

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผสมภายในถังแบบเจ็ต

JET MIXING IN TANK

โดย

นาย วัชรพงศ์ ดาราล้อม

นาย สุภัทรชัย รongทอง

นาย สุรศักดิ์ พันทับ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. มณฑล ใจกุล

รฟ.
๗๓๗๘๓
๕๕๔๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 62747

วัน,เดือน,ปี..... 21 ส.ค. 2549

b. 1162๙๕๕1
i.....

ปฏิญานี้พนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผสมภายในถังแบบเจ็ต

JET MIXING IN TANK

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------------------|--------------|----------|
| 1. นาย วัชรพงษ์ คาราล้อม | รหัสประจำตัว | 46015413 |
| 2. นาย สุภัทรชัย รongทอง | รหัสประจำตัว | 46015426 |
| 3. นาย สุรศักดิ์ พันทับ | รหัสประจำตัว | 46015427 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมภายในถังแบบเจ็ต

นาย วัชรพงศ์ ดาราล้อม 46015413

นาย สุภัทรชัย รongทอง 46015426

นาย สุรศักดิ์ พันทับ 46015427

ศศ. มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงการนี้ทำการศึกษาการผสมภายในถังแบบเจ็ต เพื่อที่จะนำเสนอวิธีการทดลองการผสมโดยที่จะปรับเปลี่ยนหัวฉีด 1 และ 2 หัวฉีด พร้อมกับจะปรับมุมของหัวฉีดที่ 30, 45 และ 60 องศา อีกทั้งทำการปรับอัตราการไหลของสาร (แปงมันตัมสุกเหนียว) ที่ 4.3, 5.7, 8.6, 12.9 และ 17.2 มิลลิลิตร/วินาที จากนั้นจะทำการวัดสาร โดยใช้อุปกรณ์วัดสารตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ขึ้นมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเวลาการผสม ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่ามุมมองของหัวฉีดที่มีผลทำให้เวลาในการเริ่มของการผสมที่สมบูรณ์เร็วที่สุด ซึ่งตรงตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ รวมถึงพิจารณาว่าจำนวนของหัวฉีด ไม่มีผลต่อเวลาในการเริ่มผสมที่สมบูรณ์ ที่อัตราการไหลที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JET MIXING IN TANK

Vatcharapong Daralome

Supattarachai Rongthong

Surasak Punthub

Assist. Prof. Montrol Jaikusun Advisor

ABSTRACT

This project present the study of JET MIXING IN TANK aiming at conductive the experiment by using 1 and 2 jet's as well as ad justly the nozzle degree at 30, 45 and 60 degrees respectively including the flow rate of cooled tapioca starch at the rate of 4.3, 5.7, 8.6, 12.9 and 17.2 milliliters per second chronologically. Moreover the calculation for density, gained from the specimen at different degree and rates. The testing results show degree of nozzle have influences on this short mixing time rate the good agreement with the theoretical analysis and quantity is nozzle don't have influences on this mixing time rate at flow equally.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ มณฑล ใจกุลส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสูงส่งประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	I
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การผสม	4
2.1.1 ลักษณะของของผสมและวัตถุประสงค์ของการผสม	4
2.1.2 การวัดการผสม (Measurement of Mixing)	4
2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการผสม (Mixing Equipment)	5
2.1.4 การผสมแบบเจ็ด	7
2.2 คุณสมบัติของของไหล	7
2.2.1 ความหนืด (Viscosity)	9
2.3 สมการแบร์นูลลี	19
2.3.1 Major losses	20
2.3.2 Minor losses	20
2.4 ทฤษฎีการผสมแบบเจ็ด	20
2.4.1 การเคลื่อนที่ของของไหลของการผสมภายในแบบเจ็ด	21
2.4.2 การติดตั้งหัวฉีด ขนาดความสูง (H) และเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (T)	22
2.4.3 การก่อตัวเป็นชั้น	23
2.4.4 การออกแบบ	24
2.5 คุณสมบัติของสารที่ใช้ในการทดลอง	25
2.5.1 คุณสมบัติของน้ำ	25
2.5.2 คุณสมบัติของน้ำแป้งมัน	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้างและการทำงาน	26
3.1 การออกแบบชุดทดลอง	26
3.2 รูปชุดทดลองและชิ้นส่วนต่างๆ	29
3.3 อุปกรณ์วัดค่าความหนาแน่น	31
3.4 หลักการทำงานของชุดทดลองโดยละเอียด	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	33
4.1 วิธีการทดลอง	33
4.1.1 ขั้นตอนการเตรียมสารทดลอง	33
4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง	33
4.2 ผลการทดลอง	34
บทที่ 5 บทสรุป	47
5.1 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง	47
5.2 สรุปผลการทดลอง	50
5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	50
5.4 แนวทางการพัฒนา	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก ก	52
ภาคผนวก ข	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องผสมของเหลวที่ใช้ใบพัดชนิดต่างๆ สำหรับความหนืดปานกลาง	6
2-2 อัตราเฉือนในกระบวนการผลิตอาหาร	9
2-3 ตัวอย่างอาหารที่เป็น Newtonian fluid	14
2-4 แสดงค่า Flow behavior index (n) และ Consistency coefficient (k) ของการไหลชนิดต่างๆ	18
2-5 แสดงค่าความหนืด ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิของของเหลวบางชนิด	19
5-1 การเปรียบเทียบเวลาที่เริ่มการผสมที่สมบูรณ์ของนมหัวฉีด จำนวนหัวฉีด และอัตราการไหลต่างๆ	47
5-2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ ที่นม 45 และ 60 องศาเมื่อเทียบกับนม 30 องศา	48
5-3 แสดงการเกิดการผสมขึ้นที่ความเร็วและนมของหัวฉีดต่างๆ	49
ก1 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 30 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	53
ก2 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 30 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	54
ก3 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 30 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	55
ก4 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 45 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	56
ก5 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 45 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	57
ก6 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 45 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	58
ก7 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 60 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	59
ก8 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 60 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	60
ก9 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นม 60 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทิจ)	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก10 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	62
ก11 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	63
ก12 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	64
ก13 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 45 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	65
ก14 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 45 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	66
ก15 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 45 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	67
ก16 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 60 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	68
ก17 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 60 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	69
ก18 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 60 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ้)	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	ความเร็วในการไหลเมื่อของไหลได้รับความเค้นเฉือน	7
2-2	การกระจายความเร็วของของไหลระหว่างแผ่นขนานเนื่องจากความหนืด	10
2-3	ตำแหน่งของน้ำมันหล่อลื่นกับชิ้นงาน 2 ชิ้น เมื่ออยู่กับที่และเคลื่อนที่	11
2-4	แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Newtonian fluid	14
2-5	แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Bingham plastic fluid	15
2-6	แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Pseudo plastic fluid	15
2-7	แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Dilatant fluid	15
2-8	แสดงลักษณะการไหลของของไหล Pseudo plastic fluid แบบ Power law	17
2-9	แสดงการไหลแบบ Time-dependent non-Newtonian	17
2-10	แสดงลักษณะเส้นทางการไหลในการติดตั้งหัวฉีดด้านข้างและตามแนวแกน	21
2-11	แสดงทิศทางของ Jet part length	23
3-1	แสดงค่าของ Jet part length ภายในถังผสม	26
3-2	แสดงการทำงานของปั๊ม	27
3-3	แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ บนชุดทดลอง	29
3-4	แสดงลักษณะของชุดการผสมภายในแบบเจ็ต	29
3-5	แสดงลักษณะการติดตั้งปั๊ม	30
3-6	แสดงลักษณะการติดตั้งถังผสม	30
3-7	แสดงลักษณะของถังใส่สาร	30
3-8	แสดงลักษณะของหัวฉีดที่มุม 30, 45 และ 60 องศา ตามลำดับ	31
3-9	แสดงลักษณะของเครื่องมือคูคสารตัวอย่างและเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล	31
3-10	แสดงลักษณะของแก้วพลาสติก บีกเกอร์และหลอดฉีดยา ตามลำดับ	31
3-11	แสดงลักษณะของสีผสมอาหารและแป้งมัน	32
4-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30 องศา	34
4-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30 องศา	34
4-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 1 หัวฉีด มุม 45 องศา	35
4-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 2 หัวฉีด มุม 45 องศา	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 1 หัวฉีด มุม 60 องศา	36
4-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 2 หัวฉีด มุม 60 องศา	36
4-7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30 องศา	37
4-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30 องศา	37
4-9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 1 หัวฉีด มุม 45 องศา	38
4-10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 2 หัวฉีด มุม 45 องศา	38
4-11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 1 หัวฉีด มุม 60 องศา	39
4-12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 2 หัวฉีด มุม 60 องศา	39
4-13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30 องศา	40
4-14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30 องศา	40
4-15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 1 หัวฉีด มุม 45 องศา	41
4-16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 2 หัวฉีด มุม 45 องศา	41
4-17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 1 หัวฉีด มุม 60 องศา	42
4-18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 2 หัวฉีด มุม 60 องศา	42
4-19	แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 30 วินาที	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-20 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 50 วินาที	43
4-21 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 30 วินาที	43
4-22 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 50 วินาที	44
4-23 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 30 วินาที	44
4-24 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 1 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 50 วินาที	44
4-25 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 30 วินาที	45
4-26 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 8.6 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 50 วินาที	45
4-27 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 30 วินาที	45
4-28 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 12.9 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 50 วินาที	46
4-29 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 30 วินาที	46
4-30 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 17.2 ml/s 2 หัวฉีด มุม 30, 45, 60 ที่เวลา 50 วินาที	46
5-1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ของหัวฉีด จำนวนหัวฉีด และอัตราการไหลต่างๆ	48
5-2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ ที่มุม 45 และ 60 องศา เมื่อเทียบกับมุม 30 องศา	49
ข1 Moody diagram	72
ข2 Stratification	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

การผสมในวงการอุตสาหกรรมขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ แต่จุดประสงค์หลักไม่ใช่แค่การผสมเพียงอย่างเดียว และจำเป็นต้องลดพลังงานในการผสมด้วยอีกทั้งเวลาในการผสมสารให้สมบูรณ์ต้องใช้เวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาวิธีการผสมให้เหมาะสมกับงานและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ดังนั้นการผสมจึงมีหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การแบบใบพัดกวน 1 ใบหรือหลายใบ และการผสมแบบฉีด ส่วนการผสมแบบใบพัดกวนค่อนข้างมีมากในวงการอุตสาหกรรมการผสมแต่ยังมีข้อจำกัดอยู่ เพื่อที่จะพัฒนาการผสมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีความเหมาะสมกับงานนั้นๆ จึงจำเป็นต้องศึกษาหาวิธีการผสมนอกเหนือการผสมแบบใบพัดกวน และพิจารณาที่จะพัฒนาวิธีการผสมแบบฉีดต่อไป

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hui HU, Tetsuo SAGA, Toshio KOBAYASHI และ Nobuyuki TANIGUCHI แห่ง Institute of Industrial Science, University of Tokyo Roppongi ได้เสนอผลงานเรื่อง PASSIVE CONTROL ON JET MIXING FLOWS BY USING VORTEX GENERATORS ซึ่งเป็นการทดลองเกี่ยวกับการผสมแบบฉีด (Jet mixing) โดยการฉีดน้ำจากหัวฉีดความดันเข้าไปในถังน้ำทรงลูกบาศก์ขนาด (600mm*600mm*1000mm) โดยมีตัวแปรต้น คือ ชนิดของหัวฉีด ซึ่งมี 2 แบบ คือแบบหัววงกลมธรรมดา กับแบบหัววงกลมที่มี tab ยื่นออกมาด้วย จากการทดลองพบว่า หัวฉีดแบบที่มี tab ยื่นออกมาด้วย ทำให้ช่วงการไหลแบบราบเรียบสั้นลงเมื่อเทียบกับแบบหัววงกลมธรรมดา ในการทดลองนี้ได้ใช้เทคนิค PLIF และ PIV ในการดูลักษณะการไหลของสาร

Gang Pan และ Hui Meng ได้ศึกษาการผสมในท่อที่มีการต่อหัวฉีดแรงดันสูงเข้าที่ตำแหน่งรัศมีของท่อผสมหรือที่เรียกว่า Tee Mixer ซึ่งในท่อนี้จะมีของเหลวที่ไหลแบบปั่นป่วน มีค่า Reynolds number เท่ากับ 20,850 และให้อัตราส่วนของความเร็วในท่อและความเร็วของเหลวจากหัวฉีดแรงดันสูงมีค่าตั้งแต่ 5.04 - 3.06 แล้วใช้เทคนิค Particle Image Velocimetry (PIV) และ Planar Laser Induced Fluorescence (PLIF) ในการดูผลการทดลอง และวิเคราะห์ลักษณะการผสมโดยดูจากการกระจายของเจ็ตที่ถูกฉีดเข้าทางหัวฉีดและดูจากการกระจายความเข้มข้นจากศูนย์กลางของเจ็ตเมื่อถูกฉีดเข้าไปในท่อ ในการทดลองนี้ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเท่ากับ 1.27 cm

Forney และ Kwon (1979) ได้วัดความเข้มข้นของสารขณะมีการผสมแบบฉีด โดยใช้มีเทนเป็น Tracer ร่วมกับการใช้ flame ionization detector (FID) เพื่อให้อัตราส่วนความเร็วของไหลในท่อและของไหลจากหัวฉีดที่เหมาะสมที่สุดในการผสมแบบ Jet-to-Pipe

Cozewith และ Busko (1989) ได้ศึกษาการผสมในท่อผสมแบบตัวทีหรือการผสมในท่อที่มีการต่อหัวฉีดเข้าที่ตำแหน่งรัศมีของท่อผสม (tee mixer) โดยใช้การวัดสีของ HCL/NaOH เพื่อเป็นตัวชี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความเร็วและอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อผสมและท่อหัวฉีดพบว่าเมื่อให้มุมของหัวฉีดมีทิศพุ่งเข้าหาศูนย์กลางของท่อผสมจะทำให้การผสมเกิดได้ดีที่สุดและทดลองที่ Reynolds numbers ค่าต่าง พบว่า เมื่อค่า Reynolds numbers สูงกว่า 10000 แล้วค่า Reynolds numbers จะไม่มีผลต่อปริมาณการผสม

Maruyama และคณะ (1981) ทำการทดลองผสมไอน้ำร้อนและไอน้ำที่เย็นกว่าในท่อผสมแบบตัวที่หรือการผสมในท่อที่มีการต่อหัวฉีดเข้าที่ตำแหน่งรัศมีของท่อผสม (tee mixer) แล้ววัดการกระจายของอุณหภูมิเพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดปริมาณการผสม

Hatch และคณะ (1995) ได้ทำการทดลองโดยใช้หัวฉีดฉีดของไหลที่เย็นกว่าเข้าไปในท่อที่มีของไหลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าโดยที่มุมของการฉีดตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในท่อเมน แล้วทำการวัดอุณหภูมิ เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะรูปร่างของหัวฉีดที่มีผลต่อการผสม ได้ผลสรุปว่า ที่ momentum-flux ratio ค่าหนึ่ง ๆ การผสมจะลดลงตามค่า aspect ratio (อัตราส่วนความยาวของหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด) ที่เพิ่มขึ้น

Richard M. Lueptow ได้กล่าวถึงการผสมแบบเจ็ต ว่าในอดีตมี การใช้การถ่ายภาพ และการวัดค่าการนำไฟฟ้าเพื่อพิจารณาปริมาณการผสม และจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อให้สารที่มีความหนาแน่นสูงไหลสู่สารที่มีความหนาแน่นต่ำการผสมจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อให้สารที่มีความหนาแน่นต่ำไหลสู่สารที่มีความหนาแน่นสูง จากทฤษฎีนี้จึงสามารถประยุกต์ต่อไปได้ว่าตัวแปรใดมีผลต่อประสิทธิภาพการผสมอย่างไรบ้าง เช่น อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารที่นำมาผสมกัน ความเร็วของเจ็ตที่ไหลเข้าสู่ภาชนะผสม และขนาดของภาชนะผสม งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผสมแบบเจ็ต ที่ได้ทำในช่วงทศวรรษ 1940 มีประโยชน์มากในการศึกษา การผสมแบบเจ็ต Richard M. Lueptow ได้ทำการวิจัยร่วมกับ Dr. David Eckmann เพื่อศึกษา Laminar Jet ตามแกนของท่อเปิดโดยใช้เทคนิค Particle Image Velocimetry (PIV) และการถ่ายภาพ ในการวิเคราะห์การไหล ซึ่งจะวิเคราะห์อิทธิพลของ Reynolds number ความแตกต่างของความหนาแน่นของสารที่นำมาผสมกันและความลึกของการผสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผสม

นายบุทรพงศ์ แสงรัตน์และคณะ (2546) ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการศึกษาหัวข้อ การศึกษาเชิงทดลองหัวฉีดแรงดันสูง ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อศึกษาลำน้ำจากหัวฉีดแรงดันสูงที่ใช้ในการตัดโฟม โดยเปรียบเทียบระหว่างแรงปะทะแผ่นโฟมที่เกิดจากการฉีดน้ำธรรมดากับการฉีดน้ำผสมทราย โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดที่ 0.3, 0.5, 0.8 mm. และเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างหัวฉีดและแผ่นโฟมที่ระยะต่างๆ พบว่าเมื่อผสมทรายกับน้ำ จะทำแรงที่ปะทะกับแผ่นโฟมมีค่ามากกว่าการฉีดน้ำธรรมดา 30-50 %

นายนิรภัฏ ห้วยเรไร (2544) ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการศึกษาหัวข้อ เครื่องผสมอาหาร ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของมุมของใบพายและความเร็วรอบที่ใช้ในการผสมอาหารเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผสมอาหารที่มีความหนืดต่ำถึงความหนืดปานกลางไม่เกิน 80 Pa.s ในการทดลองครั้งนี้ ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผสมโดยใช้การวัดค่าเปอร์เซ็นต์ สีที่จุดต่างๆ ของถังผสม ได้แก่ ก้นถัง กลางถัง และส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนสุดของถัง โดยใช้ Colorimeter วัด ถ้าบริเวณใดมีค่าเปอร์เซ็นต์ ของสีแต่ละสีใกล้เคียงกันแสดงว่าผสมกันได้ดี

Gosman และ Simitovic (1986) ได้ใช้เอทิลีนร่วมกับการใช้ Flame Ionization Detector (FID) ในการศึกษาการผสมแบบ Jet-to-Crossflow ในถังทรงสี่เหลี่ยม และพบว่ายิ่งมุมของหัวฉีดเพิ่มมากขึ้นยิ่งทวนกระแสของไหลในท่อการผสมก็จะมากขึ้น และได้ข้อสรุปด้วยว่ายิ่งอัตราส่วนของความเร็วของไหลจากหัวฉีดต่อความเร็วของไหลความเร็วของไหลในท่อมี่ค่ามากกว่าการผสมก็จะมากขึ้นด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาและทดลองมุมมองสาขาของหัวฉีดที่มีผลต่อเวลาในการผสม พร้อมทั้งหาเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์

1.3.2 ศึกษาจำนวนของหัวฉีดที่มีผลต่อการผสม

1.3.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎี

1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.4.1 ใช้หัวฉีดจำนวน 1 หัวและ 2 หัว

1.4.2 ทำการปรับแต่งมุมมองสาโดยอ้างอิงจากแนวระดับลงมาที่มุม 30, 45 และ 60 องศาที่ความเร็ว 3, 4, 6, 9 และ 12 m/s

1.4.3 สารที่ใช้ทำการผสม คือ แป้งมันต์ผสมกับน้ำเปล่า

1.4.4 ค่าที่ทำการวัดได้แก่ ปริมาตร น้ำหนักของสารตัวอย่าง พร้อมทั้งหาความหนาแน่นและถ่ายภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผสม

2.1.1 ลักษณะของของผสมและวัตถุประสงค์ของการผสม

ในทางทฤษฎีแล้ว กระบวนการผสมจะเริ่มจากองค์ประกอบต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบบริสุทธิ์ อยู่และองค์ประกอบเหล่านี้จะแยกกันอยู่ในสถานะต่างๆ เมื่อการผสมเกิดขึ้นและดำเนินต่อไป ตัวอย่าง ของผสมจะมีองค์ประกอบในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับสัดส่วนขององค์ประกอบทั้งหมดในสถานะ การผสม ที่สมบูรณ์จะนิยามว่าเป็นสถานะที่ทุกอย่างที่สุ่มมาจากสถานะที่ทำการผสมจะมีองค์ประกอบต่างๆ ใน สัดส่วนที่เหมือนกันกับของผสมทั้งหมด

การผสมของสารสามารถแบ่งออกได้ 5 ประเภทดังนี้

1. การผสมของของแข็งกับของแข็ง เช่น อาหารเด็กอ่อน อาหารสัตว์
2. การผสมของของแข็งกับของเหลว เช่น นมข้นรูป น้ำเชื่อม
3. การผสมของของเหลวกับของเหลว เช่น มายองเนส
4. การผสมของแก๊สกับของเหลว เช่น น้ำโซดา
5. การผสมของแก๊สกับของแข็ง

วัตถุประสงค์ของการผสมในอุตสาหกรรมอาหารคือ

1. เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารที่นำมาผสม เช่น การผสมน้ำตาลกับเกลือ เพื่อให้เกิดรสชาติรวมที่มีความหวานนำและความเค็มเป็นรอง ทำให้รสชาติที่ได้มีความกลมกล่อม
2. เพื่อช่วยคลุกเคล้าให้ของผสมเป็นเนื้อเดียวกันและคุณลักษณะองค์ประกอบตามที่ต้องการ
3. เพื่อผสมอนุภาคของของแข็งชนิดต่างๆ ให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ หรือสะดวกในการใช้ เช่น การ ทำส่วนผสมของแป้งสำเร็จรูปในการทำแพนเค้ก เป็นต้น
4. เพื่อผสมของเหลวชนิดต่างๆ ที่ไม่สามารถละลายเข้าด้วยกันได้ ให้เกิดอิมัลชันขึ้น เช่น การ โย โมจิในเซซันน้ำมัน
5. เพื่อกระจายแก๊สเข้าไปในของเหลว
6. เพื่อให้องค์ประกอบต่างๆ ทำปฏิกิริยาเคมีได้อย่างสม่ำเสมอ เมื่อรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้า ของผสมนั้นสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีต่อกัน เช่น การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์
7. เพื่อเร่งการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลวกับคอลล์หรือแจ็กเก็ตที่หุ้มอยู่

2.1.2 การวัดการผสม (Measurement of Mixing)

ในงานทางด้านอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวข้องกับการผสม ระดับความสม่ำเสมอของของผสม เป็นสิ่งสำคัญที่สุด เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการผสมและผลของการผสมที่ได้ จึง จำเป็นต้องกำหนดหาคุณภาพของการผสม ซึ่งเป็นวิธีการประมาณระดับและเช็ดตัวอย่างที่สุ่มขึ้นมาหลัง การผสมผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง อย่างไรก็ตามการประมาณดังกล่าวจำเป็นต้องวิเคราะห์จากมวลซึ่งทำการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุ่ม โดยมวลมีค่าคงที่ที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งและระดับของความไม่สม่ำเสมอแสดงได้โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) หรืออาจใช้ค่าวารีแย่นซ์หรือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ถ้าของผสมที่มี 2 องค์ประกอบถูกสุ่มขึ้นมาในตอนเริ่มต้นของการผสม (ในสถานะที่ยังไม่มีการผสมเกิดขึ้น) ตัวอย่างส่วนใหญ่ที่สุ่มขึ้นมาจะประกอบด้วยองค์ประกอบตัวหนึ่งเท่านั้น เมื่อการผสมดำเนินต่อไปองค์ประกอบของแต่ละตัวอย่างที่สุ่มขึ้นมาจะเริ่มมีความสม่ำเสมอ และเข้าใกล้องค์ประกอบเฉลี่ยของของผสมมากขึ้น ซึ่งวิธีหนึ่งในการหาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบคือ การตรวจสอบวัดค่าเปอร์เซ็นต์ของสีอาหารหรืออาจใช้วิธีการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละสัดส่วนในตัวอย่างหลายๆ ครั้ง

การศึกษาคิดค้น พัฒนาการวัดคุณภาพการผสม และการไหลของของเหลวมีมานานมากแล้ว ในปัจจุบันมีวิธีการแบบต่างๆ เช่น Hot Wire Anemometry (HWA) จากการพัฒนาการนำแสงเลเซอร์มาใช้ประโยชน์ ก็ได้มีการพัฒนา Laser Doppler Anemometry (LDA) ด้วย หลังจากนั้นก็ได้มีการพัฒนา Laser Doppler Anemometry (LDA) ให้ดีมากขึ้นกลายเป็น Phase Doppler Anemometry (PDA)

เทคนิค Particle Image Velocimetry (PIV) เป็นวิธีการที่ใช้วัดความเร็วได้ทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ ส่วน Planar Laser Induced Fluorescence (PLIF) นั้นก็มีประสิทธิภาพสูงมากในการวัดความเข้มข้นของสารในกระบวนการผสม

2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการผสม (Mixing Equipment)

ในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการออกแบบและผลิตเครื่องผสมออกมาเป็นจำนวนมาก การเลือกชนิดหรือขนาดของเครื่องผสมที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณของอาหารที่จะมาผสม และความเร็วของการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้ระดับของการผสมที่ต้องการ โดยใช้พลังงานน้อยที่สุด เครื่องผสมจะแบ่งออกตามลักษณะการทำงานสำหรับอาหารต่อไปนี้

1. ของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำ
2. ของเหลวที่มีค่าความหนืดสูง
3. อาหารผงที่แห้งหรือของแข็งที่เป็นชิ้น

เครื่องผสมหลายชนิดที่มีการออกแบบเพื่อผสมของเหลวในภาชนะที่มีแผ่นกั้น (Baffle) หรือไม่ มีแผ่นกั้นก็ได้ ข้อดีและข้อเสียของแต่ละประเภทตามลักษณะการใช้งานสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ชนิดของใบพัดที่ใช้ในการผสม	ข้อดี	ข้อเสีย
ใบพาย	1. ป้องกันการไหม้ของอาหารได้ 2. ราคาถูกกว่าชนิดอื่น	1. ใช้ได้ที่ความเร็วต่ำ 2. ใช้เวลานานกว่า
ใบพัดเรือ	1. การไหลทั่วทั้งถังผสม 2. ใช้เวลาการผสมน้อย	1. ราคาแพงกว่าชนิดใบพาย 2. ป้องกันการไหม้ของอาหารไม่ได้เมื่ออาหารนั้นต้องใช้ความร้อน 3. ใช้ที่ความหนืดปานกลาง
ใบพัดกังหัน	1. การผสมดีมาก ไหลทั่วทั้งถังผสม 2. ใช้เวลาในการผสมน้อยที่สุด	1. ราคาแพงกว่าชนิดอื่น 2. ป้องกันการไหม้ของอาหารไม่ได้เมื่ออาหารนั้นต้องใช้ความร้อน 3. ใช้ที่ความหนืดช่วงกว้าง

