต่างๆในเบื้องต้นเพื่อหา กำลังงานที่ต้องการอย่างคร่าวๆได้ ในกรณีซึ่งระบบเป็น ของเหลว/ของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ถ้าการใช้การกวนโดยเติมสารที่เป็นตัวทำละลายเพื่อให้เกิดการผสมกัน และสำหรับของแข็งที่ไม่ละเอียด แขวนลอยในของเหลวความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นต่ำ การกระทำเหล่านี้เป็นไปได้ว่าจะเกิดในบริเวณการไหลแบบ turbulent curve กำลังงานของของไหล 1 เฟส สามารถใช้เป็นตัวอย่างร่วมกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ซึ่งใช้ใน Power number และ Reynolds number อย่างไรก็ตาม สิ่งต่างๆที่มีลักษณะใกล้เคียงกับระบบ gas/liquid จะไม่สามารถใช้ได้เมื่อการทำนายอยู่บนพื้นฐานของค่าเฉลี่ยของความหนาแน่น ซึ่งนำไปสู่ การคาดคะเนความต้องการกำลังงานที่มากเกินไป ท้ายที่สุด สำหรับระบบ liquid/liquid ซึ่งเสถียรในการละลาย และสำหรับระบบ solid/liquid ที่มีความเข้มข้นสูง เป็นไปได้ที่จะมีคุณสมบัติของ Non-Newtonian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างเครื่องทำระเหยที่ความดันสุญญากาศ

3.1 แนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์โดยใช้สุญญากาศระหว่างการทำระเหยน้ำซุปใสเข้มข้น

แนวคิดดังกล่าวนี้เป็นแนวคิดที่คิดขึ้นมาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ในการทำระเหยน้ำซุปใสเพื่อที่จะสามารถทำให้ระบบของการใช้สุญญากาศมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นสอดคล้องกับการดำเนินการในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในขณะนี้การพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีต่างๆ ล้วนแต่มีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพก่อนถึงมือผู้บริโภค และเป็นแนวคิดที่จะลดต้นทุนในการปฏิบัติงานของแต่ละขั้นตอน อาทิ เช่น เวลา, อัตราค่าแรงของคนงาน, การใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน, พลังงานไฟฟ้า ดังนั้น ผู้ทำการทดลองจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์โดยใช้สุญญากาศระหว่างการทำระเหยน้ำซุปใสเพื่อนำไปสู่การมีผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่นิยมยอมรับของผู้บริโภค [10]

3.2 การออกแบบเครื่องทำระเหยที่ความดันสุญญากาศระหว่างการทำน้ำซุปใสเข้มข้น

ปัจจัยและเงื่อนไขในการออกแบบ

1. ฟังก์ชันของอุปกรณ์
   - ก) สามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำซุปใสให้คงที่ในช่วงการทำระเหย
   - ข) มีเทอร์โมมิเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิของน้ำซุปใสในถังความดัน
   - ค) สามารถควบคุมความเร็วรอบของใบกวนได้
2. ความสามารถของอุปกรณ์
   - ก) ถังความดันอกแบบให้สามารถรองรับปริมาณน้ำซุปใสได้ 6 ลิตร
   - ข) ถังเป็นวัสดุที่สามารถทนแรงดันและความร้อนได้ดี
   - ค) ถังสามารถรักษาการสูญเสียความร้อนได้

3.3 การออกแบบถังกวน

3.3.1 ขนาดถัง

กำหนดให้ : ต้องการปริมาตรน้ำซุปต่ำสุด 2 ลิตร และ
ต้องการปริมาณน้ำซุปสูงสุด 5 ลิตร และ
ต้องการให้ถังมีระยะเผื่ออากาศอย่างน้อย 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของ ปริมาตร และ เส้นผ่าศูนย์กลางทรงกระบอก คือ

$$V = \pi r^2 h \qquad (3.1)$$

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของปริมาตร, รัศมีถัง และ ความสูงถัง

$V = 2000\ cm^2$	
$r_2\ (cm^2)$	$h_2\ (cm^2)$
r : 5	h : 25.45
r : 6	h : 17.68
r : 7	h : 12.99
r : 8	h : 9.94
r : 9	h : 7.86
r : 10	h : 6.36
r : 11	h : 5.26
r : 12	h : 4.42
r : 13	h : 3.77
r : 14	h : 3.25
r : 15	h : 2.83
r : 16	h : 2.49
r : 17	h : 2.20
r : 18	h : 1.96
r : 19	h : 1.76
r : 20	h : 1.59

$V = 5000\ cm^2$	
$r_5\ (cm^2)$	$h_5\ (cm^2)$
r : 5	h : 63.64
r : 6	h : 44.19
r : 7	h : 32.47
r : 8	h : 24.86
r : 9	h : 19.64
r : 10	h : 15.91
r : 11	h : 13.15
r : 12	h : 11.05
r : 13	h : 9.41
r : 14	h : 8.12
r : 15	h : 7.07
r : 16	h : 6.21
r : 17	h : 5.50
r : 18	h : 4.91
r : 19	h : 4.41
r : 20	h : 3.98

$V = 6000\ cm^2$	
$r_6\ (cm^2)$	$h_6\ (cm^2)$
r : 5	h : 76.36
r : 6	h : 53.03
r : 7	h : 38.96
r : 8	h : 29.83
r : 9	h : 23.57
r : 10	h : 19.09
r : 11	h : 15.78
r : 12	h : 13.26
r : 13	h : 11.30
r : 14	h : 9.74
r : 15	h : 8.48
r : 16	h : 7.46
r : 17	h : 6.61
r : 18	h : 5.89
r : 19	h : 5.29
r : 20	h : 4.77

จากสมการการออกแบบถังมาตรฐาน คือ

$$\frac{H}{D_t} = 1 \qquad \text{(จากสมการ 2.10)}$$

จากหม้อ stainless steel AISI 304 ที่สามารถหาได้ง่ายทั่วไปในท้องตลาด ได้หม้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 cm และ หม้อสูง 22 cm ซึ่งตรงกับอัตราส่วนที่ต้องการ

<u>จึงใช้ถังขนาด r = 11 cm และ h = 22 cm</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ความหนาถัง

กำหนดให้ : - ความดันบรรยากาศปกติ คือ 1 atm หรือ 101.325 kPa และ
ความดันใช้งานต่ำสุดไม่น้อยกว่า 1 kPa
- วัสดุที่ใช้ทำถังกวน คือ Stainless steel AISI 304
เนื่องจากเป็นโลหะที่ไม่เกิดสนิม และ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
- กำหนดค่า Safety Factor = 5 สำหรับถังความดัน

จากความสัมพันธ์ภาชนะความดันผนังบางทรงกระบอก คือ

$$\sigma_h = \frac{pR}{t} \qquad \text{(จากสมการ 2.27)}$$

ค่า yield strength ของ Stainless Steels AISI 304 = 241.325 N/mm^2

ที่รัศมีของถังกวน (R) = 110 mm (หรือ 11 cm)

ค่าความแตกต่างของความดันภายนอกและภายในถัง (p) = 100 kPa หรือ 0.1 N/mm^2

$$241.325 N/mm^2 = \frac{(0.1 N/mm^2)(110mm)}{t}$$

<u>ดังนั้น จึงใช้ความหนาถัง (t) อย่างน้อย 0.046 มิลลิเมตร</u>

จากหม้อในข้างต้น สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากมีความหนามากกว่าค่าที่คำนวณได้

3.3.3 ออกแบบใบกวน

กำหนดให้ : ใช้ใบกวนแบบ traper paddle
เนื่องจาก เป็นใบกวนอย่างง่าย ใช้สำหรับกวนของเหลวที่มีความหนืดต่ำ
และ เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

จากความสัมพันธ์การคำนวณหาใบกวนมาตรฐาน คือ

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}; \quad \frac{H}{D_t} = 1; \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$
$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}; \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}; \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \qquad \text{(จากสมการที่ 2.10)}$$

เราทราบค่า : D_t = 22 cm (D_t=2r)
จากความสัมพันธ์ที่ 3.4

จะได้ว่า : D_a = 22/3

<u>เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (D_a) = 7.33 เซนติเมตร</u>

W = 7.33/5

<u>ความกว้างของใบกวน(W) = 1.47 เซนติเมตร</u>

E = 22/3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับของใบกวนจากก้นถังขึ้นมา (E) = 7.33 เซนติเมตร

J = 22/12

ขนาดของ Baffle(J) = 1.83 เซนติเมตร

L = 7.33/4

Length of impeller blade (L) =1.83 เซนติเมตร

เนื่องจากการกวนในมี่นี้ได้ลดระดับของเหลวลดไปด้วย ซึ่งระดับของเหลวต่ำสุด คือ 2 ลิตร สูงจากก้นถัง 5.26 cm จึงปรับให้

ระดับของใบกวนจากก้นถังขึ้นมา (E) = 5.00 เซนติเมตร และ

เพื่อป้องกันใบกวนตีผิวหน้าของเหลว จนของเหลวกระเด็น และ ทำให้น้ำจากการความแน่นมีความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่ามากกว่าศูนย์ ซึ่งจะเป็นผลให้การทำระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติได้ไม่สมบูรณ์ จึงปรับให้

เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (D_a) = 5.00 เซนติเมตร

3.3.4 กำลังมอเตอร์

กำหนดให้ : ค่าความปลอดภัย (Safety Factor) มีค่าเป็น 2 และ

ให้เพลาที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm

จากความสัมพันธ์กำลังของมอเตอร์มีดังนี้

$$P = \frac{2\pi nT}{60} \qquad (3.2)$$

และ ความสัมพันธ์ความต้านทานแรงดึงดราก

$$\tau_y = 0.6\sigma_y \qquad (3.3)$$

ค่า yield strength ของ Stainless Steels AISI 304 = 241.325 N/mm^2

จะได้ความต้านทานแรงดึงดราก = 0.6(241.325)

= 144.795 N/mm^2

หาค่าความเค้นเฉือนออกแบบ

$$\tau_d = \frac{\tau_y}{N_y} \qquad (3.4)$$

ความเค้นเฉือนออกแบบ = $\frac{144.795}{2}$

= 72.397 N/mm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ที่เกิดจากการบิดที่ผิวนอกของท่อกลม

$$\tau = \frac{Tr}{J} \qquad \text{(จากสมการ 2.33)}$$

$$\sigma_y = 241.325 \text{ N/mm}^2$$

ใช้ค่าความเร็วรอบสูงสุดในการคำนวณ n = 400 rpm

และ

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \qquad \text{(จากสมการ 2.31)}$$

$$J = 981.75 \text{ mm}^4$$

ดังนั้น

จะค่าโมเมนต์บิด(Torque) $= \frac{\tau J}{r}$

$= 14.215$ Nm

แทนค่าจะได้ *กำลังมอเตอร์* $= \frac{2\pi(400)14.215}{60}$

ดังนั้น มอเตอร์มีกำลัง 595.44 W

3.3.5 ฉนวน

จากความสัมพันธ์ของค่าการนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก

$$Q = \frac{2\pi kL(Ts_1 - Ts_2)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})} \qquad \text{(จากสมการ 2.12)}$$

อุณหภูมิภายในถัง(Ts_1) = 100°c

อุณหภูมิภายนอกถัง(Ts_2) = 27°c

ค่า thermal conductivity ของฉนวน rock-wool = 0.04 W/m °c

แทนค่าได้ อัตราการนำความร้อน 21.94 W

3.3.6 ตลับลูกปืน

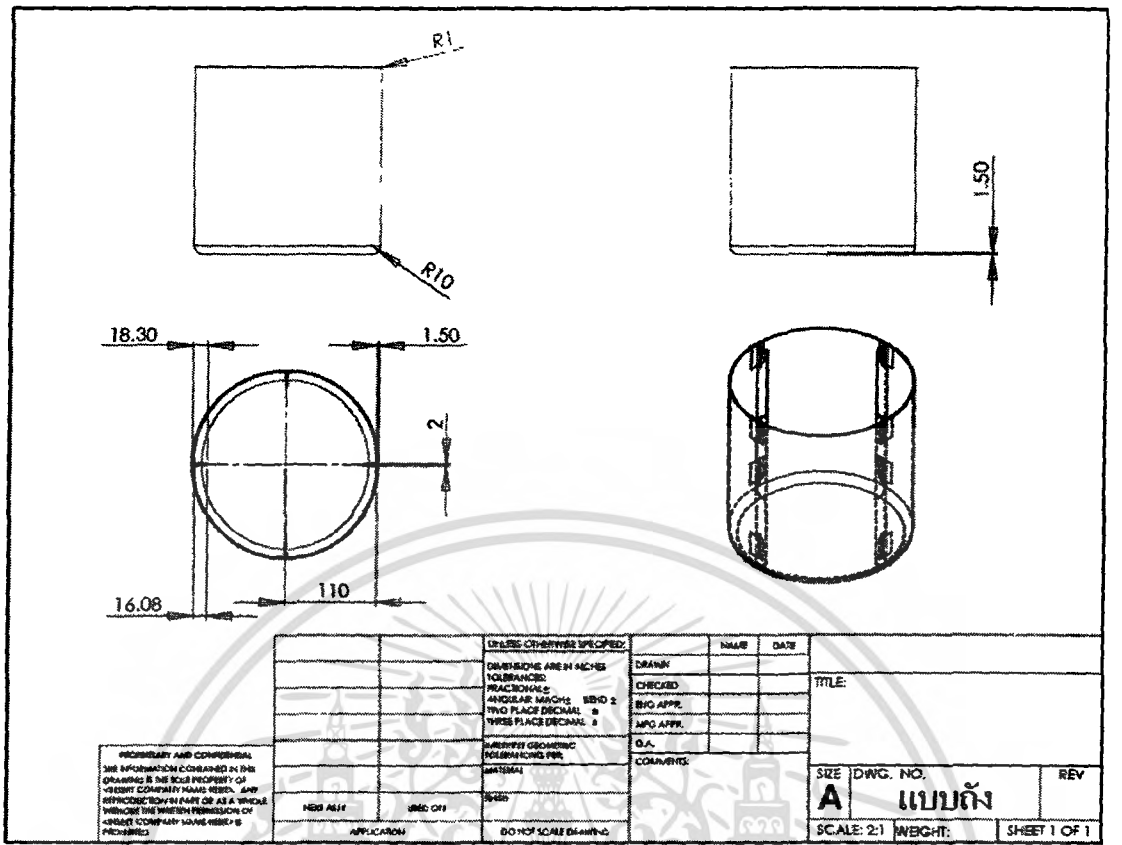
จากตาราง catalog พบว่า ตลับลูกปืนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 mm และ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30 mm สามารถหมุนได้มากกว่า 400 rpm ทุกรุ่น [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

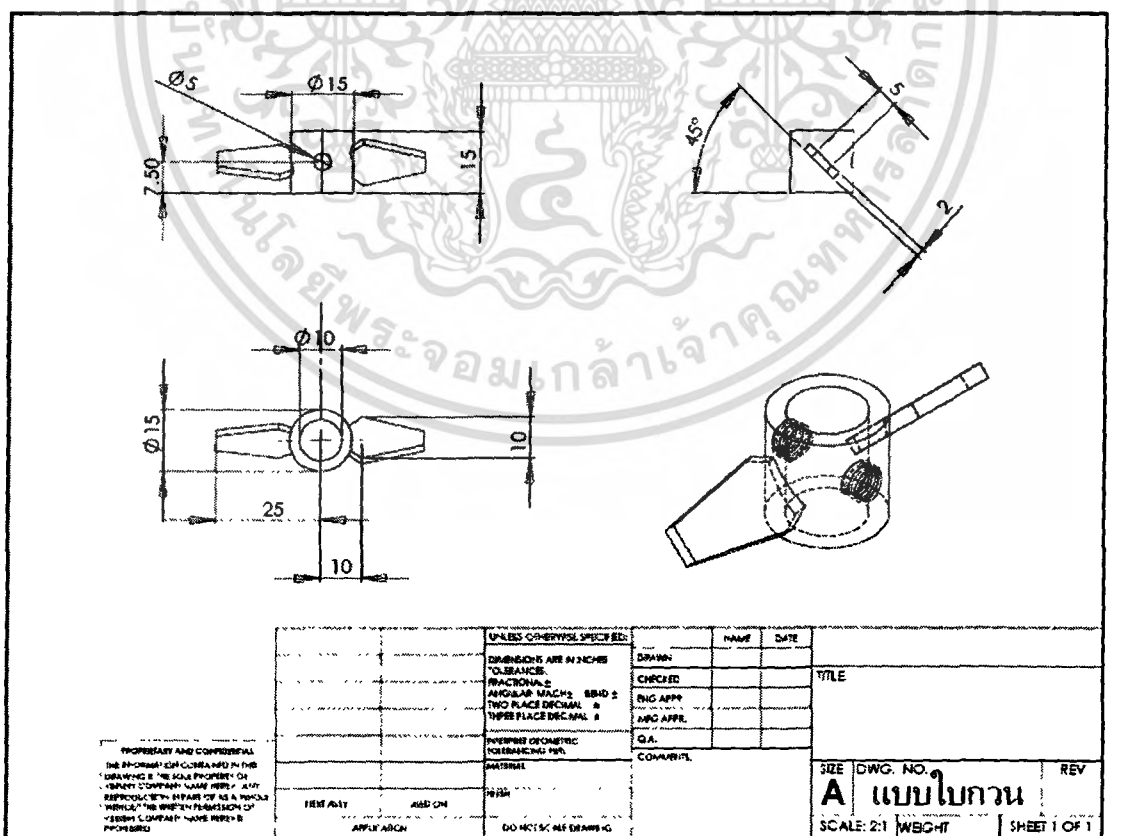
ตารางที่ 3.2 ตารางสรุปผลการออกแบบถังกวน

Agitator Enquiry		Data
Vessel Data	Insulation	non insulation cover
Cylindrical vessel	Diameter	Diameter = 22 cm
	Bottom shape	Flat
	Bottom height	Bottom height 3 mm
	Top shape	Flat
	Top height	flat top height 1 cm
Volume	Operating volume	8 liters
	Max. volume	5 liters
	Min volume	2 liters
Process Data	Operating temperature	< 70 $^{\circ}$ C
	Pressure	0 – (-760) mmHg
Mixing	Categories	Heat transfer [heating]
Duct Details	Product	Stock (soup)
	state	liquid
Pro Driver Data	Transmission	Direct drive
	Power	> 595.44 W
Agitator Data	Impeller type	Paddle with trapper
	Dia. Impeller	5 cm
	Speed	200-400 rpm
	Material type	AISI 304 Stainless steel
	Installed position	Center entry with 4 baffles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