ตารางที่ 2-1 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องผสมของเหลวที่ใช้ใบพัดชนิดต่างๆ สำหรับความหนืดปานกลาง

1. เครื่องผสมชนิดใช้ใบพัดเรือ (Propeller agitator) เป็นใบพัดความเร็วสูงไหลตามแนวแกน เหมาะสำหรับ ของเหลวที่มีความหนืดต่ำ สำหรับใบพัดเรือขนาดเล็กจะหมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของมอเตอร์ (1,150 rpm ถึง 1,750 rpm) ถ้าเป็นใบพัดเรือขนาดใหญ่จะหมุนที่ 400-800 rpm ระยะทางที่ใบพัดหมุน 1 รอบ แล้วนำ ของเหลวเคลื่อนที่ไปตามความยาวจะขึ้นอยู่กับมุมของความชันของใบพัดเรือ อัตราส่วนของระยะทางนี้ต่อเส้น ผ่านศูนย์กลางของใบพัดเรือเรียกว่า Pitch ของใบพัด

2. เครื่องกวนชนิดใบพาย (Paddle agitator) ใบพัดมีลักษณะคล้ายใบพายที่แบนหมุนรอบเพลลาในแกนตั้ง มักนิยมใช้ใบพายแบบ 2 หรือ 4 ซึ่งหมุนด้วยความเร็วต่ำถึงปานกลาง ประมาณ 20-200 รอบต่อนาที ณ ศูนย์กลาง ของถังผสม ซึ่งจะดันของเหลวในแนวรัศมี โดยไม่มีการเคลื่อนในแนวตั้งยกเว้นใบพัดแบบ Pitch ความยาว ทั้งหมดของใบพัดชนิดนี้เป็น 50-80% ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังผสม และความกว้างของใบพาย เป็น 1/6 ถึง 1/10 ของความยาวการกวนที่ความเร็วต่ำมักใช้ในถังผสมที่ไม่มีแผ่นกั้น แต่ที่ความเร็วสูงขึ้นจะต้องใช้แผ่นกั้น เนื่องจากของเหลวจะหมุนรอบซึ่งมีด้านการผสมเกิดขึ้นเล็กน้อย ถ้าไม่มีแผ่นกั้นใบพัดชนิดนี้จะมีสมบัติที่สามารถ ป้องกันการไหม้ของอาหารที่จะติดกันถังได้ และสามารถใช้กับอาหารที่มีความหนืดทุกช่วงที่ต้องการใช้ในการ ผสมอาหารที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง

3. เครื่องกวนชนิดใช้ใบพัดเทอร์ไบน์ (Turbine agitator) ประกอบด้วยใบพัดคล้ายกับใบพายหลายใบแต่ ใบพัดจะสั้นกว่าและหมุนด้วยความเร็วสูง มีขนาดประมาณ 30-50% ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังผสม ใบพัด กังหัน สามารถใช้กับของเหลวที่มีความหนืดในช่วงกว้าง

2.1.4 การผสมแบบเจ็ต (Jet Mixing)

เป็นวิธีการผสมสาร โดยใช้หัวฉีดฉีดสารให้มีความเร็วสูงเพื่อให้สารผสมกันได้ดีขึ้น โดยใช้หลักการของการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านหัวฉีด โดยใช้สารที่มีค่าความหนืดต่ำที่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ที่หัวฉีดมากกว่า 100) โดยข้อดีของการผสมแบบเจ็ต (Jet Mixing) ได้แก่

1. อุปกรณ์ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับแบบใบพัด
2. แบบเจ็ตไม่จำเป็นต้องใช้ถังผสมที่มีความแข็งแรงในการรองรับการทำงาน
3. การดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก
4. ไม่มีส่วนของโครงสร้างที่รับน้ำหนัก
5. ใช้ได้กับทั้งการผสมที่ระดับของเหลวชั้นลงไม่สม่ำเสมอ
6. สามารถนำไปใช้กับการผสมสารที่ทำปฏิกิริยากันได้
7. ใช้ในการผสมสารที่มีสภาพเป็นกรดได้

แต่แบบเจ็ตจะใช้พลังงานมากกว่าแบบใบพัดประมาณ 7 เท่า

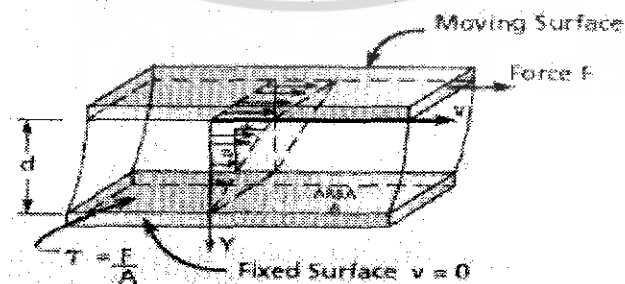
2.2 คุณสมบัติของของไหล

ของไหลมีลักษณะที่สำคัญ คือ สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตามภาชนะที่บรรจุและเมื่อได้รับแรงกระทำ ผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภทมีลักษณะเป็นของไหล ลักษณะการไหลของผลิตภัณฑ์อาหารนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและองค์ประกอบของอาหารนั้นๆ สมบัติของของไหลที่มีผลต่อการถ่ายโอนหรือการเคลื่อนย้ายของไหลที่สำคัญ คือ ความหนืด (Viscosity) ของของไหล ความหนืด คือ ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของของไหลและจะส่งผลกระทบต่อกำลังที่ต้องการใช้ในการผลักดันให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่

1. ความเค้นและความหนืดของของไหล

ของไหลจะไหลได้เมื่อได้รับความเค้น (stress) ความเค้น คือ แรงที่กระทำกับของไหลต่อพื้นที่มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ ความเค้นที่กระทำต่อของไหลในแนวตั้งฉากกับผิวของของไหลจะเรียกว่า ความเค้นปกติ (normal stress) ซึ่งมีค่าเท่ากับความดัน

2. ความเค้นที่กระทำต่อของไหลในแนวขนานกับผิวของของไหลจะเรียกว่า ความเค้นเฉือน (shear stress) เมื่อให้ความเค้นเฉือน ของไหลจะไหลดังนี้



รูปที่ 2-1 ความเร็วในการไหลเมื่อของไหลได้รับความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามนิยาม ความเค้นเฉือน (τ_{yz}) มีค่าเท่ากับ

$$\tau_{yz} = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

โดย

$$F \propto A \frac{\Delta v_z}{\Delta y}$$

ดังนั้น

$$\tau_{yz} = \alpha \frac{\Delta v_z}{\Delta y} \rightarrow \tau_{yz} = \mu \frac{\Delta v_z}{y} \quad (2.2)$$

เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดหรือ Coefficient of viscosity โดยทั่วไปจะเรียกว่า “ความหนืด” หรือ viscosity มีหน่วยเป็น แรงคูณเวลาต่อพื้นที่ เช่น Ns/m^2 บางตำราอาจใช้สัญลักษณ์ σ แทนความเค้นเฉือนและ η แทนความหนืด เมื่อให้ค่า $\Delta y \rightarrow 0$ จะสามารถเขียนสมการ 2.2 ได้เป็น

$$\tau_{yz} = \mu \frac{Dv_z}{Dy} \quad (2.3)$$

โดย $\frac{Dv_z}{Dy}$ คือ velocity gradient ในแนวแกน y เรียกว่า “Shear rate” หรืออัตราเฉือนมีลักษณะเป็น γ มีหน่วยเป็นส่วนกลับของเวลา โดยปกติ คือ 1/s

$$\tau_{yz} = \mu \gamma \quad (2.4)$$

อัตราเฉือนที่พบในกระบวนการผลิตอาหารมีค่าที่แตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของอุปกรณ์ ช่วงของอัตราเฉือนที่พบแสดงในตารางที่ 2-2

ของไหลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (Shear rate) และความเค้นเฉือน (Shear stress) ตามสมการ จัดเป็น Newtonian fluid

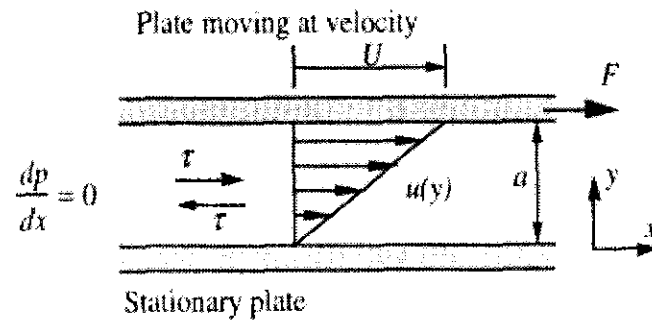
Application	Shear rate (1/s)	Example
Sedimentation of particles	$10^{-6} - 10^{-3}$	Spices in salad dressing
Leveling due to surface tension	$10^{-2} - 10^{-1}$	Frosting, paints
Draining under gravity	$10^{-1} - 10$	Painting and costing
<ul style="list-style-type: none"> ● Extrusion ● Pipe flow 	$1 - 10^3$	<ul style="list-style-type: none"> ● Snack foods, Cereal, Pasta ● Food processing
<ul style="list-style-type: none"> ● Calendaring ● Pouring from a bottle ● Chewing and swallowing 	$10^1 - 10^2$	<ul style="list-style-type: none"> ● Dough sheeting ● Foods & cosmetics ● Foods
Mixing and stirring	$10^1 - 10^3$	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

ตารางที่ 2-2 อัตราเฉือนในกระบวนการผลิตอาหาร

2.2.1 ความหนืด (Viscosity)

เมื่อใช้ส่วนผสมของเหลวชนิดต่างๆ เช่น น้ำ น้ำเชื่อม หรือนมข้นหวาน เป็นต้น จะพบว่าการคนของเหลวแต่ละชนิดนั้นจะออกแรงคนไม่เท่ากัน การที่ต้องออกแรงคนของเหลวแต่ละชนิดไม่เท่ากันเป็นเพราะของเหลวมีความหนืดต่างกัน ของเหลวที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวนั้นมาก แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของเหลว เรียกว่า แรงหนืด

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของลูกกลม โลหะในน้ำมันหล่อลื่น จะพบว่าในช่วงแรกๆ ของการเคลื่อนที่ ลูกกลมโลหะจะเคลื่อนที่โดยมีความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก ในขณะที่มีแรงลอยตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าคงตัว และแรงหนืดต้านการเคลื่อนที่อยู่ หลังจากเคลื่อนที่ได้ระยะหนึ่งลูกกลมโลหะจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว แสดงว่าแรงหนืดที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวมีค่ามากขึ้น เมื่อวัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้น จนทำให้แรงลัพธ์ที่มากระทำกับลูกกลมโลหะมีค่าเป็นศูนย์ ลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ซึ่งเรียกความเร็วนี้ว่า ความเร็วปลาย วัตถุที่เคลื่อนที่ในของเหลวที่มีความหนืดต่างกันความเร็วปลายของการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวที่มีความหนืดสูงจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วปลายของวัตถุนั้นในของเหลวที่มีความหนืดต่ำ (ความหนืดต่ำมีค่าความหนืด 0-100 mPa.s ความหนืดปานกลาง 100-1000 mPa.s ความหนืดสูง 1000-10000 mPa.s) [12]



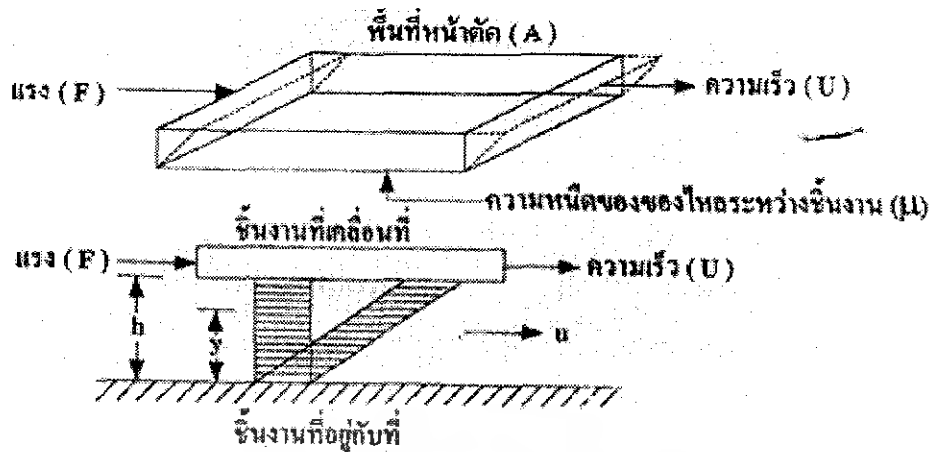
รูปที่ 2-2 การกระจายความเร็วของของไหลระหว่างแผ่นขนานเนื่องจากความหนืด

แรงหนืดของของเหลวที่กระทำต่อวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ในของเหลวมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ นอกจากนี้ในของเหลวชนิดหนึ่งๆ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ความหนืดจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยทั่วไปแล้วความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ความหนืด คือ การแสดงถึงความยากหรือง่ายในการที่ของเหลวอย่างหนึ่งจะสามารถไหลไปได้ โดยตัวของมันเอง เช่น มีของเหลวอยู่สองชนิดที่มีอุณหภูมิเท่ากัน ชนิดหนึ่งไหลไปได้อย่างง่ายดายหรือเร็ว ในขณะที่อีกชนิดหนึ่งไหลไปได้อย่างเชื่องช้า เราจะพูดว่าของเหลวชนิดแรกมีความหนืดต่ำหรือมีส่วนชนิดที่สองมีความหนืดสูง ดังนั้นจึงอาจให้คำจำกัดความอย่างง่ายๆ ได้ว่าความหนืด คือ ความสามารถในการต้านทางการไหล ของเหลวใดที่มีความหนืดมากจะมีความสามารถในการต้านทางการไหลสูง ของเหลวใดที่มีความหนืดน้อยจะมีความสามารถในการต้านทานการไหลต่ำวิธีหาความหนืดของน้ำมันใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "Viscometer" ซึ่งเป็นการจับเวลาที่ของเหลวจำนวนหนึ่ง (น้ำมัน) ไหลผ่านรูมาตรฐานที่กำหนดไว้ ณ อุณหภูมิที่กำหนด

ความหนืดของสารหล่อลื่นจะเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้เกิดฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นระหว่างชิ้นงาน 2 ชิ้น ที่มีการเคลื่อนเสียดสีกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-2

ในการหล่อลื่นแบบไฮโดรนามิก ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนใหญ่ ให้พิจารณาชิ้นงานพื้นผิวแบนเคลื่อนที่ไปบนชิ้นน้ำมันหนา h ด้วยความเร็ว U แรง F จะทำให้น้ำมันเกิดการไหลเป็นชั้นๆ โดยชั้นที่ติดกับชิ้นงานที่เคลื่อนที่มีความเร็ว U และชั้นล่างสุดที่ติดกับชิ้นงานที่อยู่กับชิ้นงานที่อยู่กับที่มีความเร็วเป็นศูนย์ นั่นคือการสมมติให้ไม่มีการสลลิป (Slip) เกิดขึ้น ในชั้นระหว่างกลางน้ำมันจะมีความเร็วแปรผันตามระยะ y



รูปที่ 2-3 ตำแหน่งของน้ำมันหล่อลื่นกับชั้นงาน 2 ชั้นเมื่ออยู่กับที่และเคลื่อนที่

จากกฎของนิวตันเรื่องความหนืดของของไหลเมื่อมีการไหล (Newton's law of viscous flow) กล่าวไว้ว่า ค่าความเค้นเฉือนของของไหลที่เป็นสารหล่อลื่นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วต่อระยะความหนาของสารหล่อลื่นตามแนวแกน y เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U}{h} \quad (2.5)$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน (shearing stress)

μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) หรือความหนืดพลวัต (dynamic viscosity) หรือความหนืด (viscosity) ของของไหลที่หล่อลื่น

F คือ แรงที่ใช้ในการเลื่อนแผ่นที่เคลื่อนที่

U คือ ความเร็วของแผ่นที่เคลื่อนที่

u คือ ความเร็วของชั้นฟิล์มของของไหล โดยวัดจากแผ่นที่อยู่กับที่ไปจนถึงชั้นของของไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นที่เคลื่อนที่

$$\frac{du}{dy} = \frac{U}{h} \quad \text{คือ เกรเดียนต์ความเร็ว (velocity gradient) หรืออัตราเฉือน (shear rate)}$$

หน่วยของความหนืด

1. ระบบหน่วยอังกฤษเป็น ปอนด์ - วินาที / ตารางนิ้ว ($\text{lb.s} / \text{in}^2$) ซึ่งเรียกว่า เรน (reyn) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Sir Osborne Reynolds ที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาการหล่อลื่นทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องเป็นคนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบหน่วยเมตริก ความหนืดมีหน่วยเป็น ดายน์-วินาที / ตารางเซนติเมตร ($\text{dyne.s} / \text{cm}^2$) เรียกว่า พอยซ์ (poise) โดยที่ดายน์ หมายถึง แรงที่กระทำให้มวล 1 กรัมมีความเร่ง 1 เมตร / วินาที²

3. หน่วยเอสไอ ความหนืดจะมีหน่วยเป็น ปาสคาล – วินาที (Pa.s) หรือ $\text{N.s} / \text{m}^2$

การเปลี่ยนหน่วยของความหนืดระหว่างระบบทั้งสามมีดังนี้

1 พอยซ์ (poise : P)	=	100 เซนติพอยซ์ (centipoises : cP)
1 เซนติพอยซ์ (centipoises : cP)	=	0.01 พอยซ์ (poise : P)
หรือ	=	0.145 ไมโครเริน (microreyn)
1 เริน (reyn)	=	68,944 พอยซ์ (poise : P)
หรือ	=	6.89×10^6 เซนติพอยซ์ (centipoises : cP)
1 เริน (reyn)	=	ปอนด์-วินาที / ตารางนิ้ว ($\text{lb.s} / \text{in}^2$)
1 พอยซ์ (poise : P)	=	ดายน์-วินาที / ตารางเซนติเมตร ($\text{dyne.s} / \text{cm}^2$)
1 ปาสคาล – วินาที (Pa.s) หรือ $\text{N.s} / \text{m}^2$	=	1000 เซนติพอยซ์ (centipoises : cP)
หรือ	=	พอยซ์ (poise : P)

น้ำมีความหนืดประมาณ 1cP ที่อุณหภูมิ 20 °C

ความหนืดแบบกินแมติก (kinematics viscosity)

ถ้าหารค่าความหนืด μ ด้วยความหนาแน่นของของไหลนั้นที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮด์ ค่าที่ได้จะเรียกว่า ความหนืดกินแมติก (kinematics viscosity, ν)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

(2.6)

เมื่อ ν คือ ค่าความหนืดแบบกินแมติก ถ้ากำหนดมาตรฐานของค่าความหนืดแบบกินแมติก โดยใช้เครื่องมือกำหนดเป็นมาตรฐานโดย ASTM

ในระบบหน่วยเมตริกมีหน่วยเป็น สโตก (stoke) ส่วนในระบบหน่วยเอสไอ เป็น m^2 / s

การหาค่าความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมันชนิดต่างๆ โดยใช้ Viscometer ในการหาคความหนืดมีอยู่หลายระบบด้วยกัน เช่น

- Saybolt Universal Viscometer มีหน่วยเป็น“SUS”ซึ่งย่อมาจาก Saybolt Universal Second หรือ Saybolt Furol Viscometer มีหน่วยเป็น“SFS”ย่อมาจาก Saybolt Furol Second นิยมใช้ในสหรัฐอเมริกา

- Redwood Viscometer มีหน่วยเป็น“Rw”นิยมใช้ในสหราชอาณาจักร

- Engler Viscometer มีหน่วยเป็น“E”นิยมใช้ในญี่ปุ่นและยุโรป

- Kinematics Viscometer มีหน่วยเป็น “cSt”เป็นระบบสากล

1. มาตรฐานวัดความหนืดหรือความข้นใสแบบยูนิเวอร์แซล ใช้วัดความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมัน โดยจับเวลาจากการไหลเป็นวินาทีของน้ำมัน 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 70, 100, 130, 210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาฟาเรนไฮด์ ค่าวัดความหนืดหรือความข้นใสที่ได้มีหน่วยเป็นวินาทีเซย์โบลต์ (Saybolt Universal Seconds, SUS) เครื่องมือนี้ไม่เหมาะกับน้ำมันซึ่งมีการไหลต่ำกว่า 32 วินาที รูที่น้ำมันไหลผ่านมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0695 นิ้ว (1.77 มิลลิเมตร) ความยาว 0.4823 นิ้ว (12.25 มิลลิเมตร)

2. มาตรฐานวัดความข้นใสแบบเซย์โบลต์ฟูรอลแตกต่างกับมาตรฐานวัดความหนืดหรือความข้นใสแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซลที่ขนาดของรูเท่านั้น คือ มาตรฐานนี้จะมีการไหลผ่านศูนย์กลาง 0.124 นิ้ว (3.15 มิลลิเมตร) ความยาว 0.4823 นิ้ว (12.25 มิลลิเมตร) ใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดหรือความข้นใสสูงกว่า 1,000 วินาทีเซย์โบลต์ ตัวอย่างเช่น น้ำมันเตา

3. มาตรฐานวัดความข้นใสแบบเรดวูด No.1 ใช้รูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.62 มิลลิเมตรและความยาวของรูประมาณ 10 มิลลิเมตร จับเวลาการไหลของน้ำมันปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนืดหรือความข้นใสมีหน่วยเป็นวินาทีเรดวูด

4. มาตรฐานวัดความข้นใสแบบเรดวูด No. 2 ใช้รูขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 มิลลิเมตรและความยาวของรูเป็น 50 มิลลิเมตร ใช้กับน้ำมันที่มีความข้นมาก ๆ

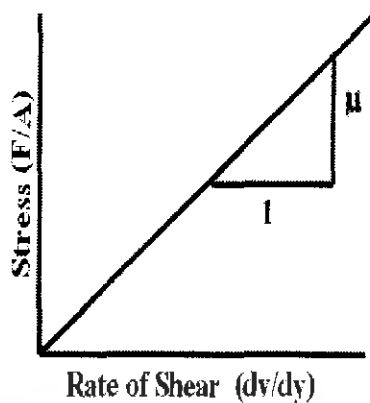
5. มาตรฐานวัดแบบอิงเลอร์ จับเวลาการไหลของน้ำมันที่มีปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร และบอกค่าความหนืดหรือความข้นใสเป็นวินาทีของอิงเลอร์หรือองศาของอิงเลอร์ (E°) ซึ่งเป็นส่วนของเวลาการไหลของน้ำมัน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร รูของเครื่องทดสอบที่ให้น้ำมันไหลผ่านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.9 มิลลิเมตร และความยาวของรูมีค่า 20 มิลลิเมตร ที่ปากทางเข้าและออกจะเป็นมุมเอียงมีความยาว 2.8 มิลลิเมตร

Engler degree (E°) = เวลาที่น้ำมัน 200 ml ไหลผ่าน Orifice/เวลาที่น้ำ 200 mL ไหลผ่าน Orifice

การแบ่งประเภทของเหลวตามลักษณะการไหลมักจะทำได้โดยพิจารณาจากความหนืดเป็นหลัก โดยสามารถแบ่งของเหลวได้เป็นสองประเภทหลักคือ Newtonian fluid และ Non – Newtonian fluid

1. Newtonian fluid คือ ของเหลวที่มีความหนืดที่ไม่ขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนรูป ความหนืดของของเหลวประเภทนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิและองค์ประกอบของของเหลวเท่านั้น shear stress และ shear rate มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$\tau = \mu \dot{\gamma}$$



รูปที่ 2-4 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท *Newtonian fluid*

Product	flow behavior index (n)	Consistency coefficient (K)
Whole milk	1	0.0212
Apple Juice	1	0.021
Grape Juice	1	0.0025
Honey	1	6.18
Corn syrups	1	0.053

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างอาหารที่เป็น *Newtonian fluid*

2. Non - Newtonian fluid คือ ของเหลวที่มีความหนืดที่แปรตามอัตราเฉือนสามารถแบ่งได้เป็น

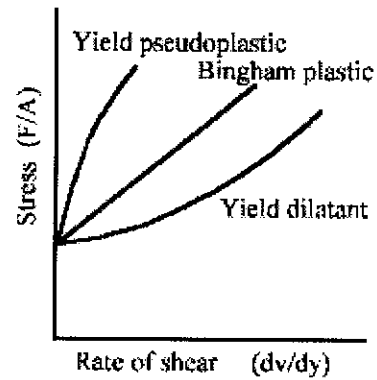
2.1 Time - independent non - Newtonian fluids ได้แก่

Bingham plastic มีความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate ดังนี้

$$\tau = \tau_0 + \mu\gamma \quad (2.7)$$

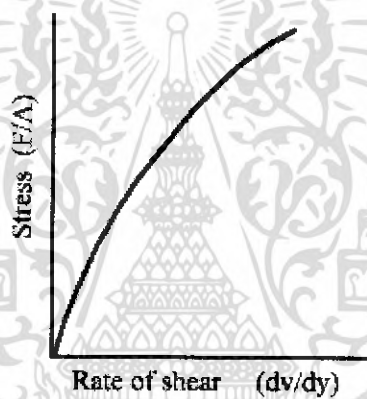
เมื่อ τ_0 คือ yield stress ของเหลวชนิดนี้ต้องได้รับความเค้นเฉือนมากกว่า τ_0 จึงจะเกิดการไหลได้และเมื่อเกิดการไหลแล้ว ความหนืดของของเหลวจะไม่ขึ้นกับ shear rate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



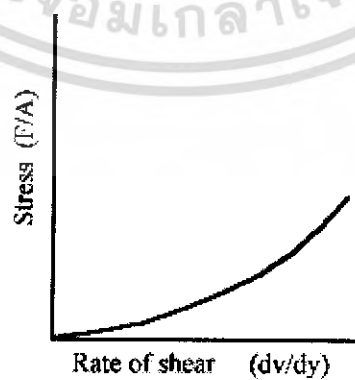
รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Bingham plastic fluid

Shear – thinning fluid หรือ pseudoplastic fluid มีความหนืดลดลงตาม shear rate



รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท pseudoplastic fluid

Shear – thickening fluid หรือ Dilatant fluid มีความหนืดเพิ่มขึ้นตาม shear rate



รูปที่ 2-7 แสดงลักษณะการไหลของของเหลวประเภท Dilatants fluid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง Pseudoplastic fluid และ Dilatant fluid จะมี shear stress และ shear rate มีความสัมพันธ์กัน
ดังนี้

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.8)$$

ในกรณีที่ของเหลวมี yield stress จะเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (2.9)$$

เมื่อ K คือ CONSISTENCY INDEX มีความสัมพันธ์กับความหนืดของของเหลวและ n คือ flow behavior index เป็นค่าที่บอกลักษณะการไหลของของเหลว

เมื่อ $n > 1 \rightarrow$ Dilatant fluid

$n < 1 \rightarrow$ Pseudoplastic fluid

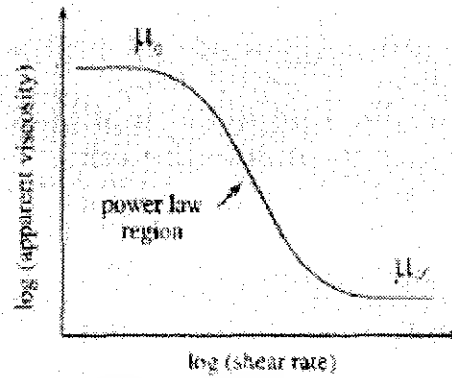
สามารถคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, μ_0) ของของเหลวที่มีลักษณะการไหลแบบ Pseudo plastic และ Dilatants ได้ดังนี้

$$\mu_0 = K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.10)$$

อาหารเหลวส่วนใหญ่มีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic คือ ยิ่งเกิดการกวนของเหลวมาก ความหนืดของของเหลวจะลดลง โดยเฉพาะอาหารที่มีแป้งหรือ hydrocolloids เป็นส่วนผสมหากความเข้มข้นขององค์ประกอบสูง

ที่อัตราเขื่อนต่ำ จะแสดงลักษณะการไหลแบบ Newtonian โดยมีค่าความหนืดคงที่ที่ Zero - shear viscosity, μ_0

ที่อัตราเขื่อนสูง จะแสดงลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic การเปลี่ยนจาก Newtonian เป็น Pseudoplastic นี้จะเกิดที่ Characteristic time หรือ time constant (t_c) โดย $t_c = \frac{1}{\dot{\gamma}}$ เมื่ออัตราเขื่อนมีค่าสูงมาก ของเหลวจะมีความหนืดที่คงที่ที่ μ_∞ เรียกว่า infinite - shear viscosity



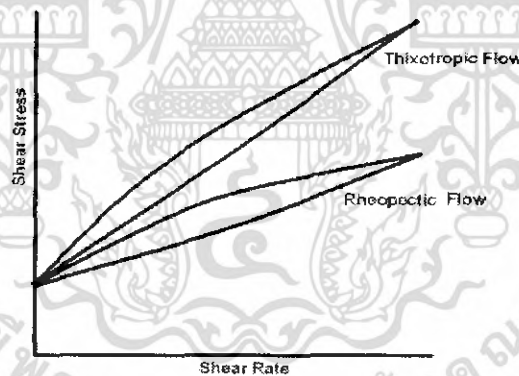
รูปที่ 2-8 แสดงลักษณะการไหลของของไหล Pseudoplastic fluid แบบ power law

2.2 Time – dependent non – Newtonian fluids

อาหารที่มีโครงสร้างซับซ้อนมักจะมีลักษณะการไหลที่ขึ้นกับเวลาในการให้อัตราเฉือนด้วย สามารถแบ่งของเหลวในกลุ่มนี้ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

Thixotropic fluid เป็นของเหลวที่มีความหนืดลดลงเมื่อได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาที่เพิ่มขึ้น

Rheopectic fluid เป็นของเหลวที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอัตราเฉือนที่คงที่ในเวลาที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2-9 แสดงลักษณะการไหลแบบ Time – dependent non – Newtonian

Product	flow behavior index (n)	consistency coefficient (K)
Ketchup	0.27	18.70
Applesauce	0.30	16.70
Banana puree	0.43	6.08
Mayonnaise	0.55	6.40
Tomato juice concentrate	0.41	12.90
Blueberry pie filling	0.43	6.10
Chocolate, melted	0.57	0.570
Mustard	0.16	19.10
Orange juice concentrate	0.98	4.1210
Olive oil	1.00	0.0840
Honey	1.00	5.60
Whole milk	1.00	0.0212
Skim milk	1.00	0.0014
Apple juice	1.00	0.0021
Peanut butter	1.20	15.60

ตารางที่ 2-4 แสดงค่า *flow behavior index (n)* และ *consistency coefficient (K)* ของของไหลชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลว	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนืด (cP)	อุณหภูมิ
Water H ₂ O	1.00	1.0	68F
Fuel Oil	0.87	2.6	68F
Diesel Oil	0.89	76.2	68F
Gasoline	0.71	0.5	60F
Crude Oil น้ำมันดิบ	0.86	75.0	60F
Acetic Acid	1.05	1.23	68F
Crankcase Oil SAE 20	0.88 - 0.94	105.6 - 173.9	130F
Crankcase Oil SAE 30	0.88 - 0.94	173.9 - 211.5	130F
Crankcase Oil SAE 40	0.88 - 0.94	211.5 - 376	130F
Ethylene Glycol	1.12	19.5	68F
Hydrochloric acid 31.5%	1.05	2.8	68F
Kerosene	0.78 - 0.82	2.1 - 2.2	60F
Nitric Acid	1.37	2.6	68F
Soybean Oil	0.92	79.1	60F
Sulfuric Acid (Conc.)	1.83	26.7	68F
Glucose (Sugar Solution)	1.35 - 1.44	10395 - 31680	100F

ตารางที่ 2-5 แสดงค่าความหนืด ความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิของของเหลวบางชนิด

2.3 สมการแบร์นูลลี

สมการแบร์นูลลี (Bernoulli equation) คือสมการพลังงานกลไกสำหรับการไหลไปตามเส้นกระแสซึ่งบ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพ ความดัน เสถียรภาพ และเสถียรภาพสูงภายในสนามการไหลภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ไม่คำนึงถึงผลของความหนืด จึงไม่คิดผลของความเสียดทาน
2. เป็นการไหลในสถานะคงตัว
3. เป็นของไหลอัดตัวไม่ได้
4. พิจารณาปริมาตรควบคุมตามเส้นกระแส
5. ของไหลมีความเร็วสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดการไหล

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	P_1	คือ	ความดันที่ทางเข้า
	V_1	คือ	ความเร็วที่ทางเข้า
	Z_1	คือ	ความสูงที่ทางเข้า
	P_2	คือ	ความดันที่ทางออก
	V_2	คือ	ความเร็วที่ทางออก
	Z_2	คือ	ความสูงที่ทางออก
	h_p	คือ	เฮดพลังงานที่ปั๊มให้แก่ของไหล
	h_L	คือ	เฮดความสูญเสียแบ่งเป็น major losses และ minor losses

2.3.1 Major losses

คือค่าเฮดความสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานภายในผนังท่อ

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.12)$$

โดย	f	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (จากรูปในภาคผนวก ข1)
	L	คือ	ความยาวของท่อ
	D	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ
	V	คือ	ความเร็วภายในท่อ

2.3.2 Minor losses

คือค่าเฮดความสูญเสียที่เกิดขึ้นบริเวณทางเข้าและทางออกของท่อเนื่องจากความเสียดทาน

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (2.13)$$

โดย	K_L	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่บริเวณทางเข้าและทางออกของท่อ [11]
	V	คือ	ความเร็วภายในท่อ

2.4 ทฤษฎีการผสมแบบเจ็ต

การผสมแบบเจ็ตใช้ในการผสมของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำในการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งสามารถผสมเข้ากันได้โดยทั่วไปใช้ในวงการอุตสาหกรรม การผสมแบบเจ็ตนั้นจะมีกระแสของของเหลวพุ่งออกมาจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูงมากระทบของเหลวอีกชนิดที่อยู่ภายในถัง และเกิดการผสมกันตามทิศทางที่เจ็ตวิ่งไป โดยหัวฉีดจะติดตั้งที่ด้านข้างหรือตามแนวแกนของถังในตำแหน่งใกล้พื้นของถังหรือพื้นผิวของของเหลวด้านบน

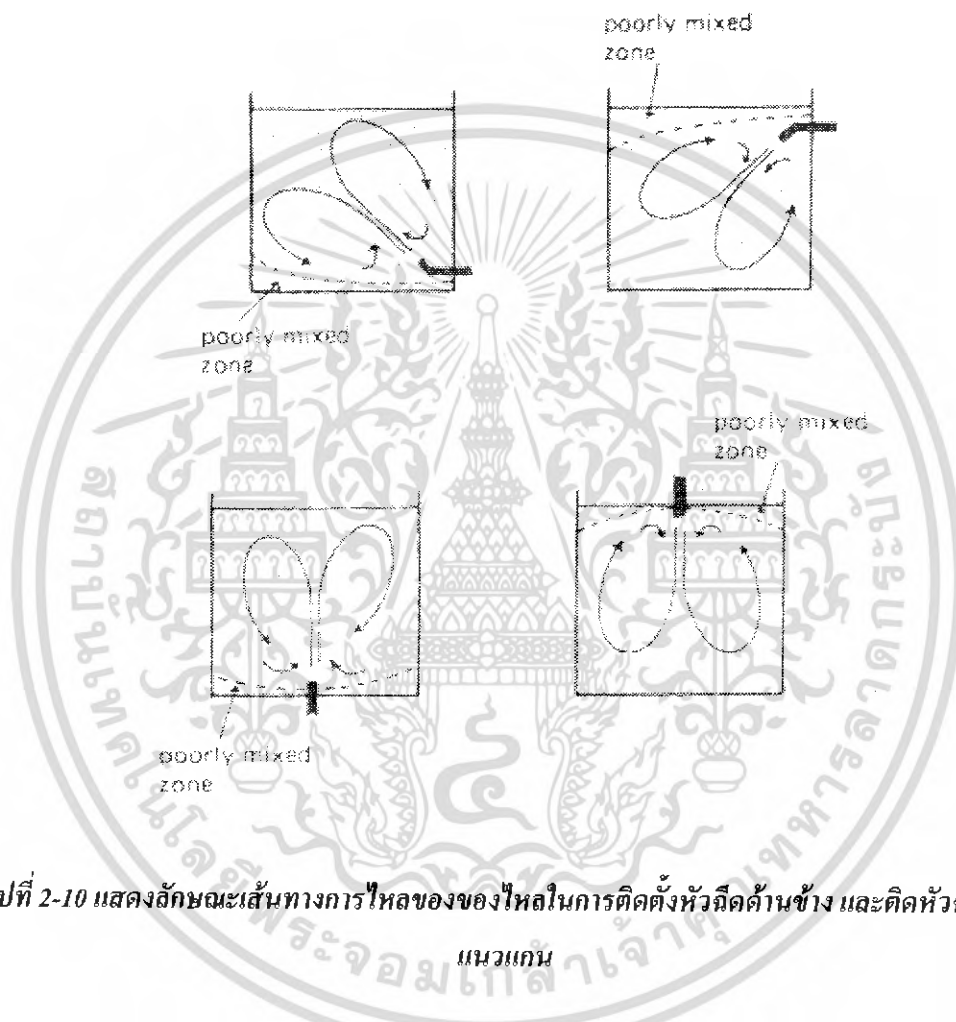
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การเคลื่อนที่ของของไหลของการผสมภายในถังแบบเจ็ต

การผสมเกิดขึ้นได้เพราะ

1. ของไหลถูกฉีดจากหัวฉีดเข้าไปกระทบผนังภายในถัง
2. ของไหลเกิดการไหลวนโดยการเคลื่อนที่แบบเจ็ตภายในถัง
3. ของไหลที่ถูกฉีดเข้าไปจะผสมกันในการไหลแบบเจ็ต

รูปแบบการไหลในการติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง และติดหัวฉีดตามแนวแกน อธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2-10 แสดงลักษณะเส้นทางการไหลของของไหลในการติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง และติดหัวฉีดตามแนวแกน

1. เกิดการขยายตัวของเจ็ตที่ถูกฉีดเข้าไปภายในถัง ซึ่งความเร็วและความปั่นป่วนของการไหลแบบเจ็ตจะค่อย ๆ ลดลง
2. เกิดการม้วนตัวของการไหลแบบเจ็ตเมื่อของเหลวกระทบกับพื้น ผนังของถังหรือพื้นผิวของของเหลว
3. หลังจากเกิดการม้วนตัวของการไหลแบบเจ็ตแล้ว จะทำให้การเคลื่อนที่ของของเหลวลดต่ำลง บริเวณ poorly mixed zone คือบริเวณสุดท้ายที่จะเกิดการผสม ซึ่งขนาดของบริเวณนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจาก

1. การติดตั้งตำแหน่งของหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขนาดของถังและเจ็ต
3. ระยะของหัวฉีดที่ขึ้นเข้าไปในถัง
4. รูปร่างของพื้นถัง
5. ระดับการเปลี่ยนแปลงของชั้นของของเหลว

2.4.2 การติดตั้งหัวฉีด ขนาดความสูง (H) และเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (T)

กรณีติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกนควรให้อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของถังอยู่ในช่วง

$$0.75 \leq \frac{H}{T} \leq 3.0$$

และกรณีติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง

$$0.25 \leq \frac{H}{T} \leq 1.5$$

การที่ของเหลวจะผสมกันทั่วทั้งถังนั้นก็ต่อเมื่อขนาดของ jet path length, X มีความยาวมากที่สุด ซึ่งจะไม่น้อยกว่าค่า $400D_j$ (D_j คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด)

สำหรับติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง

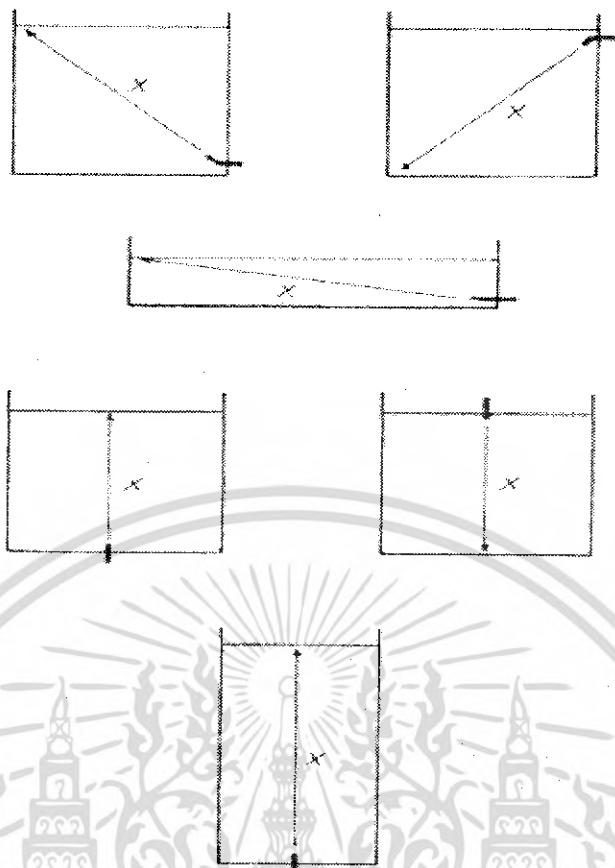
$$X \approx (T^2 + H^2)^{1/2} \quad (2.14)$$

สำหรับติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกน

$$X \approx H \quad (2.15)$$

ในกรณีติดตั้งหัวฉีดด้านข้างหัวฉีดควรขึ้นเข้าไปในถังไม่เกิน $5D_j$ (D_j คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด) และอยู่เหนือหรือต่ำกว่าพื้นถังหรือพื้นของของเหลวตามลำดับ

ในกรณีติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกนหัวฉีดควรอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าพื้นของของเหลวหรือพื้นถังไม่เกิน $5D_j$ ตามลำดับ



รูปที่ 2-11 แสดงทิศทางของ Jet part length

2.4.3 การก่อดัวเป็นชั้น

ถ้าความแตกต่างของความหนาแน่นสัมพัทธ์ของของเหลวที่ถูกฉีดเข้าไปกับของเหลวที่อยู่ภายในถึง $(\rho_2 - \rho_1)/\rho_2 > 0.05$ จะทำให้เกิดค่าความเร็ววิกฤตขึ้น, V_c ซึ่งเป็นค่าความเร็วต่ำสุดที่จะทำให้เกิดการผสมกันระหว่างของเหลว 2 ชนิด

$$V_c = \left[\frac{2gGH \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \right)}{\sin^2 \theta} \right]^{1/2} \quad (2.16)$$

โดย	θ	=	$\beta + 5^\circ$
	β	คือ	มุมของหัวฉีดที่วัดจากแนวระดับ
	ρ_2	คือ	ค่าความหนาแน่นของของเหลวที่ฉีดเข้าไปในถัง
	ρ_1	คือ	ค่าความหนาแน่นของของเหลวที่อยู่ภายในถัง
	G	คือ	stratification constant (จากรูปในภาคผนวก ข2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การออกแบบ

1. ออกแบบขนาดของถัง โดยกำหนดค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง, T และค่าความสูง, H ของถัง
2. คำนวณค่าอัตราส่วน $\frac{H}{T}$ ว่าควรจะทำหัวฉีดด้านข้างหรือติดหัวฉีดตามแนวแกน
3. คำนวณค่า jet part length, X
สำหรับติดหัวฉีดตามแนวแกน

$$X \approx H \quad (2.15)$$

สำหรับติดหัวฉีดด้านข้าง

$$X \approx (T^2 + H^2)^{1/2} \quad (2.14)$$

4. กรณีติดหัวฉีดด้านข้าง คำนวณหามุมของหัวฉีดที่ทำกับแนวระดับ, β
สำหรับติดหัวฉีดด้านบน

$$\beta \approx \tan^{-1} \frac{H}{T} \quad (2.17)$$

สำหรับติดหัวฉีดด้านล่าง

$$\beta \approx \tan^{-1} \frac{T}{H} \quad (2.18)$$

5. คำนวณหาความเร็วของเจ็ต
สำหรับติดหัวฉีดด้านบน

$$V_j \geq V_c \quad (2.19)$$

สำหรับติดหัวฉีดด้านล่าง

$$V_j \geq 1.5 V_c \quad (2.20)$$

โดย V_j คือ ความเร็วของหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด

$$50 \leq \frac{X}{D_j} \leq 400 \quad (2.21)$$

7. คำนวณหาอัตราการไหลของเจ็ต

$$Q_j = \frac{\pi}{4} D_j^2 V_j \quad (2.22)$$

8. คำนวณหาขนาดของปั๊มจากสมการแบร์นูลลี

$$h_p = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho g} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (Z_2 - Z_1) + h_L \quad (2.23)$$

2.5 คุณสมบัติของสารที่ใช้ในการทดลอง

สารที่ใช้ในการทดลองเพื่อทำการผสมภายในถังแบบเจ็ตนี้ประกอบด้วยสาร 2 ชนิดที่สามารถผสมเข้ากันได้ คือ น้ำและน้ำแข็งมัน ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่นหรือคุณสมบัติเกี่ยวกับความหนืด ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.5.1 คุณสมบัติของน้ำ

น้ำมีค่าความหนาแน่น 1000 kg/m^3 ซึ่งเป็นสารที่มีค่าความหนืดคงที่หรือจัดอยู่ในของไหลประเภท Newtonian fluid โดยค่าความหนืดจะไม่ขึ้นกับค่า shear stress หรือ shear rate ดังแสดงในรูปที่ 2-4

2.5.2 คุณสมบัติของน้ำแข็งมัน

น้ำแข็งมันมีค่าความหนาแน่น 1125 kg/m^3 ซึ่งเป็นสารที่มีค่าความหนืดแปรเปลี่ยนตามค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือจัดอยู่ในของไหลประเภท Non-Newtonian fluid โดยค่าความหนืดจะลดลงเมื่อค่า shear rate เพิ่มขึ้นของไหลที่มีพฤติกรรมแบบนี้เรียกว่า shear thinning fluid หรือ pseudoplastic fluid ดังแสดงในรูปที่ 2-6

บทที่ 3

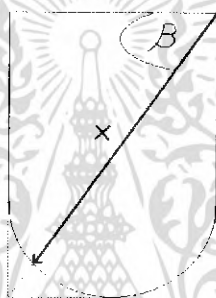
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 การออกแบบชุดทดลอง

3.1.1 กำหนดขนาดของถัง $T = 0.29 \text{ m}$ $H = 0.435 \text{ m}$

3.1.2 $\frac{H}{T} = 1.5$ อยู่ในช่วง $0.25 \leq \frac{H}{T} \leq 1.5$ ดังนั้นจึงติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง

3.1.3 คำนวณค่า jet part length, X



รูปที่ 3-1 แสดงค่าของ jet part length ภายในถังผสมและมุมของหัวฉีด

$$X = (0.29^2 + 0.435^2)^{1/2} - 0.0618 = 0.461 \text{ m}$$

3.1.4 คำนวณมุมของหัวฉีดที่ทำกับแนวระดับกรณีติดตั้งหัวฉีดด้านบน

$$\beta \approx \tan^{-1} \frac{H}{T} = 56.3^\circ \approx 60^\circ$$

3.1.5 คำนวณหาความเร็วของเจ็ต, V_j

กรณีติดตั้งหัวฉีดด้านบน $V_j \geq V_c$

$$V_c = \left[\frac{2gGH \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \right)}{\sin^2 \theta} \right]^{1/2} = 3.4 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	g	=	9.81	$\frac{m}{s^2}$
	H	=	0.435	m
		=	$\beta + 5^\circ = 65^\circ$	
	ρ_2 (น้ำเป็งมัน)	=	1125	$\frac{kg}{m^3}$
	ρ_2 (น้ำ)	=	1000	$\frac{kg}{m^3}$
	G	=	10	

เลือกใช้ค่าที่ $V_j = 6, 9, 12 \frac{m}{s}$ ในการทดลอง

3.1.6 เลือกขนาดของหัวฉีด, D_j

$$D_j = 1.35 \text{ mm} \quad \frac{X}{D_j} = 341.5$$

โดยให้อยู่ในช่วง $50 \leq \frac{X}{D_j} \leq 400$

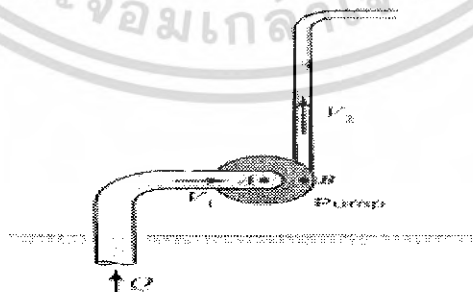
3.1.7 คำนวณหาอัตราไหลของเจ็ตที่ ความเร็วต่างได้

$$Q_j = 8.6, 12.9, 17.2 \text{ mL}$$

3.1.8 คำนวณหาขนาดของปั๊มคืดที่อัตราไหลของเจ็ตสูงสุด

$$h_p = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho g} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (Z_2 - Z_1) + h_L$$

ค่าเสดความสูญเสียที่บริเวณท่อส่ง



รูปที่ 3-2 แสดงการทำงานของปั๊ม [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Major losses, $h_L = 0$ m

$$\text{Minor losses, } h_{L_i} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{L,1} = h_{L,4} = \frac{(0.12)(0.02)^2}{(2)(9.81)} = 2.45(10^{-6}) \quad \text{m}$$

$$h_{L,2} = h_{L,5} = \frac{(0.15)(0.2)^2}{(2)(9.81)} = 3.06(10^{-6}) \quad \text{m}$$

$$h_{L,3} = \frac{(0.3)(0.013)^2}{(2)(9.81)} = 2.58(10^{-6}) \quad \text{m}$$

$$h_{L,6} = \frac{(1.21)(0.02)^2}{(2)(9.81)} = 24.67(10^{-6}) \quad \text{m}$$

$$h_{L,7} = h_{L,8} = \frac{(1.7)(0.055)^2}{(2)(9.81)} = 262.1(10^{-6}) \quad \text{m}$$

$$h_{L,9} = h_{L,10} = \frac{(0.18)(0.055)^2}{(2)(9.81)} = 27.75(10^{-6}) \quad \text{m}$$

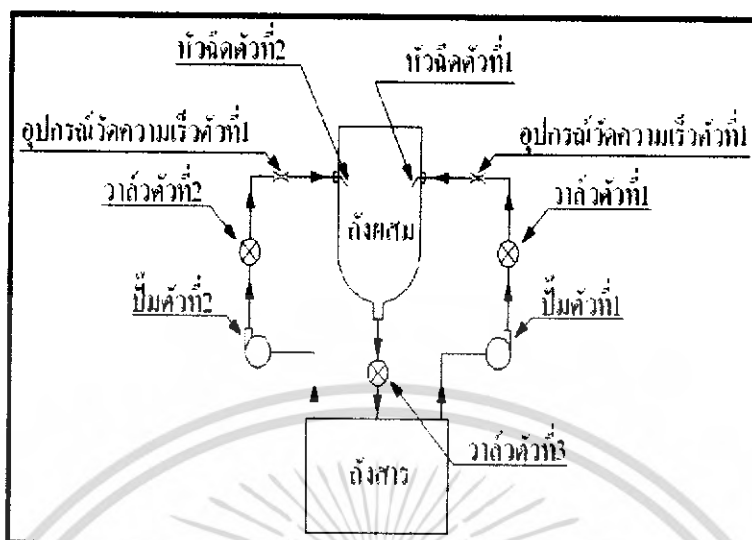
$$h_{L,N} = \frac{(0.49)(12)^2}{(2)(9.81)} = 3.596$$

$$Z_1 = P_2 = P_1 = V_2 = V_1 = 0$$

$$h_p = Z_2 + h_{L,\text{tot}} = 5 \quad \text{m}$$

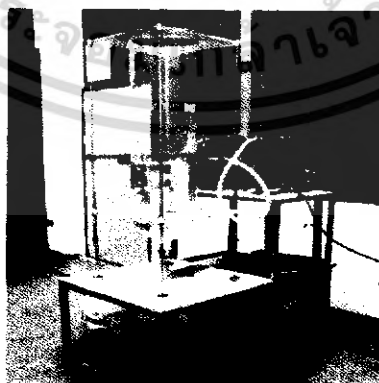
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 รูปชุดทดลองและชิ้นส่วนต่างๆ



รูปที่ 3-3 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ บนชุดทดลอง

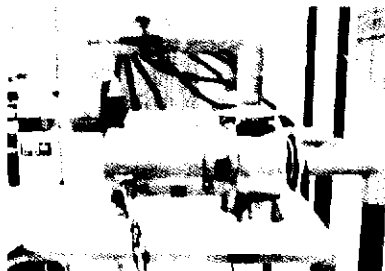
1. หัวฉีดตัวที่ 1 และ 2 ทำหน้าที่ฉีดสารเข้าไปยังถังผสม
2. วาล์วตัวที่ 1 และ 2 ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วของสารที่ถูกฉีดเข้าไปยังถังผสม
3. วาล์วตัวที่ 3 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของสารที่อยู่ภายในถังผสมให้คงที่ และปล่อยลงสู่ถังสาร
4. ปั๊มตัวที่ 1 และ 2 ทำหน้าที่ดูดสารขึ้นมาเพื่อส่งผ่านไปสู่ถังผสม
5. อุปกรณ์วัดความเร็วตัวที่ 1 และ 2 ทำหน้าที่วัดความเร็วของสารที่ถูกฉีดไปสู่ถังผสมในหน่วยคือ
เซนติเมตร
6. ถังผสมทำหน้าที่บรรจุสาร 2 ชนิดและสาร 2 ชนิดเกิดการผสมกันภายในถังผสมนี้
7. ถังสารทำหน้าที่บรรจุสารชนิดที่ 1 ก่อนที่จะถูกฉีดไปสู่ถังผสม