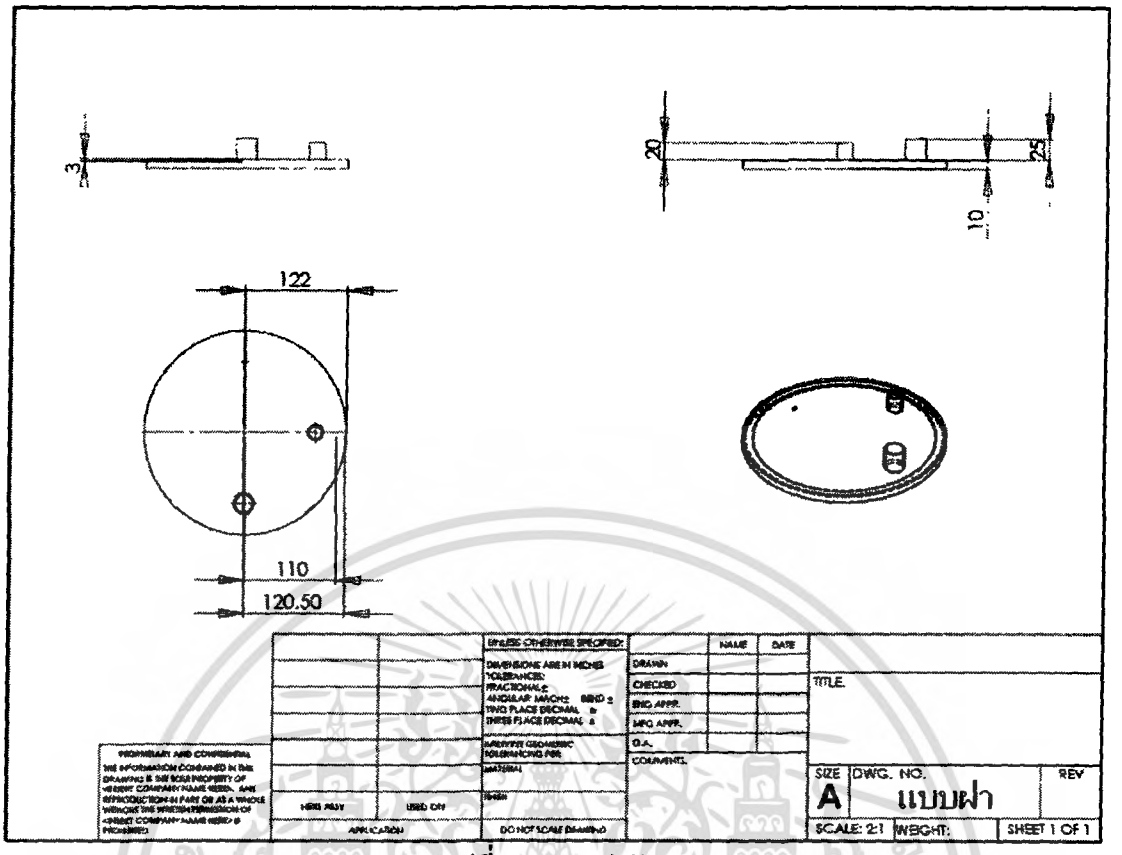


รูปที่ 3.1 แบบถังกวน

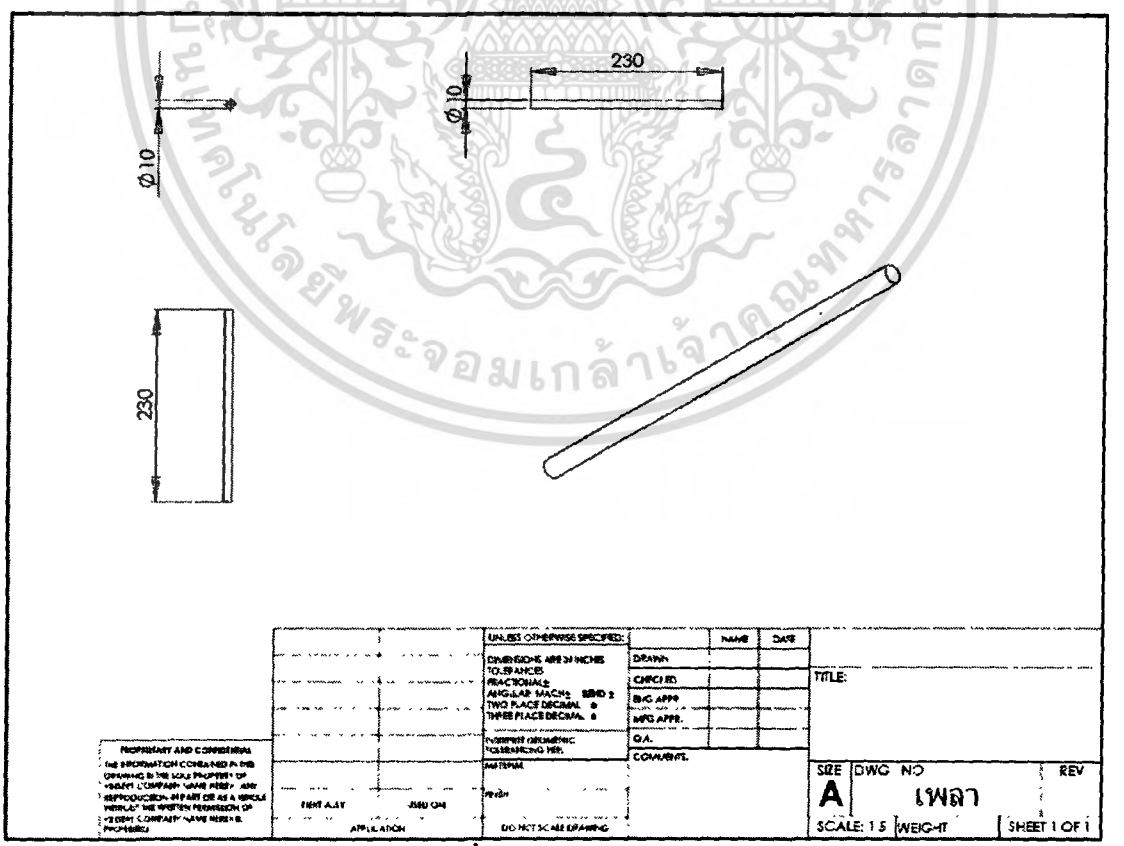


รูปที่ 3.2 แบบใบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบฝาปิด



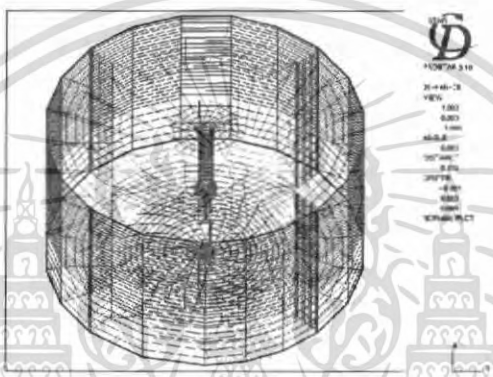
รูปที่ 3.4 แบบเพลา [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

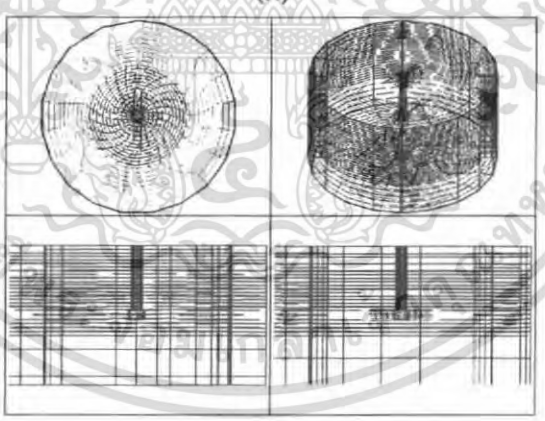
3.4 แบบจำลองชุดถังผสมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรม STAR-CD (Version 3.150A)

เป็นโปรแกรมที่สามารถหารูปแบบการผสม ย่านการผสม ของของเหลว ภายในถังผสม โดยใช้ข้อมูลการออกแบบชุดถังกวนผสมที่มีอยู่ ทำให้สามารถคาดเดาได้ว่า การผสมควรใช้ความเร็วรอบที่เท่าใด และขนาดถังกวน ขนาดใบกวน ขนาด baffle ที่ออกแบบสามารถผสมหรือกวนของเหลวได้มีประสิทธิภาพหรือไม่



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 แสดงการประมวลผลของโปรแกรม Star-CD

(ก) ผลของการ mesh

(ข) แสดงผลแบบ Front view, Top view และ Side view [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์การทดลองและการออกแบบการทดลอง

4.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

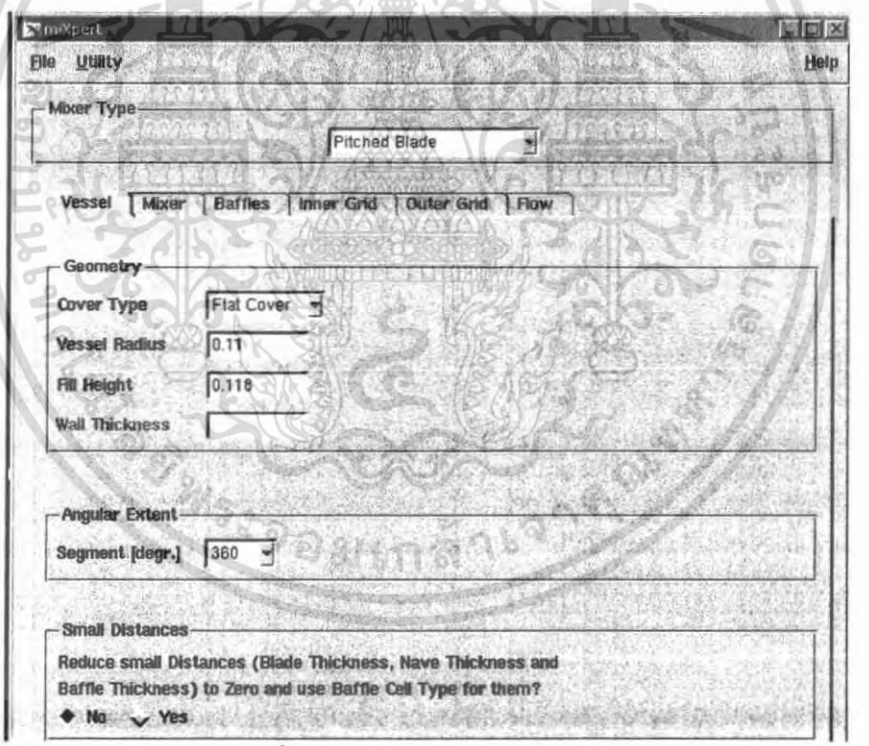
4.1.1. อุปกรณ์การทดลอง

1. คอมพิวเตอร์ที่สามารถปรับหน้าจอได้ มากกว่า 1000 x 1000 pixels เพื่อการประมวลผลที่รวดเร็ว เครื่องคอมพิวเตอร์ควรมี RAM อย่างน้อย 512 MB และการ์ดจออย่างน้อย 256 MB

2. โปรแกรม Star CD รุ่น 3.150A

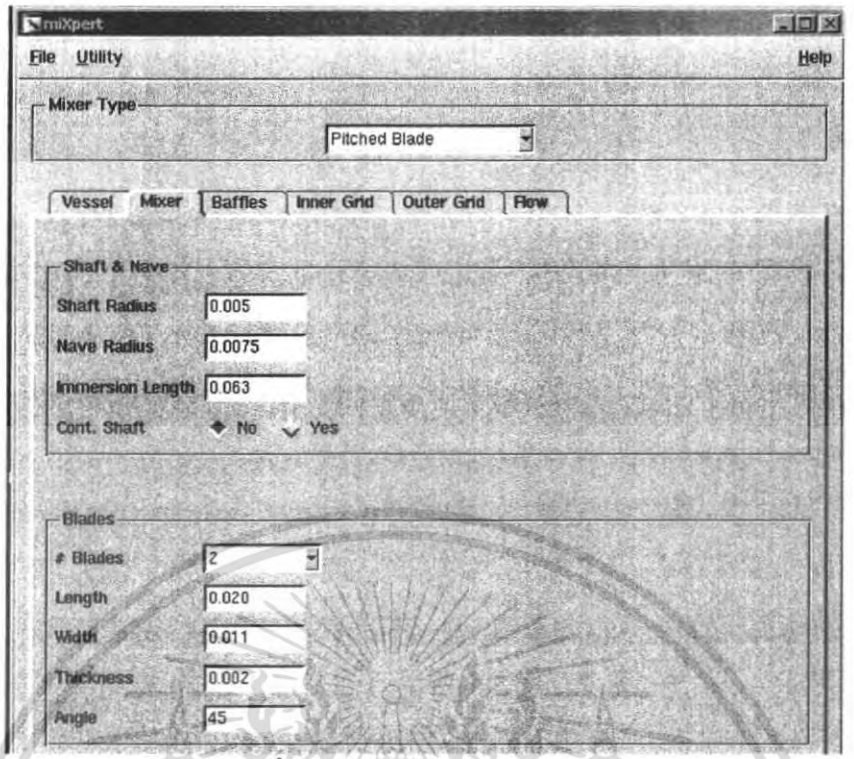
4.1.2 การออกแบบการทดลอง

(1) ในการจำลองลักษณะการกวนโดยใช้โปรแกรม Star กำหนดรายละเอียดของถังกวนไว้ ดังนี้

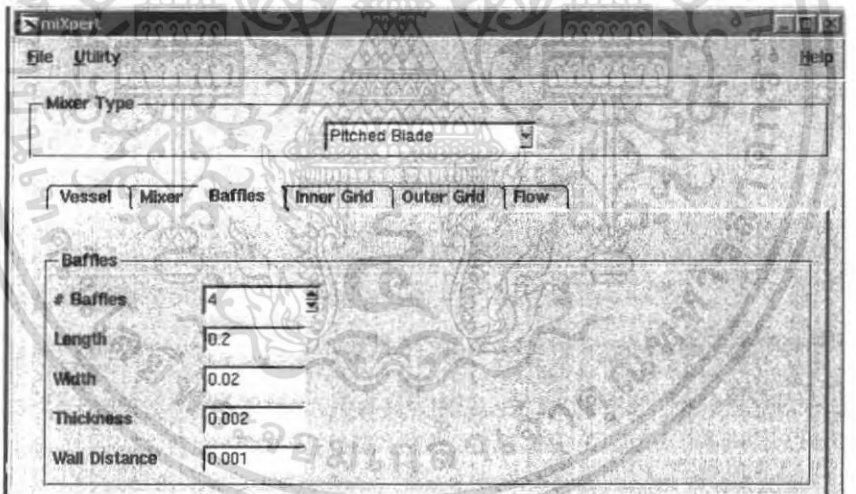


รูปที่ 4.1 แสดงสัดส่วนของถังกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

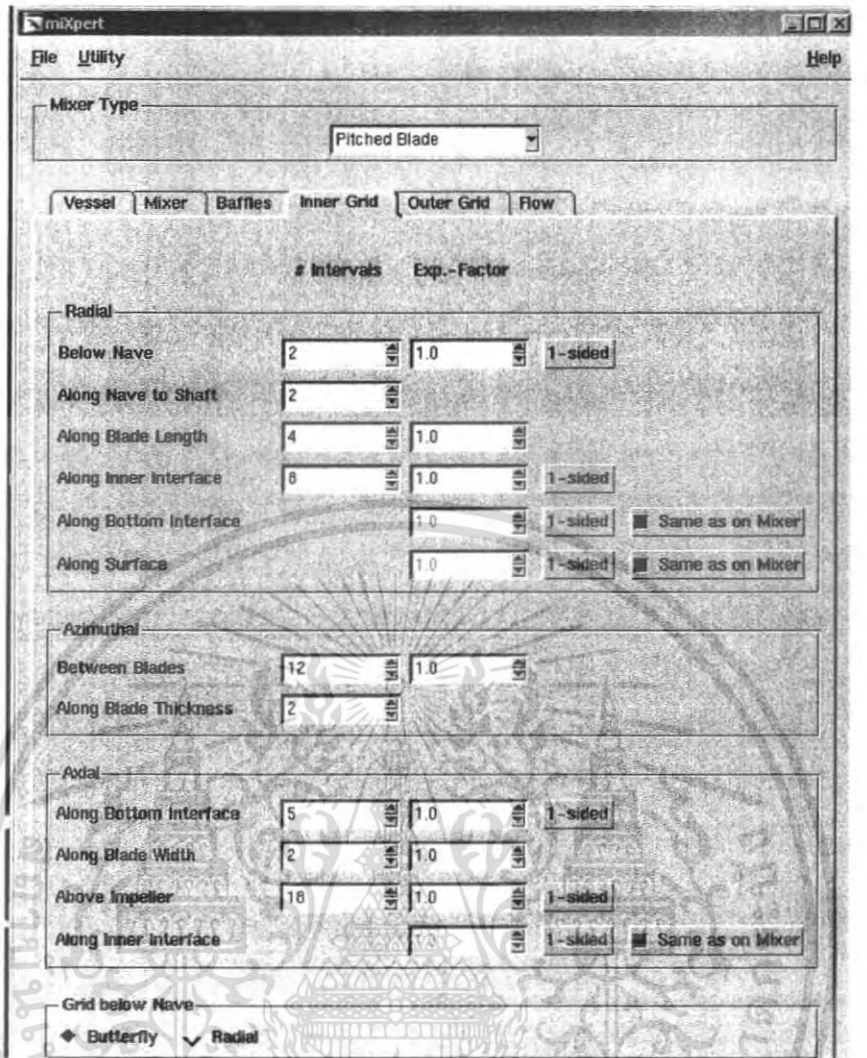


รูปที่ 4.2 แสดงสัดส่วนของใบกวน



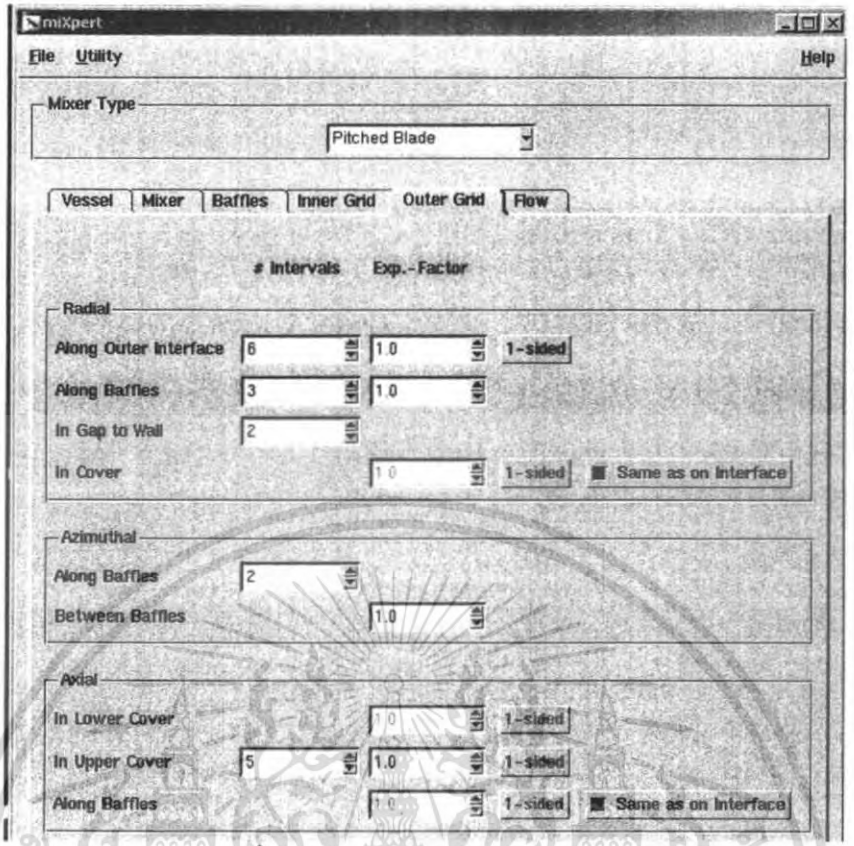
รูปที่ 4.3 แสดงสัดส่วนของแผ่นกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงสัดส่วนของการแบ่ง Grid ด้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงการแบ่ง Grid ด้านนอก

(2) กำหนดการไหล 5 สภาวะ คือ 50 rpm, 100 rpm, 200 rpm ,300 rpm และ 400 rpm

(3) กำหนดให้จำลองลักษณะการไหลแบบมีแผ่นกั้น และ แผ่นกั้นทุกๆความเร็วรอบ

(4) เก็บผลการจำลองลักษณะการกวนไว้ทุกสภาวะต่างๆ (Front view และ Side View)

(5) วิเคราะห์ผลการทดลอง และ สรุปผล

4.2 การทดลองจากเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้น

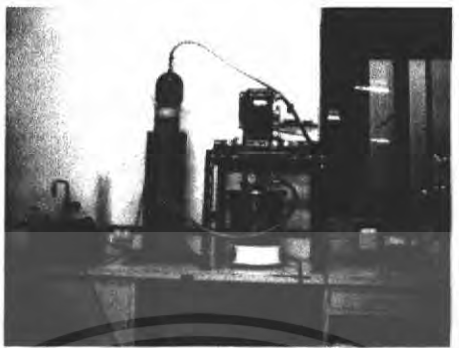
4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. น้ำซุป (ซุปไก่) ปริมาตร 4 ลิตรต่อครั้ง

รูปที่ 4.6 น้ำซุปไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชุดถังทำระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ พร้อมคอนเดนเซอร์ ปั๊มสุญญากาศ มอเตอร์ใบกวน ปั๊มน้ำและฮีตเตอร์



รูปที่ 4.7 ชุดถังกวนเพื่อผลิตน้ำซุปเข้มข้น

3. เครื่อง Refractometer เพื่อใช้วัดค่า ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (total soluble solid)

รูปที่ 4.8 เครื่อง Refractometer

4. เครื่องวัดค่าสี Color meter รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston, USA.)

รูปที่ 4.9 เครื่อง Color meter

5. กระบอกตวง
6. ผ้ากรอง และ ตะแกรง
7. ถังน้ำ และ น้ำแข็ง
8. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วิธีการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ

การใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) เครื่อง Pocker Refractometer รุ่น PAL-1 (Atago,Japan)

(1) ทำการปรับค่าเริ่มต้น โดยการนำน้ำกลั่นหยดลงบริเวณช่องที่ใช้วัด จากนั้นปรับศูนย์เพื่อที่จะใช้ค่าของน้ำกลั่นเป็นค่าเริ่มต้น (การ Calibrate)

(2) ทำการวัดค่า โดยหยดน้ำซุปลงบริเวณช่องที่ใช้วัดค่า แล้ววัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(Total soluble solid,%brix)

(3) ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด(Total soluble solid, %brix) ของน้ำซุปอีก 2 ซ้ำ จากนั้นบันทึกค่าที่ได้

การใช้เครื่องวัดค่าสี เครื่อง Color meter รุ่น Miniscan XE Plus 45/0 LAV (Reston, USA.)

(1) ติดตั้ง software สำหรับการแสดงค่าสี ที่ Computer เพื่อใช้ในการอ่านค่าสีที่ส่งมาจากตัวเครื่อง Color meter

(2) ทำการ Standardize เครื่อง คือ การกำหนดค่าเริ่มต้น เพื่อ Set ค่าต่ำสุดและสูงสุด เพื่อการทำงานที่ถูกต้องและแม่นยำ (การ Calibrate) โดย วางแผ่นดำ (แผ่นสีมาตรฐานที่มากับตัวเครื่อง) บนช่องที่ใช้วัด แล้ววัดค่า จากนั้นวางแผ่นขาวแล้วทำการวัดเช่นกัน เครื่องจะทำการเก็บข้อมูลไว้เป็นมาตรฐานเอง

(3) นำวงยางสีดำใส่ลงในถ้วยแก้ว โดยดันลงไปให้สนิทกับพื้นด้านล่างของถ้วย

(4) เทน้ำซุปลงไปในถ้วยแก้วโดยให้พอดีกับขอบด้านบนของยางสีดำ

(5) วางแผ่นก้านเซรามิคสีขาวลงบนขอบยางสีดำให้สนิท โดยสังเกตดูว่าไม่ให้เกิดฟองอากาศที่ด้านล่าง

(6) นำถ้วยแก้วไปวางบนช่องที่ใช้วัด จากนั้นนำฝาครอบสีดำวางครอบถ้วยแก้วให้ สนิท

(7) ทำการวัดค่าสีของน้ำซุป จากนั้นบันทึกค่าสีที่ได้

4.2.3 การใช้เครื่องทำระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

1. ถังความดัน ใช้งานที่ 4 ความดัน ได้แก่ 760, 335, 280 และ 180 mmHg
2. มอเตอร์ใบกวนใช้งานที่ 2 รอบความเร็ว ได้แก่ 100 และ 200 rpm
3. ฮีตเตอร์ ใช้ขนาด 1500 watt
4. ปั๊มสุญญากาศ 4.5 m^3/hr
5. ชุดคอนเดนเซอร์ ใช้น้ำสะอาดเป็นน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส
6. ปั๊มน้ำ ใช้ขนาด 2.5 ลิตร/ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การออกแบบการทดลอง

4.2.4.1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำระเหยน้ำซุป ทำการทดลองที่ 8 สภาวะ ได้แก่

ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 100 rpm

ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 200 rpm

ความดัน 335 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 100 rpm

ความดัน 335 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 200 rpm

ความดัน 280 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 100 rpm

ความดัน 280 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 200 rpm

ความดัน 180 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 100 rpm

ความดัน 180 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วรอบ 200 rpm

วิธีการทดลอง

(1) นำน้ำซุปปริมาตร 4 ลิตร กรองเอากากที่ไม่ต้องการออกด้วยผ้ากรอง

(2) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) เริ่มต้น บันทึกผล

(3) เทน้ำซุปลงในถังทำระเหย ซึ่งต่อเข้ากับมอเตอร์ใบกวน คอนเดนเซอร์ ฮีตเตอร์ และปั๊มดูดอากาศ

(4) เปิดฮีตเตอร์อุ่นน้ำซุปจนกระทั่งอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70-80 องศา

(5) เปิดมอเตอร์ใบกวน เลือกค่าความเร็วรอบเป็น 100 rpm

(6) เปิดปั๊มคอนเดนเซอร์ให้ทำงาน

(7) เปิดปั๊มดูดอากาศให้ทำงาน เริ่มจับเวลา สังเกตอุณหภูมิต้องให้อยู่ในช่วง 70-80 องศา โดยการปรับฮีตเตอร์ให้ทำงานในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน

(8) ปรับค่าความดันโดยเปิด globe valve ให้ค่าความดันอยู่ในช่วงที่ต้องการ

(9) ทำการกวนน้ำซุปจนกระทั่งปริมาตรลดลงตามที่กำหนด

(10) นำน้ำซุปที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก พร้อมวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) บันทึกผล

(11) ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำซุปที่หายไป กับน้ำที่ควบแน่นออกจากคอนเดนเซอร์

(12) ตรวจสอบน้ำที่ควบแน่นออกจากคอนเดนเซอร์ว่ามีของแข็งเจือปนหรือไม่ โดยการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix)

(13) ทำการผสมน้ำที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) เป็นศูนย์ ลงในน้ำซุปเข้มข้น แล้ววัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) ของน้ำซุปก่อนทำการทดลอง

(14) ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 200 rpm

4.2.4.2 การออกแบบการทดลองเพื่อทำการทดลองที่ความดัน 180 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm

(1) นำน้ำซุปปริมาตร 4 ลิตร กรองเอากากที่ไม่ต้องการออกด้วยผ้ากรอง

(2) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix)และค่าสี ที่สภาวะเริ่มต้น บันทึกผล

(3) เทน้ำซุปลงในถังทำระเหย ซึ่งต่อเข้ากับมอเตอร์ใบกวน คอนเดนเซอร์ ฮีตเตอร์ และปั๊มดูดอากาศ

(4) เปิดฮีตเตอร์อุ่นน้ำซุปจนกระทั่งอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70-80 องศา

(5) เปิดมอเตอร์ใบกวน เลือกค่าความเร็วรอบเป็น 200 rpm

(6) เปิดปั๊มคอนเดนเซอร์ให้ทำงาน

(7) เปิดปั๊มดูดอากาศให้ทำงาน เริ่มจับเวลา สังเกตอุณหภูมิต้องให้อยู่ในช่วง 70-80 องศา โดยการปรับฮีตเตอร์ให้ทำงานในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน

(8) ปรับค่าความดันโดยเปิด globe valve ให้ค่าความดันเป็น 180 mmHg

(9) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) ทุกๆ 20 นาที

(10) ทำการกวนน้ำซุปจนกระทั่งปริมาตรลดลง 1 ลิตร

(11) นำน้ำซุปที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก พร้อมวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix)และวัดค่าสีหลังทำระเหย บันทึกผล

(12) ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำซุปที่หายไป กับน้ำที่ควบแน่นออกจากคอนเดนเซอร์

(13) ตรวจสอบน้ำที่ควบแน่นออกจากคอนเดนเซอร์ว่ามีของแข็งเจือปนหรือไม่ โดยการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix)

(14) ทำการผสมน้ำที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) เป็นศูนย์ ลงในน้ำซุปเข้มข้น แล้ววัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid,%brix) ของน้ำซุปก่อนทำการทดลอง และวัดค่าสีเพื่อเปรียบเทียบสีก่อนทำการระเหย และหลังทำการผสมน้ำแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

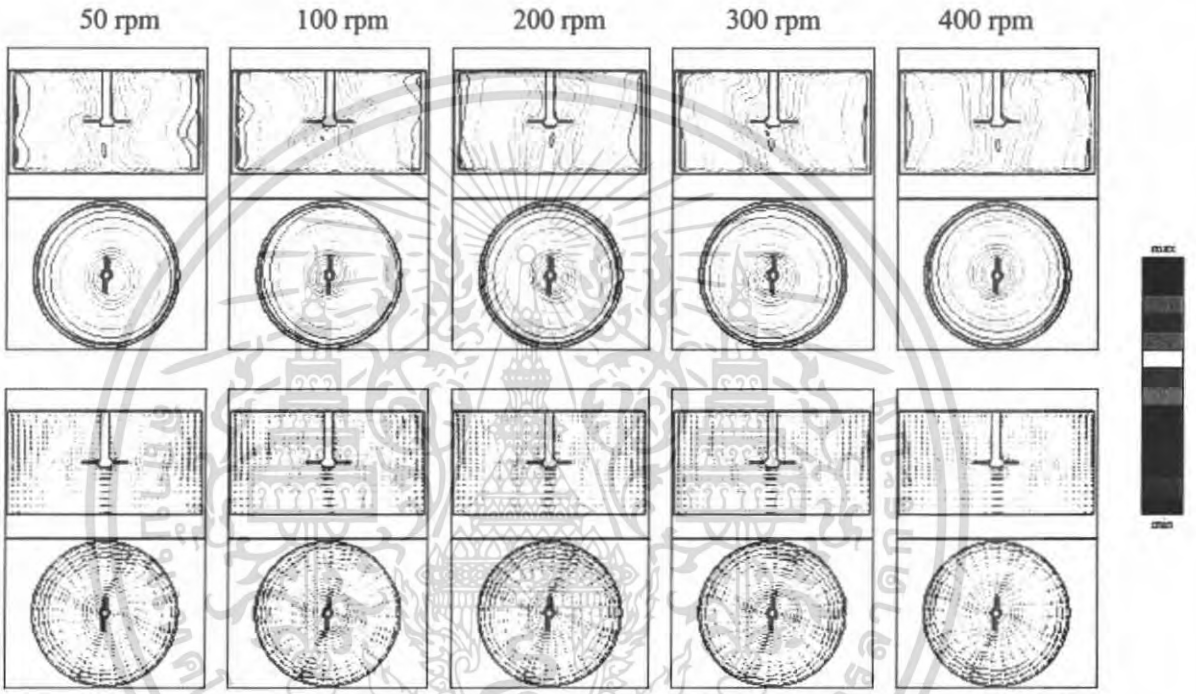
บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.1.1 ผลการจำลองการกวนน้ำซุป แบบแสดงค่าความเร็ว (Velocity)

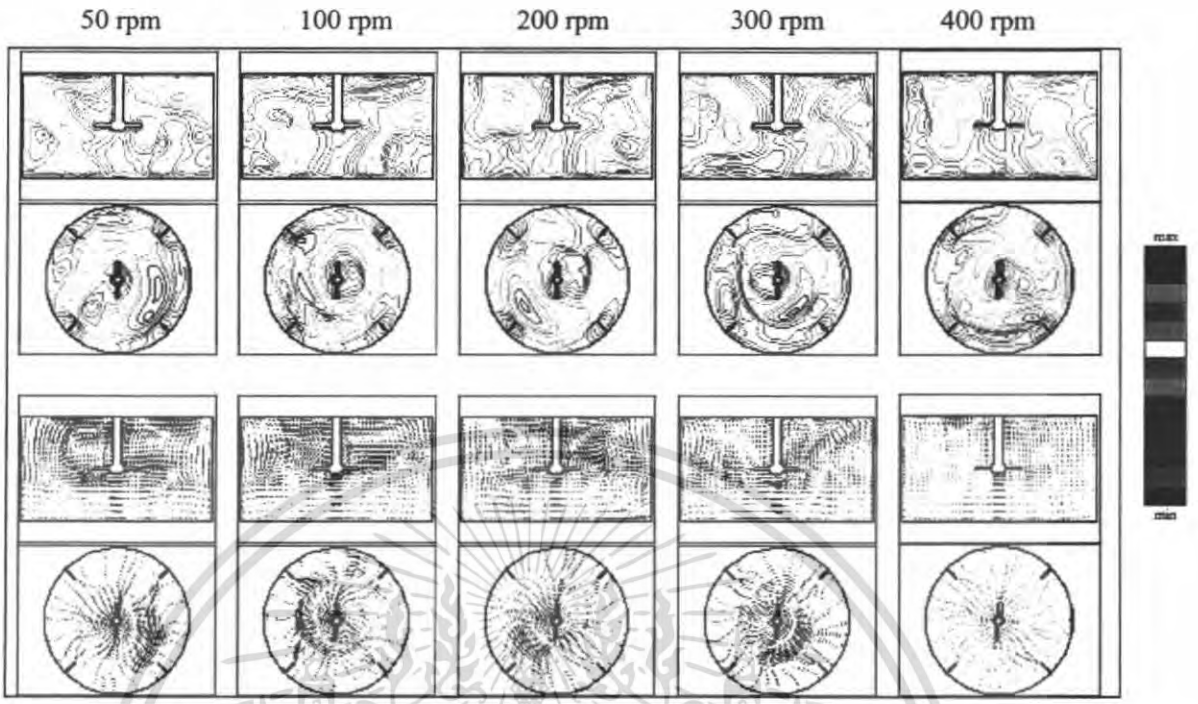
No Baffle



รูปที่ 5.1 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความเร็ว
ที่ความเร็วรอบ 50, 100, 200, 300 และ 400rpm แบบไม่มีแผ่นกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

With Baffle



รูปที่ 5.2 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความเร็ว
ที่ความเร็วรอบ 50, 100, 200, 300 และ 400rpm แบบมีแผ่นกั้น

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ที่การกวนความเร็วรอบ 400 rpm มีบริเวณที่ไม่เกิดการผสม (Dead Zone) น้อยที่สุด แต่ทุกๆความเร็วรอบเกิดน้ำวน (Vortex) ที่ทำให้เกิดการผสมอย่างไม่ทั่วถึง

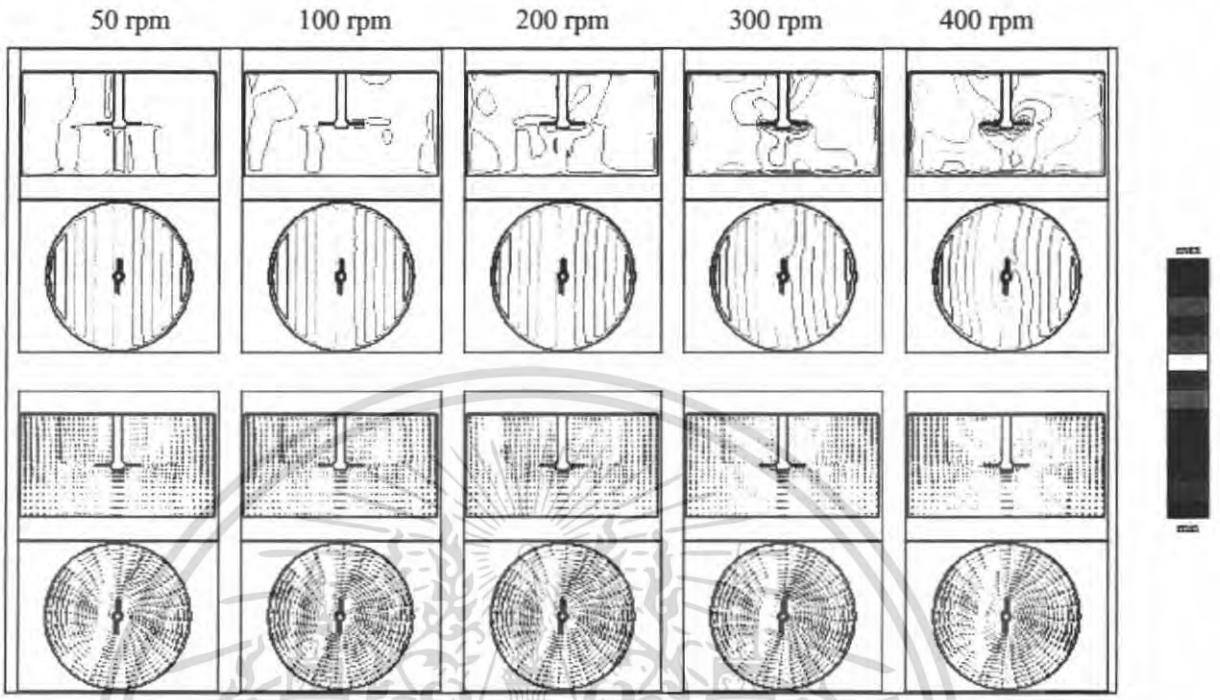
จากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ที่การกวนที่ความเร็วรอบทุกๆค่า มีผลใกล้เคียงกัน แต่เกิดบริเวณที่ไม่เกิดการผสม (Dead Zone) มากที่สุดที่ 50 rpm และ ลดตามลำดับ จนถึงที่ความเร็วรอบ 400 rpm เกิดบริเวณที่ไม่เกิดการผสม (Dead Zone) น้อยที่สุด

ดังนั้น การติดแผ่นกั้นภายในถังกวนจะเลี่ยงการเกิดลักษณะน้ำวน และ ทำให้เกิดความปั่นป่วนมากขึ้น สังเกตได้จาก มีบริเวณน้ำวนเล็ก (Eddies) เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ผลการจำลองการกวนน้ำซุป แบบแสดงค่าความความดัน (Pressure)

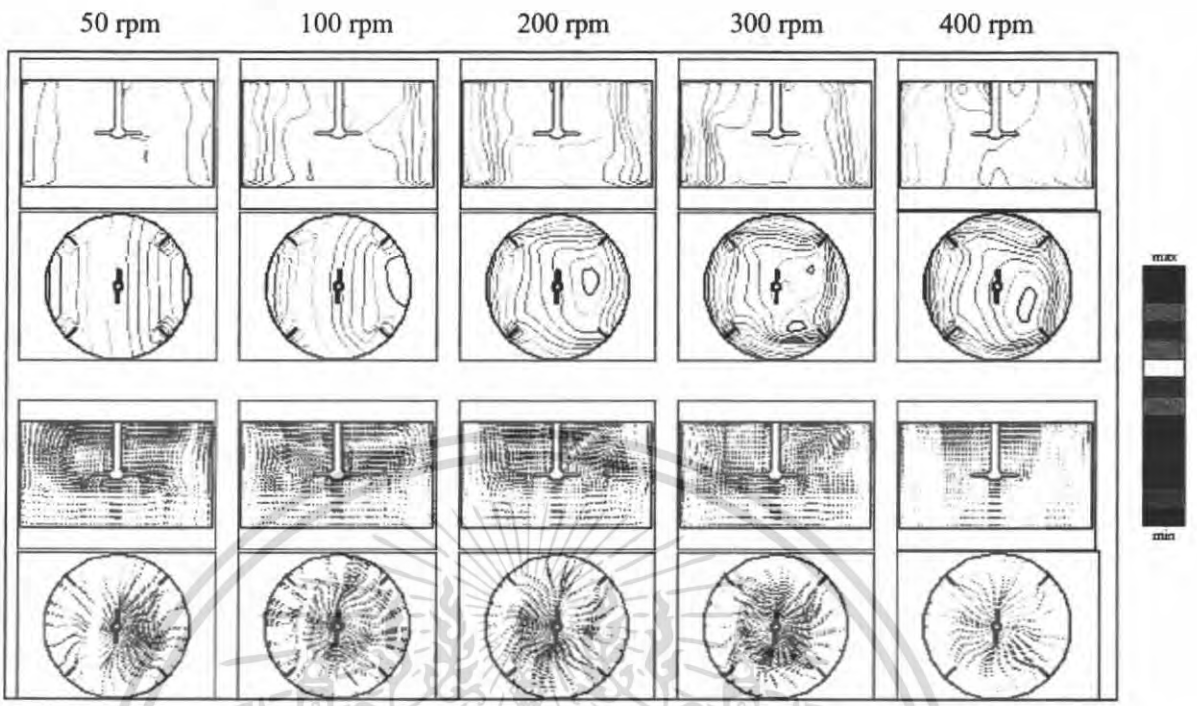
No Baffle



รูปที่ 5.3 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความดัน
ที่ความเร็วรอบ 50, 100, 200, 300 และ 400rpm แบบไม่มีแผ่นกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