รูปที่ 3-4 แสดงลักษณะของชุดทดลองการผสมภายในถังแบบเจ็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ปี่ม 2 ตัว



รูปที่ 3-5 แสดงลักษณะการติดตั้งปี่ม

3.2.2 ถังผสม



รูปที่ 3-6 แสดงลักษณะการติดตั้งถังผสม

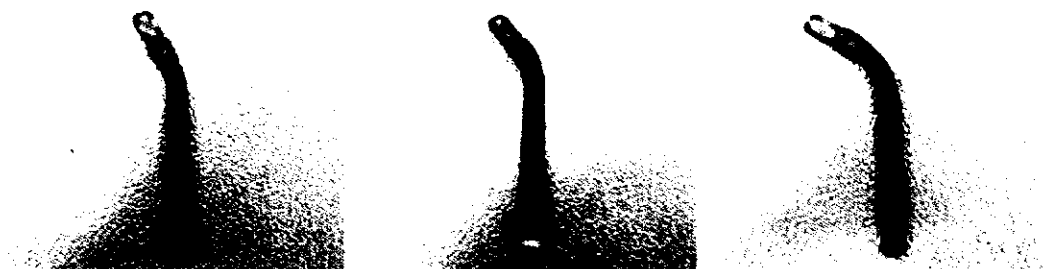
3.2.3 ถังใส่สาร



รูปที่ 3-7 แสดงลักษณะของถังใส่สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 หัวฉีดมุม 30, 45 และ 60 องศาตามลำดับ

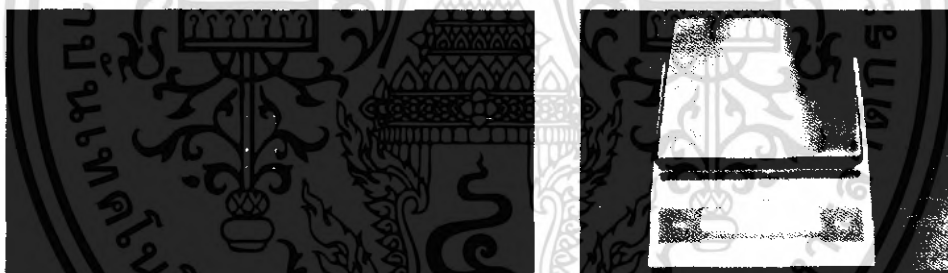


รูปที่ 3-8 แสดงลักษณะของหัวฉีดที่มุม 30, 45 และ 60 องศาตามลำดับ

3.3 อุปกรณ์วัดค่าความหนาแน่น

3.3.1 เครื่องมืออุตสาหกรรมตัวอย่างและเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

เครื่องมืออุตสาหกรรมตัวอย่างมีจำนวนหลอดทั้งสิ้นจำนวน 6 หลอดที่ระดับความสูงไม่เท่ากัน เพื่อใช้วัดความหนาแน่นภายในถังผสมที่ระดับต่างกัน หลอดที่ 1 อยู่ห่างจากก้นถังประมาณ 4 cm และแต่ละหลอดมีระยะห่างกัน 8 cm โดยหลอดจะเรียงกันตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 16 cm



รูปที่ 3-9 แสดงลักษณะของเครื่องมืออุตสาหกรรมตัวอย่างและเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.3.2 แก้วพลาสติก บีกเกอร์และหลอดฉีดยา



รูปที่ 3-10 แสดงลักษณะของ แก้วพลาสติก บีกเกอร์และหลอดฉีดยาตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 สีสผสมอาหารและแป้งมัน



รูปที่ 3-11 แสดงลักษณะของสีผสมอาหารและแป้งมัน

3.4 หลักการทำงานของหลอดโดยละเอียด

- 3.4.1 เตรียมสาร A ใส่ในถังสารและสาร B ใส่ในถังผสม (สาร A คือ น้ำแป้งมัน สาร B คือ น้ำ)
- 3.4.2 ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนด
- 3.4.3 เปิดสวิทช์ปั๊ม 1 ตัวหรือ 2 ตัว แล้วแต่กรณีว่าใช้ 1 หัวฉีดหรือ 2 หัวฉีด
- 3.4.4 ปั๊มจะทำการดูดสารขึ้นมาผ่านตามท่อไปยังหัวฉีดและถูกฉีดออกไปสู่ถังผสม
- 3.5.5 ต่อไปเปิดวาล์วทางออกเพื่อจะให้สาร A และ B ไหลออกไปอยู่ในถังสาร เพื่อเกิดการหมุนเวียนในระบบภายในถังผสมและเพื่อรักษาระดับความสูงภายในถังผสม
- 3.5.6 ปั๊มจะดูดสารภายในถังสารที่มีสาร A และ B และจะฉีดเข้าไปภายในถังผสมอีก
- 3.5.7 สารจะวนจนกระทั่งได้เวลาการผสมที่สมบูรณ์ตามที่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

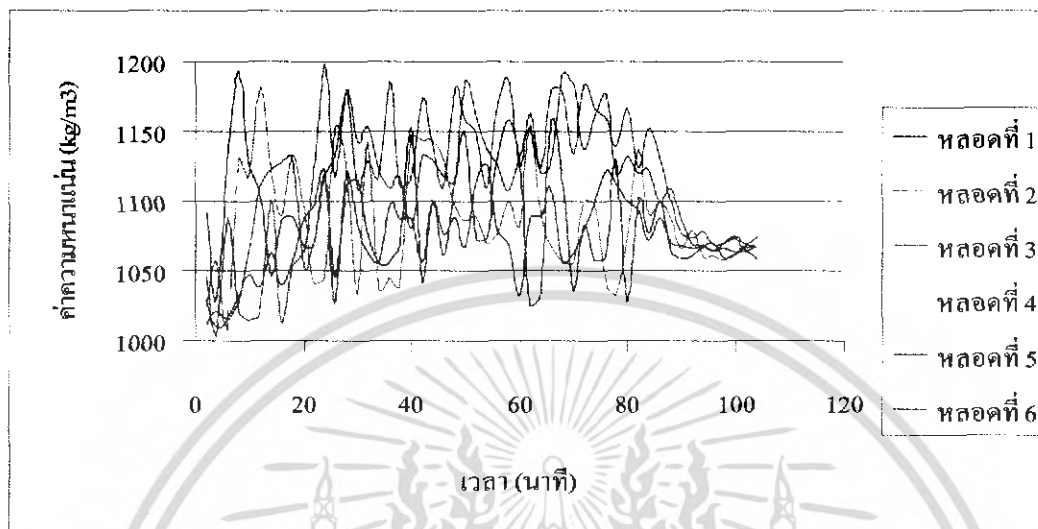
1. เตรียมสาร โดยมีวัตถุดิบ คือ แป้งมันสำปะหลังปริมาณ 1800 กรัม ต่อน้ำ 25 ลิตร
2. นำน้ำเปล่า 4 ลิตรจากน้ำ 25 ลิตร มาผสมกับแป้งมันสำปะหลังละลายแป้งมันสำปะหลังจนเข้ากันกับน้ำ
3. คั้นน้ำเปล่า 21 ลิตรจนเดือดประมาณ 100 องศา
4. นำแป้งมันสำปะหลังที่ละลายแล้วใส่ลงในน้ำเดือดที่ละน้อย ๆ แล้วกวนไปเรื่อย ๆ จนเข้ากันประมาณ 10 นาที
5. พอได้แป้งมันสำปะหลังคั้นสุก ปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงผสมสีผสมอาหาร
6. ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนดไว้
7. นำน้ำเปล่าบรรจุภายในถังผสมปริมาณ 25 ลิตร
8. นำแป้งมันสำปะหลังคั้นสุกมาใส่ในถังสารเพื่อเตรียมทำการผสม
9. เตรียมอุปกรณ์ดูดสารตัวอย่างไว้ข้างชุดทดลอง
10. เตรียมกล้องถ่ายภาพ

4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

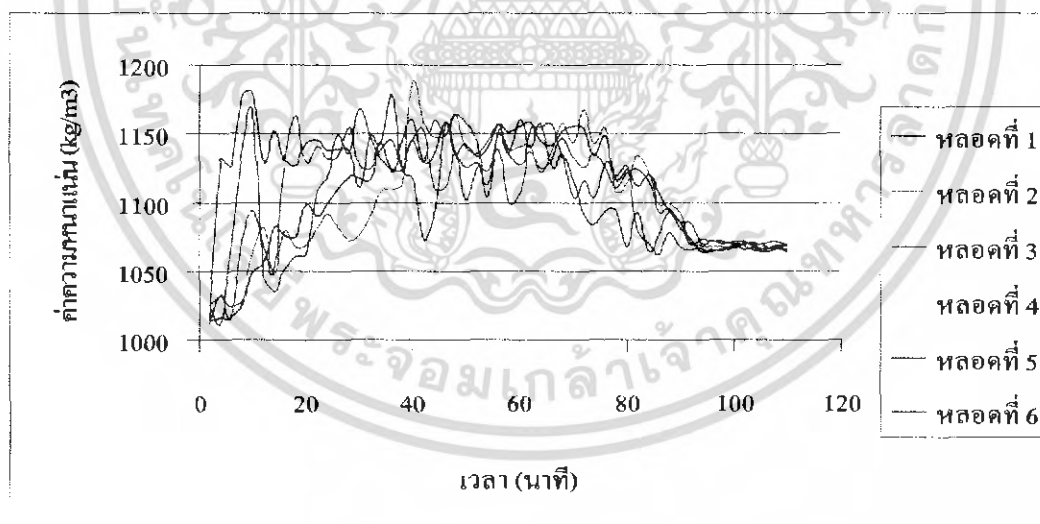
1. เปิดสวิทช์ปั๊มเพื่อทำการทดลองแล้วแต่กรณีการผสม 1 หัวฉีดหรือ 2 หัวฉีด
 2. ทำการเปิดวาล์วตัวที่ 3 เพื่อให้สารที่บรรจุภายในถังผสมไหลลงสู่ถังสารและรักษาระดับของสารที่อยู่ภายในถังผสมให้คงที่คือ ระดับของสารอยู่เหนือหัวฉีดประมาณ 5 mm
 2. ทำการถ่ายภาพทุกๆ 5 วินาทีเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในถังผสม
 3. ทำการดูดสารตัวอย่างทุกๆ 2 นาทีรวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 110 นาที โดยวางแกนของอุปกรณ์ดูดสารไว้ที่ตำแหน่งขอบของถังผสมด้านบนในตำแหน่งเดิมทุกครั้งของการดูดสารเพื่อให้แต่ละหลอดและระดับของสารที่ดูดอยู่ในตำแหน่งเดิมตลอด จากนั้นบีบลูกยางเพื่อที่จะดูดสารขึ้นมา โดยสารที่ดูดขึ้นมามีปริมาตรประมาณ 10 cc ในแต่ละหลอด
 4. ทำสารตัวอย่างที่ดูดไว้ใส่ลงในแก้วพลาสติกที่เตรียมไว้ 6 แก้วจนถึงเวลาที่กำหนด
 5. ทำการปรับตาชั่งเพื่อพร้อมใช้งาน
 6. ทำการวัดค่าปริมาตร โดยใช้หลอดคณิตยาดูดสารภายในแก้วจนหมดแล้วบันทึกค่าปริมาตรที่อ่านได้
 7. ทำการวัดค่าน้ำหนักโดยวางแก้วเปล่าที่ได้ดูดสารขึ้นมาวัดปริมาตรแล้วลงบนตาชั่งแล้วปรับตาชั่งให้เป็นศูนย์ จากนั้นฉีดสารที่ได้ดูดขึ้นมาลงสู่แก้วที่วางบนตาชั่งทำการบันทึกค่าน้ำหนัก
 8. ทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่นจากค่าปริมาตรและค่าน้ำหนักของสารที่ได้
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

จากค่าความหนาแน่นที่ได้ทำการพล็อตกราฟเทียบกับเวลาที่เริ่มการผสมที่สมบูรณ์ที่อัตราการไหล มุมของหัวฉีด จำนวนหัวฉีดต่างๆ และภาพถ่ายที่ 30 และ 50 วินาที

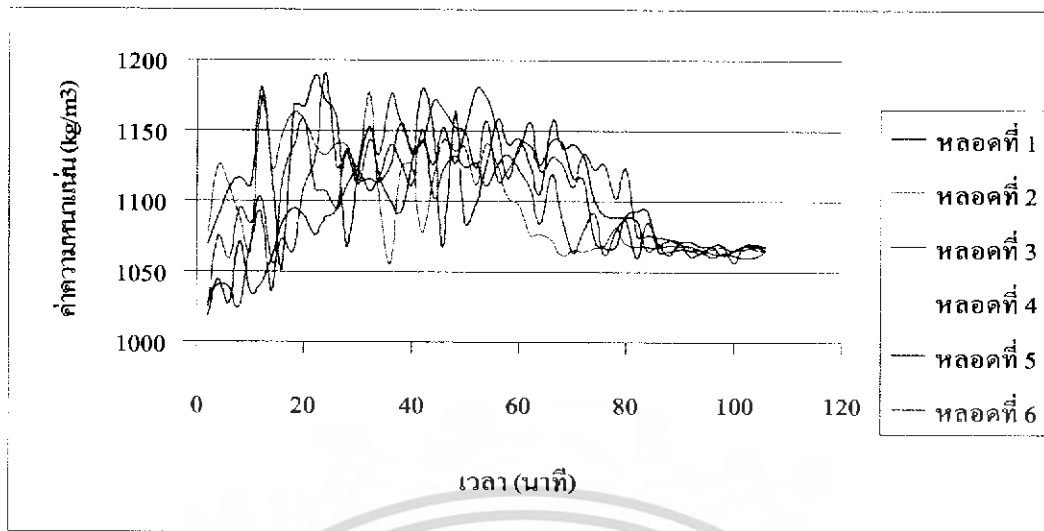


รูปที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 mL/s 1 หัวฉีด มุม 30 องศา

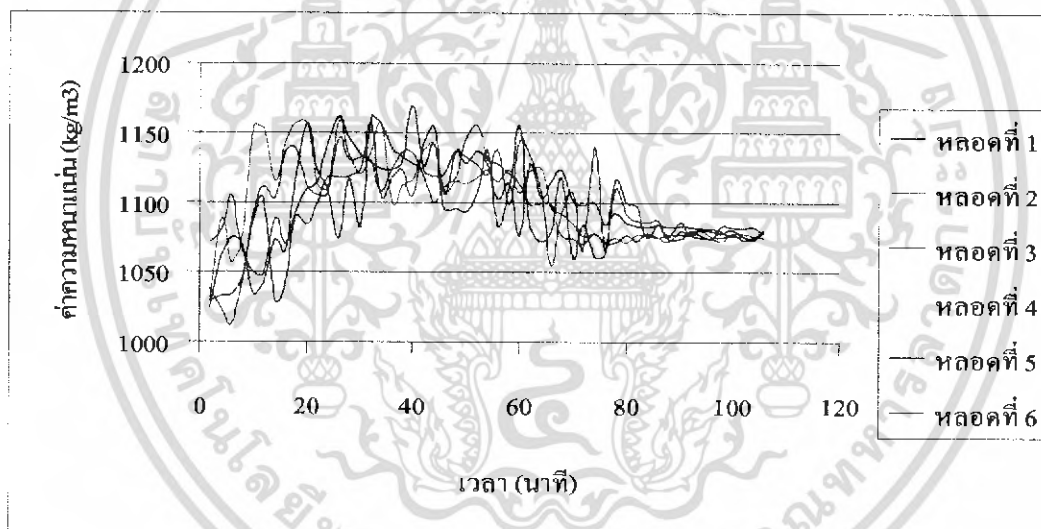


รูปที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 mL/s 2 หัวฉีด มุม 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

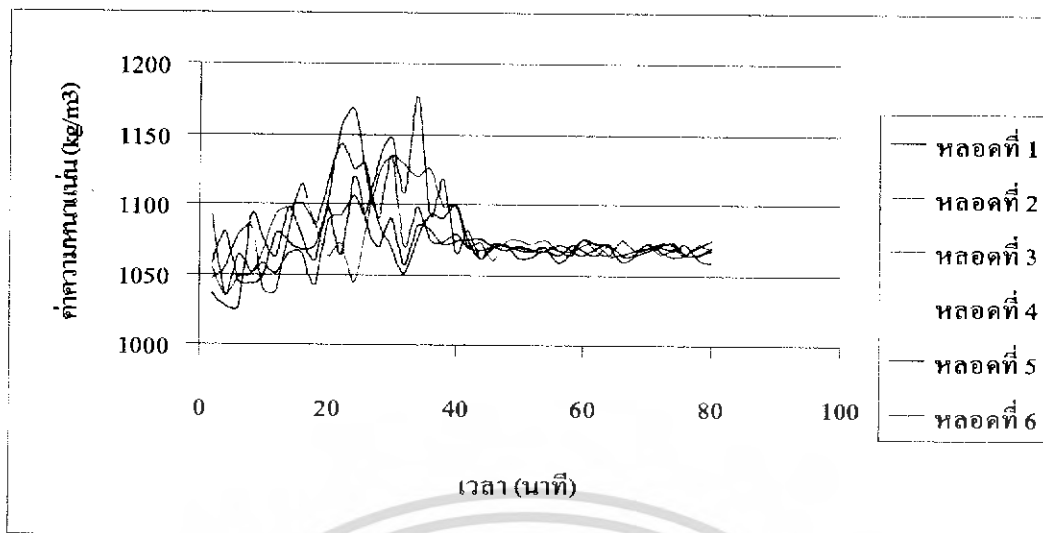


รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 mL/s 1
หัวฉีด มุม 45 องศา

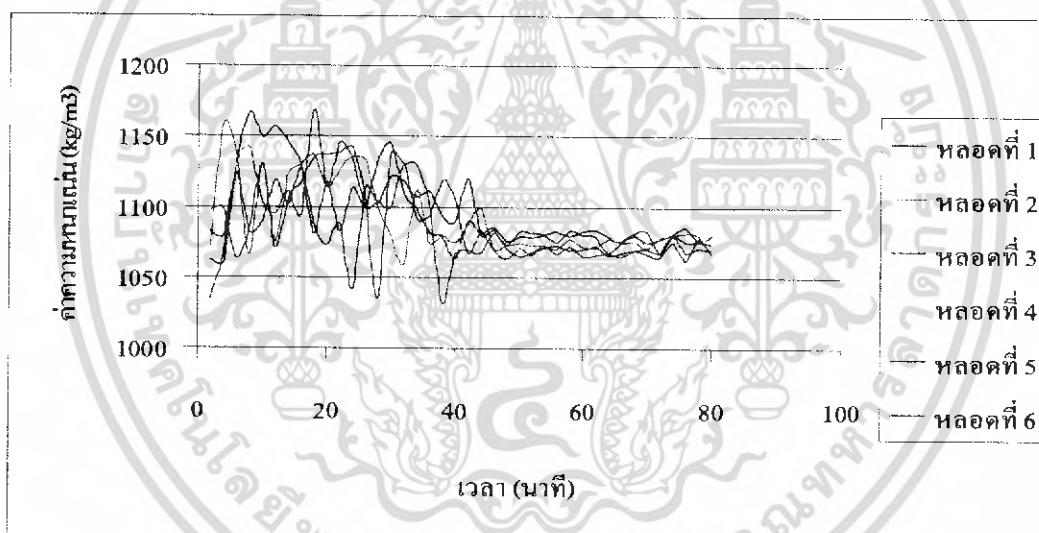


รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 mL/s 2
หัวฉีด มุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

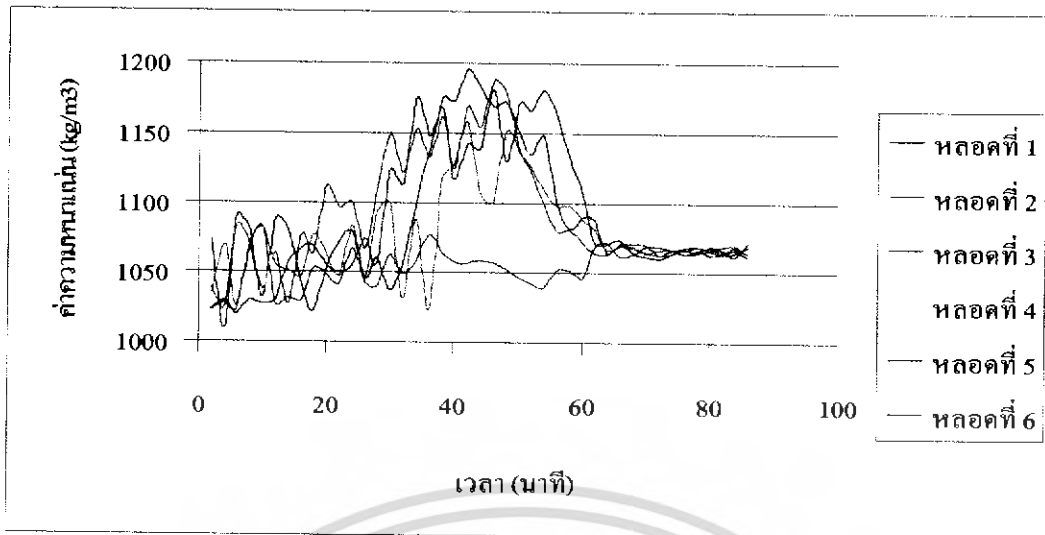


รูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 mL/s 1
หัวฉีด มุม 60 องศา

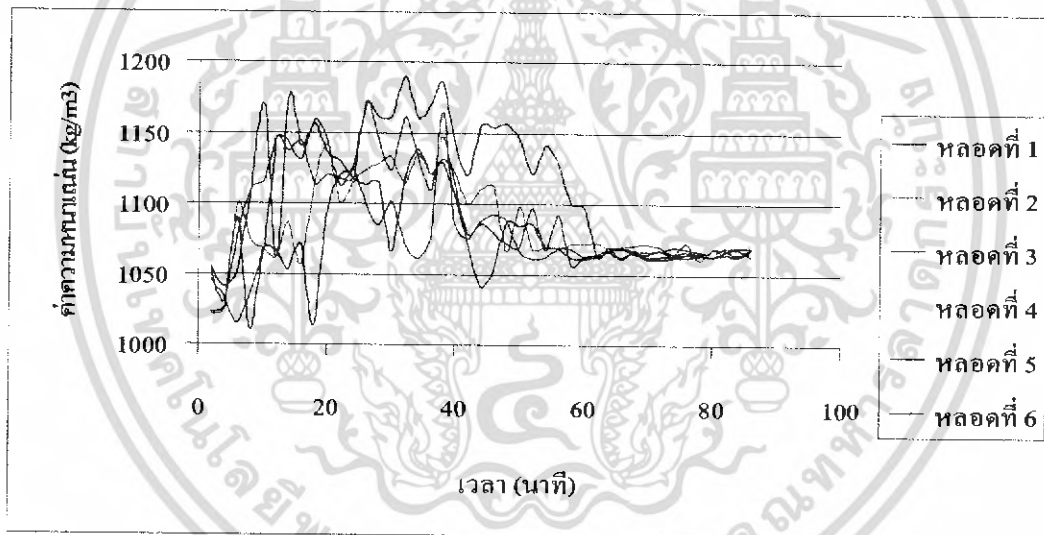


รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 8.6 mL/s 2
หัวฉีด มุม 60 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

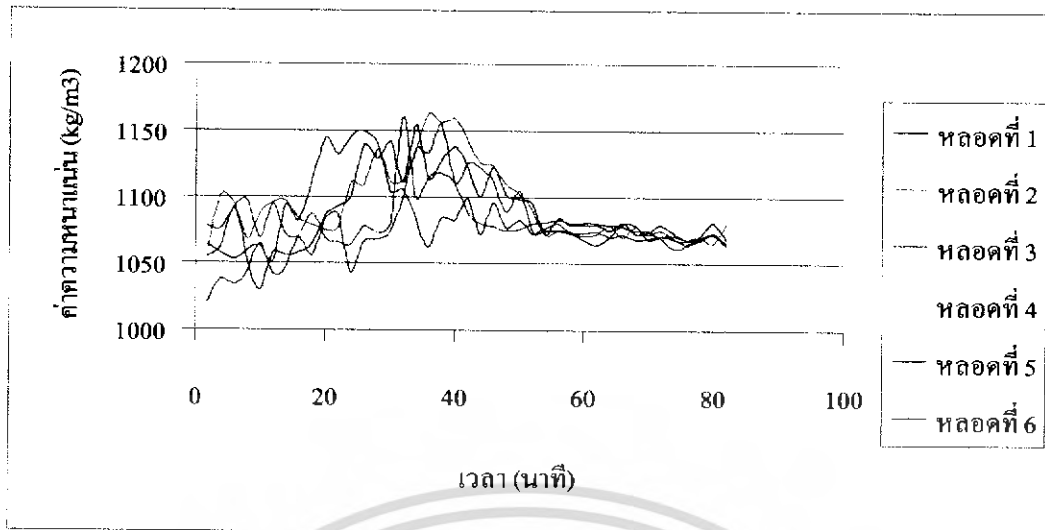


รูปที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 mL/s 1
หัวฉีด มุม 30 องศา

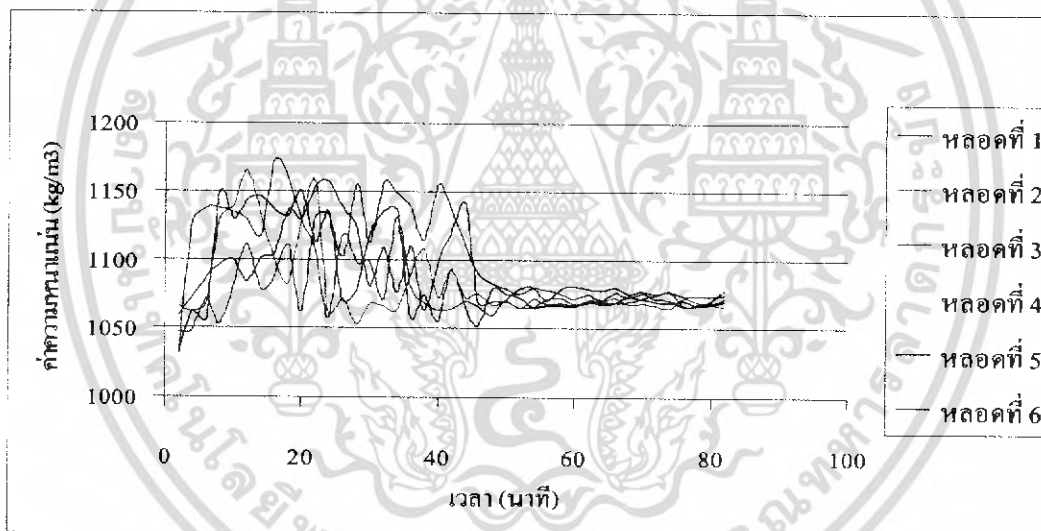


รูปที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 mL/s 2
หัวฉีด มุม 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

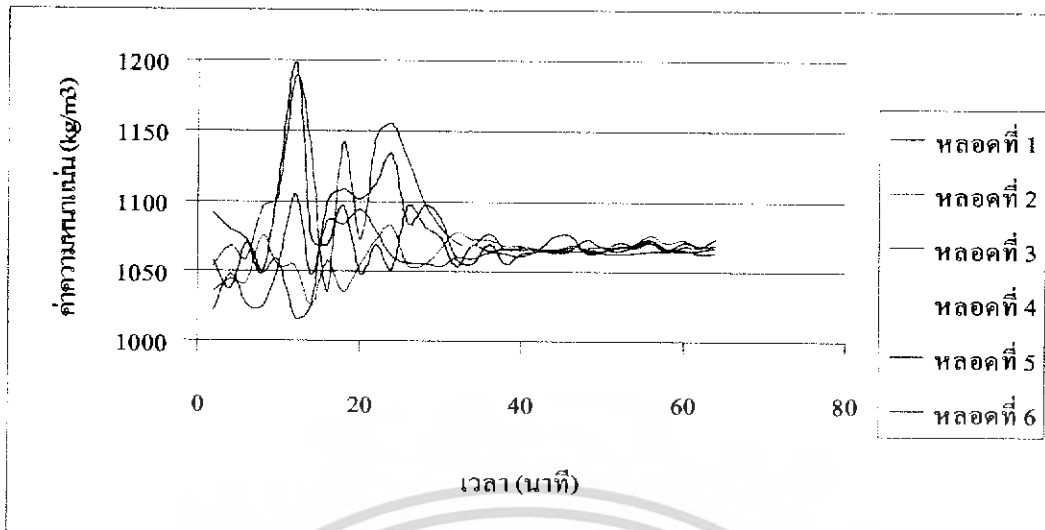


รูปที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 mL/s 1
หัวฉีด มุม 45 องศา

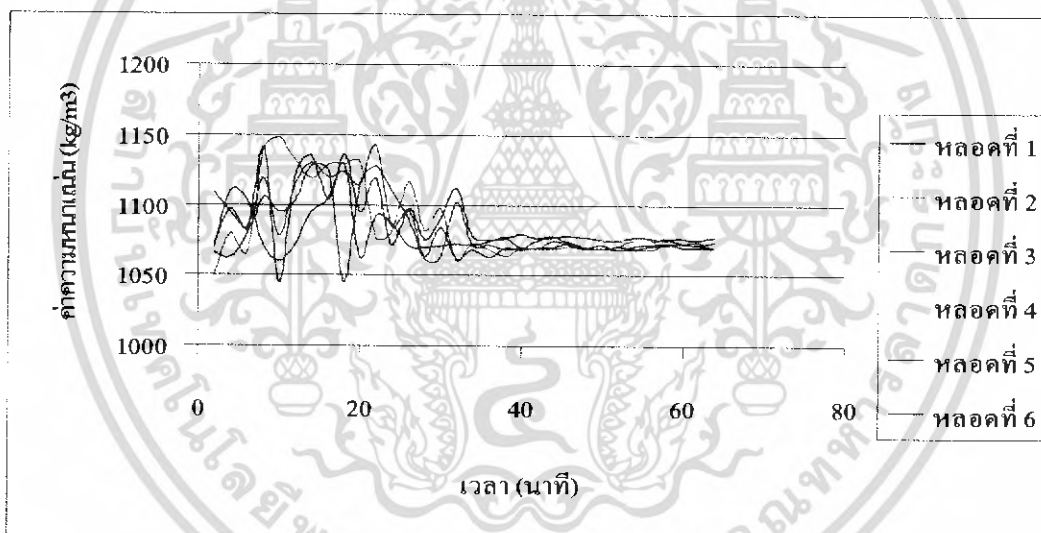


รูปที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 mL/s 2
หัวฉีด มุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

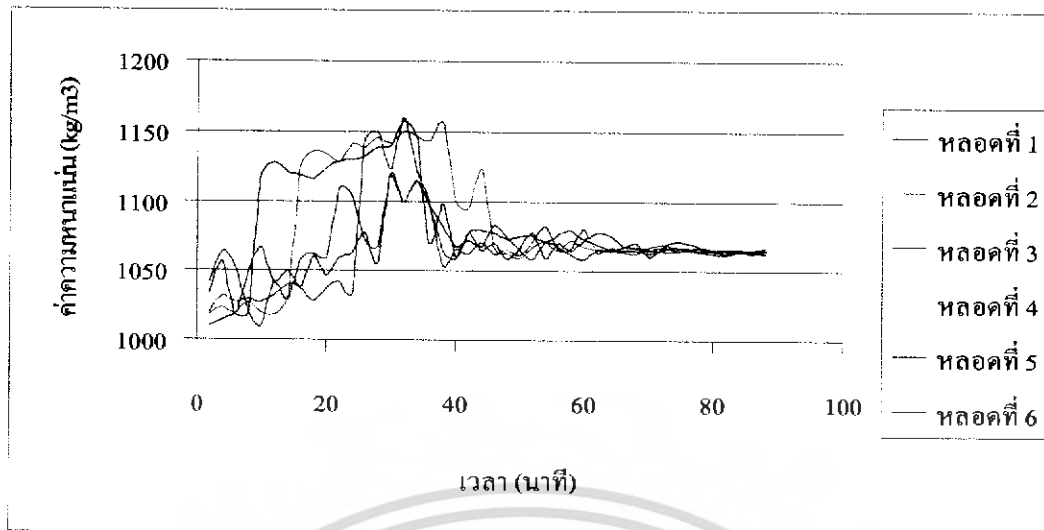


รูปที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 mL/s 1
หัวฉีด มุม 60 องศา

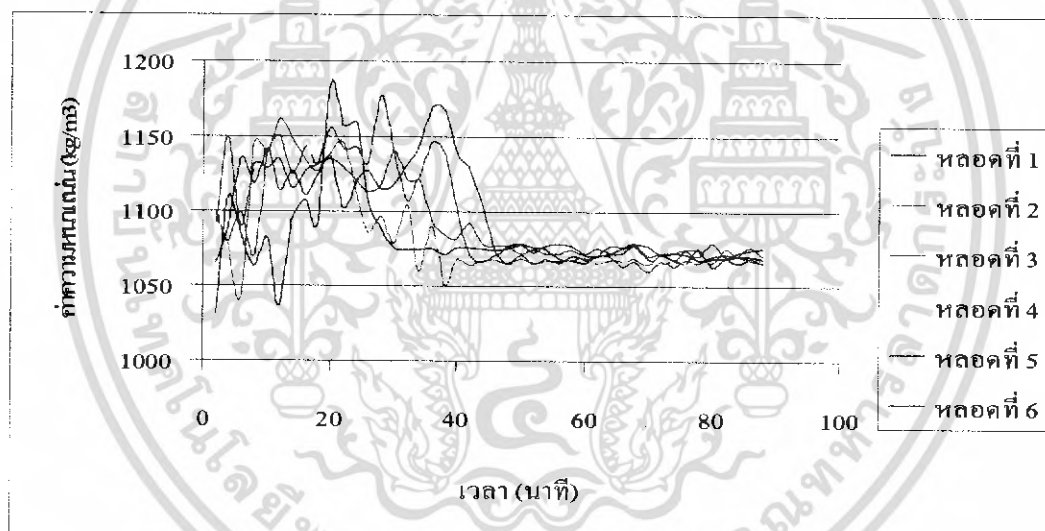


รูปที่ 4-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 12.9 mL/s 2
หัวฉีด มุม 60 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

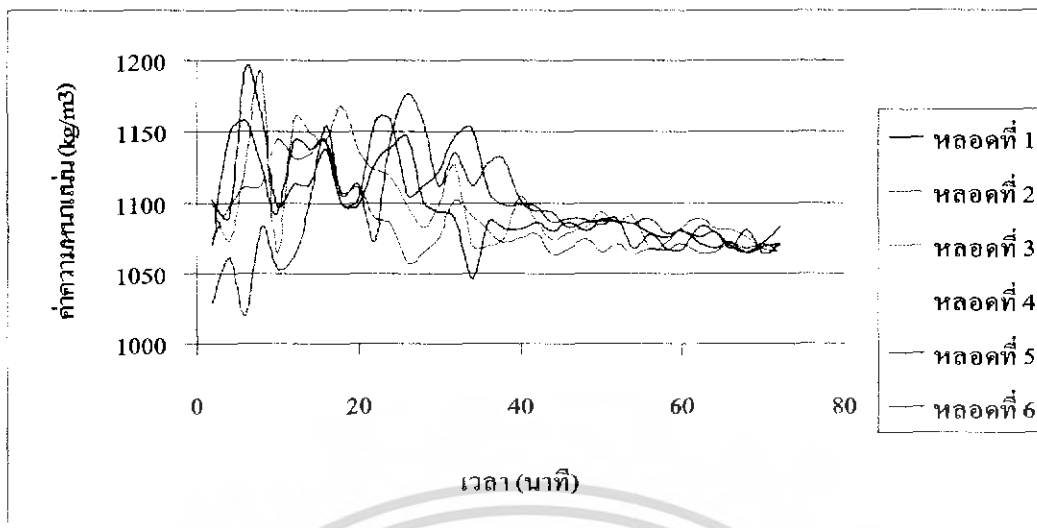


รูปที่ 4-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล $17.2 \text{ mL/s } 1$
หัวฉีด มุม 30 องศา

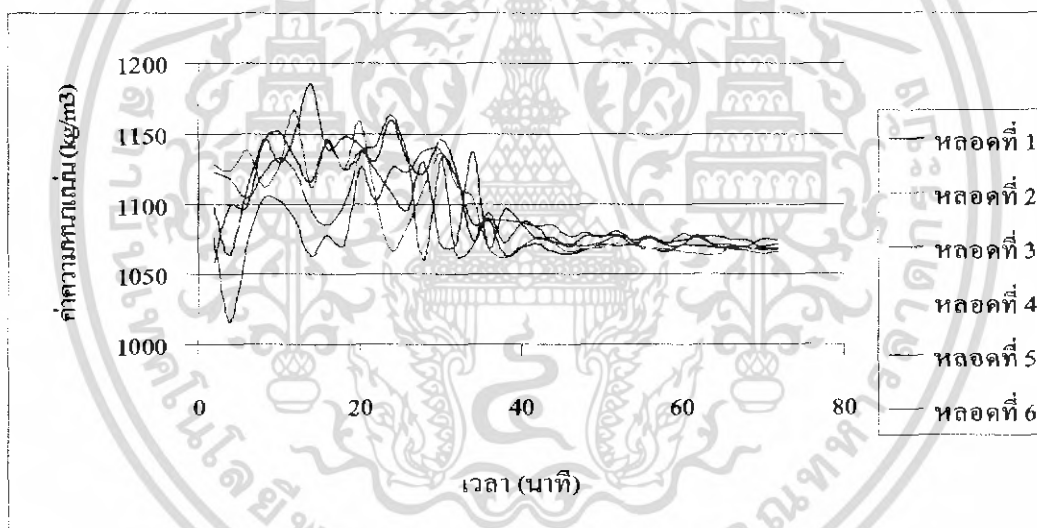


รูปที่ 4-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล $17.2 \text{ mL/s } 2$
หัวฉีด มุม 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

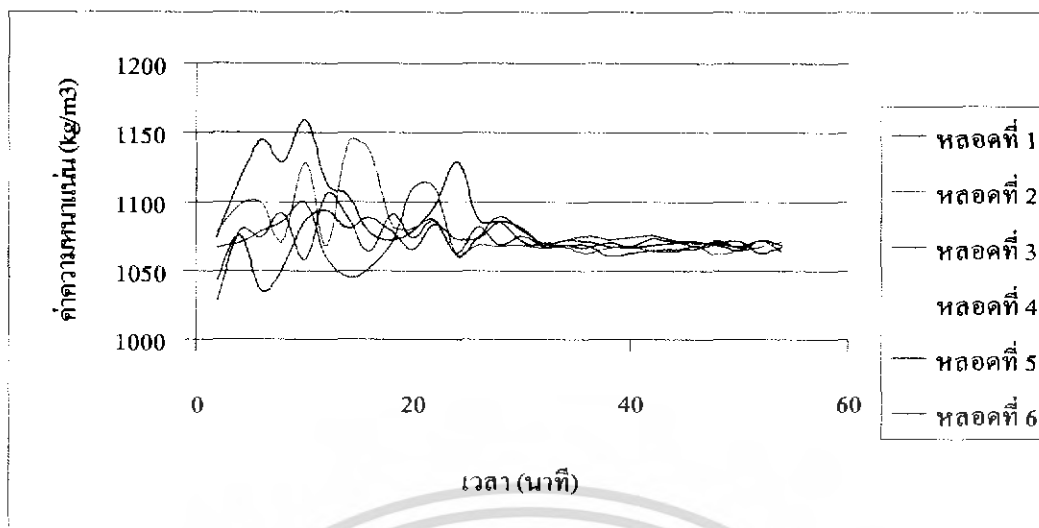


รูปที่ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 1
หัวฉีด มุม 45 องศา

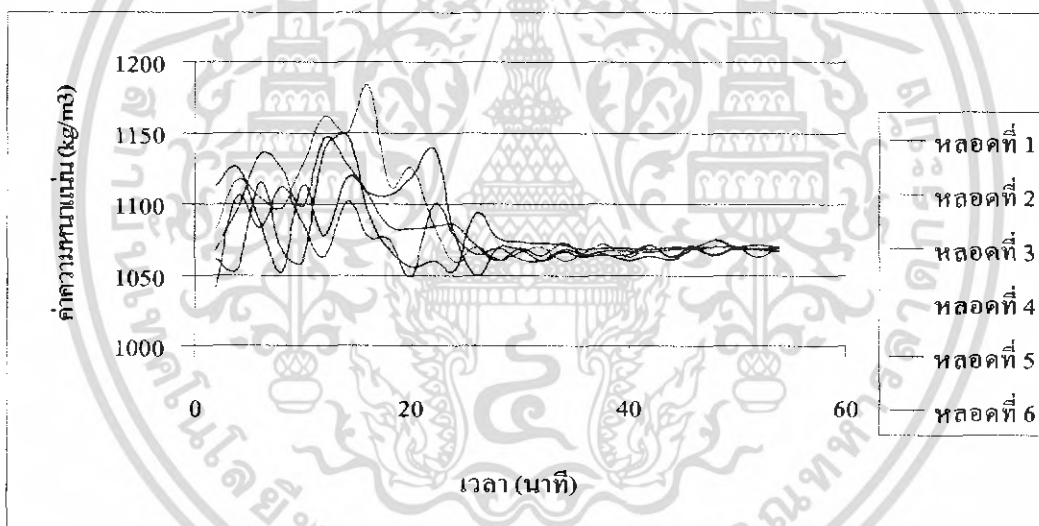


รูปที่ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 2
หัวฉีด มุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

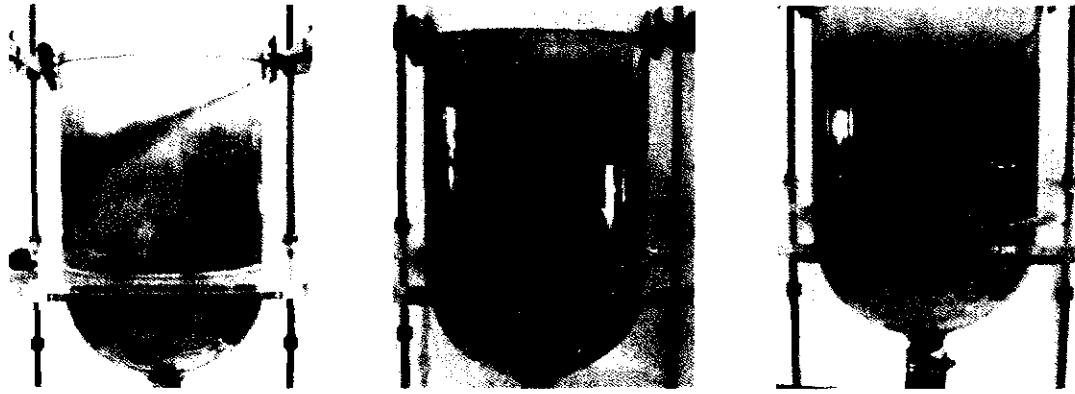


รูปที่ 4-17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 1
หัวฉีด มุม 60 องศา

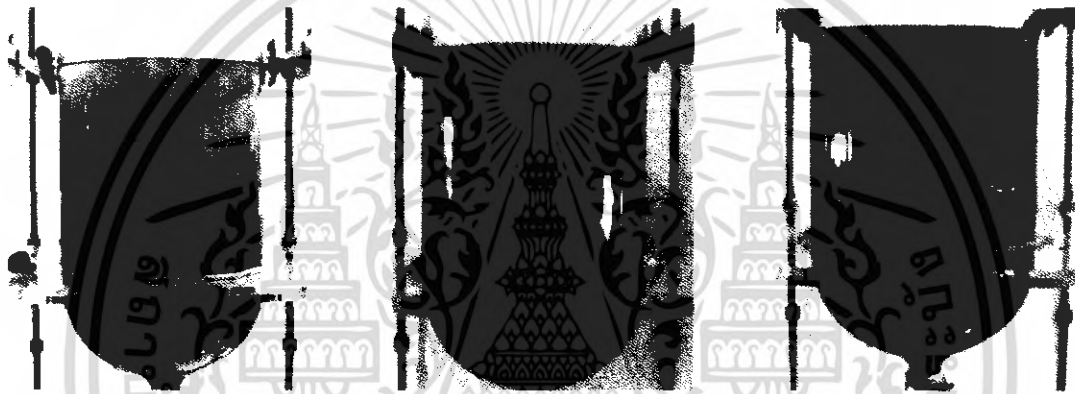


รูปที่ 4-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมกับค่าความหนาแน่นที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 2
หัวฉีด มุม 60 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-19 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้ 8.6 mL/s 1 หัวฉีดที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 30 วินาที

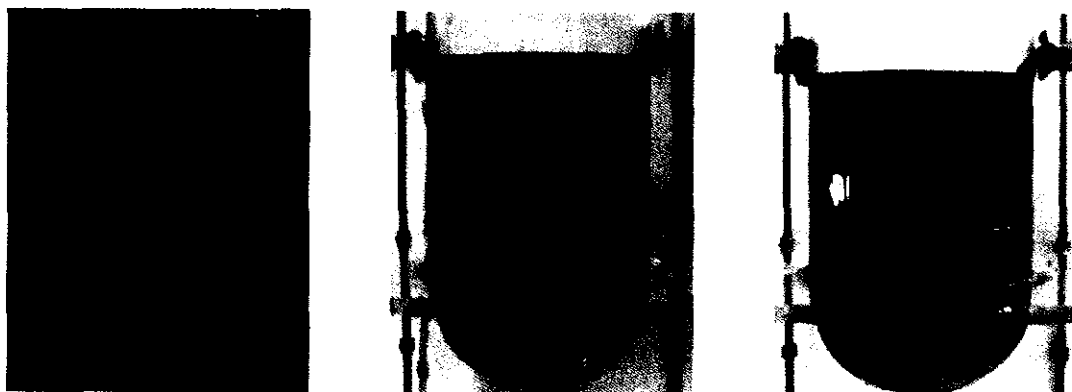


รูปที่ 4-20 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้ 8.6 mL/s 1 หัวฉีดที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 50 วินาที



รูปที่ 4-21 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้ 12.9 mL/s 1 หัวฉีดที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-22 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้แสง 12.9 m/s 1 ชั่วโมงที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 50 วินาที



รูปที่ 4-23 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้แสง 17.2 m/s 1 ชั่วโมงที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 30 วินาที



รูปที่ 4-24 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้แสง 17.2 m/s 1 ชั่วโมงที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 50 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-25 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้ 8.6 mL/s 2 หัวฉีดที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 30 วินาที

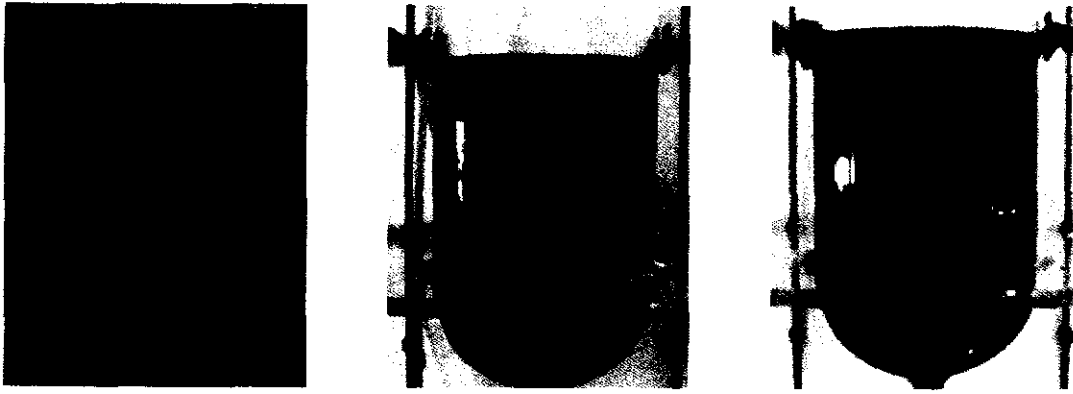


รูปที่ 4-26 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้ 8.6 mL/s 2 หัวฉีดที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 50 วินาที

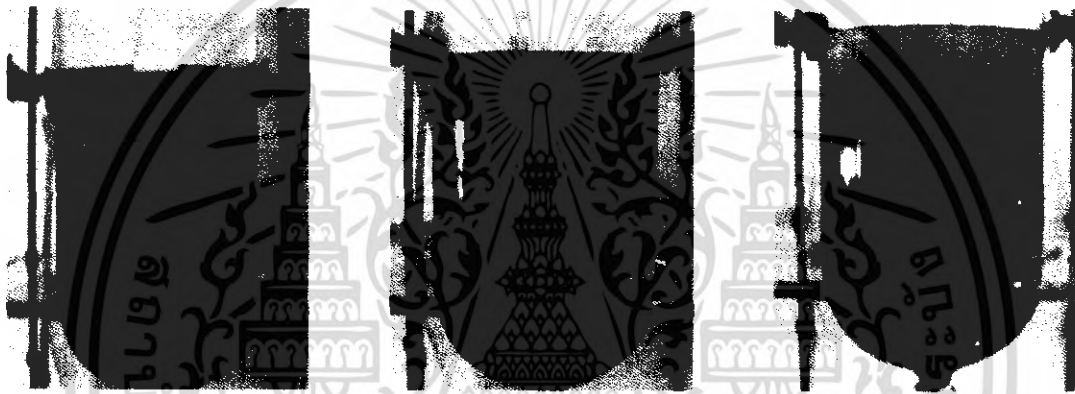


รูปที่ 4-27 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการใช้ 12.9 mL/s 2 หัวฉีดที่ มุม 30, 45, 60 องศา ที่เวลา 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-28 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 12.9 mL/s 2 หัวฉีดที่ มุม $30, 45, 60$ องศา ที่เวลา 50 วินาที



รูปที่ 4-29 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 2 หัวฉีดที่ มุม $30, 45, 60$ องศา ที่เวลา 30 วินาที



รูปที่ 4-30 แสดงภาพถ่ายของการผสมที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 2 หัวฉีดที่ มุม $30, 45, 60$ องศา ที่เวลา 50 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

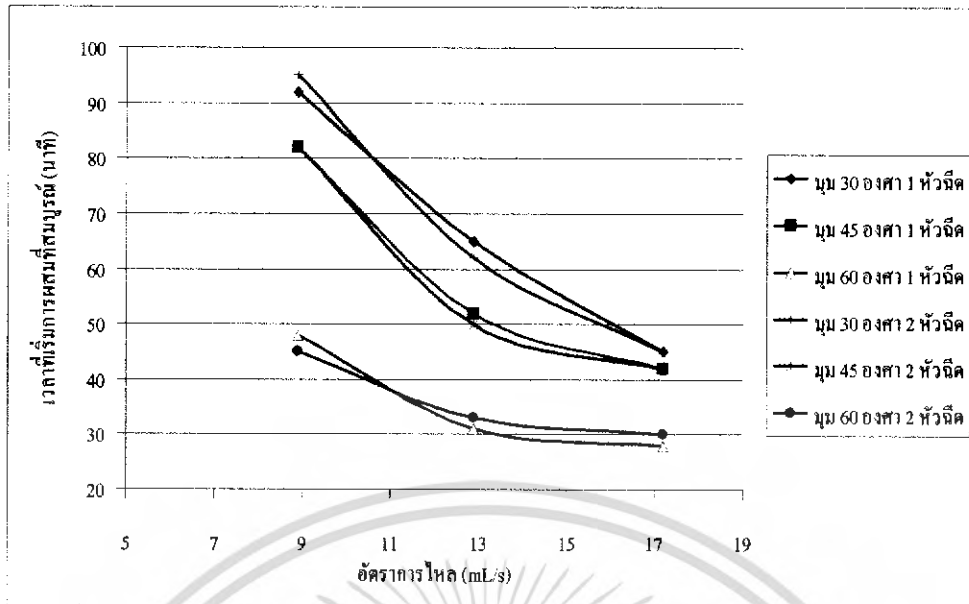
5.1 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบถึงเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ของ การทดลองมุมของ หัวฉีด 30, 45 และ 60 องศา หัวฉีด 1 หัว และ 2 หัว ที่อัตราการไหล 8.6, 12.9 และ 17.2 mL/s สรุปได้ดัง แสดงไว้ใน ตารางที่ 5-1

จำนวนหัวฉีด อัตราการไหล	1 หัวฉีด			2 หัวฉีด		
	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s
มุมของหัวฉีด						
30 องศา	92 นาที่	65 นาที่	45 นาที่	95 นาที่	62 นาที่	45 นาที่
45 องศา	82 นาที่	52 นาที่	42 นาที่	82 นาที่	50 นาที่	42 นาที่
60 องศา	48 นาที่	31 นาที่	28 นาที่	45 นาที่	33 นาที่	30 นาที่

ตารางที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ของ มุมของหัวฉีด จำนวนหัวฉีด และอัตราการไหลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