With Baffle



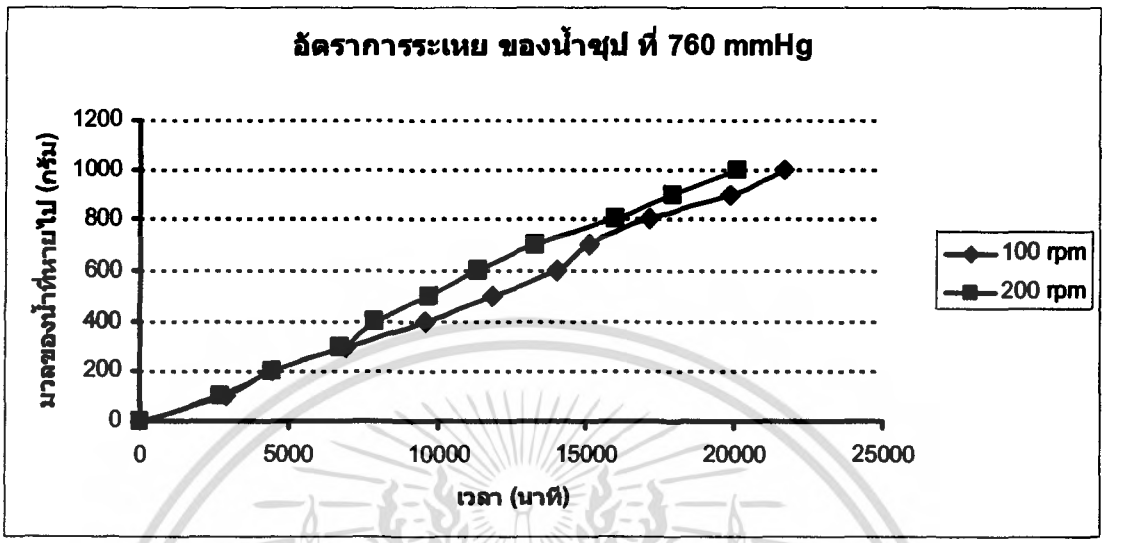
รูปที่ 5.4 แสดงผลการจำลองการกวนของค่าความดัน
ที่ความเร็วรอบ 50, 100, 200, 300 และ 400rpm แบบมีแผ่นกั้น

จากรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่า มีความดันที่เกิดขึ้นจากแรงเฉือน ที่การกวน 50 rpm แบบไม่มีแผ่นกั้น มีค่าน้อยที่สุด แต่ค่าความดันที่เกิดในถังกวนที่มีแผ่นกั้น เกิดค่าความดันราบเรียบมากกว่า ค่าความดันที่เกิดในถังกวนที่ไม่มีแผ่นกั้น

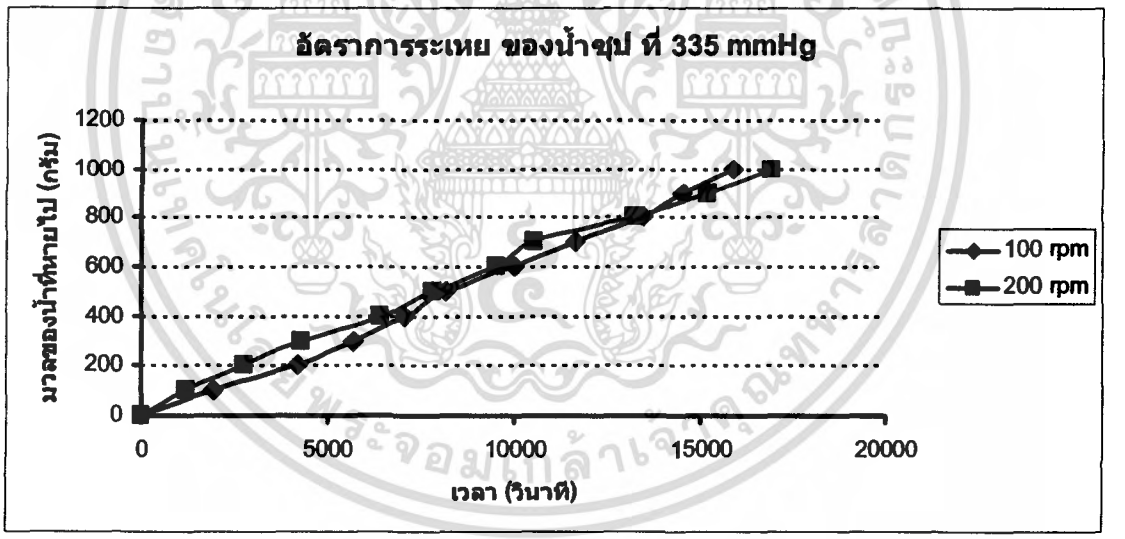
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองที่ 1 การทดลองการทำระเหยน้ำซุปเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุด

- การเปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความเร็วรอบ 100 rpm และ 200 rpm

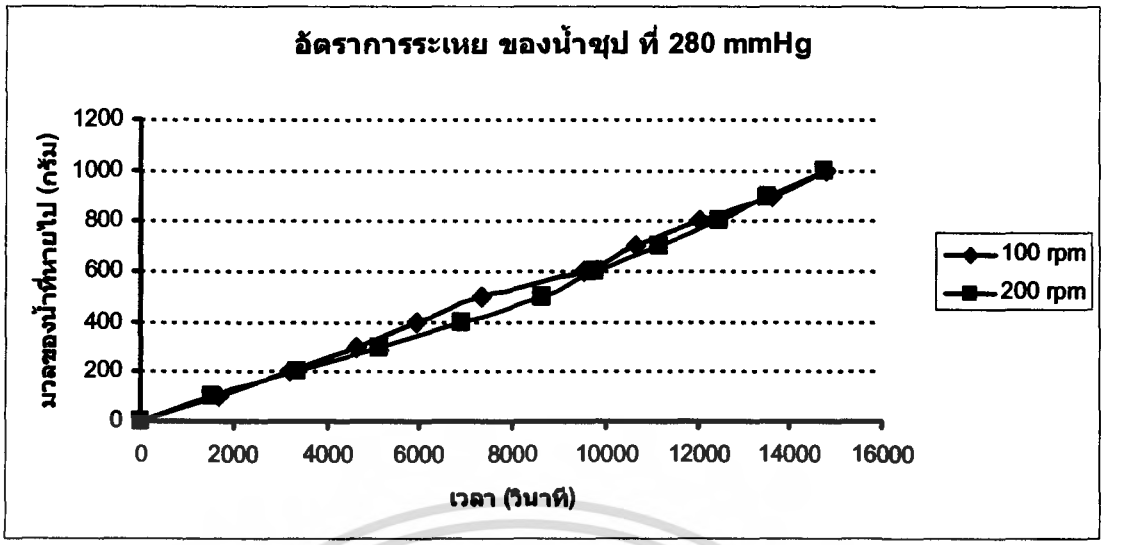


รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 760 mmHg

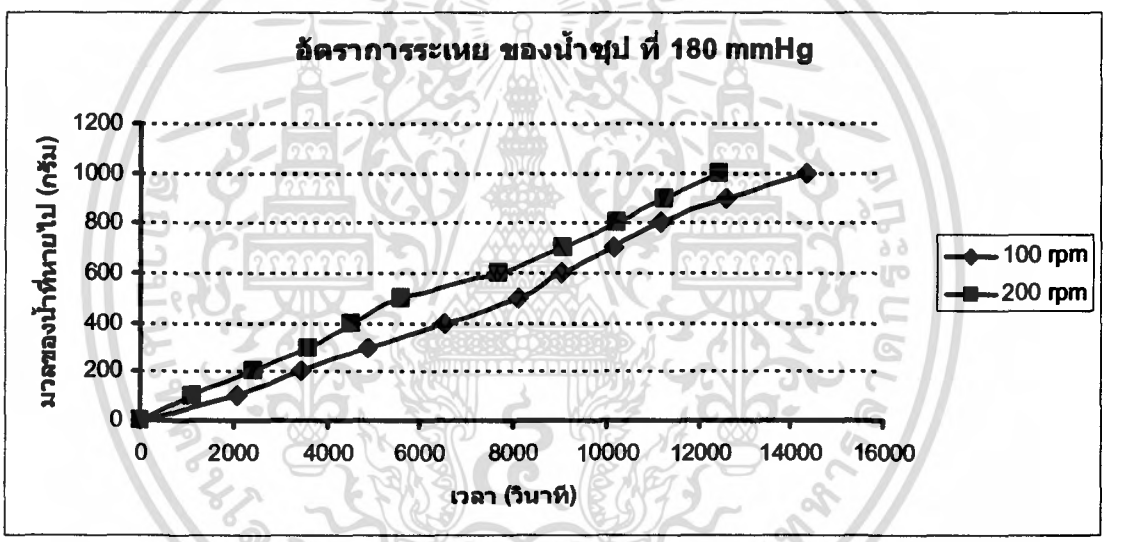


รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 335 mmHg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 280 mmHg



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 180 mmHg

จากรูปที่ 5.5 – 5.8 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน ที่ 100 rpm และ 200 rpm ที่ความดันที่เท่ากัน ได้แก่ 760 mmHg, 335 mmHg, 280 mmHg และ 180 mmHg จะเห็นได้ว่า

ที่ความดัน 760 mmHg มีอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 200 rpm มากกว่า 100 rpm

ที่ความดัน 335 mmHg มีอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 200 rpm มากกว่า 100 rpm

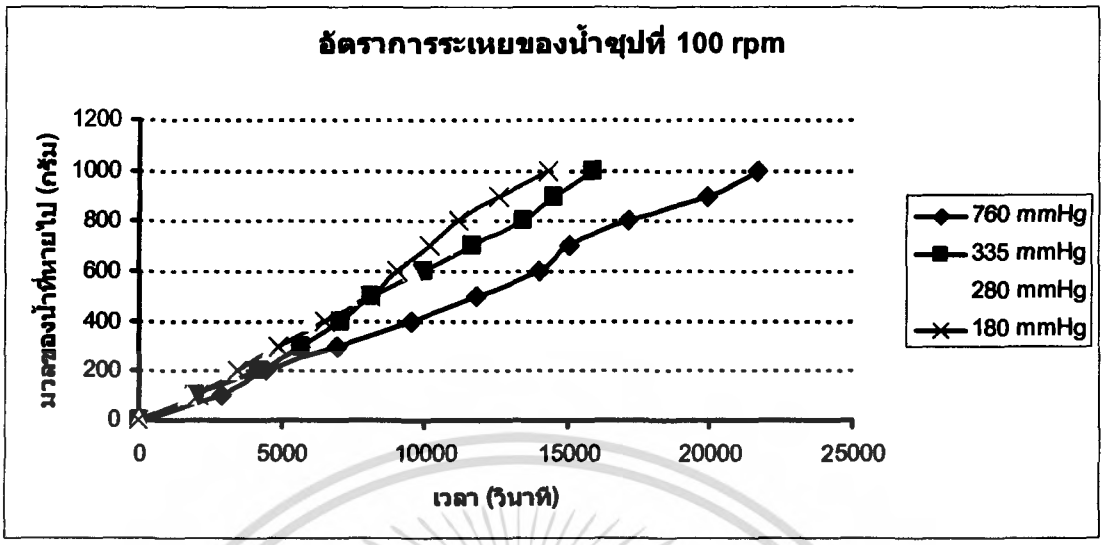
ที่ความดัน 280 mmHg มีอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 200 rpm น้อยกว่า100 rpm

ที่ความดัน 180 mmHg มีอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 200 rpm มากกว่า 100 rpm

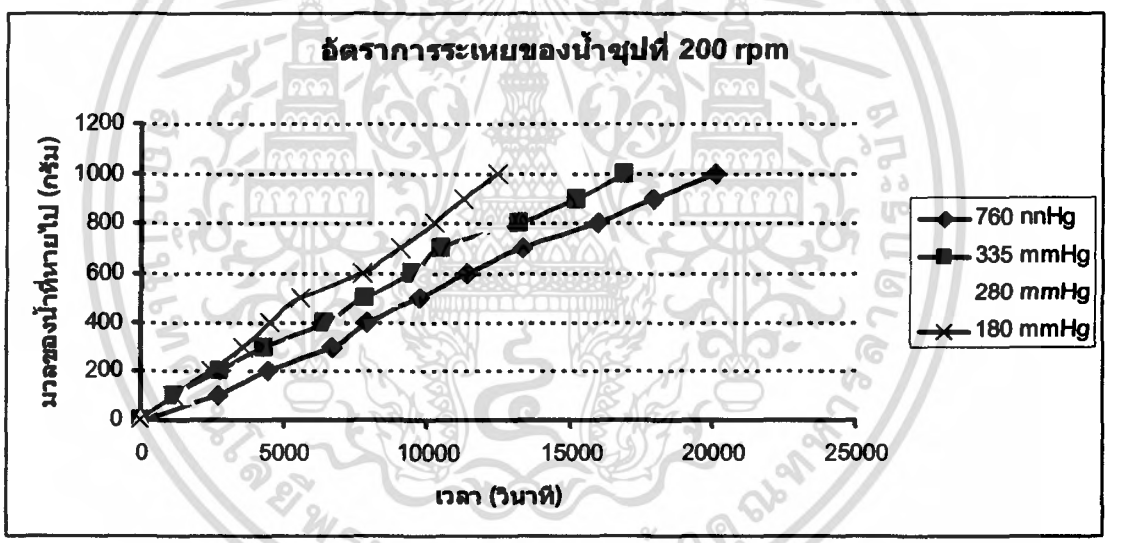
ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 200 rpm ส่วนใหญ่ จะมีอัตราการระเหยของน้ำซุปจะค่ามากกว่า อัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 100 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดัน 760, 335, 280 และ 180 mmHg



รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความเร็วรอบ 100 rpm



รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความเร็วรอบ 200 rpm

จากรูปที่ 5.9 และ 5.10 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ความดันที่ ได้แก่ 760 mmHg, 335 mmHg, 280 mmHg และ 180 mmHg ที่ความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนที่เท่ากัน ได้แก่ 100 rpm และ 200 rpm จะเห็นได้ว่า

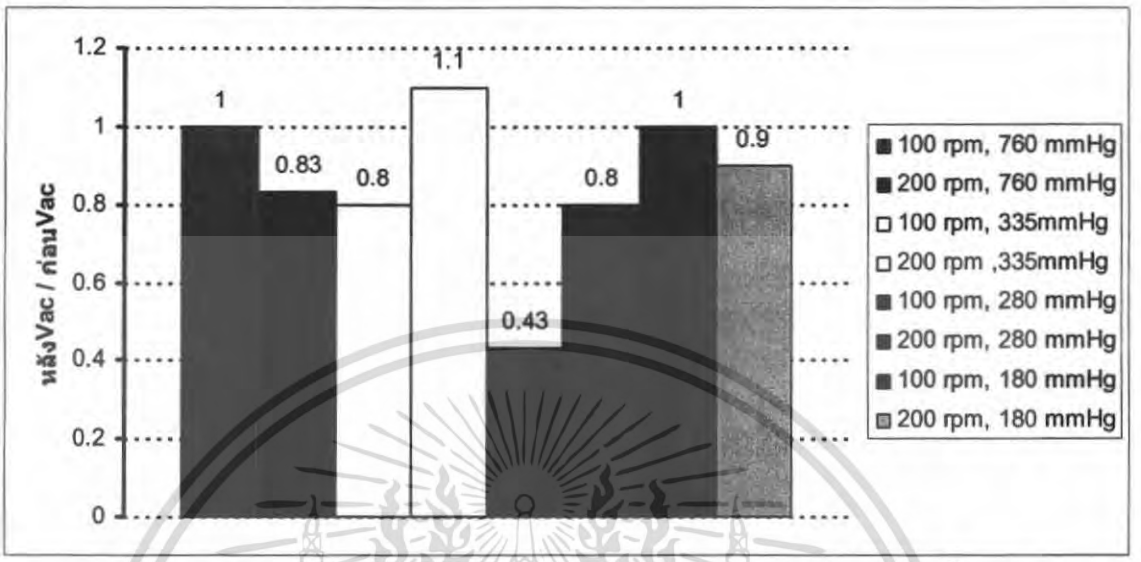
ที่ความเร็วรอบ 100 rpm อัตราการระเหยของน้ำซุปที่ ความดัน 180 mmHg มีค่ามากที่สุด และอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ ความดัน 760 mmHg มีค่าน้อยที่สุด

ที่ความเร็วรอบ 200 rpm อัตราการระเหยของน้ำซุปที่ ความดัน 180 mmHg มีค่ามากที่สุด และอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ ความดัน 760 mmHg มีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

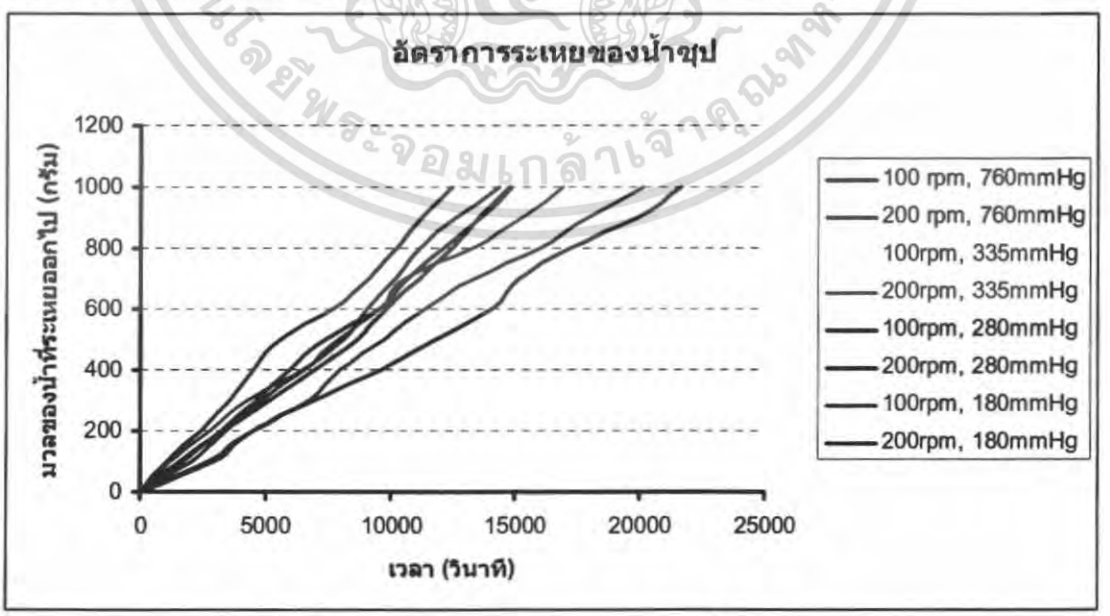
- การเปรียบเทียบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid, %brix)

เพื่อสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันได้นั้น จึงนำค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำซุปหลังการระเหย ส่วนด้วยค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำซุปก่อนการระเหย



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบค่า ผลต่าง ของค่าความสามารของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หลังทำการระเหย-ก่อนทำการระเหย

จากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่า ค่าสัดส่วนของค่าความสามารของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำซุปที่ ความเร็วรอบ 200 rpm และ ระเหยที่ความดัน 335 mmHg มีค่ามากที่สุด และ ค่าสัดส่วนของค่าความสามารของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำซุปที่ ความเร็วรอบ 100 rpm และ ระเหยที่ความดัน 280 mmHg มีค่าน้อยที่สุด