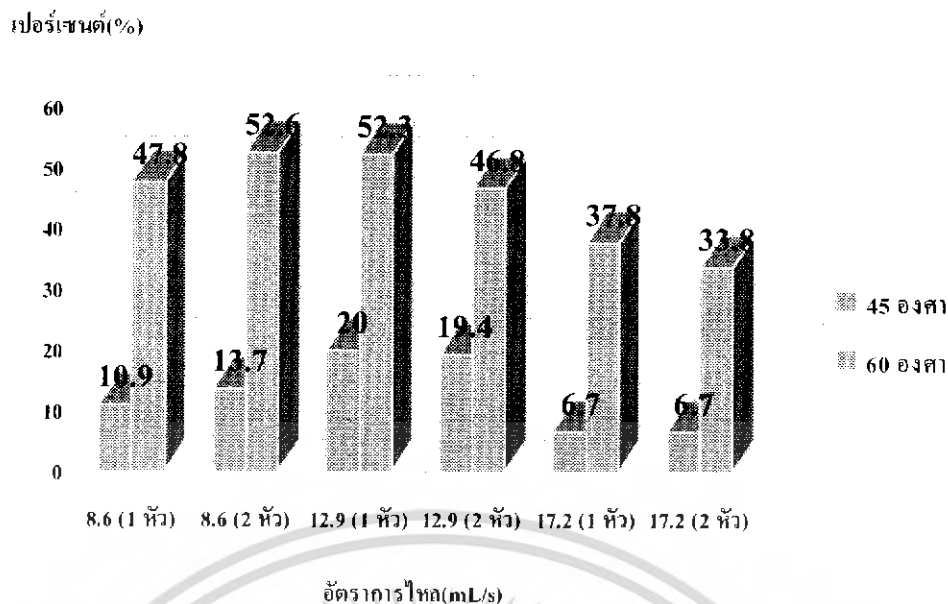
รูปที่ 5-1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ของ มุมของหัวฉีด จำนวนหัวฉีด และ อัตราการไหลต่างๆ

เมื่อทำการพิจารณาแล้วพบว่ามุมของหัวฉีดที่ให้เวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ช้าที่สุดคือมุม 30 องศา ดังนั้นจึงเปรียบเทียบเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์เป็นเปอร์เซ็นต์ของมุม 45 องศาและ 60 องศา เมื่อเทียบกับมุม 60 องศาว่าเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ดีกว่ากี่เปอร์เซ็นต์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-2

จำนวนหัวฉีด อัตราการไหล	1 หัวฉีด			2 หัวฉีด		
	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s
มุมของหัวฉีด						
45 องศา	10.9%	20%	6.7%	13.7%	19.4%	6.7%
60 องศา	47.8%	52.3%	37.8%	52.6%	46.8%	33.8%

ตารางที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ที่มุม 45 และ 60 องศา เมื่อเทียบกับมุม 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศา เมื่อเทียบกับนม 30 องศา

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเร็วที่ใช้ในการผสมโดยทำการหาค่าความเร็ววิกฤตเมื่อคิดที่นม 30, 45 และ 60 องศาจากสมการ 2.16 ได้ค่าความเร็ววิกฤต คือ 5.4, 4 และ 3.4 m/s ตามลำดับ ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความเร็วในการผสม คือ 3, 4, 6, 9 และ 12 m/s ที่นม 30, 45 และ 60 องศาเพื่อพิจารณาว่าที่ความเร็วและนมต่างๆ กันจะมีการผสมเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งได้แสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ 5-3

ความเร็ว \ นม	3 m/s	4 m/s	6 m/s	9 m/s	12 m/s
30 องศา	ไม่มีการผสม	ไม่มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม
45 องศา	ไม่มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม
60 องศา	ไม่มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม

ตารางที่ 5-3 แสดงการเกิดการผสมขึ้นที่ความเร็วและนมของหัวเชื้อต่างๆ

จากผลการทดลองที่ได้พิจารณาแล้วพบว่า

- นมของหัวเชื้อที่มีผลให้เส้นทางการเดินของสารมากที่สุดหรือการผสมที่เกิดขึ้นถึงบริเวณก้นถังจะมีผลทำให้เวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จำนวนของหัวฉีดแต่ละจะไม่มีผลต่อเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์สำหรับการทดลองในครั้ง
นี้
3. จากผลการทดลองพิสูจน์ว่ามุม 60 องศา จะทำการผสมได้ดีกว่ามุม 30, 45 องศาซึ่งสอดคล้อง
กับสมการ (2.17)
4. จากการทดลองความเร็วที่ 3, 4 m/s พบว่าความเร็วที่ 3 m/s ซึ่งต่ำกว่าความเร็ววิกฤตจะไม่เกิด
การผสมขึ้นแต่ความเร็วที่ 4 m/s จะเกิดการผสมซึ่งสอดคล้องกับสมการ (2.16)

5.2 สรุปผลการทดลอง

ชุดทดลองเครื่องผสมชนิดการผสมภายในถังแบบเจ็ตสามารถปรับการใช้งานหรือการผสมได้ ทั้ง
1 หัวฉีดและ 2 หัวฉีดซึ่งเหมาะสำหรับการศึกษาในด้านของการผสมอีกรูปแบบหนึ่ง โดยชุดทดลองนี้ได้
จำลองขนาดของถังผสมลงมาเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา และเหมาะกับผู้สนใจหรือผู้ที่ต้องการศึกษา
ลักษณะการผสมแบบนี้ อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณของสารที่ต้องการนำมาทดลอง รวมถึง
ตำแหน่งการติดตั้งของหัวฉีด ลักษณะรูปร่างของกันถังผสม และอื่นๆ ได้อีกตามความต้องการ

5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบพบว่ามีปัญหาที่เกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. **ปัญหา** การออกแบบสร้างชุดทดลองเกิดความล่าช้า เนื่องจากถังผสมที่ใช้เป็นวัสดุที่ทำจาก
พลาสติกใสชนิดพิเศษ จึงต้องสั่งหล่อถังผสมขึ้นทั้งชุด และต้องเสียเวลาไปกับการรอถังผสมเพื่อที่จะ
นำมาประกอบเข้ากับชุดทดลอง

แนวทางแก้ไข จัดซื้อหรือจัดหาถังผสมที่ใช้ โดยที่ถังผสมนั้นควรมีขายในท้องตลาดและมีขนาด
หรือคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่ได้ทำการออกแบบไว้

2. **ปัญหา** ใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการเตรียมสารทดลองและการวัดค่าปริมาตรและน้ำหนักของ
สารตัวอย่างที่ทำการคู่ขึ้นมา

แนวทางแก้ไข เลือกใช้สารที่นำมาทดลองที่สามารถเก็บไว้ได้นาน โดยเตรียมสารครั้งเดียว
สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งการทดลอง เช่น น้ำเกลือ ส่วนในด้านของการวัดควรเพิ่มจำนวนซ้ำเพื่อเพิ่ม
ความรวดเร็วในการวัดหาปริมาตรของสาร

5.4 แนวทางการพัฒนา

1. สำหรับผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นส่วนหนึ่งใช้ได้กับเงื่อนไขการ
ทดลองนี้เท่านั้นจึงควรที่จะพิจารณาตัวแปรอื่นๆ อีกเพื่อทำมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ผล ตัวอย่างเช่น
ปรับเปลี่ยนรูปร่างของกันถังผสมหรือตำแหน่งการติดตั้งของหัวฉีดที่ด้านล่างของถังผสม

2. ชุดทดลองนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้สูงสุด 4 หัวฉีดที่ระดับความสูงต่างกั้กันดังนั้นจึงควรเพิ่ม
จำนวนของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองให้มากกว่า 2 หัวฉีด

บรรณานุกรม

- [1] บุทธพงศ์ แสงรัตน์และคณะ. : “การศึกษาเชิงทดลองหัวมีดแรงดันสูง”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [2] นิรภัฏ ห้วยเรไรและคณะ. : “เครื่องผสมอาหาร”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [3] วิบูลย์ บุญชูโรกุล. : “บีมและระบบสูบน้ำ”, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 1986.
- [4] ฉัตรชัย มานะดี, โกลกิจ โอนิจิ. : “คู่มือการใช้งานบีมชนิดทนทานต่อการกัดกร่อน.”. 2542.
- [5] รศ. สุนันท์ ศรีณนิตย์. : “กลศาสตร์ของไหล” พิมพ์ครั้งที่ 4”, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2545.
- [6] Gang Pan. Dept. of Mechanical & Aerospace Engineering. Thesis, State University of New York at Buffalo, The United State Of America.
- [7] Mark J. Carletti et al. Tufts University, Mechanical Engineering Department, McDonnell Douglas Corporation. USA.
- [8] Edward, L.P. et al. : “*Hand Book of Industrial Mixing*”, John Wiley and Sons, New York. pp. 96-103,202-203. 2004
- [9] Hui HU., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan. 2001
- [10] N. Hamby, M.F. Edwards, A.W. Nicnow . : “ *Mixing in the process industries*”, Oxford : Butterworth-Heinemann. 1992.
- [11] Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi., “*Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Ed*”, John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd., 2004.
- [12] Xian Henry Automation Co., Ltd. Specification Viscosity Meter. [online]. Available : http://www.fuji-us.co.jp/c/measurement/viscosity_spec.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาทึ)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1092	1025	1028	1023	1012	1045	56	1131	1076	1170	1113	1078	1126
4	1028	1057	1010	1035	1021	1005	58	1158	1100	1187	1100	1069	1107
6	1131	1010	1015	1021	1016	1088	60	1128	1083	1125	1075	1032	1132
8	1194	1130	1027	1068	1032	1023	62	1025	1155	1164	1076	1088	1150
10	1127	1116	1064	1072	1047	1015	64	1035	1088	1124	1093	1089	1120
12	1105	1182	1110	1056	1038	1019	66	1156	1068	1180	1084	1110	1127
14	1046	1121	1123	1053	1063	1101	68	1120	1057	1179	1065	1056	1191
16	1086	1089	1127	1063	1040	1014	70	1036	1056	1134	1095	1063	1184
18	1088	1134	1132	1031	1057	1054	72	1083	1100	1184	1099	1079	1137
20	1067	1094	1053	1060	1088	1065	74	1057	1097	1166	1123	1100	1162
22	1068	1042	1070	1092	1097	1119	76	1062	1043	1159	1126	1122	1175
24	1119	1046	1118	1113	1121	1198	78	1130	1033	1139	1093	1113	1120
26	1045	1153	1133	1100	1026	1117	80	1027	1075	1166	1079	1100	1132
28	1111	1127	1178	1073	1120	1180	82	1102	1137	1124	1082	1093	1120
30	1115	1033	1110	1053	1083	1143	84	1077	1091	1152	1076	1072	1123
32	1076	1143	1129	1053	1064	1154	86	1100	1100	1132	1070	1088	1100
34	1055	1036	1117	1067	1056	1123	88	1065	1087	1100	1055	1070	1109
36	1056	1045	1186	1098	1098	1109	90	1059	1066	1077	1060	1068	1087
38	1069	1038	1112	1076	1087	1117	92	1061	1079	1073	1068	1066	1069
40	1153	1146	1115	1052	1087	1080	94	1067	1060	1078	1069	1068	1068
42	1043	1144	1174	1081	1056	1133	96	1065	1061	1069	1052	1070	1065
44	1101	1144	1142	1088	1099	1130	98	1066	1058	1070	1066	1059	1071
46	1061	1130	1110	1121	1076	1118	100	1063	1062	1073	1068	1062	1075
48	1113	1096	1181	1110	1088	1114	102	1066	1068	1065	1060	1064	1069
50	1149	1086	1158	1078	1067	1185	104	1067	1067	1068	1069	1058	1075
52	1074	1089	1149	1082	1113	1161	106	1065	1069	1071	1070	1062	1071
54	1075	1070	1110	1057	1126	1137	108	1067	1070	1068	1063	1066	1075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1074	1035	1039	1028	1024	1023	56	1101	1098	1080	1080	1163	1052
4	1010	1070	1025	1041	1030	1028	58	1082	1098	1081	1058	1132	1052
6	1090	1026	1083	1084	1020	1023	60	1090	1088	1072	1090	1106	1046
8	1081	1070	1071	1045	1030	1066	62	1088	1082	1065	1062	1072	1068
10	1032	1083	1038	1036	1027	1083	64	1065	1066	1063	1052	1071	1072
12	1088	1055	1064	1067	1030	1027	66	1071	1070	1070	1075	1074	1062
14	1080	1052	1027	1065	1057	1032	68	1071	1068	1069	1068	1065	1064
16	1042	1047	1077	1114	1067	1030	70	1070	1065	1065	1073	1069	1062
18	1022	1077	1064	1088	1069	1053	72	1063	1063	1066	1076	1069	1060
20	1052	1064	1112	1133	1055	1049	74	1066	1064	1067	1070	1067	1064
22	1072	1047	1096	1152	1050	1042	76	1066	1067	1064	1067	1064	1068
24	1079	1084	1100	1128	1055	1067	78	1068	1065	1066	1068	1065	1069
26	1045	1046	1067	1101	1075	1043	80	1063	1066	1068	1062	1069	1066
28	1060	1094	1109	1153	1056	1040	82	1065	1069	1065	1066	1066	1064
30	1037	1100	1150	1127	1124	1063	84	1068	1070	1066	1067	1062	1065
32	1056	1032	1122	1113	1114	1049	86	1064	1065	1062	1064	1072	1069
34	1100	1088	1154	1126	1175	1058	88	1065	1066	1063	1066	1071	1065
36	1137	1024	1133	1116	1148	1077	90	1065	1066	1066	1061	1068	1070
38	1175	1118	1162	1136	1168	1065	92	1068	1066	1066	1066	1065	1068
40	1173	1127	1125	1117	1117	1058	94	1070	1069	1062	1064	1066	1065
42	1195	1158	1169	1120	1143	1056	96	1065	1071	1063	1063	1065	1069
44	1183	1107	1155	1140	1139	1059	98	1062	1063	1074	1063	1059	1064
46	1169	1101	1187	1168	1181	1057	100	1066	1068	1068	1064	1062	1063
48	1172	1152	1178	1139	1130	1053	102	1064	1066	1065	1066	1068	1068
50	1150	1136	1138	1152	1172	1046	104	1066	1065	1063	1066	1064	1065
52	1135	1126	1124	1131	1166	1043	106	1066	1062	1066	1071	1065	1064
54	1148	1110	1100	1121	1181	1039	108	1062	1066	1065	1068	1065	1066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1010	1018	1020	1023	1034	1042	56	1077	1065	1066	1078	1068	1070
4	1015	1024	1032	1030	1057	1064	58	1079	1072	1067	1076	1062	1065
6	1018	1019	1027	1028	1019	1053	60	1073	1068	1080	1083	1058	1072
8	1018	1027	1030	1020	1048	1022	62	1078	1066	1064	1062	1066	1069
10	1120	1020	1027	1042	1067	1010	64	1076	1065	1067	1064	1065	1066
12	1128	1018	1032	1038	1042	1041	66	1068	1064	1065	1066	1068	1065
14	1121	1030	1040	1027	1050	1029	68	1070	1063	1068	1068	1067	1065
16	1119	1127	1037	1033	1038	1058	70	1060	1068	1066	1075	1065	1063
18	1116	1136	1028	1042	1060	1062	72	1068	1069	1065	1076	1068	1066
20	1124	1134	1037	1140	1047	1059	74	1071	1068	1064	1077	1066	1068
22	1129	1129	1042	1147	1059	1110	76	1070	1066	1066	1076	1067	1066
24	1130	1142	1033	1152	1063	1103	78	1068	1067	1068	1075	1065	1064
26	1132	1139	1145	1156	1078	1072	80	1065	1065	1066	1070	1065	1063
28	1139	1146	1150	1132	1056	1068	82	1063	1066	1065	1071	1066	1062
30	1140	1142	1123	1165	1120	1118	84	1066	1064	1064	1069	1066	1065
32	1158	1151	1160	1144	1100	1100	86	1063	1066	1065	1075	1064	1065
34	1147	1147	1123	1111	1115	1114	88	1066	1065	1068	1068	1063	1066
36	1070	1143	1100	1123	1098	1098	90	1066	1064	1066	1065	1063	1068
38	1098	1156	1054	1132	1082	1065	92	1065	1064	1065	1066	1065	1064
40	1060	1100	1066	1132	1068	1058	94	1068	1065	1064	1067	1069	1063
42	1078	1095	1062	1097	1072	1078	96	1067	1066	1063	1068	1065	1063
44	1079	1123	1070	1089	1068	1065	98	1065	1066	1066	1070	1066	1062
46	1078	1067	1062	1069	1083	1070	100	1066	1064	1068	1065	1068	1065
48	1073	1063	1066	1065	1074	1058	102	1066	1068	1067	1062	1065	1065
50	1075	1059	1061	1067	1066	1067	104	1068	1067	1063	1063	1064	1066
52	1076	1068	1071	1070	1058	1078	106	1062	1066	1064	1065	1066	1068
54	1071	1071	1082	1075	1071	1059	108	1066	1065	1066	1065	1065	1066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) | หัวฉีด มุม 45 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1070	1079	1025	1047	1019	1028	56	1159	1125	1114	1100	1149	1126
4	1088	1125	1074	1024	1045	1040	58	1140	1103	1122	1108	1116	1133
6	1110	1110	1059	1030	1028	1038	60	1145	1097	1137	1124	1141	1122
8	1117	1089	1095	1069	1071	1025	62	1125	1076	1156	1132	1139	1109
10	1111	1066	1084	1084	1035	1071	64	1105	1077	1121	1125	1126	1084
12	1181	1173	1103	1072	1041	1092	66	1157	1072	1131	1123	1144	1120
14	1115	1122	1056	1080	1061	1036	68	1138	1062	1127	1145	1142	1088
16	1052	1149	1073	1081	1085	1116	70	1140	1065	1110	1119	1116	1063
18	1168	1163	1064	1088	1095	1139	72	1133	1064	1134	1093	1116	1079
20	1167	1158	1110	1082	1090	1158	74	1100	1067	1122	1053	1072	1091
22	1189	1139	1130	1075	1076	1108	76	1090	1069	1126	1064	1067	1062
24	1171	1133	1191	1100	1088	1107	78	1088	1081	1102	1054	1068	1079
26	1160	1141	1124	1128	1094	1095	80	1087	1070	1123	1088	1090	1088
28	1068	1139	1135	1121	1137	1111	82	1060	1068	1075	1087	1093	1086
30	1121	1126	1112	1117	1115	1122	84	1085	1068	1076	1080	1094	1065
32	1153	1178	1144	1128	1116	1107	86	1070	1067	1073	1075	1064	1069
34	1118	1100	1134	1128	1113	1117	88	1072	1069	1073	1069	1064	1062
36	1100	1055	1176	1153	1126	1140	90	1071	1068	1070	1066	1066	1070
38	1092	1124	1156	1133	1156	1128	92	1071	1068	1068	1067	1065	1061
40	1129	1125	1136	1149	1133	1112	94	1068	1065	1065	1067	1063	1063
42	1180	1078	1142	1100	1143	1152	96	1068	1063	1066	1065	1069	1061
44	1150	1117	1171	1129	1126	1103	98	1062	1062	1068	1069	1069	1063
46	1067	1144	1165	1142	1153	1122	100	1065	1065	1065	1068	1056	1062
48	1164	1136	1153	1139	1127	1132	102	1069	1066	1069	1069	1069	1060
50	1085	1138	1150	1116	1151	1124	104	1070	1068	1066	1065	1069	1061
52	1098	1112	1123	1127	1180	1127	106	1068	1066	1065	1068	1068	1065
54	1125	1141	1158	1133	1174	1111	108	1066	1065	1064	1066	1067	1066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓5 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 ชั่วโมง นุ่ม 45 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลา ต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1055	1060	1078	1098	1064	1021	56	1084	1075	1083	1064	1075	1080
4	1062	1101	1076	1067	1058	1038	58	1079	1074	1080	1063	1073	1074
6	1092	1094	1093	1072	1053	1034	60	1079	1071	1081	1061	1068	1073
8	1051	1068	1097	1071	1060	1044	62	1079	1073	1080	1069	1064	1074
10	1030	1088	1069	1039	1063	1065	64	1075	1079	1079	1067	1071	1070
12	1058	1096	1095	1043	1051	1042	66	1081	1070	1078	1065	1080	1072
14	1056	1097	1072	1055	1094	1046	68	1072	1078	1075	1068	1079	1068
16	1058	1084	1070	1069	1082	1069	70	1074	1072	1075	1064	1068	1069
18	1065	1079	1088	1088	1114	1056	72	1079	1075	1069	1070	1071	1071
20	1086	1075	1069	1050	1145	1084	74	1072	1068	1061	1064	1071	1068
22	1093	1077	1066	1075	1132	1087	76	1068	1067	1065	1068	1068	1064
24	1100	1111	1064	1088	1146	1043	78	1071	1070	1068	1072	1069	1069
26	1139	1109	1078	1099	1150	1066	80	1081	1065	1072	1064	1072	1073
28	1129	1136	1073	1072	1140	1068	82	1068	1081	1064	1068	1064	1065
30	1142	1112	1079	1112	1104	1074	84	1072	1067	1062	1069	1065	1068
32	1111	1113	1160	1124	1106	1100	86	1068	1071	1071	1070	1069	1067
34	1154	1136	1100	1129	1084	1137	88	1070	1069	1069	1073	1070	1064
36	1114	1163	1115	1135	1062	1133	90	1072	1064	1072	1069	1064	1070
38	1127	1156	1118	1138	1084	1155	92	1064	1065	1064	1064	1065	1068
40	1138	1159	1110	1160	1083	1111	94	1072	1071	1065	1065	1061	1064
42	1122	1142	1088	1096	1099	1126	96	1077	1064	1072	1073	1068	1069
44	1100	1126	1080	1065	1072	1122	98	1071	1073	1068	1072	1064	1073
46	1123	1124	1078	1083	1096	1112	100	1067	1065	1069	1063	1070	1064
48	1102	1110	1075	1063	1077	1089	102	1070	1068	1064	1064	1068	1061
50	1098	1102	1076	1074	1083	1105	104	1069	1067	1065	1070	1067	1069
52	1095	1090	1080	1065	1072	1074	106	1071	1071	1067	1064	1081	1070
54	1072	1072	1081	1066	1075	1077	108	1068	1069	1072	1072	1069	1072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก6 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด มุม 45 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1102	1075	1100	1024	1070	1029	56	1078	1068	1068	1070	1078	1089
4	1090	1098	1074	1128	1151	1061	58	1076	1067	1072	1068	1068	1078
6	1194	1111	1126	1146	1158	1020	60	1081	1071	1083	1064	1067	1080
8	1162	1112	1192	1116	1127	1083	62	1071	1064	1089	1065	1083	1076
10	1099	1145	1064	1149	1092	1053	64	1068	1065	1082	1073	1079	1079
12	1113	1132	1160	1185	1144	1062	66	1072	1071	1081	1068	1069	1068
14	1113	1134	1149	1137	1138	1100	68	1064	1068	1076	1069	1065	1081
16	1138	1144	1145	1152	1143	1155	70	1069	1071	1068	1064	1072	1064
18	1100	1108	1169	1126	1100	1106	72	1071	1064	1065	1065	1084	1070
20	1098	1111	1136	1173	1102	1113	74	1068	1065	1071	1070	1069	1068
22	1127	1090	1124	1178	1157	1073	76	1065	1072	1064	1068	1076	1067
24	1139	1085	1119	1171	1159	1145	78	1071	1069	1068	1069	1064	1072
26	1146	1058	1098	1152	1106	1177	80	1072	1071	1073	1065	1070	1068
28	1101	1065	1083	1152	1112	1157	82	1069	1064	1068	1071	1073	1064
30	1093	1076	1098	1121	1122	1112	84	1072	1073	1067	1072	1068	1070
32	1090	1102	1127	1124	1148	1136	86	1078	1065	1071	1069	1067	1067
34	1046	1091	1069	1126	1152	1112	88	1069	1067	1065	1065	1073	1062
36	1086	1080	1069	1123	1109	1128	90	1064	1064	1068	1067	1069	1067
38	1082	1072	1075	1118	1099	1131	92	1071	1068	1073	1064	1089	1065
40	1082	1076	1105	1106	1099	1101	94	1069	1071	1068	1070	1065	1071
42	1086	1078	1086	1065	1098	1094	96	1072	1072	1069	1069	1072	1069
44	1080	1063	1074	1064	1086	1093	98	1067	1069	1064	1070	1071	1064
46	1086	1068	1079	1076	1088	1083	100	1072	1064	1071	1069	1064	1067
48	1080	1075	1083	1077	1087	1086	102	1081	1080	1080	1067	1068	1064
50	1088	1065	1093	1069	1084	1087	104	1068	1068	1064	1068	1065	1070
52	1087	1071	1085	1070	1089	1087	106	1071	1071	1068	1065	1072	1064
54	1085	1064	1091	1064	1068	1085	108	1065	1065	1063	1070	1069	1065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก7 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นุ่ม 60 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1036	1055	1047	1066	1058	1092	56	1064	1068	1068	1072	1058	1071
4	1027	1035	1055	1042	1080	1035	58	1071	1067	1064	1068	1067	1068
6	1026	1048	1078	1072	1045	1064	60	1068	1071	1076	1064	1076	1064
8	1092	1050	1084	1086	1043	1051	62	1064	1073	1068	1067	1072	1069
10	1076	1067	1040	1029	1049	1058	64	1071	1064	1064	1070	1071	1072
12	1063	1094	1038	1056	1079	1050	66	1065	1065	1075	1068	1059	1064
14	1097	1097	1081	1057	1073	1065	68	1068	1068	1068	1073	1064	1065
16	1077	1101	1114	1105	1068	1065	70	1069	1072	1069	1065	1068	1073
18	1060	1086	1086	1087	1070	1042	72	1071	1065	1073	1079	1070	1067
20	1097	1063	1116	1064	1102	1089	74	1073	1069	1071	1068	1068	1063
22	1064	1072	1143	1084	1157	1092	76	1065	1064	1064	1067	1072	1065
24	1120	1044	1125	1074	1168	1106	78	1064	1072	1065	1070	1061	1070
26	1089	1081	1129	1112	1123	1094	80	1069	1068	1068	1064	1058	1074
28	1069	1121	1090	1175	1087	1130	82	1072	1067	1064	1068	1065	1070
30	1090	1135	1134	1120	1069	1148	84	1068	1072	1067	1069	1067	1069
32	1057	1129	1070	1086	1050	1108	86	1067	1073	1067	1063	1078	1064
34	1085	1120	1098	1105	1075	1177	88	1071	1064	1071	1067	1068	1072
36	1082	1125	1075	1078	1093	1093	90	1073	1060	1073	1070	1069	1068
38	1071	1099	1073	1077	1090	1118	92	1069	1068	1065	1072	1070	1067
40	1074	1098	1079	1069	1100	1066	94	1067	1064	1070	1065	1068	1064
42	1075	1071	1069	1061	1076	1082	96	1072	1071	1064	1068	1067	1070
44	1076	1073	1068	1067	1061	1061	98	1064	1065	1065	1064	1064	1065
46	1070	1060	1070	1058	1069	1072	100	1068	1074	1070	1065	1073	1069
48	1071	1074	1071	1077	1068	1070	102	1065	1065	1068	1072	1071	1072
50	1061	1075	1068	1076	1070	1069	104	1067	1067	1069	1068	1065	1073
52	1063	1072	1067	1072	1068	1068	106	1073	1071	1072	1069	1069	1064
54	1068	1075	1070	1070	1069	1067	108	1065	1069	1073	1067	1064	1065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด มุม 60 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1091	1035	1053	1063	1057	1022	56	1072	1076	1072	1081	1071	1064
4	1080	1044	1068	1053	1037	1048	58	1066	1071	1065	1067	1065	1064
6	1072	1042	1059	1160	1071	1026	60	1064	1072	1068	1065	1071	1065
8	1049	1075	1096	1072	1049	1024	62	1065	1067	1067	1069	1068	1062
10	1112	1053	1103	1087	1058	1052	64	1067	1073	1073	1067	1069	1063
12	1198	1053	1189	1044	1016	1105	66	1064	1064	1068	1072	1063	1064
14	1073	1025	1132	1058	1025	1047	68	1071	1069	1069	1081	1070	1062
16	1068	1057	1035	1112	1100	1086	70	1073	1064	1073	1078	1073	1063
18	1097	1035	1142	1058	1109	1083	72	1069	1072	1064	1065	1068	1060
20	1048	1054	1072	1078	1101	1094	74	1065	1073	1065	1069	1064	1069
22	1069	1072	1147	1090	1113	1079	76	1073	1069	1066	1067	1069	1069
24	1052	1082	1156	1101	1134	1061	78	1075	1067	1072	1071	1073	1072
26	1097	1054	1130	1090	1084	1056	80	1064	1064	1069	1065	1078	1064
28	1081	1055	1098	1085	1098	1055	82	1068	1069	1067	1064	1067	1071
30	1074	1066	1081	1057	1088	1053	84	1073	1081	1071	1061	1069	1068
32	1053	1078	1071	1067	1059	1060	86	1076	1076	1065	1068	1073	1065
34	1069	1072	1068	1068	1055	1059	88	1067	1072	1072	1069	1065	1065
36	1064	1072	1077	1067	1070	1063	90	1069	1076	1067	1070	1068	1070
38	1066	1068	1065	1068	1055	1062	92	1063	1070	1065	1063	1064	1064
40	1065	1068	1067	1069	1062	1061	94	1065	1069	1069	1064	1061	1068
42	1066	1064	1066	1064	1064	1064	96	1072	1076	1073	1069	1069	1068
44	1064	1065	1065	1072	1075	1063	98	1073	1068	1070	1073	1073	1070
46	1065	1069	1067	1068	1076	1064	100	1068	1067	1064	1080	1065	1069
48	1072	1067	1066	1067	1063	1064	102	1067	1072	1079	1079	1071	1070
50	1068	1068	1064	1073	1064	1063	104	1064	1073	1076	1076	1067	1070
52	1064	1067	1071	1065	1068	1062	106	1071	1069	1068	1075	1064	1065
54	1069	1070	1068	1073	1067	1063	108	1079	1072	1072	1069	1069	1066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑๑ ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 1 หัวฉีด นูม 60 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1074	1078	1067	1030	1043	1028	56	1073	1067	1065	1069	1068	1068
4	1116	1098	1070	1073	1076	1079	58	1064	1068	1067	1068	1072	1065
6	1145	1100	1079	1050	1036	1074	60	1068	1069	1071	1065	1071	1072
8	1129	1071	1085	1084	1052	1092	62	1064	1072	1073	1072	1070	1073
10	1160	1129	1100	1068	1086	1058	64	1065	1073	1068	1073	1069	1069
12	1114	1069	1060	1063	1094	1106	66	1071	1064	1069	1069	1072	1067
14	1104	1143	1045	1089	1081	1088	68	1068	1065	1065	1067	1068	1068
16	1078	1137	1052	1129	1088	1064	70	1069	1071	1071	1068	1067	1072
18	1072	1084	1070	1095	1079	1091	72	1071	1072	1073	1072	1072	1065
20	1079	1081	1110	1072	1066	1074	74	1073	1065	1070	1073	1070	1067
22	1097	1087	1111	1078	1084	1086	76	1072	1067	1068	1071	1067	1064
24	1130	1062	1062	1068	1073	1063	78	1068	1064	1069	1068	1067	1068
26	1087	1068	1074	1079	1073	1082	80	1067	1068	1064	1064	1068	1069
28	1085	1068	1089	1075	1085	1069	82	1064	1069	1073	1069	1069	1067
30	1071	1069	1079	1072	1081	1075	84	1073	1067	1075	1067	1072	1072
32	1069	1067	1070	1072	1068	1068	86	1069	1072	1072	1063	1070	1069
34	1072	1068	1072	1078	1068	1068	88	1069	1069	1068	1071	1067	1064
36	1071	1063	1075	1068	1066	1069	90	1068	1064	1067	1073	1072	1065
38	1068	1067	1072	1065	1070	1061	92	1064	1065	1069	1069	1068	1071
40	1067	1068	1074	1062	1068	1063	94	1068	1071	1071	1064	1070	1072
42	1069	1065	1076	1068	1073	1065	96	1064	1070	1069	1068	1068	1068
44	1070	1064	1072	1065	1071	1066	98	1068	1072	1064	1069	1072	1067
46	1070	1069	1068	1071	1071	1066	100	1067	1069	1068	1067	1073	1072
48	1070	1062	1069	1068	1069	1072	102	1072	1073	1067	1072	1069	1073
50	1071	1065	1065	1064	1068	1067	104	1073	1072	1072	1070	1075	1064
52	1063	1068	1072	1067	1072	1072	106	1064	1072	1064	1064	1065	1068
54	1068	1071	1064	1072	1069	1069	108	1068	1067	1065	1067	1068	1069

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก10 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1014	1025	1012	1024	1014	1025	56	1157	1157	1153	1176	1150	1138
4	1016	1032	1033	1038	1131	1012	58	1151	1139	1135	1163	1136	1100
6	1016	1024	1016	1026	1126	1065	60	1156	1141	1128	1151	1161	1108
8	1026	1029	1073	1015	1178	1140	62	1159	1142	1137	1119	1140	1153
10	1049	1063	1094	1112	1179	1166	64	1146	1122	1125	1133	1158	1155
12	1056	1082	1068	1139	1130	1045	66	1142	1138	1132	1129	1126	1157
14	1082	1048	1049	1183	1152	1035	68	1152	1158	1147	1134	1135	1133
16	1076	1079	1130	1126	1131	1051	70	1156	1144	1132	1125	1115	1103
18	1075	1068	1163	1143	1128	1061	72	1154	1168	1126	1131	1091	1116
20	1099	1069	1130	1132	1143	1062	74	1134	1143	1135	1144	1084	1103
22	1090	1082	1141	1147	1146	1109	76	1148	1154	1124	1150	1094	1130
24	1100	1092	1132	1120	1138	1120	78	1116	1108	1111	1136	1095	1119
26	1110	1083	1133	1136	1139	1149	80	1124	1115	1122	1102	1068	1126
28	1119	1072	1155	1149	1138	1136	82	1112	1134	1124	1119	1093	1080
30	1117	1076	1127	1140	1111	1168	84	1120	1121	1115	1081	1065	1070
32	1116	1090	1125	1135	1148	1148	86	1107	1099	1093	1082	1076	1062
34	1144	1108	1138	1111	1143	1132	88	1094	1100	1096	1068	1093	1078
36	1122	1110	1146	1080	1178	1124	90	1085	1092	1085	1066	1081	1068
38	1145	1114	1126	1109	1123	1125	92	1069	1071	1085	1067	1074	1066
40	1161	1188	1146	1124	1117	1146	94	1072	1069	1070	1065	1064	1067
42	1130	1159	1130	1126	1073	1153	96	1070	1068	1072	1064	1066	1064
44	1134	1148	1160	1162	1089	1111	98	1070	1068	1069	1067	1065	1065
46	1159	1149	1150	1157	1157	1112	100	1069	1067	1071	1068	1068	1067
48	1136	1164	1164	1174	1137	1135	102	1069	1069	1070	1067	1066	1070
50	1143	1142	1159	1173	1126	1102	104	1070	1065	1068	1068	1066	1068
52	1133	1135	1145	1146	1129	1126	106	1067	1066	1070	1069	1064	1066
54	1139	1144	1103	1147	1113	1123	108	1068	1068	1071	1066	1067	1067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก11 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1023	1021	1052	1053	1055	1046	44	1156	1111	1088	1129	1042	1086
4	1026	1025	1030	1052	1041	1034	46	1154	1112	1092	1158	1053	1080
6	1089	1099	1077	1095	1051	1015	48	1157	1066	1088	1150	1088	1072
8	1011	1074	1110	1084	1110	1037	50	1145	1098	1066	1111	1084	1070
10	1068	1068	1116	1074	1170	1066	52	1121	1068	1061	1151	1086	1097
12	1066	1062	1147	1136	1062	1147	54	1142	1070	1062	1132	1070	1067
14	1053	1087	1137	1136	1176	1143	56	1127	1069	1069	1129	1069	1092
16	1071	1057	1144	1092	1141	1131	58	1100	1072	1068	1066	1062	1057
18	1013	1113	1114	1144	1157	1159	60	1097	1072	1063	1061	1061	1063
20	1094	1142	1120	1165	1136	1144	62	1063	1073	1063	1070	1063	1065
22	1120	1101	1118	1160	1130	1112	64	1069	1069	1067	1070	1066	1067
24	1126	1115	1118	1100	1118	1124	66	1061	1070	1068	1071	1062	1069
26	1171	1124	1173	1122	1113	1100	68	1067	1071	1067	1069	1066	1065
28	1161	1128	1145	1134	1115	1085	70	1062	1072	1066	1064	1061	1065
30	1162	1133	1124	1080	1066	1102	72	1063	1070	1066	1066	1061	1067
32	1190	1114	1161	1117	1118	1073	74	1064	1065	1070	1063	1062	1063
34	1161	1135	1134	1124	1139	1061	76	1066	1073	1068	1066	1065	1061
36	1171	1121	1110	1117	1121	1075	78	1065	1060	1066	1065	1065	1064
38	1186	1132	1148	1149	1129	1165	80	1065	1068	1065	1065	1063	1063
40	1143	1122	1114	1157	1106	1086	82	1069	1067	1068	1068	1066	1065
42	1120	1100	1079	1141	1072	1075	84	1063	1065	1069	1067	1068	1063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก12 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 30 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1031	1095	1100	1065	1066	1092	46	1074	1068	1077	1067	1073	1070
4	1109	1078	1080	1133	1088	1149	48	1075	1066	1077	1063	1077	1064
6	1084	1042	1100	1124	1136	1090	50	1078	1069	1072	1067	1078	1070
8	1063	1147	1070	1127	1119	1132	52	1076	1066	1075	1060	1073	1064
10	1082	1140	1140	1148	1142	1129	54	1075	1067	1072	1067	1077	1069
12	1037	1162	1151	1142	1114	1135	56	1069	1067	1072	1063	1078	1065
14	1095	1149	1125	1168	1127	1116	58	1068	1068	1074	1069	1077	1070
16	1108	1134	1143	1148	1111	1127	60	1066	1069	1071	1068	1072	1068
18	1091	1127	1132	1124	1124	1131	62	1070	1066	1070	1066	1076	1070
20	1185	1139	1156	1110	1137	1135	64	1072	1068	1070	1064	1073	1077
22	1157	1146	1142	1133	1102	1130	66	1073	1067	1063	1067	1076	1076
24	1159	1112	1143	1121	1120	1120	68	1077	1069	1067	1067	1078	1078
26	1107	1086	1133	1146	1127	1113	70	1069	1065	1060	1068	1077	1070
28	1089	1097	1177	1121	1115	1118	72	1066	1072	1067	1066	1072	1072
30	1076	1079	1139	1106	1119	1141	74	1068	1073	1063	1069	1073	1068
32	1074	1105	1107	1102	1132	1121	76	1066	1075	1068	1066	1072	1074
34	1074	1060	1122	1093	1144	1123	78	1075	1074	1066	1067	1068	1070
36	1075	1090	1094	1087	1170	1147	80	1063	1066	1070	1067	1069	1079
38	1071	1051	1084	1061	1167	1138	82	1069	1075	1072	1068	1069	1070
40	1076	1068	1082	1067	1140	1102	84	1066	1070	1070	1069	1073	1070
42	1076	1064	1092	1061	1128	1070	86	1068	1069	1070	1068	1074	1076
44	1075	1067	1078	1062	1103	1066	88	1066	1068	1069	1069	1076	1070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก13 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 45 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1029	1030	1038	1065	1025	1071	54	1127	1123	1131	1133	1138	1120
4	1033	1089	1024	1037	1062	1080	56	1102	1115	1128	1109	1083	1138
6	1034	1057	1013	1078	1075	1105	58	1113	1123	1121	1138	1111	1099
8	1044	1071	1040	1025	1071	1068	60	1076	1107	1113	1147	1155	1144
10	1088	1154	1092	1070	1035	1050	62	1127	1122	1099	1118	1083	1134
12	1102	1153	1111	1097	1042	1048	64	1103	1124	1100	1067	1072	1107
14	1030	1115	1103	1074	1073	1089	66	1115	1096	1099	1107	1079	1055
16	1042	1143	1136	1134	1065	1070	68	1123	1092	1077	1065	1118	1091
18	1092	1157	1139	1124	1117	1090	70	1101	1085	1074	1133	1060	1107
20	1110	1157	1111	1140	1157	1084	72	1098	1076	1070	1060	1084	1066
22	1114	1114	1105	1123	1123	1100	74	1100	1078	1078	1069	1061	1141
24	1142	1110	1106	1147	1110	1118	76	1084	1071	1071	1064	1063	1066
26	1162	1159	1146	1145	1074	1118	78	1092	1075	1071	1065	1116	1110
28	1146	1134	1131	1117	1117	1119	80	1085	1071	1077	1064	1100	1091
30	1134	1121	1132	1140	1083	1124	82	1083	1077	1072	1069	1098	1087
32	1129	1136	1130	1112	1162	1157	84	1082	1077	1078	1069	1074	1086
34	1124	1157	1108	1147	1156	1104	86	1084	1075	1075	1074	1084	1087
36	1123	1100	1124	1134	1139	1118	88	1082	1072	1076	1077	1074	1076
38	1130	1112	1136	1150	1132	1123	90	1083	1079	1076	1074	1074	1086
40	1170	1116	1136	1146	1128	1104	92	1082	1078	1076	1074	1079	1077
42	1122	1138	1118	1152	1125	1143	94	1081	1080	1075	1074	1077	1080
44	1119	1142	1100	1103	1142	1154	96	1079	1076	1074	1070	1074	1081
46	1121	1109	1111	1113	1095	1106	98	1078	1075	1072	1072	1083	1079
48	1137	1115	1118	1127	1096	1137	100	1080	1078	1078	1073	1082	1076
50	1128	1113	1146	1108	1093	1132	102	1076	1078	1073	1075	1081	1076
52	1137	1118	1155	1147	1107	1127	104	1074	1076	1075	1078	1082	1073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก14 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 45 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1032	1066	1033	1092	1060	1047	42	1093	1093	1064	1061	1119	1138
4	1062	1062	1128	1109	1073	1048	44	1065	1073	1070	1067	1141	1111
6	1056	1068	1138	1106	1087	1072	46	1052	1075	1066	1090	1069	1090
8	1149	1129	1138	1141	1096	1053	48	1078	1067	1060	1081	1070	1083
10	1129	1140	1135	1135	1100	1082	50	1074	1070	1071	1080	1071	1079
12	1143	1166	1129	1146	1084	1111	52	1072	1065	1065	1078	1079	1075
14	1146	1131	1118	1122	1101	1078	54	1065	1066	1071	1079	1080	1080
16	1137	1101	1172	1104	1104	1087	56	1066	1072	1068	1082	1070	1078
18	1132	1083	1159	1131	1137	1111	58	1066	1073	1069	1078	1079	1075
20	1151	1127	1129	1102	1129	1062	60	1066	1068	1067	1081	1081	1072
22	1113	1156	1106	1085	1154	1132	62	1070	1069	1070	1079	1079	1075
24	1135	1061	1058	1096	1157	1133	64	1069	1069	1068	1072	1078	1071
26	1071	1072	1118	1051	1139	1102	66	1069	1073	1069	1080	1080	1076
28	1078	1053	1098	1127	1123	1155	68	1073	1068	1070	1081	1074	1073
30	1118	1067	1099	1133	1081	1113	70	1071	1069	1073	1078	1077	1076
32	1136	1066	1072	1112	1109	1157	72	1070	1067	1074	1080	1075	1072
34	1137	1063	1131	1135	1076	1149	74	1069	1065	1076	1075	1077	1071
36	1058	1090	1080	1110	1110	1138	76	1070	1073	1066	1079	1073	1066
38	1074	1108	1069	1099	1063	1114	78	1067	1070	1068	1079	1073	1067
40	1055	1073	1063	1078	1099	1155	80	1071	1068	1069	1076	1073	1068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด นุ่ม 45 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s ($12 \text{ m}^3/\text{s}$) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1099	1128	1123	1099	1059	1076	38	1064	1062	1089	1100	1096	1073
4	1064	1124	1118	1121	1099	1016	40	1069	1069	1087	1098	1086	1087
6	1112	1138	1104	1059	1098	1072	42	1072	1075	1084	1074	1075	1083
8	1144	1112	1122	1084	1145	1104	44	1066	1072	1085	1071	1076	1073
10	1152	1127	1133	1093	1129	1102	46	1065	1066	1077	1073	1070	1072
12	1133	1167	1124	1084	1149	1090	48	1067	1068	1080	1068	1077	1070
14	1116	1112	1096	1140	1186	1063	50	1070	1068	1076	1069	1077	1073
16	1144	1146	1085	1101	1140	1078	52	1069	1071	1081	1072	1078	1077
18	1125	1126	1100	1147	1148	1071	54	1070	1068	1073	1067	1074	1071
20	1137	1159	1136	1117	1142	1126	56	1068	1069	1076	1068	1077	1077
22	1131	1103	1142	1122	1124	1102	58	1066	1068	1072	1065	1073	1071
24	1160	1067	1163	1111	1108	1126	60	1071	1066	1079	1066	1074	1071
26	1130	1084	1134	1129	1096	1123	62	1070	1065	1076	1068	1076	1078
28	1122	1111	1060	1110	1130	1138	64	1069	1064	1071	1064	1077	1070
30	1146	1137	1132	1148	1072	1137	66	1068	1069	1071	1065	1074	1070
32	1123	1113	1118	1137	1072	1064	68	1067	1066	1069	1067	1074	1070
34	1074	1105	1086	1135	1137	1069	70	1070	1065	1067	1068	1069	1075
36	1090	1069	1089	1133	1069	1094	72	1072	1066	1068	1066	1068	1074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก16 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 60 องศา อัตราการไหลที่ 8.6 mL/s (6 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1062	1072	1035	1052	1083	1098	42	1090	1088	1067	1112	1120	1069
4	1060	1159	1067	1042	1079	1099	44	1081	1099	1083	1063	1080	1068
6	1132	1138	1132	1131	1124	1063	46	1085	1070	1069	1060	1084	1082
8	1167	1066	1142	1141	1083	1084	48	1076	1073	1063	1083	1070	1073
10	1149	1130	1103	1084	1090	1131	50	1079	1075	1071	1069	1064	1083
12	1157	1076	1095	1126	1119	1071	52	1078	1073	1066	1083	1068	1082
14	1146	1124	1111	1145	1101	1106	54	1080	1073	1072	1071	1071	1081
16	1130	1130	1094	1141	1127	1117	56	1083	1070	1067	1075	1073	1075
18	1081	1137	1169	1123	1088	1135	58	1079	1077	1072	1079	1069	1084
20	1117	1114	1115	1101	1073	1137	60	1083	1072	1065	1080	1070	1080
22	1083	1126	1146	1111	1088	1139	62	1084	1071	1066	1076	1072	1079
24	1114	1136	1133	1138	1042	1142	64	1079	1077	1068	1074	1066	1068
26	1100	1133	1100	1117	1114	1104	66	1076	1075	1065	1080	1068	1076
28	1134	1100	1103	1134	1103	1036	68	1080	1076	1069	1076	1069	1081
30	1145	1080	1100	1115	1122	1139	70	1075	1071	1070	1075	1067	1083
32	1109	1060	1130	1127	1118	1131	72	1077	1078	1068	1069	1065	1067
34	1099	1112	1092	1120	1107	1130	74	1081	1080	1080	1069	1080	1075
36	1082	1075	1094	1112	1111	1100	76	1085	1082	1068	1080	1075	1062
38	1078	1080	1119	1121	1093	1032	78	1076	1080	1071	1076	1076	1077
40	1063	1075	1106	1055	1090	1067	80	1080	1067	1069	1078	1074	1067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก17 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 60 องศา อัตราการไหลที่ 12.9 mL/s (9 m/s)
ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1066	1048	1109	1064	1069	1072	34	1078	1072	1072	1072	1072	1068
4	1063	1080	1095	1069	1110	1097	36	1075	1068	1072	1074	1074	1063
6	1080	1066	1084	1114	1103	1082	38	1076	1064	1068	1078	1077	1070
8	1141	1141	1119	1101	1071	1106	40	1079	1068	1070	1078	1070	1068
10	1044	1148	1078	1109	1060	1095	42	1076	1068	1069	1072	1074	1070
12	1122	1132	1116	1130	1072	1103	44	1076	1069	1074	1071	1078	1070
14	1135	1119	1130	1146	1095	1128	46	1078	1070	1072	1075	1073	1073
16	1104	1129	1120	1117	1105	1125	48	1077	1068	1070	1074	1070	1069
18	1136	1129	1124	1123	1129	1045	50	1074	1069	1069	1075	1071	1069
20	1095	1131	1115	1126	1063	1116	52	1074	1068	1071	1075	1068	1070
22	1119	1077	1143	1105	1092	1128	54	1077	1068	1075	1075	1071	1069
24	1072	1081	1085	1090	1087	1110	56	1076	1068	1074	1074	1072	1070
26	1098	1117	1097	1106	1071	1090	58	1075	1072	1076	1069	1073	1072
28	1075	1082	1062	1078	1070	1063	60	1076	1072	1072	1070	1070	1072
30	1091	1098	1063	1104	1071	1084	62	1075	1073	1071	1068	1070	1071
32	1112	1061	1102	1070	1073	1062	64	1077	1068	1073	1069	1070	1070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก18 ค่าความหนาแน่น (kg/m^3) 2 หัวฉีด มุม 60 องศา อัตราการไหลที่ 17.2 mL/s (12 m/s) ทั้ง 6 หลอด ที่เวลาต่างๆ (นาที)

เวลา	1	2	3	4	5	6	เวลา	1	2	3	4	5	6
2	1112	1081	1067	1070	1061	1042	28	1069	1061	1060	1062	1076	1069
4	1126	1117	1096	1083	1054	1105	30	1068	1066	1069	1056	1073	1061
6	1087	1104	1135	1063	1115	1083	32	1060	1070	1064	1068	1073	1060
8	1052	1097	1125	1066	1069	1112	34	1066	1060	1073	1067	1072	1068
10	1113	1128	1098	1094	1060	1087	36	1063	1066	1065	1069	1068	1065
12	1078	1162	1147	1097	1139	1063	38	1065	1072	1067	1070	1069	1064
14	1119	1150	1127	1144	1148	1102	40	1060	1063	1067	1065	1069	1065
16	1108	1183	1106	1122	1094	1077	42	1064	1071	1066	1067	1068	1072
18	1106	1112	1084	1100	1068	1075	44	1061	1064	1068	1066	1069	1063
20	1119	1126	1082	1113	1056	1049	46	1068	1070	1070	1068	1069	1071
22	1139	1086	1084	1112	1060	1100	48	1070	1074	1075	1069	1064	1064
24	1079	1059	1086	1080	1054	1078	50	1069	1068	1070	1070	1070	1069
26	1050	1070	1071	1084	1094	1065	52	1068	1069	1068	1070	1072	1062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