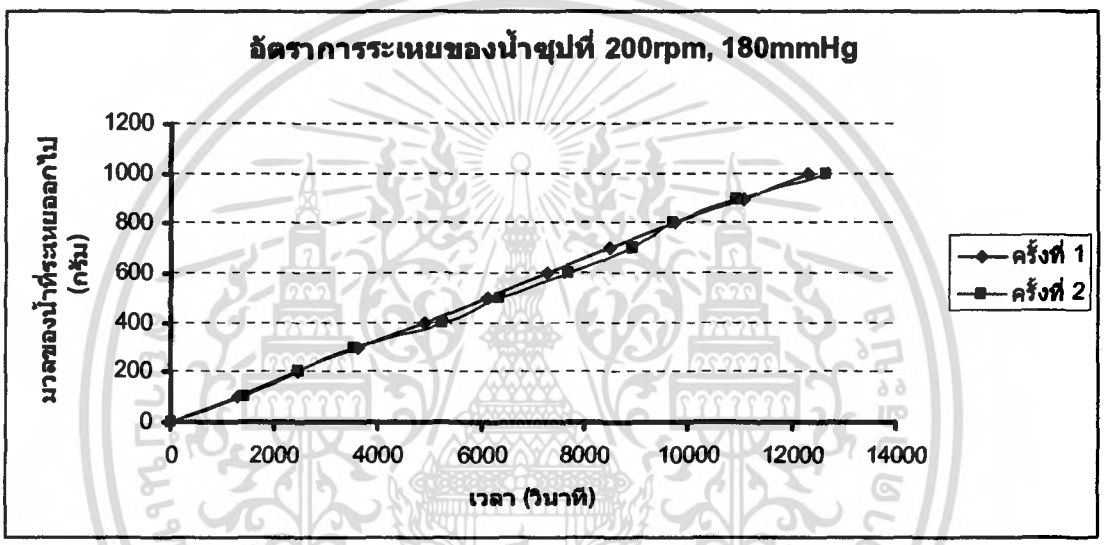


รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของน้ำซุปทุกสภาวะ

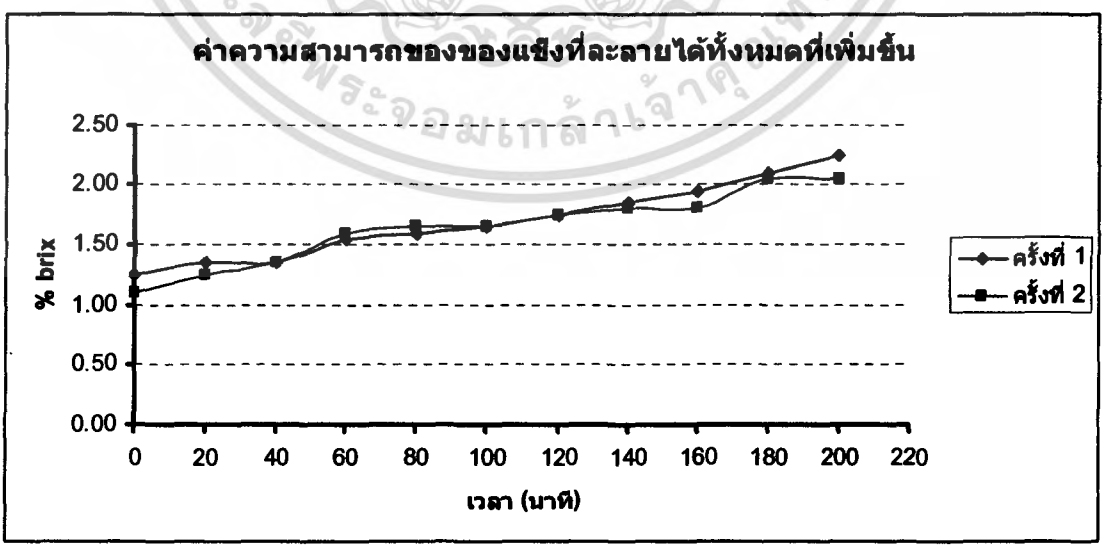
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า การทำระเหยน้ำซุปที่ความเร็วรอบ 200 rpm ที่ความดัน 335 mmHg จะมีค่าสัดส่วนของค่าความสามารของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะมีค่ามากที่สุด แต่มีอัตราการระเหยของน้ำซุปที่น้อยเป็นลำดับที่ 5 จากทั้งหมด 8 สภาวะ ในขณะที่ อัตราการระเหยของน้ำซุปมี่ความเร็วรอบ 200 rpm ที่ความดัน 180 mmHg มีค่ามากที่สุด แต่มีค่าสัดส่วนค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็นลำดับที่ 3 เท่านั้น จึงเลือกสภาวะที่ 200 rpm ความดัน 180 mmHg เป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่เครื่องสามารถทำได้ มาทำการทดลองซ้ำอีก

5.3 การทดลองที่ 2 การหาอัตราการระเหยของน้ำซุปจากสภาวะที่ดีที่สุด

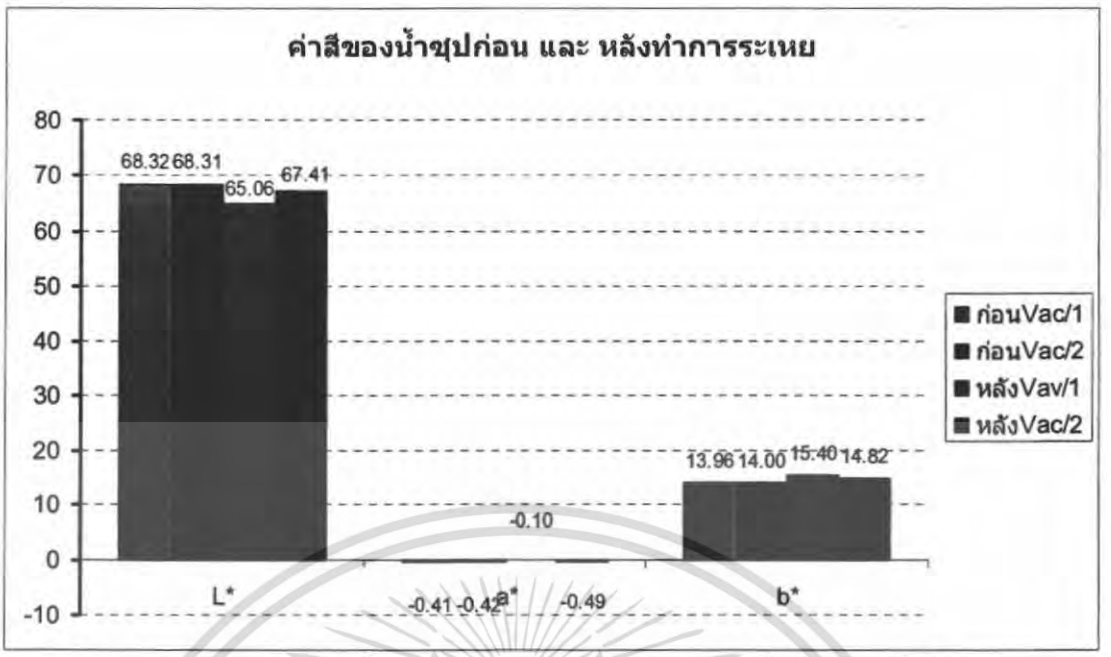


รูปที่ 5.13 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 200 rpm, 180 mmHg ครั้งที่ 1 และ 2



รูปที่ 5.14 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น
เมื่อทำการระเหยน้ำซุปทุกๆ 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ค่าสีของน้ำซุปก่อน และ หลังทำการระเหย ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

จากการทดลองจะพบว่า การทดลองครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน ได้แก่

- อัตราการระเหย

ครั้งที่ 1 อัตราการระเหย = 0.2924 ลิตร/ชั่วโมง

ครั้งที่ 2 อัตราการระเหย = 0.2843 ลิตร/ชั่วโมง

เฉลี่ย อัตราการระเหย= 0.2883 ลิตร/ชั่วโมง

- สัดส่วนค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ครั้งที่ 1 ผลต่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด = 1.00 % brix

ครั้งที่ 2 ผลต่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด = 0.95 % brix

เฉลี่ย ผลต่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด = 0.975 % brix

-ค่าสี

ครั้งที่ 1 L* เปลี่ยนจาก 68.32 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 65.06 ที่สภาวะหลัง Vacuum

a* เปลี่ยนจาก -0.41 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น -0.10 ที่สภาวะหลัง Vacuum

b* เปลี่ยนจาก 13.96 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 15.40 ที่สภาวะหลัง Vacuum

ครั้งที่ 2 L* เปลี่ยนจาก 68.31 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 67.41 ที่สภาวะหลัง Vacuum

a* เปลี่ยนจาก -0.42 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น -0.49 ที่สภาวะหลัง Vacuum

b* เปลี่ยนจาก 14.00 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 14.82 ที่สภาวะหลัง Vacuum

เฉลี่ย L* เปลี่ยนจาก 68.315 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 66.235 ที่สภาวะหลัง Vacuum

a* เปลี่ยนจาก -0.415 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น -0.295 ที่สภาวะหลัง Vacuum

b* เปลี่ยนจาก 13.98 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 15.11 ที่สภาวะหลัง Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองทั้งสองครั้งจะเห็นได้ว่า ค่า L*ของน้ำซุปหลังทำการระเหย มีค่าลดลง นั่นคือ น้ำซุปจะมีสีเข้าใกล้สีดำมากขึ้น หมายความว่า น้ำซุปมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

ค่า a* ของน้ำซุปในการทดลองทั้งสองครั้งมีค่าเป็นลบ นั่นคือ น้ำซุปมีสีไปในทิศทางสีเขียว เมื่อทำการระเหย พบว่า ในครั้งที่ 1 ค่า a* ของน้ำซุปมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าน้ำซุปมีสีไปในทิศทางสีเขียวน้อยลงและในครั้งที่ 2 ค่า a* ของน้ำซุปมีค่าติดลบเพิ่มขึ้น แสดงว่าน้ำซุปมีสีไปในทิศทางสีเขียวเพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดลองทั้งสองครั้ง มีค่า a* แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะค่าเริ่มต้นของน้ำซุปในการทดลองทั้งสองครั้งแตกต่างกันจึงทำให้ค่า a* ที่ได้มีทิศทางตรงข้ามกัน

ค่า b* ของน้ำซุปในการทดลองทั้งสองครั้งมีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือ น้ำซุปมีสีไปในทิศทางของสีเหลือง แสดงว่า เมื่อทำการระเหย น้ำซุปมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการผสมน้ำลงไปในน้ำซุปที่ทำการระเหย แล้ววัดค่าสี ได้ผลของการวัดสีใกล้เคียงกับก่อนทำการระเหย แสดงว่า การทำระเหยน้ำซุปที่ความดันต่ำมีผลต่อการเปลี่ยนสีของน้ำซุปน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุป และ วิจารณ์ผล

6.1 สรุปผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การทดลองนี้ คือ การจำลองการผสมโดยใช้โปรแกรม Star CD พบว่า การติดแผ่นกั้น (Baffle) ทำให้การผสมเกิดขึ้นอย่างปั่นป่วน และ เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาการเกิดน้ำวน (Vortex) สำหรับการเพิ่มความเร็วรอบในการกวนมากขึ้น ทำให้ย่านการผสมมีมากขึ้น และทำให้บริเวณที่ไม่เกิดการผสม (Daed Zone) มีขนาดเล็กลง

6.2 สรุปผลการทดลอง

การทำน้ำซุปเข้มข้นที่ความดันต่ำในแต่ละครั้ง ถังความดันสามารถใส่น้ำซุปเริ่มต้นครั้งละ 5 ลิตรมอเตอร์สามารถทำความเร็วในการหมุนใบกวนได้ที่ความเร็วรอบ 5, 10, 50, 100, 200 และ 400 รอบต่อนาที ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนแก่ระบบมีขนาดกำลังไฟ 1,500 วัตต์ ปั๊มสุญญากาศสามารถลดความดันได้ตั้งแต่ 50-760 มิลลิเมตรปรอท ความเร็วในการดูดอากาศ 4.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (2 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ปั๊มสุญญากาศสามารถดูดไอออกจากถังได้โดยตรง ในการทดสอบแต่ละครั้งจึงต้องมีน้ำหล่อเย็นภายในคอยล์เย็นในคอนเดนเซอร์ 1-3 °C

จากการทดลองจะได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่เครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ คือที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ความดัน 180 mmHg

6.3 สรุปผลการทดลองเพื่อหาอัตราการระเหยของน้ำซุปจากสภาวะที่เหมาะสม

จากการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ได้ระยะเวลาในการทำระเหย 3.46 ชั่วโมง

-อัตราการระเหย 0.2883 ก.ก./ชั่วโมง

-ผลต่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด = 0.975 % brix

คุณภาพของน้ำซุปเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

L* เปลี่ยนจาก 68.315 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 66.235 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 65.72

a* เปลี่ยนจาก -0.415 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น -0.295 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น -0.423

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b* เปลี่ยนจาก 13.98 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 15.11 ที่สภาวะหลัง Vacuum และเมื่อเติมน้ำเป็น 15.393

ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid, %brix) เปลี่ยนจาก 1.175 ที่สภาวะก่อน Vacuum เป็น 2.15 และเมื่อเติมน้ำเป็น 1.2

6.4 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเครื่องผลิตน้ำซุปเข้มข้นแบบระเหยต่ำกว่าบรรยากาศ มีดังนี้

1. ในการปรับความดัน ไม่ควรปรับให้ความดันภายในถังกวนเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก หากปรับความดันให้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ที่สภาวะเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 70^{o}C, อัตราการดูดอากาศของปั๊มสุญญากาศ 4.3 m^3/hr และ มีช่องว่างของอากาศ (ระดับความสูงสุดของถัง-ระดับของเหลว) มีความสูงน้อยสุด ที่ 8.85 cm (ปริมาณน้ำซุปสูงสุด 5 ลิตร) น้ำซุปภายในถังกวนจะถูกดูดเข้าสู่คอนเดนเซอร์ โดยไม่มีการระเหย

ควรแก้ไขการออกแบบขนาดความสูงของถังกวนให้เพิ่มสูงมากขึ้น อย่างน้อยให้มีช่องว่างของอากาศ ประมาณ 14.10 cm (ที่รัศมีถังกวน 11 เซนติเมตร) จะสามารถปรับความดันได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ทำให้น้ำซุปถูกดูดเข้าสู่คอนเดนเซอร์

2. ตามการออกแบบก้นถังกวนควรมีลักษณะราบเรียบ (Flat plate) แต่ถังกวนที่ใช้ ผลิตจากหม้อเสตนเลสขึ้นรูป ที่มีลักษณะยกตัวบริเวณกลางถังกวน ทำให้พื้นผิวสัมผัสการรับความร้อนจากฮีตเตอร์น้อยลง

ควรแก้ไข โดยการใช้ถังสเตนเลส แบบก้นถังราบเรียบ

3. ฮีตเตอร์ที่ใช้ ภายในมีเทอร์โมสตัส ทำให้ฮีตเตอร์ตัดไฟฟ้าอัตโนมัติ จึงไม่สามารถความคุมช่วงอุณหภูมิให้คงที่ได้ได้

ควรใช้ฮีตเตอร์ที่ออกแบบให้ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ และ สามารถปรับค่าได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

หนังสือทั่วไป

[1] Cd Adapco Group 2002, **User Guide Star Cd- V.3.150A (2002)**. Computational Dynamics Limited.

[2] M.A. Rao Sysed, S.H. Rizvi and Ashim K.Datta 2005, **Engineering Properties of Foods**. Taylor & Francis

[3] N Harnby, MF Edwards and Aw Nienow, **Mixing in the process industries**. Butterwort Heinemaun

[4] Warren L. McCabe , Smith J.C. and Harriott P. (1993) **Unit operation of Chemical Engineering**. 5TH Edition, McGraw-Hill Inc,USA

[5] ดร.วิษณุ มีอยู่, **กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น (Fluid Mechanics)**,คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

[6] รศ. มนตรี พิรุณเกษตร, **การถ่ายเทความร้อน**. พิมพ์ครั้งที่1, บริษัท วิทยพัฒน์ จำกัด

[7] รศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ฉนัดงาน, **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1**. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

[8] วิทยา สงวนวรรณ 2545, **Unigraphics workshop from feature.** บริษัท เอส พี ซี พริ้นติ้งค์ จำกัด

วิทยานิพนธ์

[9] ชยันต์ แต้สงเคราะห์ และคณะ. 2546, **แบบจำลองชุดถังผสมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.** ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์,ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[10] ชัยยา นิปุณะ และคณะ. 2549, **การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องผลิตเนื้อและน้ำผลไม้เข้มข้นแบบระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ.** ปริญญานิพนธ์, สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[11] ธีรยุทธ หล่อภูมิพันธ์, 2537. **ภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง.**กรุงเทพฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[12] ปัญญาพนธ์ นามวงศ์ และคณะ. 2546, **เครื่องทำน้ำกะทิเข้มข้นที่ระเหยต่ำกว่าบรรยากาศ.** ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์,ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[13] ปิยานุช ยศคำลือ และ คณะ 2549. **ผลของการใช้สุญญากาศในการแช่อิ่มว่านหางจระเข้ .** กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[14] ผศ.ดร. สุภาภรณ์ ด๊กกลาส 2547. **การแปรรูปและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำส้มเข้มข้น** กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[15] วรวิทย์ วรนาวิน,**เครื่องกวนน้ำมะขามเปียก**,สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร บางซื่อ,กรุงเทพฯ

<u>สื่ออิเล็กทรอนิกส์</u>

[16] Catalog Bearing SKF [Online]

Available : http://www.tm.kmitnb.ac.th/ElearningBearing/Flash/Load.swf

[17] ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำซุป. [Online]

Available : http://www.tipfood.com/Interfood/Interfood_topic1_5.html

[18] ความรู้เกี่ยวกับการกวน และ การผสม [Online]

Available : http://www.wellman.co.th

[19] โปรแกรมคำนวณจุดเดือดของน้ำ ระหว่างอุณหภูมิ และ ความดัน [Online]

Available : http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/kinetic/vappre.html#c4

[20] ตารางแปลงหน่วย

Available : http://www.gordenenglad.co.uk/conversion/dynamic_viscosity.htm

[21] ถังกวนแบบสี่เหลี่ยม [Online]

Available : http://www.shape.cc/equipment/indexequipment.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

(ก.) คุณสมบัติของของเหลว

- ตารางแปลงหน่วยของความหนืด

(ข.) คุณสมบัติของใบกวนชนิดต่างๆ

(ค.) คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม

(ง.) ตารางแสดงคุณสมบัติของตลับลูกปืน ยี่ห้อ SKF

(จ.) ผลการทดลอง

- การทดลองเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการทำระเหยน้ำซุป
- การทดลองเพื่อแสดงผลของอัตราการระเหย, ค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ และ ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ดีที่สุดที่เครื่องสามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติของของเหลว

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงการเปลี่ยนหน่วยความหนืดของของเหลวแบบไดนามิกส์ [21]

➢ **Viscosity dynamic**

1 lb/(ft s)	= 1.4879 Pa s	1 cP (Centipoise)	= 10^{-3} Pa s
	= 14.88 P		= 0.01 P
	= 1,488 cP		= 1.020×10^{-4} kp s/m^2
	= 0.1517 kp s/m^2		= 6.721×10^{-4} lb/(ft s)
			= 0.00100 (N s)/m^2
1 kg/(m s)	= 1 (N s)/m^2	1 P (Poise)	= 0.1 Pa s
	= 0.6720 lb$_m$/(ft s)		= 100 cP
	= 10 Poise		= 1.020×10^{-2} kp s/m^2
			= 6.721×10^{-2} lb/(ft s)
			= 0.1 kg/ms
1 Pa s (N s/m^2)	= 10 P (Poise)	1 kp s/m^2	= 9.80665 Pa s
	= 10^3 cP		= 98.07 P
	= 0.1020 kp s/m^2		= 9,807 cP
	= 0.6721 lb/(ft s)		= 6.591 lb/(ft s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงค่าความหนืดของน้ำที่มีผลเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป [10]

Temperature - t - (^{o}C)	Dynamic Viscosity - μ - $(N\,s/m^2) \times 10^{-3}$	Kinematic Viscosity - ν - $(m^2/s) \times 10^{-6}$
0	1.787	1.787
5	1.519	1.519
10	1.307	1.307
20	1.002	1.004
30	0.798	0.801
40	0.653	0.658
50	0.547	0.553
60	0.467	0.475
70	0.404	0.413
80	0.355	0.365
90	0.315	0.326
100	0.282	0.294

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติของใบกวนชนิดต่างๆ

- ใบกวนแบบพื้นฐาน (Basic Paddle) [11]

  ของเขตการใช้งาน

  - อัตราส่วน D/T : 0.6-0.9 (μ >5000 cP,Centipoise)

    0.2-0.5 (μ <5000 cP,Centipoise)

  - ความเร็วที่ปลายใบพัด : 250-450 ft/minute

  -ใช้กวนของเหลวที่ความหนืด : 0-5000 cP,Centipoise

  ข้อดีของใบกวนพื้นฐาน

  -ปฏิบัติการง่าย อายุการใช้งานสูง

  - ราคาถูก

  -บำรุงรักษาง่าย

  ข้อเสียของใบกวนพื้นฐาน

  -ติดตั้งยาก เพื่อให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด

  -ใช้กำลังงานสูงมากที่ความหนืดสูง เมื่อเปรียบเทียบกับใบกวนชนิดเกลียวโปร่ง

- ใบกวนแบบสมอเรือ

  ขอบเขตการใช้งาน

  - อัตราส่วน D/T : 0.8-0.95

  - ความเร็วที่ปลายใบพัด : 450 ft/minute

  -ใช้กวนของเหลวที่มีความหนืด : 5000-50000 cP

  ข้อดีของใบกวนแบบสมอเรือ

  -ปฏิบัติการง่าย อายุการใช้งานสูง

  -สามารถถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น ขณะปฏิบัติการได้ดี

  -บำรุงรักษาได้ง่าย

  ข้อเสียของใบกวนแบบสมอเรือ

  - ใช้งานได้ในขอบเขตที่จำกัดคือ ใช้ได้ดีเฉพาะของเหลวที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเป็นของเหลวแบบนิวโทเนียนเท่านั้น

  - ที่ความหนืดสูงเกินกว่า 50000 จะใช้พลังงานสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใบกวนแบบเกลียวโปร่ง

  ขอบเขตการใช้งาน

  - อัตราส่วน D/T : 0.9-0.95
  - ความเร็วที่ปลายใบพัด : 450 ft/minute
  - ใช้กวนของเหลวที่มีความหนืด : >50000 cP
  - อัตราส่วน W/D 0.1

  ข้อดีของใบกวนแบบเกลียวโปร่ง

  - ใช้งานได้ดีในของเหลวที่มีความหนืดสูงมากๆ โดยใช้พลังงานที่ต่ำกว่า
  - สามารถถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น ขณะปฏิบัติการได้ดี

  ข้อเสียของใบกวนแบบเกลียวโปร่ง

  - ราคาสูงมาก
  - ทำความสะอาดยาก ค่าบำรุงรักษาสูง

- ใบกวนแบบใบพัดมาตรฐานชนิด 3 ใบ

  ขอบเขตการใช้งาน

  - อัตราส่วน D/T : 0.33
  - ความเร็วที่ปลายใบพัด : 600-900 ft/minute
  - ใช้กวนของเหลวที่มีความหนืด : < 5000 cP

  ข้อดีของใบพัดมาตรฐาน

  - ปฏิบัติการง่าย อายุการใช้งานสูง
  - ราคาค่อนข้างถูก
  - บำรุงรักษาง่าย
  - ประหยัดพลังงาน

  ข้อเสีย

  - ติดตั้งยาก เพื่อให้การปฏิบัติการมีประสิทธิภาพสูงสุด
  - ใช้ไม่ได้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใบกวนแบบกังหันชนิดใบเจีย

ขอบเขตการใช้งาน

- อัตราส่วน D/T : **0.2-0.8**

- ความเร็วที่ปลายใบพัด : **200-450 ft/minute**

ใช้ได้ทั้งของเหลวที่มีความหนืดต่ำ และ ความหนืดสูง

ที่ความหนืด < 5000 cP อัตราส่วน D/T : 0.2-0.4

ที่ความหนืด > 5000 cP อัตราส่วน D/T : 0.5-0.8

- ทำให้เกิดแรงเฉือนสูงจึงเหมาะสำหรับการผสมแบบอีมัลชั่น

- อัตราส่วน D/W : **0.1-0.5**

ข้อดีของกังหัน

-ปฏิบัติการง่าย ที่ความเร็วที่เหมาะสมอายุการใช้งานสูง

-ราคาค่อนข้างถูก

-บำรุงรักษาได้ง่าย

ข้อเสียของกังหัน

- ใช้พลังงานสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับใบกวนแบบใบพัด

- ใช้ได้ดีเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม [7]

AISI Type No.	Tensile Strength, ksi			Yield Strength (0.2% offset), ksi			Elong. in 2 in., %			Reduction of Area, %			Brinell Hardness BHN			Impact Strength, ft-lb		Endurance Limit, ksi		Machinability (Based on B1112 = 100)	Weldability
	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Annealed	Cold Worked		
Austenitic																					
302	85	110	-	35	75	-	60	35	-	70	60	-	155	240	-	110	-	34	-	65	ดีเลิศ
304	85	110	-	35	75	-	60	60	-	70	-	-	149	240	-	110	90	34	-	55	ดีเลิศ
310, 310S	95	-	-	45	-	-	50	-	-	65	-	-	179	-	-	90	-	-	-	50	ดี
316	80	90[d]	-	30	60[d]	-	60	45[d]	-	70	65[d]	-	149	190[d]	-	110	-	38	40[d]	50	ดีเลิศ
321	85	100[d]	-	35	65[d]	-	55	40[d]	-	65	60[d]	-	150	212[d]	-	110	-	38	-	55	ดีเลิศ
347, 348	90	100[d]	-	35	65[d]	-	50	40[d]	-	-	60[d]	-	160	212[d]	-	110	-	39	-	-	ดีเลิศ
Martensitic																					
403	73[a]	-	110	43[a]	-	85	30[a]	-	23	70	-	-	155	-	225	90	- 75	40	-	Fair	พอใช้
410	70	100[b]	110[b]	40[a]	85	85	40[a]	17	23	70	60	155	205	225	90	80[a]	75	40	-	55[c]	พอใช้ ต้องระมัดระวัง
414	117[a]	130[d]	160[a]	98[a]	115[d]	127[a]	17[a]	18[d]	17[a]	60	58[d]	60	235	270[d]	-	50	- 48[a]	45	-	Fair	พอใช้ถ้ามีการให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม
416, 416Sc	75	100[c]	110	40	85[c]	85	30	13[c]	18	60	55	155	205[a]	230	70	20[a]	25	40	53[c]	80	ไม่แนะนำให้ใช้
420	95	105[d]	230	50	85[d]	195	25	12[d]	8	55	50[d]	195	215[d]	500	-	-	10	40	-	45[c]	พอใช้
431	125	130[d]	165[a]	95	110[d]	125[a]	20	15[d]	17[a]	55	35[d]	260	270[d]	338[a]	50	-	40[a]	48	-	45[c]	พอใช้ถ้ามีการให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม
440 A,B,C	105	115[b,d]	260	60	90[b,d]	240	20	7[b,d]	5	25[b,d]	20	215	240[b,d]	510	2	2[b,d]	4	40	-	40	เชื่อมด้วยความระมัดระวังอย่างสูง
Ferritic																					
405	68[a]	85	-	40	70	-	27[a]	20	-	60	60	150	185	-	25[b]	-	-	-	-	60	ดีเลิศสำหรับการเชื่อมแบบหอมละลาย
430, 430F	75	83[a]	-	43[a]	63[a]	-	27[a]	20[a]	-	62[a]	60[a]	155	212	-	-	-	-	40[b]	46[b]	Fair	พอใช้ แนะนำให้อบนิ่มหลังการเชื่อม
446	83[a]	85	-	53[a]	70	-	23[a]	20	-	45	45	163	183	-	2	-	-	47	-	Fair	พอใช้ แต่ต้องระมัดระวัง

หมา : 1973 Materials Selector, Reinhold Publishing Co., New York, ASME Handbook: Metal Properties, McGraw-Hill, 1954.

a ค่าเฉลี่ย
b ค่าต่ำสุด
c ทำให้แข็ง 200-220 BHN
d แอนนีลและรีดเย็น
e เทมเปอร์และรีดเย็น

ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมบางชนิด

(Mechanical properties of some wrought stainless steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

คุณสมบัติของตลับลูกปืน [16]

Deep groove ball bearings, single row

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
			dynamic	static		Reference speed ,rpm	Limiting speed ,rpm		
d	D	B	C	C_0	P_u				* - SKF Explorer bearing
mm			kN		kN	r/min		kg	
10	26	8	4,75	1,96	0,083	-	19000	0,019	6000-2RSH *
10	26	8	4,75	1,96	0,083	67000	34000	0,019	6000-2RSL *
10	26	8	4,75	1,96	0,083	67000	34000	0,019	6000-2Z *
10	26	8	4,75	1,96	0,083	-	19000	0,019	6000-RSH *
10	26	8	4,75	1,96	0,083	67000	40000	0,019	6000-RSL *
10	26	8	4,75	1,96	0,083	67000	40000	0,019	6000-Z *
10	26	12	4,62	1,96	0,083	-	19000	0,025	63000-2RS1
10	28	8	4,62	1,96	0,083	63000	40000	0,022	16100
10	28	8	4,62	1,96	0,083	63000	32000	0,022	16100-2Z
10	30	9	5,4	2,36	0,1	56000	34000	0,032	6200 *
10	30	9	5,4	2,36	0,1	-	17000	0,032	6200-2RSH *
10	30	9	5,4	2,36	0,1	56000	28000	0,032	6200-2RSL *
10	30	9	5,4	2,36	0,1	56000	28000	0,032	6200-2Z *
10	30	9	5,4	2,36	0,1	-	17000	0,032	6200-RSH *
10	30	9	5,4	2,36	0,1	56000	34000	0,032	6200-RSL *
10	30	9	5,4	2,36	0,1	56000	34000	0,032	6200-Z *
10	30	14	5,07	2,36	0,1	-	17000	0,04	62200-2RS1
10	35	11	8,52	3,4	0,143	50000	32000	0,053	6300 *
10	35	11	8,52	3,4	0,143	-	15000	0,053	6300-2RSH *
10	35	11	8,52	3,4	0,143	50000	26000	0,053	6300-2RSL *
10	35	11	8,52	3,4	0,143	50000	26000	0,053	6300-2Z *
10	35	11	8,52	3,4	0,143	-	15000	0,053	6300-RSH *
10	35	11	8,52	3,4	0,143	50000	32000	0,053	6300-RSL *
10	35	17	8,06	3,4	0,143	-	15000	0,06	62300-2RS1

ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของตลับลูกปืน ยี่ห้อ SKF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

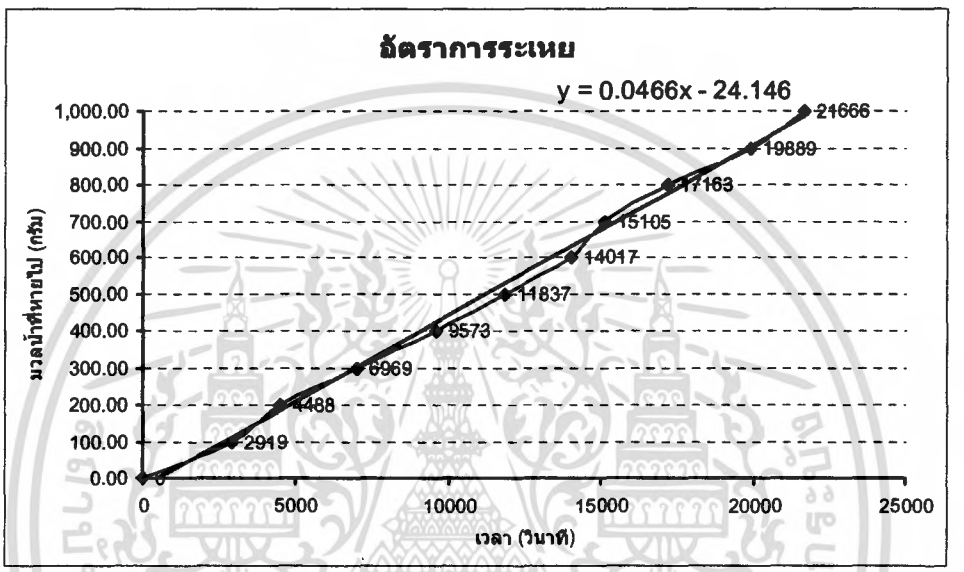
ภาคผนวก จ.

การทดลองเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการทำระเหยน้ำซุป

(1.) อัตราการระเหยของน้ำซุปจากการทดลองที่สภาวะต่างๆ

ความดันบรรยากาศ 760 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.16615896 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.1 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 760mmHg, ความเร็วรอบ100rpm

ตารางที่ จ.1 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 1

การทดลองที่ 1

ความดันคงที่ = 760 mmHg **100rpm**

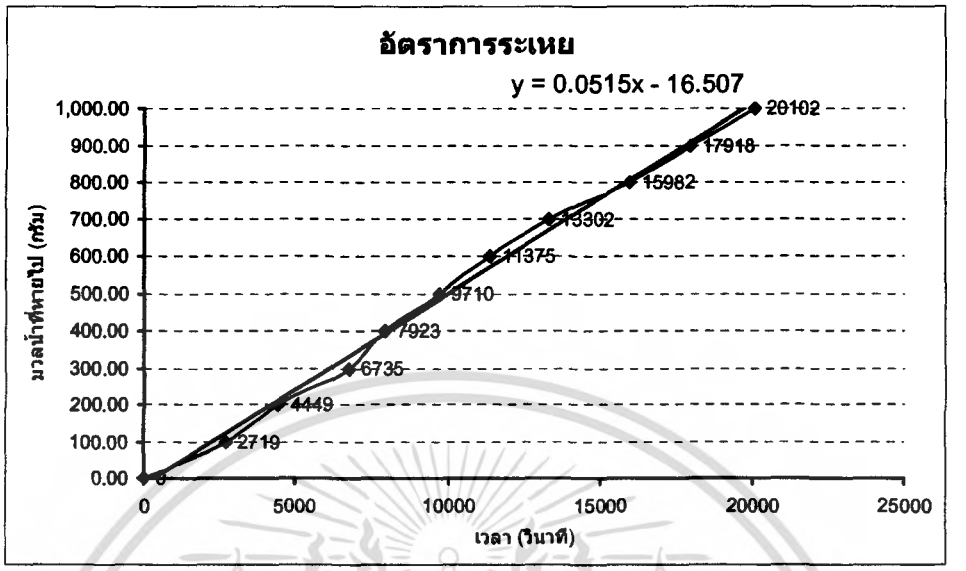
เวลา (ชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	ผลต่างของเวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (oC)	ปริมาตร (ลิตร)
0	0	0	100.00	4.0
0.48.39	2919	2919	100.00	3.9
1.14.48	4488	1569	100.00	3.8
1.56.09	6969	2481	100.00	3.7
2.39.33	9573	2604	100.00	3.6
3.17.17	11837	2264	100.00	3.5
3.53.37	14017	2180	100.00	3.4
4.11.45	15105	1088	100.00	3.3
4.46.03	17163	2058	100.00	3.2
5.31.29	19889	2726	100.00	3.1
6.01.06	21666	1777	100.00	3.0
		2166.6	**100.000**	

ปริมาณน้ำที่cond. 1000 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันบรรยากาศ 760 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.17908666 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.2 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 760mmHg, ความเร็วรอบ200rpm

ตารางที่ จ.2 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 2

การทดลองที่ 2

ความดันคงที่ = 760 mmHg 200rpm

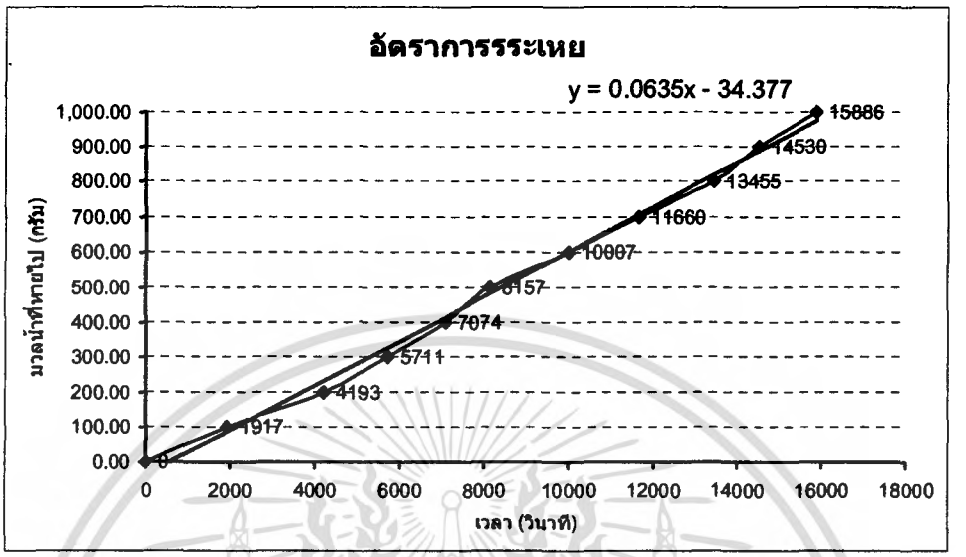
เวลา		ผลต่างของเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาตร
(ชั่วโมง)	(วินาที)	(วินาที)	(oC)	(ลิตร)
0	0	0	100.00	4.0
0.45.19	2719	2719	100.00	3.9
1.14.09	4449	1730	100.00	3.8
1.52.15	6735	2286	100.00	3.7
2.12.03	7923	1188	100.00	3.6
2.41.50	9710	1787	100.00	3.5
3.09.35	11375	1665	100.00	3.4
3.42.42	13302	1927	100.00	3.3
4.26.22	15982	2680	100.00	3.2
4.58.38	17918	1936	100.00	3.1
5.35.02	20102	2184	100.00	3.0
		2010.2	100.000	

ปริมาณน้ำที่cond. 1000 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 335 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.22661463 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.3 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 335mmHg, ความเร็วรอบ100rpm

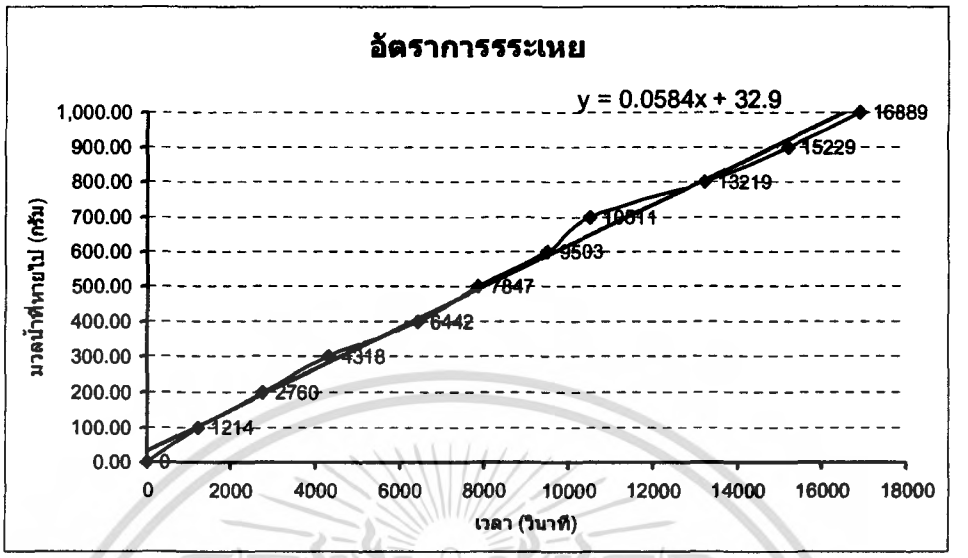
ตารางที่ จ.3 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 3

การทดลองที่ 3				
ความดันคงที่ =	**335**	***mmHg***	**100*rpm***	
เวลา		**ผลต่างของเวลา**	**อุณหภูมิ**	**ปริมาตร**
(ชั่วโมง)	**(วินาที)**	**(วินาที)**	**(oC)**	**(ลิตร)**
0	0	0	71.2	4.0
0.31.57	1917	1917	78.7	3.9
1.09.53	4193	2276	78.8	3.8
1.35.11	5711	1518	78.2	3.7
1.57.54	7074	1363	79.8	3.6
2.15.57	8157	1083	78.8	3.5
2.46.47	10007	1850	77.4	3.4
3.14.20	11660	1653	76	3.3
3.44.15	13455	1795	75.2	3.2
4.02.10	14530	1075	73.4	3.1
4.24.46	15886	1356	75.3	3.0
		1588.6	**76.61818182**	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 335 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.21315649 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.4 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 335mmHg, ความเร็วรอบ200rpm

ตารางที่ จ.4 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 4

การทดลองที่ 4

ความดันคงที่ = 335 mmHg 200rpm

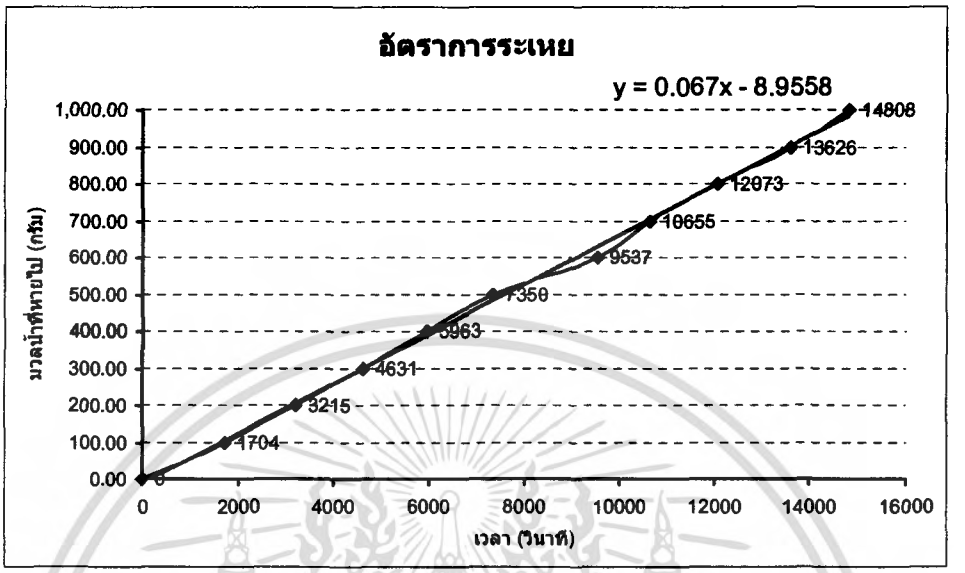
เวลา		ผลต่างของเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาตร
(ชั่วโมง)	(วินาที)	(วินาที)	(oC)	(ลิตร)
0	0	0	72.4	4.0
0.20.14	1214	1214	78.7	3.9
0.46.00	2760	1546	79.3	3.8
1.11.58	4318	1558	79.5	3.7
1.47.22	6442	2124	78.3	3.6
2.10.47	7847	1405	79.8	3.5
2.38.23	9503	1656	77.4	3.4
2.55.11	10511	1008	80.0	3.3
3.40.19	13219	2708	77.8	3.2
4.13.49	15229	2010	80.1	3.1
4.41.29	16889	1660	76.2	3.0
		1688.9	78.1364	

ปริมาณน้ำที่cond. 900 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 280 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.24311183 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.5 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 280mmHg, ความเร็วรอบ100rpm

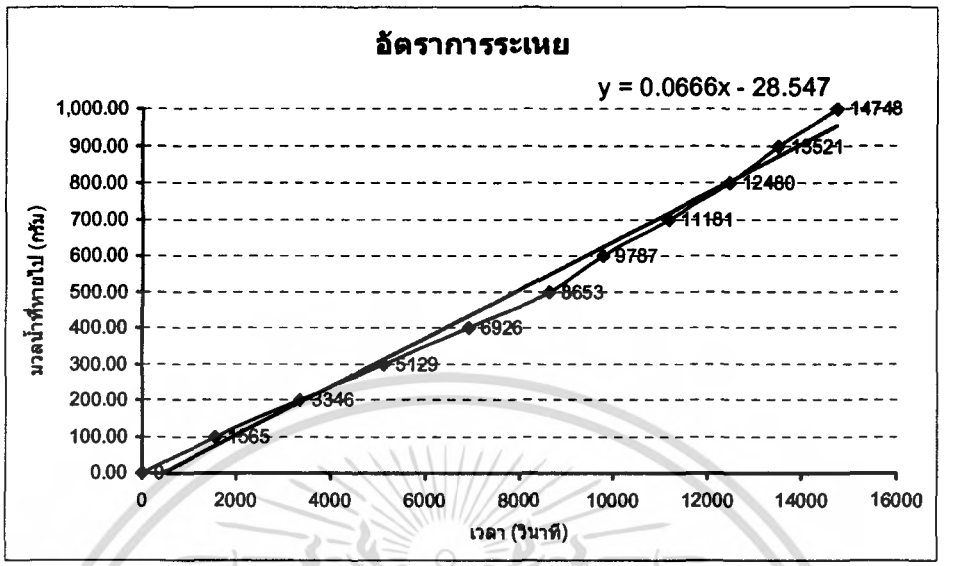
ตารางที่ จ.5 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 5

การทดลองที่ 5				
ความดันคงที่ =	**280 mmHg**		**100rpm**	
เวลา		**ผลต่างของเวลา**	**อุณหภูมิ**	**ปริมาตร**
(ชั่วโมง)	**(วินาที)**	**(วินาที)**	**(oC)**	**(ลิตร)**
0	0	0	74.2	4.0
0.28.24	1704	1704	75.5	3.9
0.53.35	3215	1511	75.5	3.8
1.17.11	4631	1416	75.0	3.7
1.39.23	5963	1332	73.4	3.6
2.02.30	7350	1387	73.4	3.5
2.38.57	9537	2187	71.9	3.4
2.57.35	10655	1118	69.9	3.3
3.21.13	12073	1418	72.0	3.2
3.47.06	13626	1553	71.4	3.1
4.06.48	14808	1182	72.0	3.0
		1480.8	**73.280**	
ปริมาณน้ำที่cond.	**900 ml**			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 280 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.24410090 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.6 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 280mmHg, ความเร็วรอบ200rpm

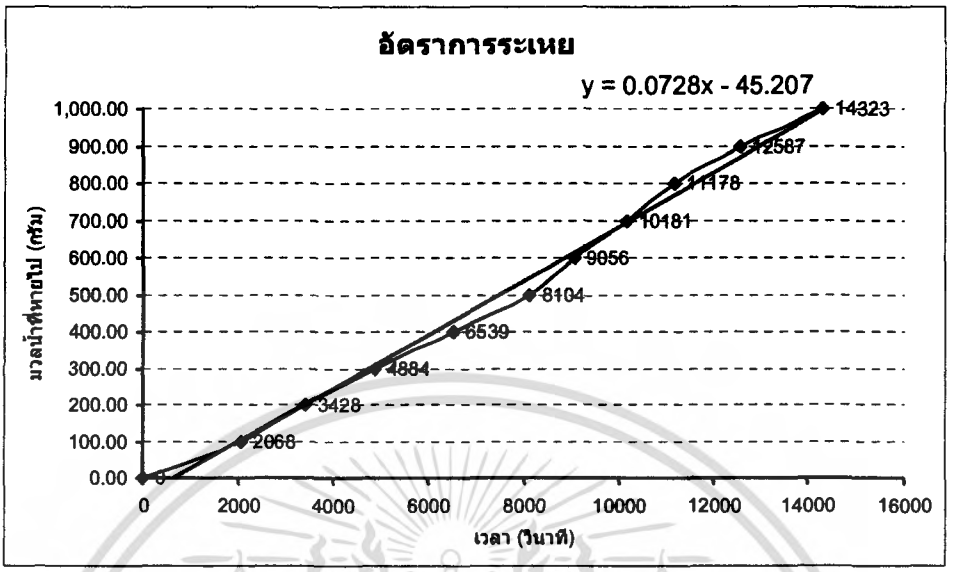
ตารางที่ จ.6 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 6

การทดลองที่ 6				
ความดันคงที่ =	**280 mmHg**		**200rpm**	
เวลา		**ผลต่างของเวลา**	**อุณหภูมิ**	**ปริมาตร**
(ชั่วโมง)	**(วินาที)**	**(วินาที)**	**(oC)**	**(ลิตร)**
0	0	0	71.1	4.0
0.26.05	1565	1565	75.6	3.9
0.55.46	3346	1781	75.4	3.8
1.25.29	5129	1783	74.5	3.7
1.55.26	6926	1797	73.5	3.6
2.24.13	8653	1727	72.1	3.5
2.43.07	9787	1134	71.4	3.4
3.06.21	11181	1394	72.4	3.3
3.28.00	12480	1299	71.4	3.2
3.45.21	13521	1041	72.4	3.1
4.05.48	14748	1227	70.7	3.0
		1474.8	**72.810**	
ปริมาณน้ำที่cond.	**900 ml**			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 180 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.25134399 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.7 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 180mmHg, ความเร็วรอบ100rpm

ตารางที่ จ.7 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 7

การทดลองที่ 7

ความดันคงที่ = 180 mmHg 100rpm

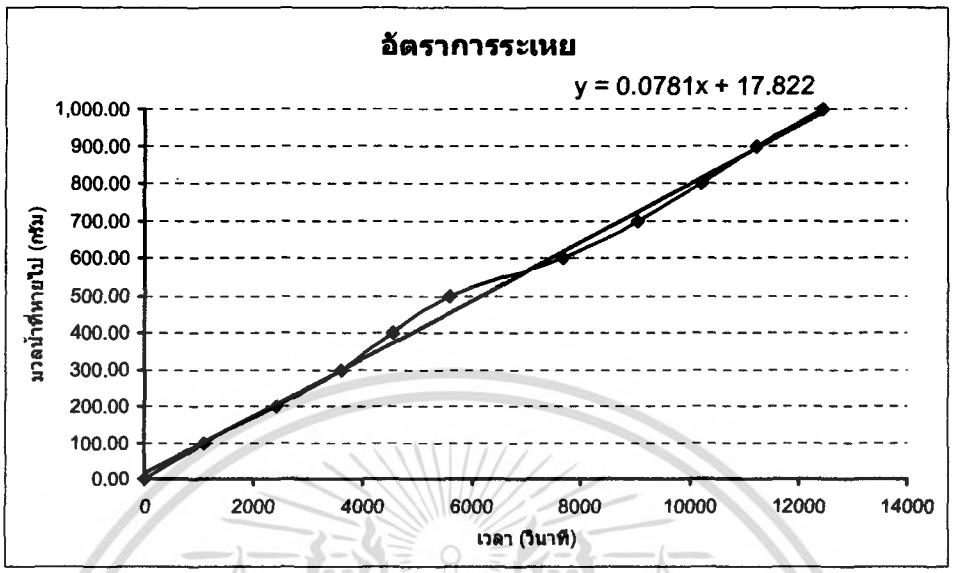
เวลา		ผลต่างของเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาตร
(ชั่วโมง)	(วินาที)	(วินาที)	(oC)	(ลิตร)
0	0	0	60.4	4.0
34.28	2068	2068	66.9	3.9
57.08	3428	1360	66.6	3.8
1.21.24	4884	1456	66.0	3.7
1.48.59	6539	1655	63.7	3.6
2.15.04	8104	1565	62.5	3.5
2.30.56	9056	952	63.9	3.4
2.49.41	10181	1125	63.4	3.3
3.06.18	11178	997	62.6	3.2
3.29.47	12587	1409	63.4	3.1
3.58.43	14323	1736	63.8	3.0
		1432.3	63.980	

ปริมาณน้ำที่cond. 1000 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 180 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm

อัตราการระเหยของน้ำซุป = 0.28897094 ก.ก./ชั่วโมง



รูปที่ จ.8 แสดงอัตราการระเหยของน้ำซุปที่ 180mmHg, ความเร็วรอบ200rpm

ตารางที่ จ.8 ตารางแสดงผลการทดลองการระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ 8

การทดลองที่ 8

ความดันคงที่ = 180 mmHg 200rpm

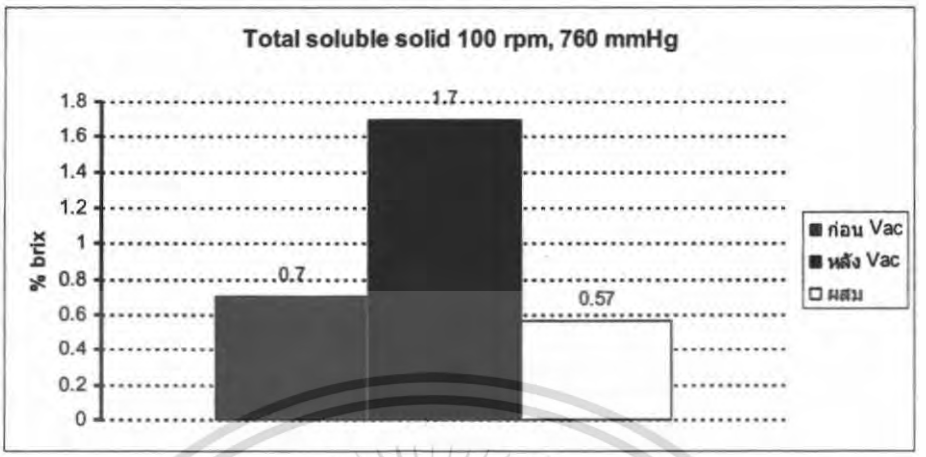
เวลา		ผลต่างของเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาตร
(ชั่วโมง)	(วินาที)	(วินาที)	(oC)	(ลิตร)
0	0	0	65.6	4.0
0.18.22	1102	1102	66.4	3.9
0.40.28	2428	1326	65.4	3.8
1.00.00	3600	1172	65.4	3.7
1.15.39	4539	939	63.5	3.6
1.33.07	5587	1048	64.2	3.5
2.08.19	7699	2112	62.2	3.4
2.31.03	9063	1364	61.9	3.3
2.50.27	10227	1164	62.4	3.2
3.07.13	11233	1006	60.4	3.1
3.27.38	12458	1225	62.5	3.0
		1245.8	**63.950**	

ปริมาณน้ำที่cond. 1000 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ค่า total soluble solids ของน้ำซุป ที่สภาวะต่างๆ

ความดันบรรยากาศ 760 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm



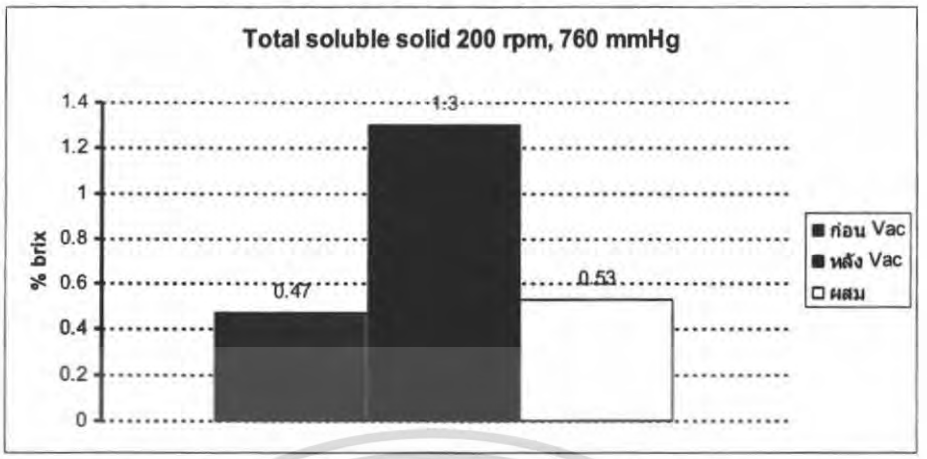
รูปที่ จ.9 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 760 mmHg, 100 rpm

ตารางที่ จ.9 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 1

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.7	
	0.7	
	0.7	0.70
หลัง VAC	1.6	
	1.8	
	1.7	1.70
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.00
ผสม	0.5	
	0.6	
	0.6	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันบรรยากาศ 760 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm



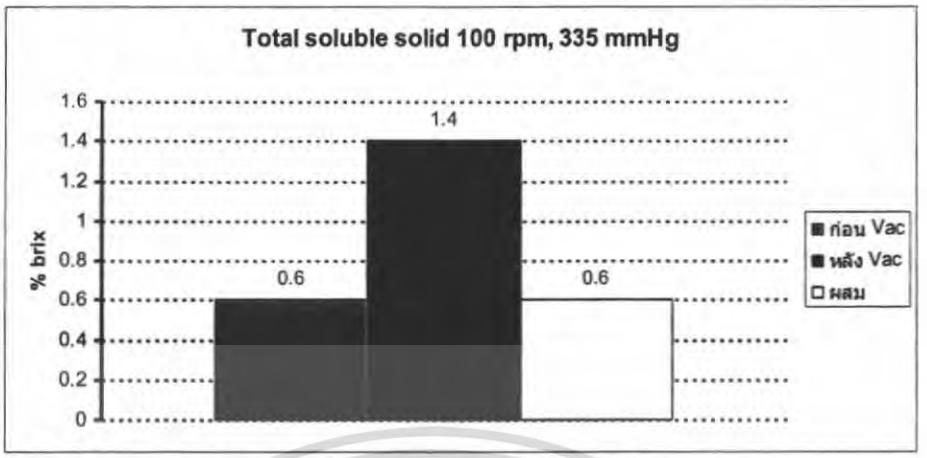
รูปที่ จ.10 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 760 mmHg, 200 rpm

ตารางที่ จ.10 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 2

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.5	
	0.4	
	0.5	0.47
หลัง VAC	1.3	
	1.2	
	1.4	1.30
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.00
ผสม	0.5	
	0.6	
	0.5	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 335 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm



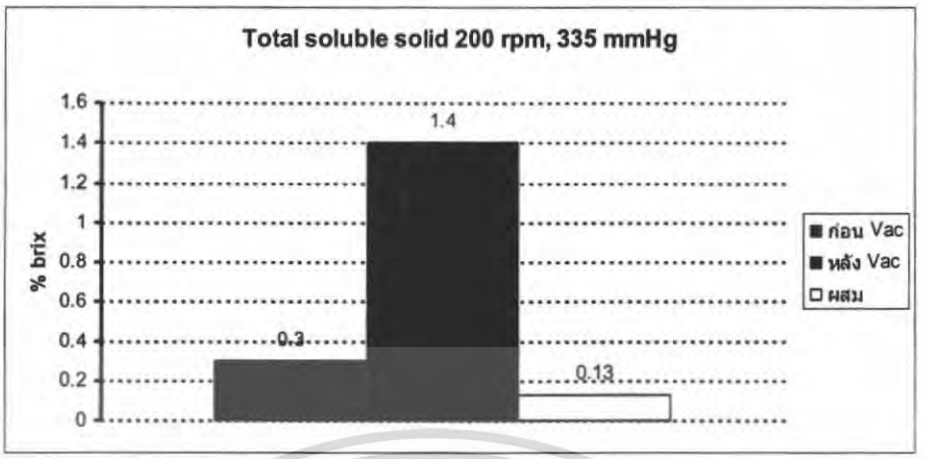
รูปที่ จ.11 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 335 mmHg, 200 rpm

ตารางที่ จ.11 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 3

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.6	
	0.6	
	0.6	0.6
หลัง VAC	1.7	
	1.4	
	1.1	1.4
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.0
ผสม	0.6	
	0.6	
	0.6	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 335 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm



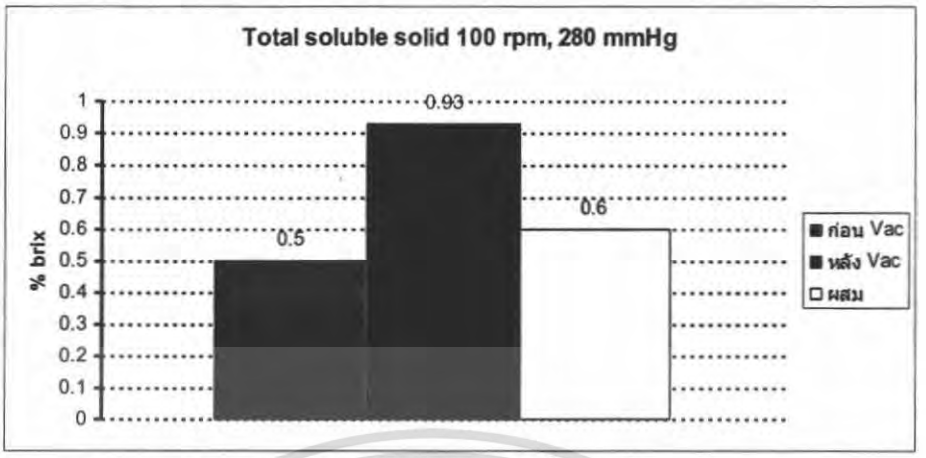
รูปที่ จ.12 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 335 mmHg, 200 rpm

ตารางที่ จ.12 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 4

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.3	
	0.3	
	0.3	0.30
หลัง VAC	1.5	
	1.4	
	1.3	1.40
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.00
ผสม	0.1	
	0.2	
	0.1	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 280 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm



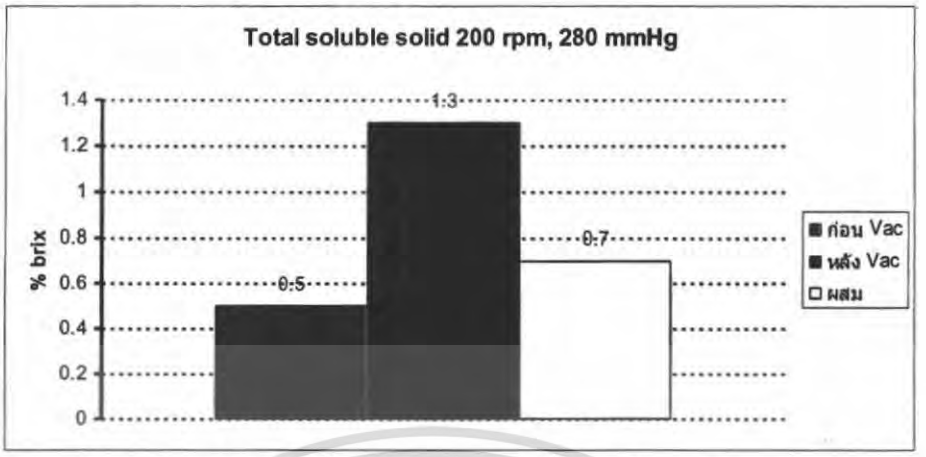
รูปที่ จ.13 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 280 mmHg, 100 rpm

ตารางที่ จ.13 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 5

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.6	
	0.5	
	0.4	0.50
หลัง VAC	1.1	
	0.9	
	0.8	0.93
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.00
ผสม	0.7	
	0.5	
	0.6	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 280 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm



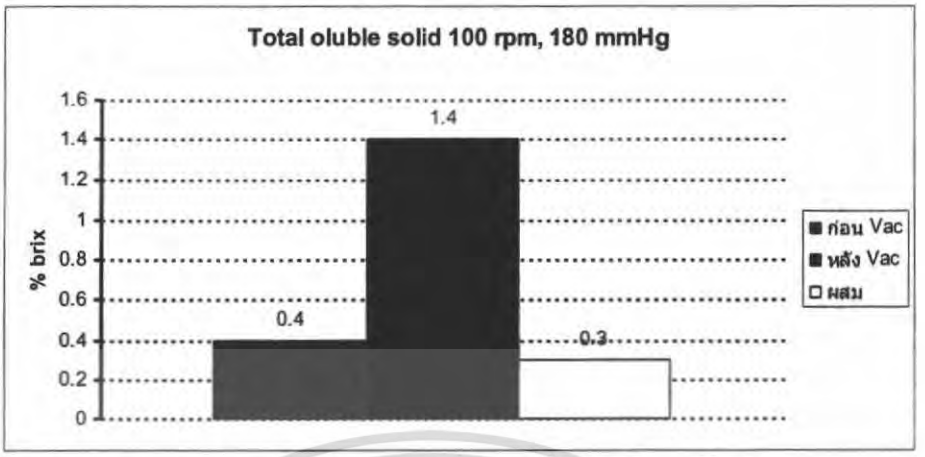
รูปที่ จ.14 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 280 mmHg, 200 rpm

ตารางที่ จ.14 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 6

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.7	
	0.6	
	0.2	0.50
หลัง VAC	1.3	
	1.3	
	1.3	1.30
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.00
ผสม	0.8	
	0.8	
	0.5	0.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 180 mmHg ความเร็วรอบ 100 rpm



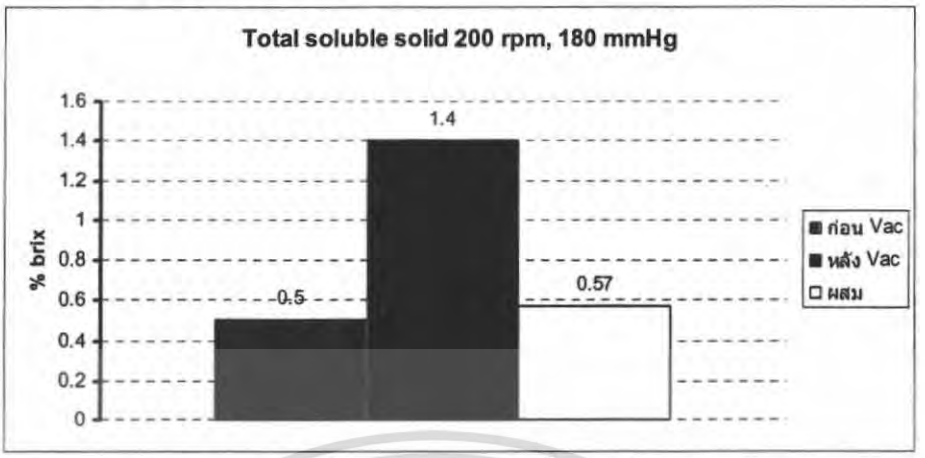
รูปที่ จ.15 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 180 mmHg, 100 rpm

ตารางที่ จ.15 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 7

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.4	
	0.4	
	0.4	0.40
หลัง VAC	1	
	1.5	
	1.7	1.40
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.00
ผสม	0.3	
	0.2	
	0.4	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน 180 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm



รูปที่ จ.16 เปรียบเทียบค่าของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดที่ความดัน 180 mmHg, 200 rpm

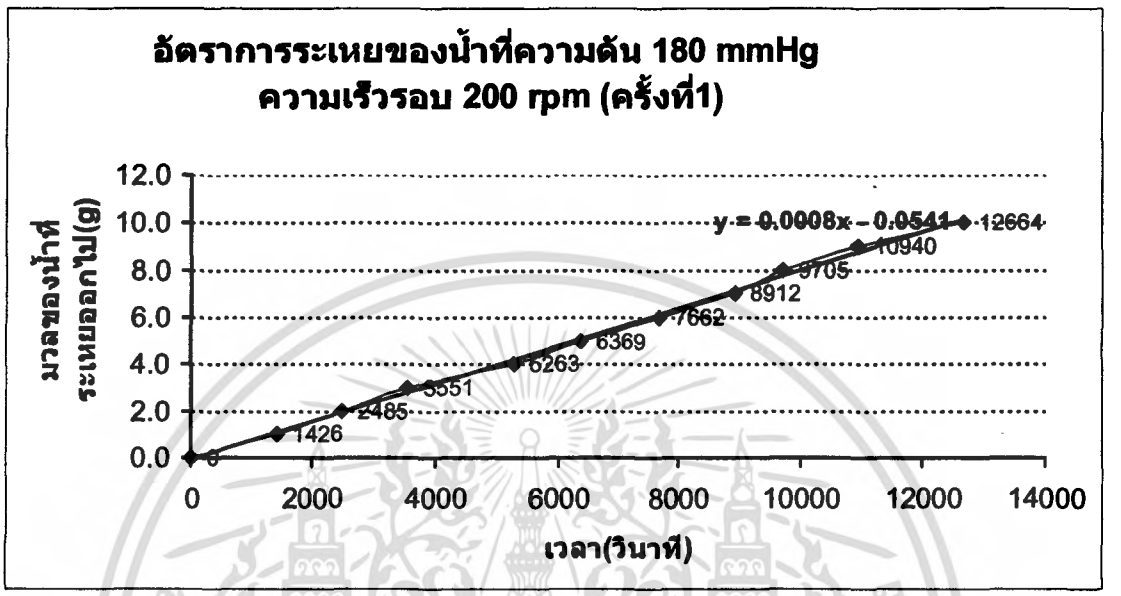
ตารางที่ จ.16 ตารางแสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่สภาวะที่ 8

total soluble solid		
	(%brix)	เฉลี่ย
ก่อน VAC	0.5	
	0.5	
	0.5	0.50
หลัง VAC	1.5	
	1.3	
	1.4	1.40
COND.	0.0	
	0.0	
	0.0	0.00
ผสม	0.6	
	0.6	
	0.5	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเพื่อแสดงผลของอัตราการระเหย, ค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ และ ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำระเหยน้ำซุปที่สภาวะที่ดีที่สุดที่เครื่องสามารถทำได้

- **ครั้งที่1**



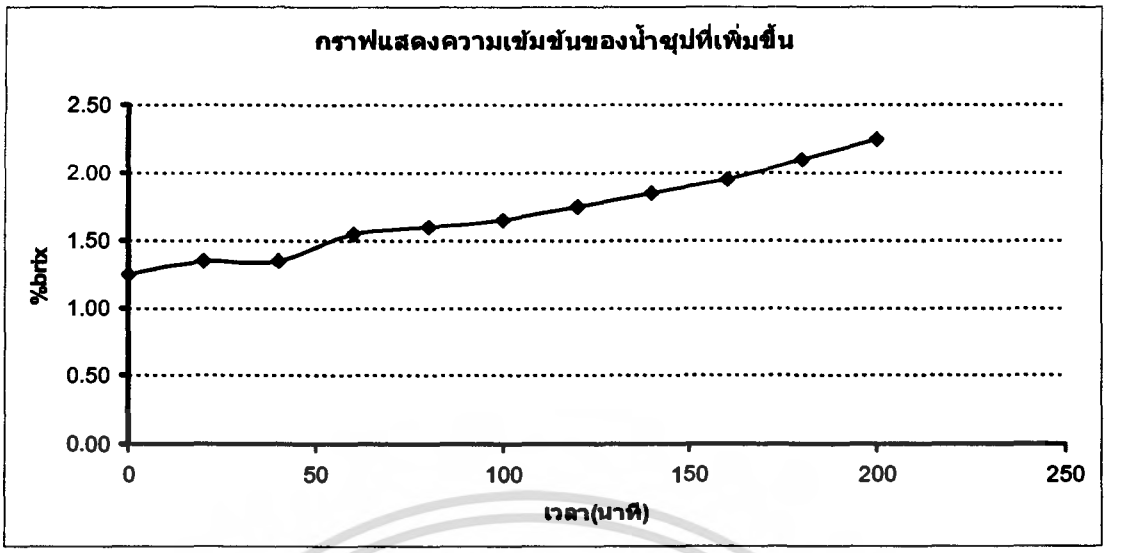
รูปที่ จ.17 แสดงอัตราการระเหยของน้ำที่ความเร็วรอบ 200 rpm ความดัน 180 mmHg ครั้งที่ 1

ตารางที่ จ.17 ตารางแสดงผลการทดลองในสภาวะที่ดีที่สุด ครั้งที่ 1

180 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm
ครั้งที่ 1

ปริมาตร (ลิตร)	เวลา (ชม.)	เวลา (วินาที)	ผลต่างของ เวลา(วินาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	มวลของน้ำที่ ระเหยออกไป(g)
4	0	0	0	67.1	0
3.9	0.21.06	1266	1266	67.7	1
3.8	0.41.08	2468	1202	67.4	2
3.7	1.00.39	3639	1171	69.2	3
3.6	1.21.47	4907	1268	65.5	4
3.5	1.41.57	6117	1210	65.8	5
3.4	2.01.03	7263	1146	60.9	6
3.3	2.21.15	8475	1212	64.8	7
3.2	2.42.36	9756	1281	62.7	8
3.1	3.04.29	11069	1313	63.8	9
3.0	3.25.11	12311	1242	67.6	10
			1119.181818	65.7	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

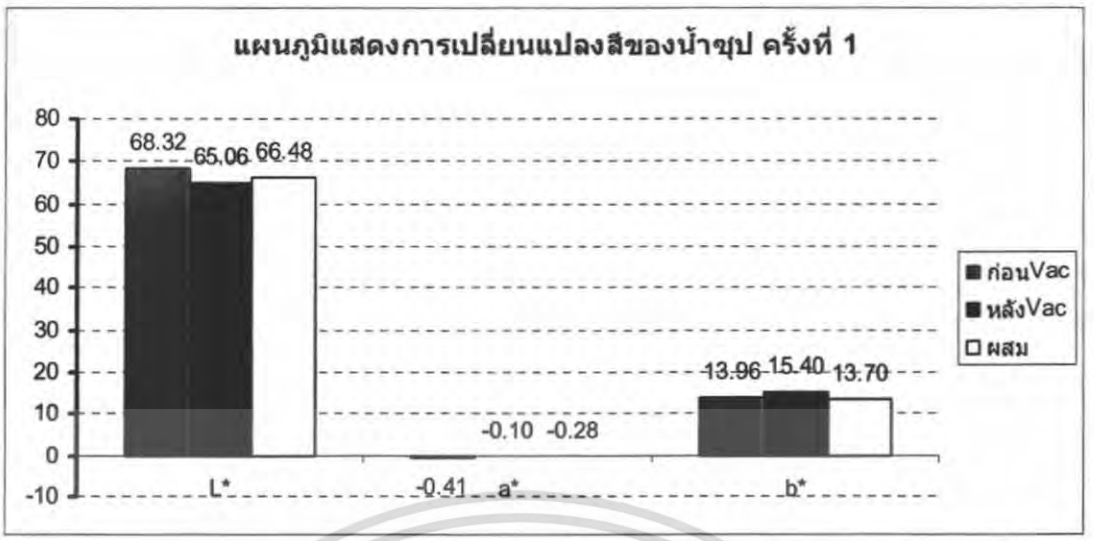


รูปที่ จ.18 แสดงความเข้มข้นของน้ำซุปที่เพิ่มขึ้นในการทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ จ.18 แสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ครั้งที่ 1

Total soluble solid (%brix)			
	ค่า%brix		
เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0	1.2	1.3	1.25
20	1.3	1.4	1.35
40	1.3	1.4	1.35
60	1.5	1.6	1.55
80	1.6	1.6	1.60
100	1.6	1.7	1.65
120	1.7	1.8	1.75
140	1.8	1.9	1.85
160	1.9	2.0	1.95
180	2.1	2.1	2.10
200	2.2	2.3	2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



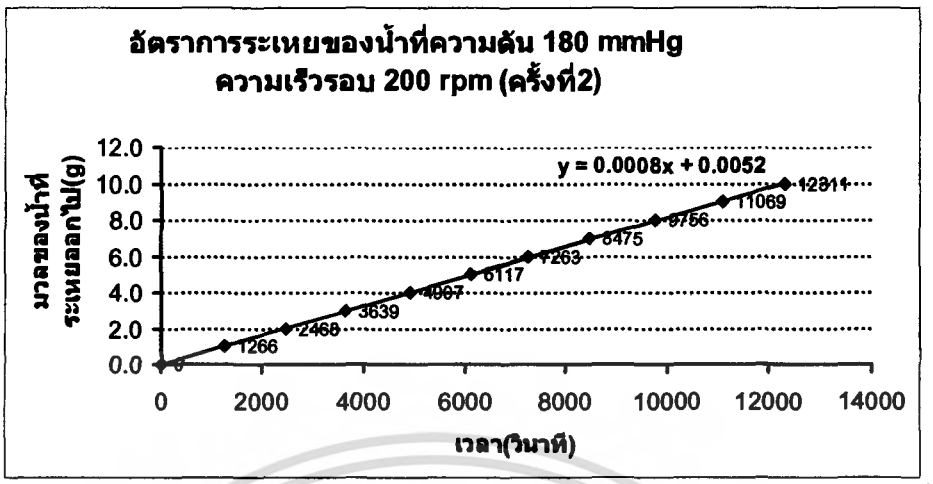
รูปที่ จ.19 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำซุป ก่อนVac, หลังVac และ สีผสม ครั้งที่ 1

ตารางที่ จ.19 ตารางแสดงค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปครั้งที่ 1

ID	L*	a*	b*		L*	a*	b*
ก่อน Vac/1	68.26	-0.36	13.86			avg	
ก่อน Vac/2	68.34	-0.32	13.86				
ก่อน Vac/3	68.35	-0.56	14.16		68.31667	-0.41333	13.96
หลัง Vac/1	65.07	-0.13	15.41				
หลัง Vac/2	65.06	-0.11	15.41				
หลัง Vac/3	65.05	-0.07	15.38		65.06	-0.10333	15.4
ผสม/1	66.58	-0.39	13.85				
ผสม/2	66.47	-0.23	13.66				
ผสม/3	66.40	-0.21	13.60		66.48333	-0.27667	13.70333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ครั้งที่ 2



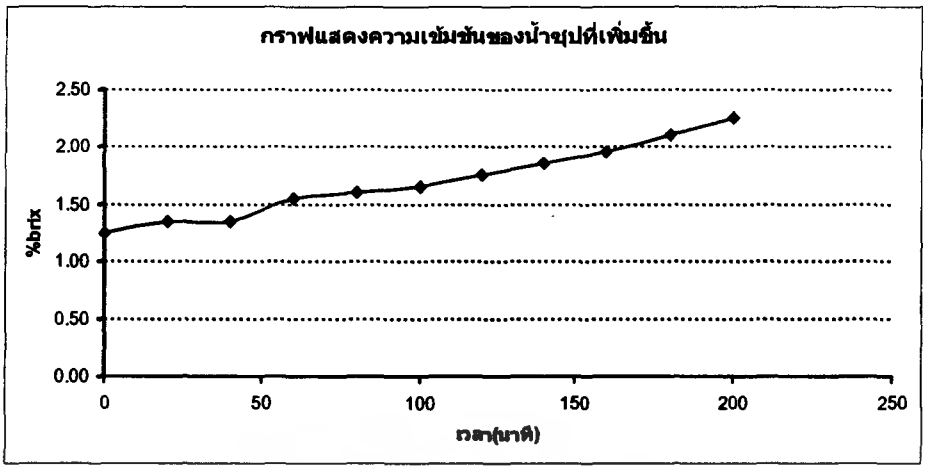
รูปที่ จ.20 แสดงอัตราการระเหยของน้ำที่ความเร็วรอบ 200 rpm ความดัน 180 mmHg ครั้งที่ 2

ตารางที่ จ.20 ตารางแสดงผลการทดลองในสภาวะที่ดีที่สุด ครั้งที่ 2

180 mmHg ความเร็วรอบ 200 rpm
ครั้งที่ 2

ปริมาตร (ลิตร)	เวลา (ชม.)	เวลา (วินาที)	ผลต่างของเวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	มวลของน้ำที่ระเหยออกไป(g)
4	0	0	0	66.7	0
3.9	0.23.46	1426	1426	65.2	1
3.8	0.41.25	2485	1059	60.7	2
3.7	0.59.11	3551	1066	63.7	3
3.6	1.27.43	5263	1712	64.1	4
3.5	1.46.09	6369	1106	62.2	5
3.4	2.07.42	7662	1293	64.0	6
3.3	2.28.32	8912	1250	64.4	7
3.2	2.41.45	9705	793	61.6	8
3.1	3.02.20	10940	1235	63.3	9
3.0	3.31.04	12664	1724	65.6	10
			1151.272727	63.8	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



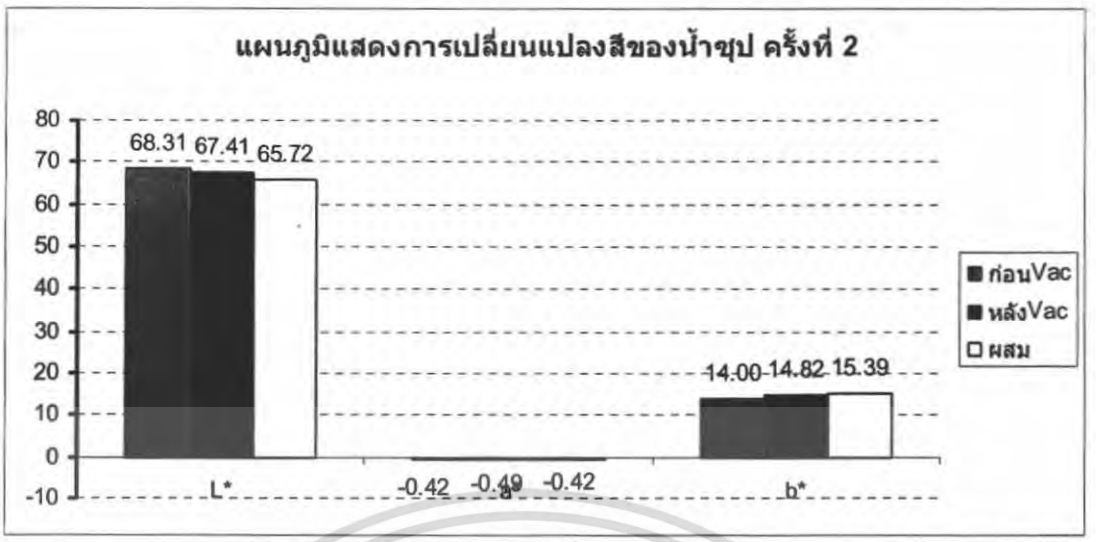
รูปที่ จ.21 แสดงความเข้มข้นของน้ำซุปที่เพิ่มขึ้นในการทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ จ.21 แสดงค่าความสามารถของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ครั้งที่ 2

Total soluble solid (%brix)

เวลา(นาที)	ค่า%brix		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0	1.1	1.1	1.10
20	1.3	1.2	1.25
40	1.3	1.4	1.35
60	1.6	1.6	1.60
80	1.6	1.7	1.65
100	1.6	1.7	1.65
120	1.7	1.8	1.75
140	1.8	1.8	1.80
160	1.8	1.8	1.80
180	2.0	2.1	2.05
200	2.0	2.1	2.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.22 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำซุป ก่อนVac, หลังVac และ สีผสม ครั้งที่ 2

ตารางที่ จ.22 ตารางแสดงค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปครั้งที่ 2

ID	L*	a*	b*		L*	a*	b*
ก่อน Vac/1	68.33	-0.38	13.87			avg	
ก่อน Vac/2	68.29	-0.31	13.92				
ก่อน Vac/3	68.31	-0.57	14.22		68.31	-0.42	14.00333
หลัง Vac/1	67.50	-0.54	15.02				
หลัง Vac/2	67.46	-0.53	14.99				
หลัง Vac/3	67.27	-0.39	14.46		67.41	-0.48667	14.82333
ผสม/1	65.65	-0.39	15.22				
ผสม/2	65.79	-0.46	15.54				
ผสม/3	65.72	-0.42	15.42		65.72	-0.42333	15.39333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้