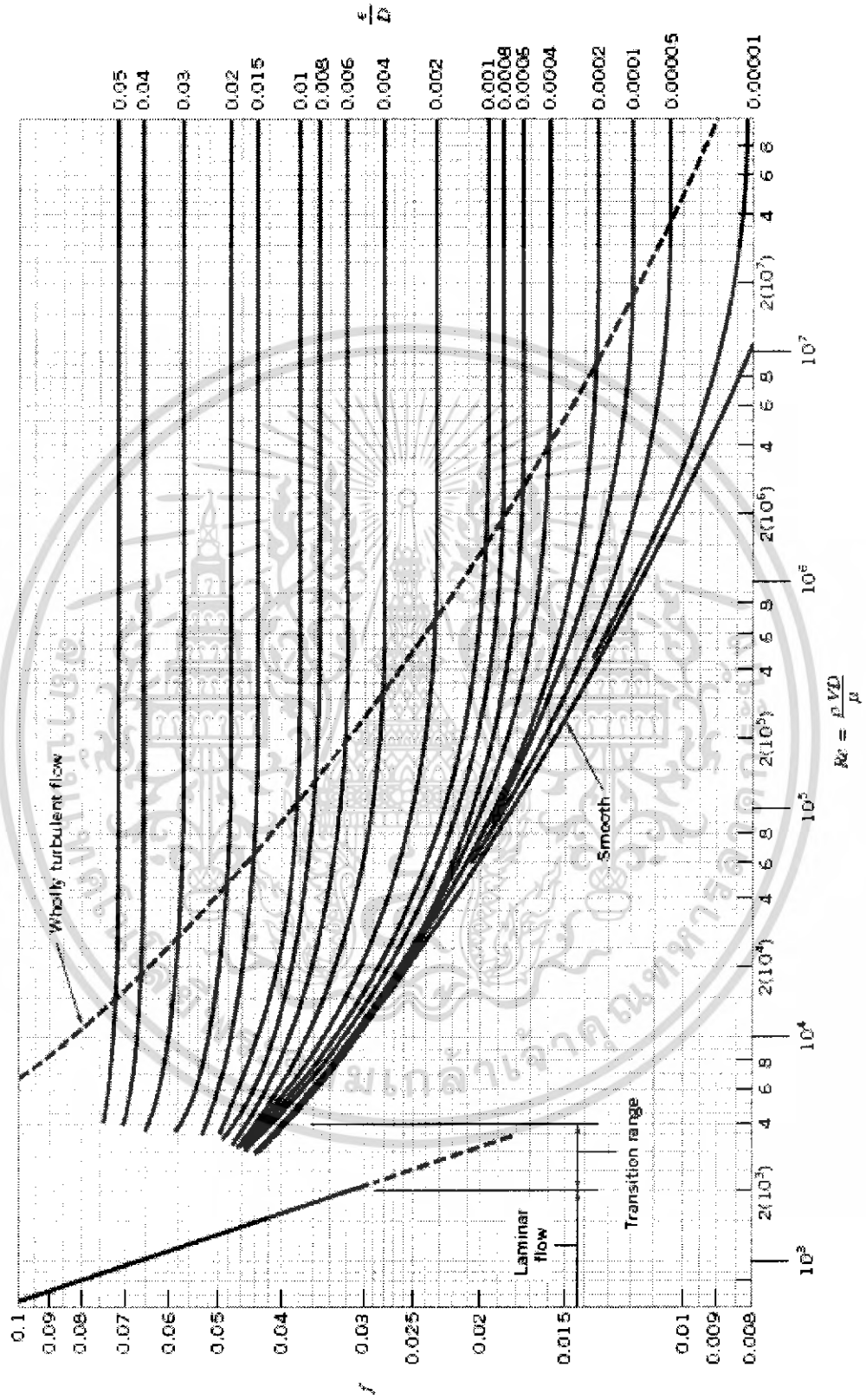


ภาคผนวก ข
รูปที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

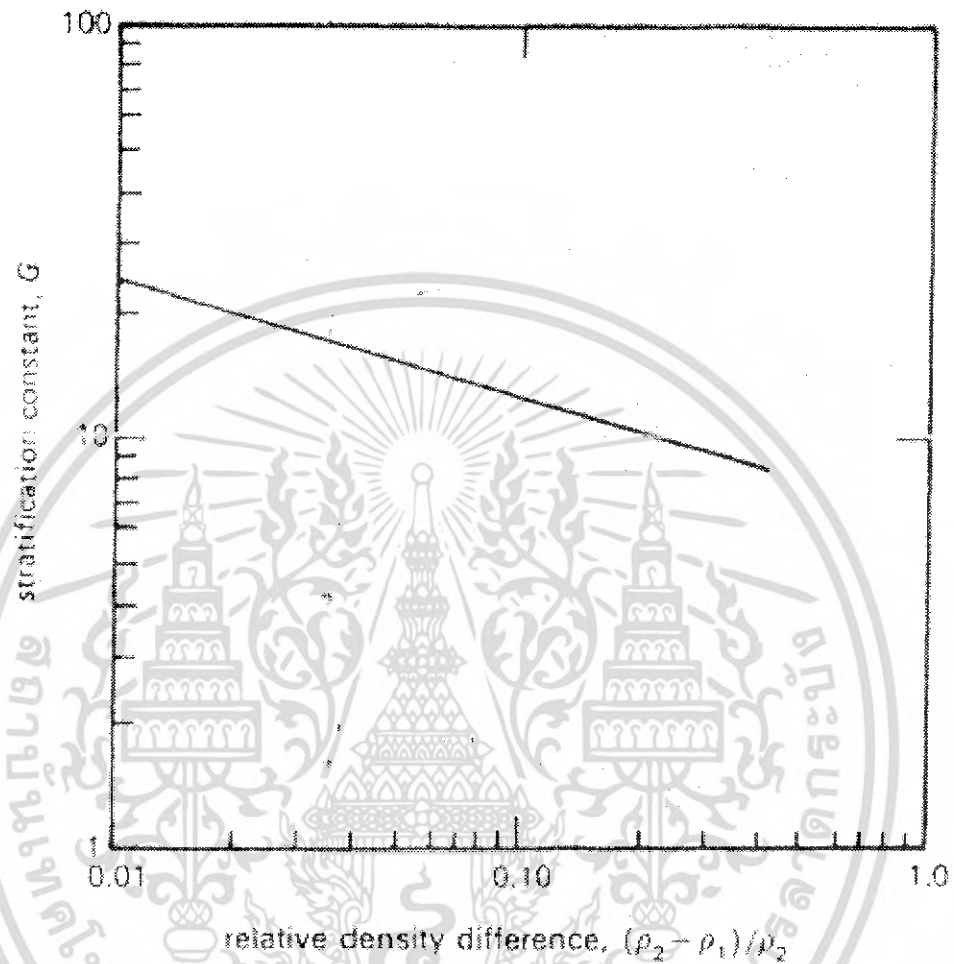
ภาคผนวก ข

รูปที่ ข1 Moody diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๖2 Stratification data

Jet mixing in tanks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมภายในถังแบบเจ็ต JET MIXING IN TANK

วัชรพงศ์ ดาราล้อม, สุภัทรชัย รongทอง, สุรศักดิ์ พันทับ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. มณฑล ใจกุล

บทคัดย่อ

โครงการนี้ทำการศึกษาการผสมภายในถังแบบเจ็ต เพื่อที่จะนำเสนอวิธีการทดลองการผสมโดยที่ปรับเปลี่ยนหัวฉีด 1 และ 2 หัวฉีด พร้อมกับจะปรับมุมของหัวฉีดที่ 30, 45 และ 60 องศา อีกทั้งทำการปรับอัตราการไหลของสาร (แป้งมันต์มูกเหนียว) ที่ 4.3, 5.7, 8.6, 12.9 และ 17.2 มิลลิลิตร/วินาที จากนั้นจะทำการวัดสารโดยใช้อุปกรณ์ดูดสารตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ขึ้นมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นและนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเวลาการผสม ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่ามุมองศาของหัวฉีดที่มีผลทำให้เวลาในการเริ่มของการผสมที่สมบูรณ์เร็วที่สุด ซึ่งตรงตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ รวมถึงพิจารณาว่าจำนวนของหัวฉีดไม่มีผลต่อเวลาในการเริ่มผสมที่สมบูรณ์ ที่อัตราการไหลที่เท่ากัน

Abstract

This project present the study of JET MIXING IN TANK aiming at conductive the experiment by using 1 and 2 jet's as well as ad justly the nozzle degree at 30, 45 and 60 degrees respectively including the flow rate of cooled tapioca starch at the rate of 4.3, 5.7, 8.6, 12.9 and 17.2 milliliters per second chronologically. Moreover the calculation for density, gained from the specimen at different degree and rates. The testing results show degree of nozzle have influences on this short mixing time rate the good agreement with the theoretical analysis and quantity is nozzle don't have influences on this mixing time rate at flow equally.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ได้เกิดวิกฤตน้ำมันแพงรัฐบาลจึงได้รณรงค์เรื่องการประหยัดพลังงานและการนำเข้ของสารเคมีหรือวัตถุดิบจากต่างประเทศ เราจึงได้ย้อนกลับไปพิจารณาถึงขั้นตอนกระบวนการการผลิต ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นนั้นเกิดจากหลายกระบวนการแต่มีอยู่กระบวนการหนึ่งที่สำคัญ คือกระบวนการการผสมแต่อุตสาหกรรมส่วน

ใหญ่จะใช้การผสมเป็นแบบใบพัดกวนซึ่งการผสมแบบนี้จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและวัตถุดิบ เราจึงจะหาวิธีการที่จะลดการสิ้นเปลืองนี้ลงได้แล้วเราได้เลือกใช้การผสมอีกวิธีหนึ่งก็คือ การผสมภายในถังแบบเจ็ต ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมและลดการสิ้นเปลืองได้

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อศึกษาและทดลองมุมมองของหัวฉีดที่มีผลต่อเวลาในการผสม พร้อมทั้งหาเวลาการผสมที่สมบูรณ์
- 2.2 ศึกษาจำนวนของหัวฉีดที่มีผลต่อการผสม
- 2.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎี

3. ขอบเขตการดำเนินงาน

- 3.1 ใช้หัวฉีดจำนวน 1 หัวและ 2 หัว
- 3.2 ทำการปรับแต่งมุมมองโดยอ้างอิงจากแนวระดับลงมาที่มุม 30, 45 และ 60 องศาที่ความเร็ว 3, 4, 6, 9 และ 12 m/s
- 3.3 สารที่ใช้ทำการผสมคือ แป้งมันต์มูกกับน้ำเปล่า
- 3.4 ค่าที่ทำการวัดได้แก่ ปริมาตร น้ำหนักของสารตัวอย่าง พร้อมทั้งหาความหนาแน่นและถ่ายภาพ

4. ทฤษฎีการผสมแบบเจ็ต

การผสมแบบเจ็ตใช้ในการผสมของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำในการไหลแบบปั่นป่วน (ค่าเรย์โนลด์เบอร์ที่หัวฉีดมากกว่า 100) ซึ่งสามารถผสมเข้ากันได้โดยทั่วไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมการผสมแบบเจ็ต นั้นจะมีกระแสของของเหลวพุ่งออกมาจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูงมา

กระทบของเหลวอีกชนิดที่อยู่ภายในถังและเกิดการผสมกันตามทิศทางที่เจ็ตวิ่งไป โดยหัวฉีดจะติดตั้งที่ด้านข้างหรือตามแนวแกนของถังในตำแหน่งใกล้พื้นของถังหรือพื้นผิวของของเหลวด้านบนโดยข้อดีของการผสมแบบเจ็ต (Jet Mixing) ได้แก่

1. อุปกรณ์ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับแบบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบเจ็ดไม่จำเป็นต้องใช้ถังผสมที่มีความแข็งแรงในการรองรับการทำงาน

3. การดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก
 4. ไม่มีส่วนของโครงสร้างที่รับน้ำหนัก
 5. ใช้ได้กับทั้งการผสมที่ระดับของเหลวขึ้นลงไม่สม่ำเสมอ
 6. สามารถนำไปใช้กับการผสมสารที่ทำปฏิกิริยากันได้
 7. ใช้ในการผสมสารที่มีสภาพเป็นกรดได้
- แต่แบบเจ็ดจะใช้พลังงานมากกว่าแบบใบพัดประมาณ 7 เท่า

5. รูปแบบการไหลในการติดตั้งหัวฉีด

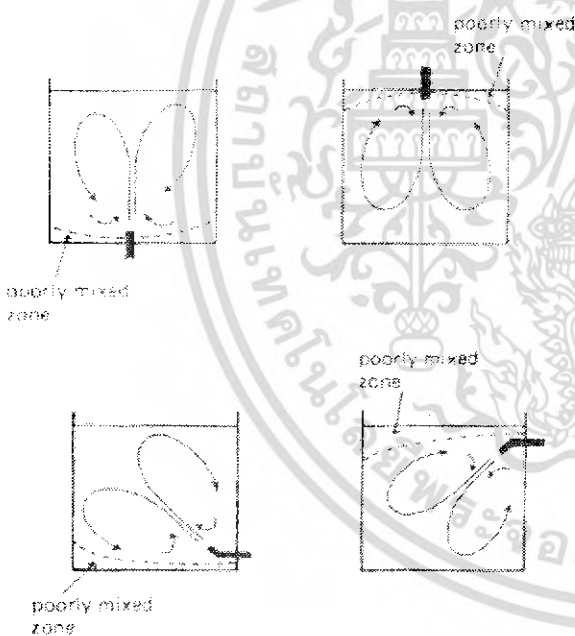
5.1 การเคลื่อนที่ของของไหลของการผสมภายในถังแบบเจ็ด

การผสมเกิดขึ้นได้เพราะ

1. ของไหลถูกฉีดจากหัวฉีดเข้าไปกระทบผนังภายในถัง
2. ของไหลเกิดการไหลวนโดยการเคลื่อนที่แบบเจ็ดภายในถัง
3. ของไหลที่ถูกฉีดเข้าไปจะผสมกันในการไหลแบบเจ็ด

5.2 รูปแบบการไหลในการติดตั้งหัวฉีดด้านข้างและติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกน

อธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงลักษณะเส้นทางการไหลของของไหลในการติดตั้งหัวฉีดด้านข้างและติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกน [10.2]

1. เกิดการขยายตัวของเจ็ดที่ถูกฉีดเข้าไปภายในถัง ซึ่งความเร็วและความปั่นป่วนของการไหลแบบเจ็ดจะค่อย ๆ ลดลง
2. เกิดการหมุนตัวของการไหลแบบเจ็ดเมื่อของเหลวกระทบกับพื้น ผนังของถังหรือพื้นผิวของของเหลว
3. หลังจากเกิดการหมุนตัวของการไหลแบบเจ็ดแล้ว จะทำให้การเคลื่อนที่ของของเหลวลดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 บริเวณ poorly mixed zone

คือบริเวณสุดท้ายที่จะเกิดการผสม ซึ่งขนาดของบริเวณนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจาก

1. การติดตั้งตำแหน่งของหัวฉีด
2. ขนาดของถังและเจ็ด
3. ระยะของหัวฉีดที่ยื่นเข้าไปในถัง
4. รูปร่างของพื้นถัง
5. ระดับการเปลี่ยนแปลงของชั้นของของเหลว

6. ทฤษฎีและหลักการ

6.1 การติดตั้งหัวฉีด ขนาดความสูง (H) และเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง (T)

กรณีติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกนควรให้อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของถังอยู่ในช่วง [10.2]

$$0.75 \leq \frac{H}{T} \leq 3.0 \tag{1}$$

และกรณีติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง [10.2]

$$0.25 \leq \frac{H}{T} \leq 1.5 \tag{2}$$

H = ความสูง
T = เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง
การที่ของเหลวจะผสมกันทั่วทั้งถังนั้นก็ต่อเมื่อขนาดของ jet path length, X มีความยาวมากที่สุด ซึ่งจะไม่น้อยกว่าค่า 400D_j (D_j คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด) สำหรับติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง [10.2]

$$X \approx (T^2 + H^2)^{1/2} \tag{3}$$

สำหรับติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกน [10.2]

$$X \approx H \tag{4}$$

ในกรณีติดตั้งหัวฉีดด้านข้างหัวฉีดควรยื่นเข้าไปในถังไม่เกิน 5D_j (D_j คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด) และอยู่เหนือหรือต่ำกว่าพื้นถังหรือพื้นของของเหลวตามลำดับ

ในกรณีติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกนหัวฉีดควรอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าพื้นของของเหลวหรือพื้นถังไม่เกิน 5D_j ตามลำดับ

6.2 การก่อตัวเป็นชั้น

ถ้าความแตกต่างของความหนาแน่นสัมพัทธ์ของของเหลวที่ถูกฉีดเข้าไปกับของเหลวที่อยู่ภายในถัง จะทำให้เกิดค่าความเร็ววิกฤต

ขึ้น, V_c ซึ่งเป็นค่าความเร็วต่ำสุดที่จะทำให้เกิดการผสมกันระหว่างของเหลว 2 ชนิด [10.2]

$$(\rho_2 - \rho_1) / \rho_2 > 0.05 \tag{5}$$

$$V_c = \left[\frac{2gH \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \right)^{1/2}}{\sin^2 \theta} \right]^{1/2} \tag{6}$$

- โดย θ = $\beta - 5^\circ$
 β คือ มุมของหัวฉีดที่วัดจากแนวระดับ
 ρ_2 คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลวที่ฉีดเข้าไปในถัง
 ρ_1 คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลวที่อยู่ในถัง
 G คือ stratification constant [10.2]

6.3. การออกแบบ

1. ออกแบบขนาดของถังโดยกำหนดค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง, T และค่าความสูง, H ของถัง

2. กำหนดค่าอัตราส่วน $\frac{H}{T}$ ว่าควรจะติดตั้งหัวฉีดด้านข้างหรือติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกน

3. กำหนดค่า jet part length, X สำหรับติดตั้งหัวฉีดตามแนวแกน [10.2]

$$X \approx H$$

สำหรับติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง [10.2]

$$X \approx (T^2 + H^2)^{1/2}$$

4. กรณีติดตั้งหัวฉีดด้านข้าง กำหนดหามุมของหัวฉีดที่ทำกับแนวระดับ, β

สำหรับติดตั้งหัวฉีดด้านบน [10.2]

$$\beta \approx \tan^{-1} \frac{H}{T} \tag{7}$$

สำหรับติดตั้งหัวฉีดด้านล่าง [10.2]

$$\beta \approx \tan^{-1} \frac{T}{H} \tag{8}$$

5. กำหนดหาความเร็วของเจ็ต สำหรับติดตั้งหัวฉีดด้านบน [10.2]

$$V_j \geq V_c \tag{9}$$

สำหรับติดตั้งหัวฉีดด้านล่าง [10.2]

$$V_j \geq 1.5V_c \tag{10}$$

โดย V_j คือ ความเร็วของหัวฉีด
 6. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด [10.12]

$$50 \leq \frac{X}{D_j} \leq 400 \tag{11}$$

7. กำหนดหาอัตราการไหลของเจ็ต [10.2]

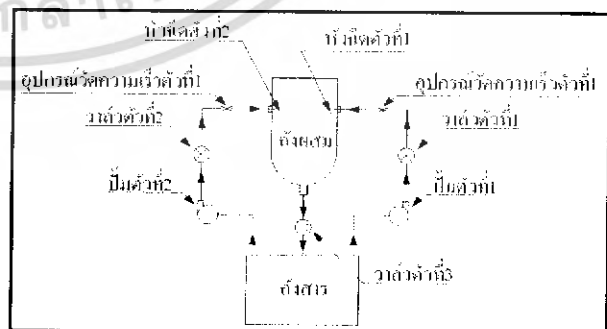
$$Q_j = \frac{\pi}{4} D_j^2 V_j \tag{12}$$

8. กำหนดหาขนาดของปั๊มจากสมการแบร์นูลลี

$$h_p = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho g} \right) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (Z_2 - Z_1) + h_L \tag{13}$$

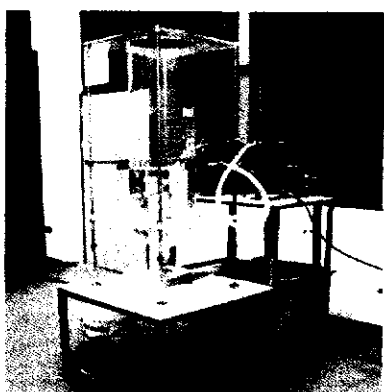
จากผลการคำนวณ

- ถังสูง 0.435 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.29 m
- Jet part length, X = 0.461 m
- มุมของหัวฉีด คือ 60 องศา
- ใช้สารที่มีค่าความหนาแน่น 1125 kg/m³ และ 1000 kg/m³
- ค่าความเร็ววิกฤต คือ 3.4 m/s
- เลือกติดตั้งหัวฉีดด้านบนและด้านข้างของถัง
- เลือกใช้ค่าความเร็วของเจ็ตที่ 6, 9, 12 m/s
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด คือ 1.35 mm
- อัตราการไหล คือ 8.6, 12.9, 17.2 m/s
- ใช้ปั๊มขนาด 3 เฟส 1 แรงม้า 2 ตัว



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ บนชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของชุดทดลองการผสมภายในถังแบบเจ็ต

7. ขั้นตอนการทดลอง

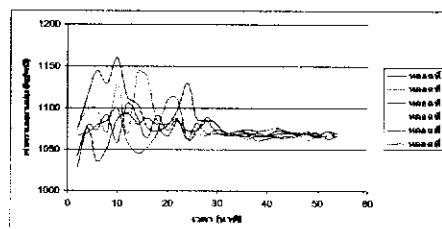
7.1 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

1. เตรียมสารโดยมีวัตถุคืบ คือ แบริ่งมันส์ปะหลังปริมาณ 1800 กรัม ต่อน้ำ 25 ลิตร
2. นำน้ำเปล่า 4 ลิตรจากน้ำ 25 ลิตร มาผสมกับแบริ่งมันส์ปะหลังละลายแบริ่งมันส์ปะหลังจนเข้ากันกับน้ำ
3. ต้มน้ำเปล่า 21 ลิตรจนเดือดประมาณ 100 องศา
4. นำแบริ่งมันส์ปะหลังที่ละลายแล้วใส่ลงในน้ำเดือดที่ละน้อยๆ แล้วกวนไปเรื่อยๆ จนเข้ากันประมาณ 10 นาที
5. พอได้แบริ่งมันส์ปะหลังต้มสุก ปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงผสมส่วนผสมอาหาร
6. ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนดไว้
7. นำน้ำเปล่ามารจุกภายในถังผสมปริมาณ 25 ลิตร
8. นำแบริ่งมันส์ปะหลังต้มสุกมาใส่ในถังเพื่อเตรียมทำการผสม
9. เตรียมอุปกรณ์ดูดสารตัวอย่างไว้ข้างชุดทดลอง
10. เตรียมกล้องถ่ายภาพ

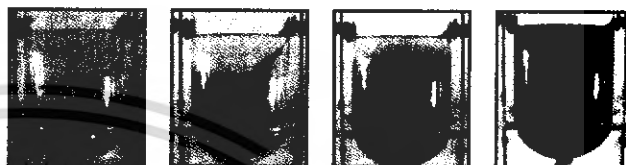
7.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดสวิทช์ปั๊มเพื่อทำการทดลองแล้วแต่กรณีการผสม 1 หัวฉีดหรือ 2 หัวฉีด
2. ทำการถ่ายภาพทุกๆ 5 วินาทีเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในถังผสม
3. ทำการดูดสารตัวอย่างทุกๆ 2 นาทีรวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 110 นาที
4. นำสารตัวอย่างที่ดูดไว้ใส่ลงในแก้วที่เตรียมไว้ 6 แก้ว
5. นำสารตัวอย่างที่ดูดได้ในแต่ละแก้วมาหาปริมาตรและน้ำหนัก เพื่อนำมาคำนวณหาความหนาแน่น ถ้าความหนาแน่นของแต่ละแก้วมีค่าเท่ากันก็แสดงว่าสารทดลองในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

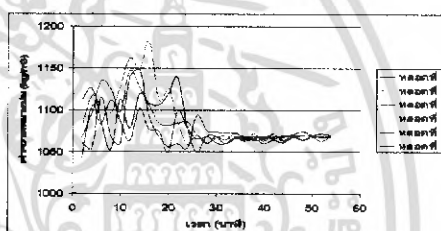
8. ตัวอย่างผลการทดลอง



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเวลาที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 1 หัวฉีด มุม 60 องศา



รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพถ่ายที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 1 หัวฉีด มุม 60 องศา



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเวลาที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 2 หัวฉีด มุม 60 องศา

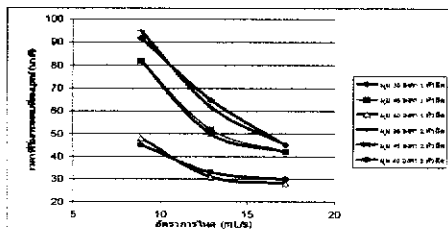


รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพถ่ายที่อัตราการไหล 17.2 mL/s 2 หัวฉีด มุม 60 องศา

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ที่มุม 30, 45 และ 60 องศา จำนวนหัวฉีด 1 และ 2 หัว

จำนวนหัวฉีด	1			2		
	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s
30	92	65	45	95	62	45
45	82	52	42	82	50	42
60	48	31	28	45	33	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

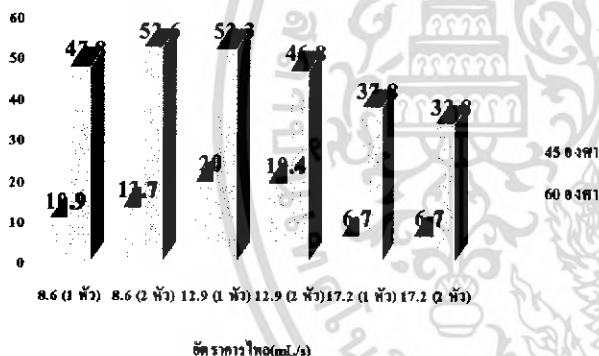


รูปที่ 9 เปรียบเทียบเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ของมูมของหัวฉีด จำนวนหัวฉีด 1 และ 2 หัว

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ที่มูม 45 และ 60 เมื่อเทียบกับมูม 30 องศา

จำนวนหัวฉีด	1			2		
	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s	8.6 mL/s	12.9 mL/s	17.2 mL/s
45	10.9	20	6.7	13.7	19.4	6.7
60	47.8	52.3	37.8	52.6	46.8	33.8

เปอร์เซ็นต์ (%)



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์ที่มูม 45 และ 60 เมื่อเทียบกับมูม 30 องศา

ตารางที่ 3 แสดงการเกิดการผสมขึ้นที่ความเร็วและมูมของหัวฉีดต่างๆ

ความเร็ว \ มูม	3 m/s	4 m/s	6 m/s	9 m/s	12 m/s
30	ไม่มีการผสม	ไม่มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม
45	ไม่มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม
60	ไม่มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม	มีการผสม

8.1 จากข้อมูลที่ได้พิจารณาแล้วพบว่า

1. มูมของหัวฉีดที่มีผลให้เส้นทางการเดินของสารมากที่สุด หรือการผสมที่บริเวณกันถังจะมีผลทำให้เวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์เร็วขึ้น
2. จำนวนของหัวฉีดไม่มีผลต่อเวลาที่เริ่มของการผสมที่สมบูรณ์
3. จากผลการทดลองพิสูจน์ว่ามูม 60 องศา จะทำการผสมได้ดีกว่ามูม 30, 45 องศาซึ่งสอดคล้องกับสมการ (7)
4. จากการทดลองความเร็วที่ 3, 4 m/s พบว่าความเร็วที่ 3 m/s ซึ่งต่ำกว่าความเร็ววิกฤตจะไม่เกิดการผสมขึ้นแต่ความเร็วที่ 4 m/s จะเกิดการผสมซึ่งสอดคล้องกับสมการ (6)

9. สรุปผลการทดลอง

ชุดทดลองเครื่องผสมชนิดการผสมภายในถังแบบเจ็ตสามารถปรับการใช้งานหรือการผสมได้ ทั้ง 1 หัวฉีดและ 2 หัวฉีดซึ่งเหมาะสำหรับการศึกษาในด้านของการผสมอีกรูปแบบหนึ่ง โดยชุดทดลองนี้ได้จำลองขนาดของถังผสมลงมาเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและเหมาะกับผู้ที่สนใจหรือผู้ที่ต้องการศึกษาลักษณะการผสมแบบนี้ อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณของสารที่ต้องการนำมาทดลอง รวมถึงตำแหน่งการติดตั้งของหัวฉีด ลักษณะรูปร่างของกันถังผสม และอื่นๆ ได้อีกตามความต้องการ

10. เอกสารอ้างอิง

10.1 Edward, L.P. et al. (2004), Hand Book of Industrial Mixing, John Wiley and Sons, New York, pp. 96-103, 202-203.

10.2 N. Hamby, M.F. Edwards, A.W. Nienow (1992), Mixing in the process industries, Oxford : Butterworth-Heinemann

10.3 Gang Pan. Dept. of Mechanical & Aerospace Engineering. Thesis, State University of New York at Buffalo, The United State Of America.

10.4 Mark J. Carletti et al. Tufts University, Mechanical Engineering Department, McDonnell Douglas Corporation. USA.

10.5 Hui HU.(2001), Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan.