

การศึกษาการผสมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง  
ในวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วย

นายปิยะพงษ์ ชีนิเศษ  
นางสาววรินทร์ เหล่าศิริถาวร

อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF MIXING FOR CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR  
(CSTR) IN UNIT OPERATIONS LABORATORY

MR. PIYAPHONG CHUENWISET

MISS. WARINTORN LOUSIRITAWORN

ADVISOR


ASST. PROF. DR. SANTI WATTANANUSORN


A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

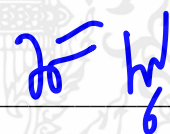
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ การศึกษาการผสมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องในวิชา  
ปฏิบัติการเฉพาะหน่วย  
โดย นายปิยะพงษ์ ชื่นวิเศษ  
นางสาววรินทร์ เหล่าศิริถาวร  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

 ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. สันติ วัฒนานุสรณ์)

 กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์.ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

 กรรมการ  
(ดร. นริศรา ทองบุญชู)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์	การศึกษาการผสมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องในวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วย
โดย	นายปิยะพงษ์ ชื่นวิเศษ นางสาววรินทร์ เหล่าศิริถาวร
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาชุดการทดลองเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง เพื่อสร้างเพื่อสร้างคู่มือสำหรับวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วย ชุดทดลองที่ศึกษาประกอบด้วย ถังผสมขนาด 1,000 mL 3 ถังต่อกันแบบอนุกรม ใบกวนเป็นรูปแบบผสมระหว่าง Propeller และ Turbines และหัววัดค่าการนำไฟฟ้า การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการหาเวลาในการผสมของถังผสมทั้งหมด ส่วนที่สองศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่าง 0.06 M เอทิลอะซิเตทและ 0.06 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สุดท้ายศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง โดยกำหนดอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่ 13 16 และ 19 L/h และความเร็วรอบใบกวนที่ 200 300 และ 400 rpm จากการทดลองพบว่าเวลาในการผสมของถังทั้งสามมีค่าเท่ากับ 20 25 และ 20 s ตามลำดับ จากการผสมในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะพบว่า ณ เวลาเดียวกันความเร็วรอบใบกวนที่สูงกว่า จะได้ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่า เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเร็วรอบใบกวน เวลาที่สารสัมผัสกันเพื่อผสมและทำปฏิกิริยาจะลดลงทำให้สารเกิดปฏิกิริยากันได้น้อยลง และจากการทดลองแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องพบว่า เมื่ออัตราการไหลของสารตั้งต้นมีค่าเท่ากับที่ 16 L/h ความเร็วรอบใบกวนที่สูงกว่าจะให้ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่า และที่ความเร็วรอบของใบกวนเท่ากับที่ 200 rpm อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่สูงกว่าจะให้ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่า เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหล จะทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์และเอทิลอะซิเตทมีระยะเวลาในการสัมผัสเพื่อทำปฏิกิริยากันน้อยลงทำให้สารเกิดปฏิกิริยาเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ได้น้อยลง ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สารจะผสมและเกิดปฏิกิริยากันได้ดีที่ความเร็วรอบต่ำ และในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องสารจะผสมและเกิดปฏิกิริยาได้ดีเมื่ออัตราการไหลของสารตั้งต้นต่ำและเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของใบกวน

**Report title** A study of mixing for continuous stirred tank reactor (CSTR) in Unit  
Operations Laboratory  
**By** Piyaphong Chuenwiset  
Warintorn Lousiritaworn  
**Degree** Bachelor of Engineering  
**Program** Chemical Engineering

## ABSTRACT

This research study investigates a continuous stirred tank reactor (CSTR) to create a manual for a unit operation laboratory. The experimental setup consists of three 1,000 mL mixing tanks arranged in series. The impellers used are a combination of propeller and turbines, and conductivity measurements are taken. The experiment is divided into three parts. The first part determines the mixing time for all three tanks. The second part investigates the saponification reaction between 0.06 M ethyl acetate and 0.06 M sodium hydroxide in the agitated CSTR. Lastly, the saponification reaction is studied in the continuous stirred tank reactor with flow rates of 13, 16, and 19 L/h and impeller speeds of 200, 300, and 400 rpm. The results show that the mixing times for the three tanks are 20, 25, and 20 seconds, respectively. In the agitated CSTR, it is observed that at the same time, higher impeller speeds result in lower product concentrations due to reduced contact time and reaction rates. In the continuous CSTR, when the initial flow rate is the same at 16 L/h, higher impeller speeds yield higher product concentrations. Additionally, when the impeller speed is the same at 200 rpm, higher initial flow rates lead to lower product concentrations. This is because increasing the flow rate reduces the contact time for sodium hydroxide and ethyl acetate, resulting in a lower extent of reaction. Therefore, it can be concluded that in the agitated CSTR, better mixing and reaction occur at lower impeller speeds, while in the continuous stirred tank reactor system, better mixing and reaction occur with lower initial flow rates and improved reaction rates when increasing impeller speeds.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร. สันติ วัฒนานุกรณ์ และ ดร. เอกราช บำรุงไทยชัยชาญ ที่ได้สละเวลา เพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ และเสนอแนวคิดในการดำเนินงานและให้ความรู้ และประสบการณ์อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำ รวมถึงเอาใจใส่ในทุกขั้นตอนในการทำงาน และพร้อมที่จะให้ทำปรึกษายู่เสมอ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณผู้พระคุณท่านอื่น ที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่คอยให้คำปรึกษา สนับสนุน และเป็นกำลังใจให้คณะผู้จัดทำตลอดระยะเวลาดำเนินงานที่ผ่านมา จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่าปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

นายปิยะพงษ์ ชื่นวิเศษ  
นางสาววรินทร์ เหล่าศิริถาวร

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป .....	VI
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 เครื่องปฏิกรณ์เคมี (Chemical reactor).....	3
2.2 การจำแนกชนิดของเครื่องปฏิกรณ์.....	6
2.3 ปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification reaction).....	7
2.4 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC).....	10
2.5 การกวนและการผสม (Agitation and Mixing) .....	10
2.6 เวลาในการผสม (Mixing time) .....	11
2.7 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน .....	16
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	16
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	16
3.3 การเตรียมสารละลาย.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตั้งค่าคอมพิวเตอร์และวิธีการเก็บข้อมูลการทดลอง.....	17
3.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	22
4.1 การวัดอัตราการไหลของป้อน.....	22
4.2 การสร้าง Calibration Curve เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นและค่า Conversion ของผลิตภัณฑ์.....	23
4.3 การหา Mixing time.....	24
4.4 การทดลองแบบ Batch Reactor.....	27
4.5 การทดลองแบบ Continuous reactor แบบอนุกรม 3 ถัง.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	53
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
เอกสารอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก.....	58
ภาคผนวก ข.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์เคมี [5] .....	3
รูปที่ 2.2 รูปแบบการไหลของของเหลว [14].....	4
รูปที่ 2.3 ไบคววนสำหรับการทดลอง [5].....	5
รูปที่ 2.4 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่าง ๆ [6] .....	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของเอทิลอะซิเตท [19].....	8
รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ [20] .....	8
รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตท [21] .....	9
รูปที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของเอทานอล [22] .....	9
รูปที่ 2.9 ระบบการวัดค่าการนำไฟฟ้า [10].....	10
รูปที่ 2.10 สัดส่วนของถังกวนแบบมาตรฐาน [15].....	12
รูปที่ 2.11 เวลาในการผสมกรณีต่าง ๆ (เส้นประคือถังกวนที่ไม่มีแผ่นกั้น) [15].....	12
รูปที่ 2.12 ความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบของไบคววนต่าง ๆ [18] .....	13
รูปที่ 2.13 ค่า Conversion กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อัตราการกวนต่างกัน [18].....	13
รูปที่ 2.14 ค่าการนำไฟฟ้าเทียบกับเวลาสำหรับปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของเอทิลอะซิเตทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ [3].....	14
รูปที่ 2.15 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นต่อค่าคงที่อัตราและค่า Conversion [3].....	14
รูปที่ 2.16 ผลของอัตราการกวนต่อค่าการนำไฟฟ้าและค่า Conversion [3].....	15
รูปที่ 2.17 ค่าการนำไฟฟ้าเทียบกับเวลาสำหรับปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อุณหภูมิคงที่ [4] .....	15
รูปที่ 4.1 อัตราการไหลของบีมที่บนจอแสดงผลเทียบกับอัตราการไหลที่วัดได้จากการทดลอง .....	22
รูปที่ 4.2 Calibration Curve เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นและค่า Conversion ของผลิตภัณฑ์....	23
รูปที่ 4.3 Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับค่าการนำไฟฟ้า .....	24
รูปที่ 4.4 Mixing time ภายในถังปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 1 .....	25
รูปที่ 4.5 Mixing time ภายในถังปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 2 .....	25
รูปที่ 4.6 Mixing time ภายในถังปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 3 .....	26
รูปที่ 4.7 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบไบคววนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป .....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป กรณี Batch reactor .....	28
รูปที่ 4.9 แสดงแนวโน้มความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน.....	29
รูปที่ 4.10 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป .....	30
รูปที่ 4.11 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน	30
รูปที่ 4.12 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และความเข้มข้นของ โซเดียมอะซิเตท เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของใบกวน กรณี Batch reactor.....	31
รูปที่ 4.13 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวน 200 rpm เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	32
รูปที่ 4.14 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวน 300 rpm เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	33
รูปที่ 4.15 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวน 400 rpm เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	33
รูปที่ 4.16 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถึงที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไปกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	34
รูปที่ 4.17 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถึงที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	35
รูปที่ 4.18 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถึงที่ 3 เมื่อเวลาผ่านไปกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง.....	35
รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบใบกวน 200 rpm ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	37
รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบใบกวน 300 rpm ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	37
รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบใบกวน 400 rpm ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	38
รูปที่ 4.22 แสดงแนวโน้มความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท ที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง ณ เวลา 2,700 s.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.23 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวน 200 rpm เมื่อเวลาผ่านไป กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	40
รูปที่ 4.24 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวน 300 rpm เมื่อเวลาผ่านไป กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	40
รูปที่ 4.25 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวน 400 rpm เมื่อเวลาผ่านไป กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	41
รูปที่ 4.26 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	41
รูปที่ 4.27 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหล 13 L/h เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	43
รูปที่ 4.28 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหล 16 L/h เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	43
รูปที่ 4.29 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหล 19 L/h เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	44
รูปที่ 4.30 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในถึงกวนผสมต่อเนื่องถึงที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไปกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	45
รูปที่ 4.31 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในถึงกวนผสมต่อเนื่องถึงที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	45
รูปที่ 4.32 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในถึงกวนผสมต่อเนื่องถึงที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	46
รูปที่ 4.33 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่อัตราการไหล 13 L/h ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	47
รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่อัตราการไหล 16 L/h ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	48
รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่อัตราการไหล 19 L/h ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	48
รูปที่ 4.36 แสดงแนวโน้มความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท ที่อัตราการไหลต่างกัน กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง ณ เวลา 2,700 s.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.37 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหล 13 L/h เมื่อเวลาผ่านไป กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	50
รูปที่ 4.38 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหล 16 L/h เมื่อเวลาผ่านไป กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	51
รูปที่ 4.39 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหล 19 L/h เมื่อเวลาผ่านไป กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	51
รูปที่ 4.40 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหลต่างกัน กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง .....	52



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงการเตรียมสารละลายที่ Conversion ต่าง ๆ .....	19
ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ .....	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการผสมระหว่างของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว หรือของแข็งกับของเหลว ถือเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญที่นิยมใช้ในหลายอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร การผลิตยาและเวชภัณฑ์ รวมถึงกระบวนการผลิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี [1] โดยการผสมจะเป็นการนำสารหรือองค์ประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมให้เป็นของผสมที่มีการกระจายตัวของสารองค์ประกอบหนึ่งอยู่ในสารอีกองค์ประกอบหนึ่งให้มีลักษณะเป็นของผสมเนื้อเดียวกัน เป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับปฏิกิริยาในวัฏภาคของเหลว

เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องเป็นอุปกรณ์ใหม่ของทางภาควิชาและยังไม่การนำไปใช้ในวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วย เนื่องจากบุคลากรในภาควิชา รวมถึงนักศึกษาส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการใช้งาน ผู้ทำการวิจัยจึงสนใจนำเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องนี้มาใช้ประโยชน์ โดยการศึกษาและทำความเข้าใจกระบวนการผสม วิธีการใช้งาน ประโยชน์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง รวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการสร้างคู่มือสำหรับวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วย

การไฮโดรไลซิสของเอทิลอะซิเตตเป็นหนึ่งในปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่เป็นที่รู้จักมากที่สุด นิยมใช้เป็นแบบจำลองของปฏิกิริยาอันดับที่สองสำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ทางเคมี [2] โดยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน คือ การไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ภายใต้สภาวะปกติ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์และเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก (คาร์บอกซิเลต) มักใช้อ้างอิงถึงปฏิกิริยาของโลหะอัลคาไลกับไขมันเพื่อสร้างสบู่ [3] โดย D. Kuheli และคณะ [4] พบว่าสามารถใช้เครื่องมือตรวจสอบการนำไฟฟ้าในการศึกษาจลนศาสตร์เกี่ยวกับการไฮโดรไลซิสของเอทิลอะซิเตตได้

เนื่องจากความเข้าใจในกระบวนการผสมมีความสำคัญต่อการออกแบบกระบวนการผสมให้เหมาะสมกับการใช้งาน ผู้ทำวิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง รวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ โดยทดลองศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างเอทิลอะซิเตตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์และสรุปผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างคู่มือสำหรับวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วย
2. เพื่อศึกษากระบวนการผสมและปัจจัยที่ส่งผลต่อการผสมในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาปฏิกริยาระหว่างเอทิลอะซิเตทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. ใช้ชุดทดลองเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง รุ่น RU02C ของบริษัท Wisdom inventor

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจวิธีการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องอย่างถูกต้อง
2. สามารถสร้างคู่มือสำหรับใช้ในวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วยได้
3. สามารถนำเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องมาใช้ในห้องปฏิบัติการได้อย่างคุ้มค่า
4. เข้าใจกระบวนการผสมและปัจจัยที่ส่งผลต่อการผสมในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

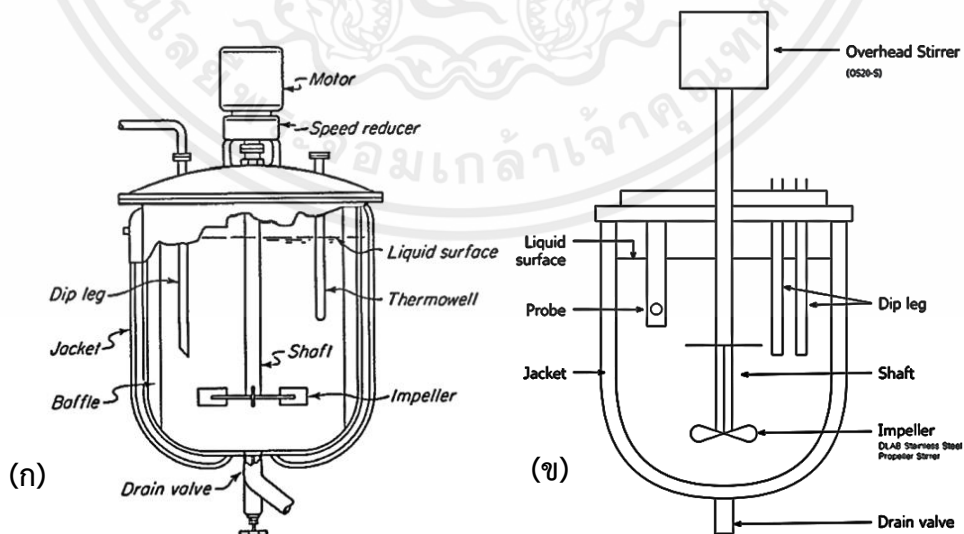
## 2.1 เครื่องปฏิกรณ์เคมี (Chemical reactor)

### 2.1.1 ส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์เคมี

ถังสำหรับกวนผสมของเหลวมักมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ติดตั้งอยู่ในแนวตั้งเรียกว่า ถังกวนผสม (Agitated Vessels) ส่วนบนของถังเป็นแบบเปิดออกสู่อากาศได้ ส่วนล่างมีลักษณะโค้ง ความลึกของถังประมาณเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง มักจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และลักษณะของการกวนผสม โดยส่วนประกอบหลักประกอบด้วยตัวถังปฏิกรณ์ (Vessel) ใบกวน (Impeller) มอเตอร์สำหรับการผสม (Mixer motor) และแผ่นกั้น (Baffles) ถังกวนผสมแบบมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 2.1 (ก) [5]

ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถังกวนผสมจะมีการป้อนสารตั้งต้นเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และตั้งผลิตภัณฑ์ออกจากถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องในสภาวะคงตัว (Steady state) ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมมีใบกวนช่วยกวนผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารหลังทำปฏิกิริยาเท่ากันตลอดทั้งถัง รวมถึงช่วยในการถ่ายเทมวลของสารที่มีความหนืดสูง การถ่ายเทความร้อนทำได้ด้วยการติดตั้งแจ็กเก็ตบริเวณรอบถังหรือใช้ขดลวด (Coil) ติดตั้งภายในถัง

เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องนิยมใช้กับปฏิกิริยาในวัฏภาคของเหลวในปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์หรือปฏิกิริยาที่ของผสมอยู่ในวัฏภาคเดียวกันแล้ว ยังใช้ในปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในวัฏภาคแก๊ส-ของเหลว วัฏภาคแก๊ส-ของเหลว-ของแข็งที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์เคมี [5]

(ก) ถังกวนผสมแบบมาตรฐาน (ข) ถังกวนผสมสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องในการทดลองเป็นแบบ Jacketed Reactor ชนิด Double Layer Glass Reactor ขนาด 1000 mL มีวัสดุคั่นกลาง (Interlayer) ระหว่างชั้นในและชั้นนอก วัสดุคั่นกลางทนต่อความร้อนและความเย็น มีท่อสำหรับป้อนสารละลายจำนวน 2 ท่อ ถูกส่งมาจากปั๊ม (ยี่ห้อ Prominent gamma/ X) หัววัดค่าการนำไฟฟ้าจำนวน 1 หัว ใบกวนเป็น Turbines (ยี่ห้อ DLAB รุ่น 18900071) จำนวน 1 ตัว และเครื่องกวนสารแบบใบกวน (Overhead Stirrer รุ่น OS20-S) จำนวน 1 เครื่อง แสดงดังรูปที่ 2.1 (ข)

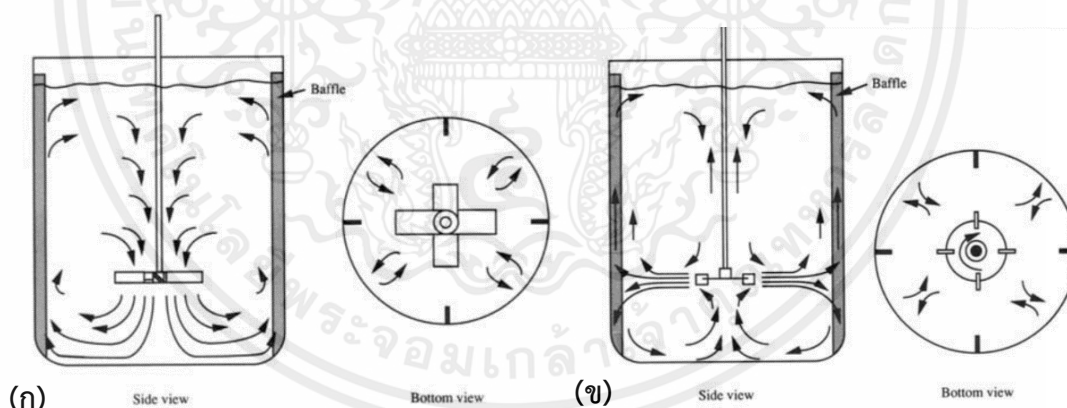
## 2.1.2 รูปแบบการไหลของของเหลว

### 2.1.2.1 การไหลตามแนวแกน (Axial flow)

เหมาะสำหรับการกวนผสมระหว่างของเหลวกับของเหลวที่ทำให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดการไหลในแนวแกน z หรือไหลตามแนวของเพลลา เช่น ใบกวนแบบ Propeller แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก)

### 2.1.2.2 การไหลตามแนวรัศมี (Radial flow)

สร้างแรงเฉือนและกระแสน้ำวนแบบปั่นป่วน เหมาะสำหรับการกวนผสมของแก๊สและของเหลว การกวนผสมของเหลวอิมัลชัน หรือสารที่ผสมกันไม่ได้หรือความหนืดสูง เกิดการไหลตามแนว  $\theta$  และ r หรือทิศทางรอบเพลลาและออกในแนวรัศมี เช่น ใบกวนแบบ Turbines แสดงดังรูปที่ 2.2 (ข) [5]



รูปที่ 2.2 รูปแบบการไหลของของเหลว [14]

(ก) การไหลตามแนวแกน (ข) การไหลตามแนวรัศมี

### 2.1.3 ชนิดของใบกวน

โดยทั่วไปใบกวนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักคือ Propeller, Paddles และ Turbines แต่ละประเภทจะมีหลายรูปแบบ โดยใบกวนชนิดพิเศษสามารถใช้ประโยชน์ได้ในบางสถานการณ์หรือบางกรณีเท่านั้น แต่ใบกวนทั้ง 3 ประเภทหลักสามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาในการกวนผสมของเหลวทั้งหมด [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบกวนนอกจากช่วยในการเร่งปฏิกิริยา หรือผสมสารให้มีเนื้อเดียวกันแล้ว ยังช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลและความร้อนในกรณีที่สารมีความหนืดสูง เช่น ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ในการเลือกใช้ใบกวนจะต้องระวังเรื่องลักษณะของใบกวน เนื่องจากการใช้ใบกวนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพในการกวนผสมลดลง

### 2.1.3.1 ใบกวนชนิด Turbines

ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องกวนแบบหลายใบกวนติดอยู่บนเพลาหมุน (Shaft) มีใบกวนติดอยู่บริเวณกลางถึง ใบกวนอาจเป็นแบบตรง โค้ง แหลมหรืออยู่ในแนวตั้งก็ได้ มีความเร็วสูงเป็นลักษณะการไหลในแนวรัศมี (Radial flow)

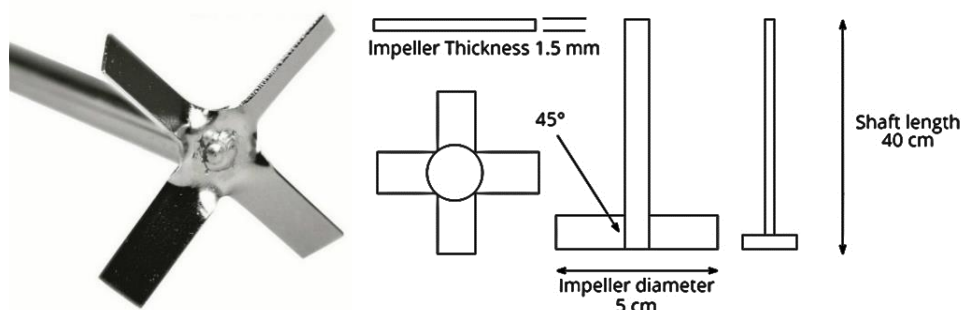
การหมุนวนภายในถังปฏิกรณ์ ของเหลวจะเคลื่อนตามแนวรัศมีกับผนังโดยที่กระแสการไหลจะถูกแบ่งออก ส่วนหนึ่งไหลลงไปที่ด้านล่างและกลับไปสู่ศูนย์กลางของใบพัดจากด้านล่าง และอีกส่วนหนึ่งไหลขึ้นสู่พื้นผิวและกลับไปใบกวน มุมระหว่างเส้นคอर्डของใบกวนกับระนาบการหมุนของใบกวน เรียกว่า Pitch

### 2.1.3.2 ใบกวนชนิด Propeller

เป็นใบกวนตั้งแต่ 2 ใบขึ้นไป ที่ติดอยู่บนเพลาหมุน (shaft) และมีใบกวนติดอยู่บริเวณกลางถึงและมีความเร็วสูงเป็นลักษณะการไหลตามแนวแกน (Axial flow) สำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ

การหมุนวนภายในถังปฏิกรณ์ ของเหลวจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน z เป็นระยะทางคงที่ขึ้นอยู่กับมุมเอียงของใบกวน อัตราส่วนของระยะห่างนี้ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน เรียกว่า Pitch ใบกวนมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 18 นิ้วโดยไม่คำนึงถึงขนาดของถังกวน ถึงที่สึกอาจติดตั้งใบกวนตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปบนเพลาหมุนเดียวกัน

ในการทดลองใช้ใบกวนที่ ผสมระหว่าง Pitch-blade turbine กับ Propeller ยี่ห้อ DLAB รุ่น 18900071 วัสดุเป็นสแตนเลสชนิด 316L ความยาวเพลาขนาด 40 cm เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 cm ความหนาขนาด 1.5 mm และมุมเอียงของใบกวนเท่ากับ 45 องศา แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ใบกวนสำหรับการทดลอง [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การจำแนกชนิดของเครื่องปฏิกรณ์

โครงสร้างและการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ในอุตสาหกรรมเคมีมีหลายชนิด แยกออกเป็นแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์ โดยทั่วไปเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเอกพันธ์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ไหลในสภาวะคงตัว (Steady-state flow reactor) และเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ไหลในสภาวะไม่คงตัวหรือกึ่งต่อเนื่อง (Unsteady-state flow reactor หรือ Semi-batch reactor) [6]

### 2.2.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)

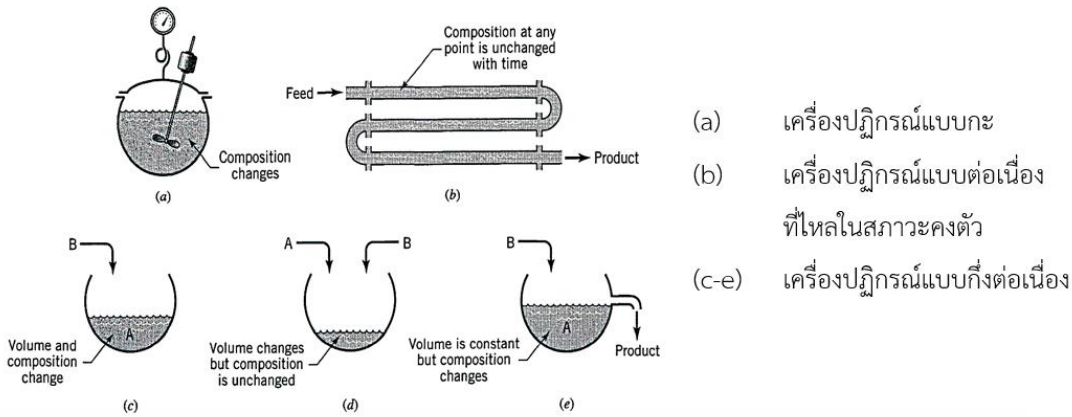
เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่เรียบง่าย เหมาะสำหรับการศึกษาทดลองขนาดเล็ก นิยมใช้ในกระบวนการใหม่และกระบวนการที่มีผลผลิตน้อย เครื่องปฏิกรณ์แบบกะเริ่มต้นจากการป้อนสารตั้งต้นทั้งหมดเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์หนึ่งครั้งก่อนเริ่มปฏิกิริยา และปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไป หลังจากนั้นจึงผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือออกจากถังปฏิกรณ์เมื่อสิ้นสุดเวลาในการทำปฏิกิริยามักดำเนินการในระบบปิด มวลรวมของแต่ละกะคงที่ ระยะเวลาของสารตั้งต้นที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (Residence time) สำหรับองค์ประกอบทั้งหมดของของไหลจะเท่ากัน องค์ประกอบจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา [7] ดังแสดงตามรูปที่ 2.4 (a)

### 2.2.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ไหลในสภาวะคงตัว (Steady-state flow reactor)

สารตั้งต้นถูกป้อนเข้าถังปฏิกรณ์และดึงผลิตภัณฑ์ออกจากถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องและอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state) คือไม่มีการสะสมมวลสารและความร้อน ทำให้ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบและอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เหมาะสำหรับกระบวนการขนาดใหญ่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นควบคุมได้ง่าย และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug flow reactor หรือ PFR) แสดงดังรูปที่ 2.4 (b) และเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง (Continuous stirred tank reactor หรือ CSTR)

### 2.2.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-batch reactor)

เครื่องปฏิกรณ์ที่มีสารตั้งต้นอย่างน้อยหนึ่งกระแส ระบบจะอยู่ในสภาวะไม่คงตัว ทำให้ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถดำเนินการได้หลายแบบเช่น กรณีที่ 1 สารตั้งต้น A มีลักษณะการป้อนแบบกะ ส่วนสารตั้งต้น B มีลักษณะการป้อนแบบต่อเนื่อง กรณีที่ 2 สารตั้งต้น A และ B มีลักษณะการป้อนแบบต่อเนื่อง แต่ผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะแบบกะ และกรณีที่ 3 สารตั้งต้น A มีลักษณะการป้อนแบบกะ แต่ในส่วนของสารตั้งต้น B และผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแบบต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 2.4 (c-e) ตามลำดับ [8]



รูปที่ 2.4 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่าง ๆ [6]

### 2.3 ปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification reaction)

การไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ภายใต้สภาวะปกติ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์และเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก (คาร์บอกซิเลต) และมักใช้เพื่ออ้างอิงถึงปฏิกิริยาของโลหะอัลคาไลกับไขมันเพื่อสร้างสบู่ [3] ดังสมการ



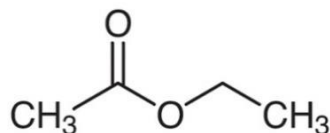
ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาที่เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate) ถูกสลายพันธะเอสเทอร์ด้วยด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate) และแอลกอฮอล์ ดังสมการ



#### 2.3.1 เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทหนึ่งซึ่งเป็นเอสเทอร์ของเอทานอลและกรดอะซิติก มีลักษณะเป็นของเหลว ไม่มีสี ระเหยได้ กลิ่นคล้ายลูกโป่งวิทยาศาสตร์ ความเป็นพิษต่ำ ติดไฟได้ง่าย ใช้เป็นตัวทำละลายเจือจางในงานอุตสาหกรรม ใช้สำหรับการกลั่นแยก มีเสถียรภาพภายใต้สภาวะปกติ สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยงคือความร้อน เปลวไฟ และแหล่งของประกายไฟ ควรหลีกเลี่ยงจากตัวออกซิไดซ์เข้มข้น กรดและด่างเข้มข้น

### 2.3.1.1 โครงสร้างโมเลกุลของเอทิลอะซิเตต



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของเอทิลอะซิเตต [19]

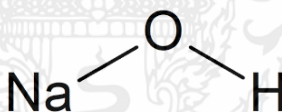
### 2.3.1.2 ข้อมูลทั่วไปของเอทิลอะซิเตต

สูตรโมเลกุล	: C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
ชื่อตาม IUPAC	: Ethyl acetate
มวลโมเลกุล	: 88.11 g/mol
ความหนาแน่น	: 0.900-0.903 g/cm <sup>3</sup> ที่ 20 °C (ASTM D4052)

### 2.3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)

โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ เป็นสารประกอบชนิดหนึ่งมีสถานะเป็นของแข็งสีขาว หรืออาจอยู่ในรูปของเหลวที่เป็นสารละลาย ดูดความชื้นได้ดีมาก ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นด่าง และมีฤทธิ์กัดกร่อน ใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น การผลิตสบู่ การผลิตเยื่อและกระดาษ เคมีภัณฑ์ทำความสะอาด อุตสาหกรรมโลหะ โรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

### 2.3.1.4 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ [20]

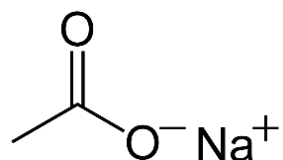
### 2.3.1.5 ข้อมูลทั่วไปของโซเดียมไฮดรอกไซด์

สูตรโมเลกุล	: NaOH
ชื่อตาม IUPAC	: Sodium hydroxide
มวลโมเลกุล	: 39.997 g/mol

### 2.3.2 โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate)

โซเดียมอะซิเตตมีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ที่สามารถดูดความชื้น เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัว ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับสารออกซิไดซ์ เมื่อละลายในน้ำจะมีคุณสมบัติเป็นด่างอ่อน

### 2.3.2.1 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตต



รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตต [21]

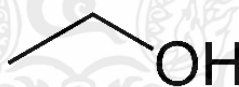
### 2.3.2.2 ข้อมูลทั่วไปของเอทิลอะซิเตต

สูตรโมเลกุล	: $C_2H_3NaO_2$
ชื่อตาม IUPAC	: Sodium acetate
มวลโมเลกุล	: 82.03 g/mol
ความหนาแน่น	: 1.528 g/cm <sup>3</sup>

### 2.3.3 เอทานอล (Ethanol)

เอทานอลหรือเมทิลแอลกอฮอล์เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ติดไฟง่าย มีความไวไฟและค่าออกเทนสูง สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำหรือสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ได้ดี ผลิตได้จากการนำพืชผลทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น มันสำปะหลัง กากน้ำตาล ข้าว อ้อย เป็นวัตถุดิบ และผ่านกระบวนการย่อยสลายและหมัก เปลี่ยนจากแป้งและน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ ทั้งนี้การผลิตเอทานอลสามารถสังเคราะห์ทางเคมีได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้สำหรับผลิตอาหารและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น

#### 2.3.3.1 โครงสร้างโมเลกุลของเอทานอล



รูปที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของเอทานอล [22]

#### 2.3.3.2 ข้อมูลทั่วไปของเอทานอล

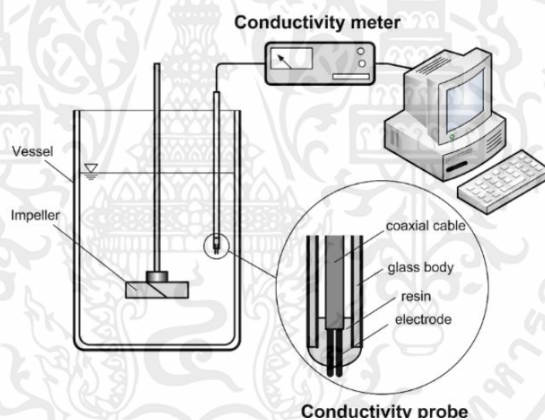
สูตรโมเลกุล	: $C_2H_5OH$
ชื่อตาม IUPAC	: Ethanol
มวลโมเลกุล	: 46.07 g/mol
ความหนาแน่น	: 0.789 g/cm <sup>3</sup>

## 2.4 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

ค่าการนำไฟฟ้า คือ ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า และขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย โดยค่าการนำไฟฟ้าของตัวทำละลายมีค่าต่ำมาก การมีกรด เบส และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำอาจช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนอิสระทำหน้าที่ในการนำไฟฟ้า [9]

การวัดค่าการนำไฟฟ้าทางกายภาพทำได้โดยใช้โพรบที่วางอยู่ที่จุดต่าง ๆ ในภาชนะกวนโดยไม่คำนึงถึงขนาด โดยโพรบจะรับกวนการไหล ดังนั้นควรพิจารณาการวัดเวลาในการผสมให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ภาชนะที่ขนาดเล็กมาก รูปที่ 2.9 แสดงการตั้งค่าทั่วไปของระบบการวัดค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยหัววัดค่าการนำไฟฟ้าและเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านสายแลน [10]

Holmes และคณะ [11] ได้ศึกษาและรายงานเกี่ยวกับการใช้เทคนิคสำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้า เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผสมในถังกวนผสมที่มีแผ่นกั้น โดยการใช้เซลล์การนำไฟฟ้ารอบ ๆ ใบกวนนั้น สามารถใช้ประมาณค่าเวลาการผสมได้



รูปที่ 2.9 ระบบการวัดค่าการนำไฟฟ้า [10]

## 2.5 การกวนและการผสม (Agitation and Mixing)

การกวน (Agitation) คือ การที่สารเนื้อเดียวกันเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งซึ่งการเคลื่อนที่โดยส่วนใหญ่มักเกิดในลักษณะวงกลม

การผสม (Mixing) คือ การนำสารหรือองค์ประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน และเกิดการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอให้เป็นระบบที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นสารผสมเนื้อเดียวกัน การผสมอาจเกิดจากองค์ประกอบระหว่างของเหลวที่ผสมกัน ของเหลวที่ไม่ผสมกัน ของแข็งกับของเหลว แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง แก๊สทั้งสองชนิด หรือระหว่างอนุภาคแขวนลอยและของไหลในวัฏภาคภายนอก (Continuous phase fluid) [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 เวลาในการผสม (Mixing time)

เวลาในการผสม คือ เวลาที่ใช้ในการทำให้ปริมาณของเหลวในถังเป็นเนื้อเดียวกันหลังจากเปลี่ยนองค์ประกอบ [13] เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพและอุทกพลศาสตร์ของถังกวนผสม สามารถใช้ในการประเมินการสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ผสมเพื่อให้ได้การผสมที่เหมาะสม

เวลาในการผสมเป็นตัวแปรที่สำคัญในการผสม สามารถใช้เทคนิคที่แตกต่างกันได้ 2 วิธี ได้แก่ เทคนิค Tracer (Tracer technique) และเทคนิคการสังเกตด้วยสายตา (Visual observation technique) เทคนิคเหล่านี้ใช้วัดการผสมภายในถังกวนผสม กล่าวคือสามารถใช้เพื่อระบุเวลาที่ใช้ในการเป็นเนื้อเดียวกันที่ทั่วทั้งถังกวนผสม [17]

เวลาในการผสมขึ้นอยู่กับตัวแปรจำนวนมาก เช่น ประเภทใบกวน เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง Reynold number ตำแหน่งของสายป้อนและตำแหน่งของโพรบ จำนวนใบกวน และคุณสมบัติของของไหล เป็นต้น

สำหรับเทคนิค Tracer โดยทั่วไปแล้ว Tracer (สารละลายยอเล็กโทโรไลต์) จะถูกฉีดเข้าไปในถังกวนผสม เวลาของความเข้มข้นของสารติดตามจะถูกวัดที่จุดเฉพาะจุดเดียวหรือที่จุดเฉพาะหลายจุดภายในถังกวนผสม เวลาในการผสม ( $t_m$ ) ถูกกำหนดเป็นเวลาที่ความเข้มข้น ( $c$ ) ได้ถึง (หรือเกือบถึง) ความเข้มข้นของเฉลี่ยสุดท้ายของ Tracer ( $\bar{c}$ ) หากไม่มี Tracer ภายในถังกวนผสม เวลาผสมสามารถวัดได้ตามเวลาจากสมการ

$$\left| \frac{c - \bar{c}}{\bar{c}} \right| = M \quad (3)$$

โดยที่  $M$  คือ ค่าสัมบูรณ์สูงสุดที่ยอมรับได้ของค่าสัมพัทธ์ความเบี่ยงเบนของการผสม เมื่อสารเป็นเนื้อเดียวกันโดยสมบูรณ์ (สำหรับการผสม) ค่า  $M$  เท่ากับ 0 ในการทดลอง [17]

นอกจากนี้ เวลาในการผสมหาได้จากการวัดค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกกวนผสม เมื่อสารมีความเข้มข้นคงที่ถือว่าเกิดการกวนผสมขึ้นอย่างสมบูรณ์ (95% ของการผสม) เวลาในการผสมสามารถคำนวณได้เมื่อทราบค่า  $N_{Re}$  หรือ Reynold number สำหรับของไหลแบบ Newtonian fluid สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$N_{Re} = \frac{nD_a^2 \rho}{\mu} \quad (4)$$

เมื่อ	$n$	คือ ความเร็วรอบ (rev/s)
	$D_a$	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใบกวน (m) แสดงดังรูปที่ 2.10
	$\rho$	คือ ความหนาแน่นของของไหล ( $\text{kg/m}^3$ )
	$\mu$	คือ ความหนืดของของไหล ( $\text{kg/m}\cdot\text{s}$ )

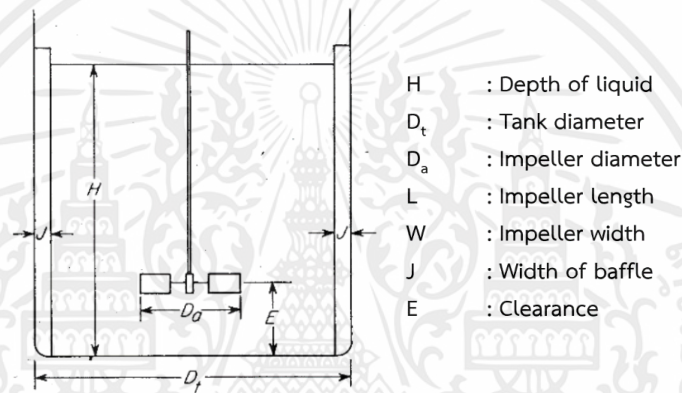
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดลองเป็นใบกวนชนิด Pitch-blade turbine สามารถนำข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.11 มาคำนวณเวลาในการผสมได้จากสมการ

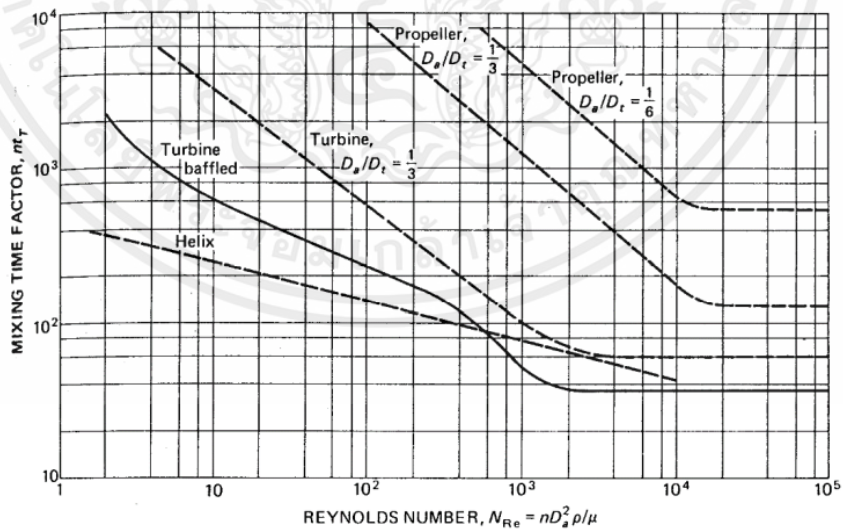
$$f_T = \frac{t_T (nD_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H^{1/2} D_t^{3/2}} = nt_T \left( \frac{D_a}{D_t} \right)^2 \left( \frac{D_t}{H} \right)^{1/2} \left( \frac{g}{n^2 D_a} \right)^{1/6} \quad (5)$$

สำหรับการทดลองเป็นใบกวนชนิด Propeller สามารถนำข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2.11 มาคำนวณเวลาในการผสมได้จากสมการ

$$f'_T = \frac{t_T (nD_a^2)^{2/3} g^{1/6}}{H^{1/2} D_t} = nt_T \left( \frac{D_a}{D_t} \right)^{3/2} \left( \frac{D_t}{H} \right)^{1/2} \left( \frac{g}{n^2 D_a} \right)^{1/6} \quad (6)$$



รูปที่ 2.10 สัดส่วนของถังกวนแบบมาตรฐาน [15]



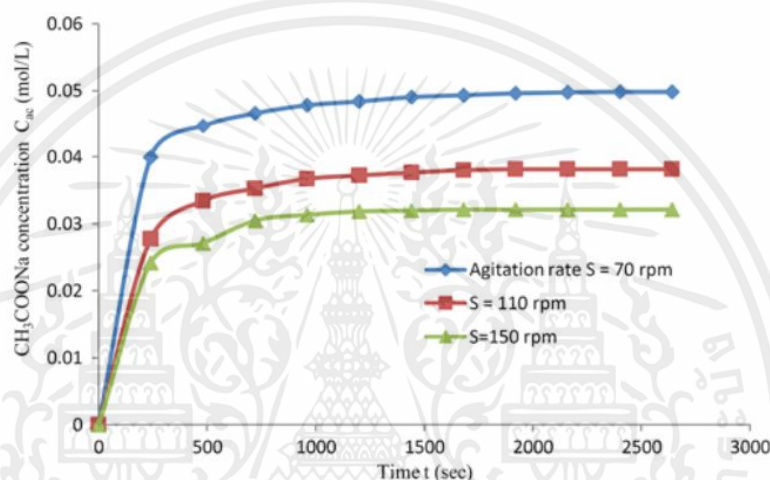
รูปที่ 2.11 เวลาในการผสมกรณีต่าง ๆ (เส้นประคือถังกวนที่ไม่มีแผ่นกั้น) [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

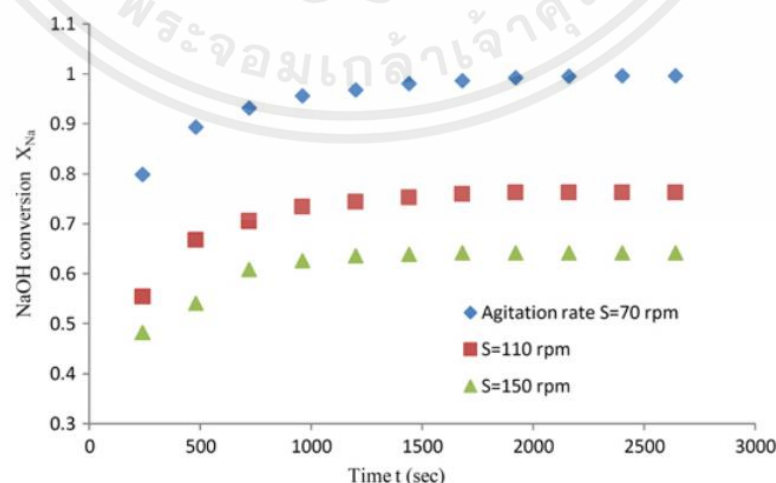
Mohammed K. Al Mesfer [18] ศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างเอทิลอะซิเตทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในถังปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์ โดยมีตัวแปรที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ ปริมาตรของสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ความเร็วรอบของใบกวน และความเข้มข้นของสารตั้งต้น

จากการศึกษาความเร็วรอบของใบกวนภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะพบว่า เมื่อความเร็วรอบน้อยลง ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นหรือกล่าวได้ว่าค่าการการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจะเข้าสู่ค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบของใบกวนต่าง ๆ [18]

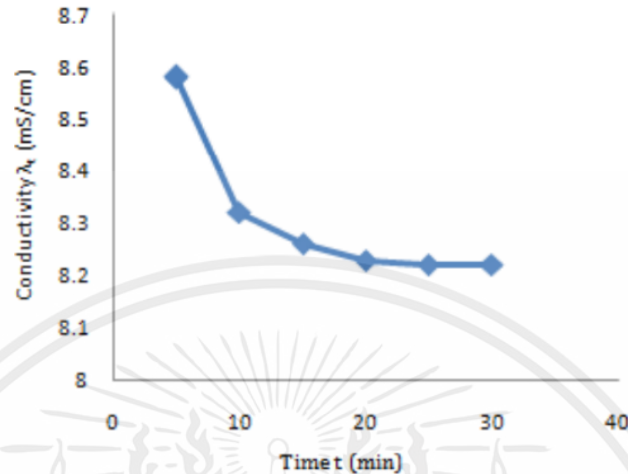
นอกจากนี้ เมื่อความเร็วรอบน้อยลงส่งผลให้ค่า Conversion ของปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความช้าของการผสมสารช่วยให้สารที่เกี่ยวข้องกันมีเวลาสัมผัสกัน นานมากขึ้น ซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์มากขึ้นและเมื่อเวลาผ่านไปจะเข้าสู่ค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ค่า Conversion กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อัตราการกวนต่างกัน [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

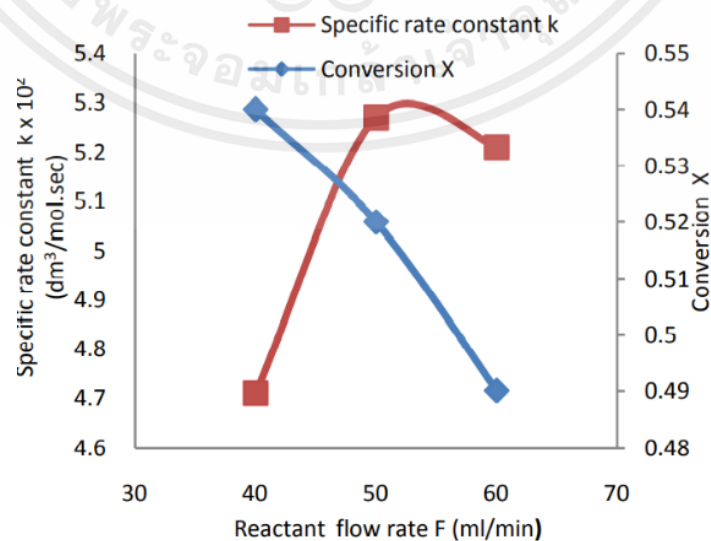
Mohd Danish และคณะ [3] ศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างเอทิลอะซิเตทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในถังปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องที่ความดัน 1 บรรยากาศ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาจะลดลงตามเวลาเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ลดลงหลังจากนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งเมื่อเวลาผ่านไป แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.14 ค่าการนำไฟฟ้าเทียบกับเวลาสำหรับปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของเอทิลอะซิเตทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ [3]

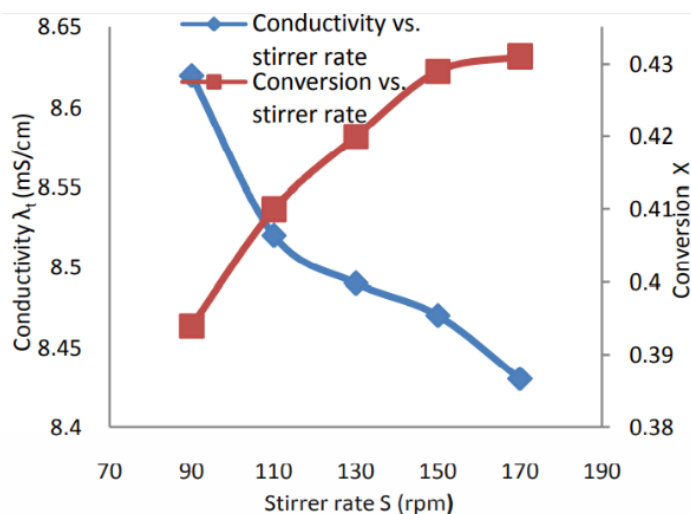
เมื่ออัตราการไหลของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า Conversion ของปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องลดลง แสดงดังรูปที่ 2.13

เมื่อความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า Conversion ของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และค่าการนำไฟฟาลดลง แสดงดังรูปที่ 2.14 ผลจากการศึกษาเป็นประโยชน์ในการเพิ่มค่า Conversion ของปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างเอทิลอะซิเตทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอุตสาหกรรมขยายขนาดของถังปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง



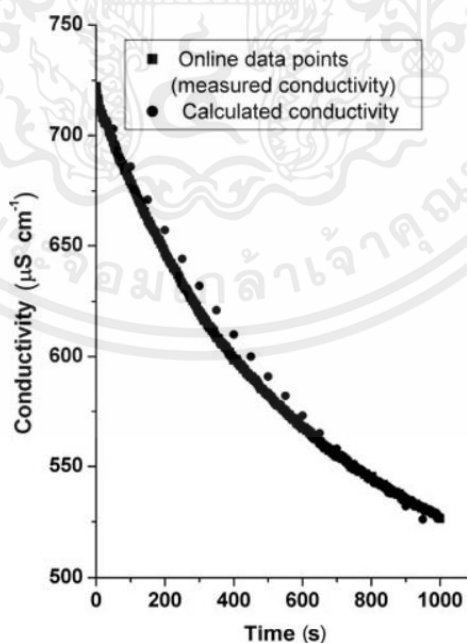
รูปที่ 2.15 ผลของอัตราการไหลของสารตั้งต้นต่อค่าคงที่อัตราและค่า Conversion [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ผลของอัตราการกวนต่อค่าการนำไฟฟ้าและค่า Conversion [3]

Kuheli Das และคณะ [4] ศึกษาเทคนิคการวัดค่าการนำไฟฟ้าซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง (ความแม่นยำสูง ความละเอียดสูง มีตอบสนองที่รวดเร็วสำหรับการแสดงผลกราฟิกแบบออนไลน์) โดยมีการนำเครื่องมือตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้าแบบพัลส์ซึ่งที่สร้างขึ้นไปใช้ในการศึกษาพฤติกรรมจลนพลศาสตร์ และศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างสารละลาย 2 ชนิดระหว่างเอทิลอะซิเตทและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากันคือ 0.1 M จากการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปโซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง จะถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนที่นำไฟฟ้าได้น้อยกว่า ส่งผลให้การนำไฟฟ้าของสารละลายลดลง แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.17 ค่าการนำไฟฟ้าเทียบกับเวลาสำหรับปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อุณหภูมิคงที่ [4]

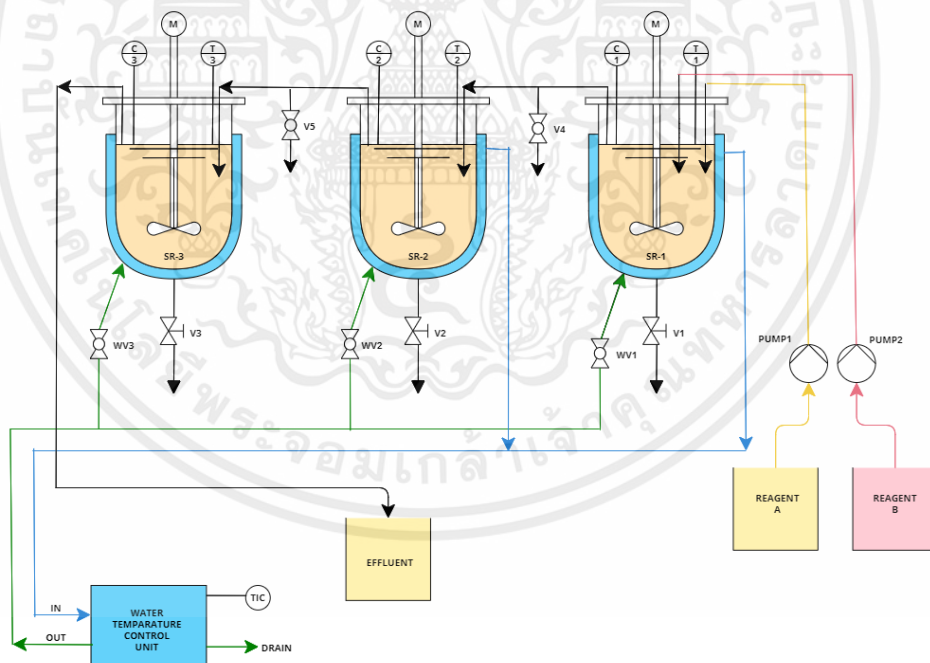
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 3.1
2. ชุดควบคุมซึ่งประกอบด้วย Pump, Conductivity controller และ Mixing
3. เครื่องปั้มน้ำ (Feed pump)
4. ถังพลาสติกสำหรับบรรจุสารป้อน
5. กระจกบอกระดับ
6. ปีกเกอร์
7. ขวดปรับปริมาตร
8. ซ้อนคนสาร
9. หลอดฉีดยาขนาด 50 mL
10. กรวยเทสาร และที่สูบน้ำแบบมือบีบ



รูปที่ 3.1 PFD แสดงเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องและชุดควบคุม

#### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
2. เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate)
3. โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเตรียมสารละลาย

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลายเอทิลอะซิเตท ความเข้มข้น 0.06 M

1. ใช้สารเอทิลอะซิเตทปริมาตร 5.87 mL สำหรับเตรียมสารละลายเอทิลอะซิเตท ความเข้มข้น 0.06 M ปริมาตร 1 L
2. เตรียมสารละลายเอทิลอะซิเตทความเข้มข้น 0.06 M ตามปริมาตรที่ต้องการ
3. คนสารละลายให้เอทิลอะซิเตทและน้ำให้เข้ากัน
4. เทลงในถังพลาสติกและตั้งทิ้งไว้ให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

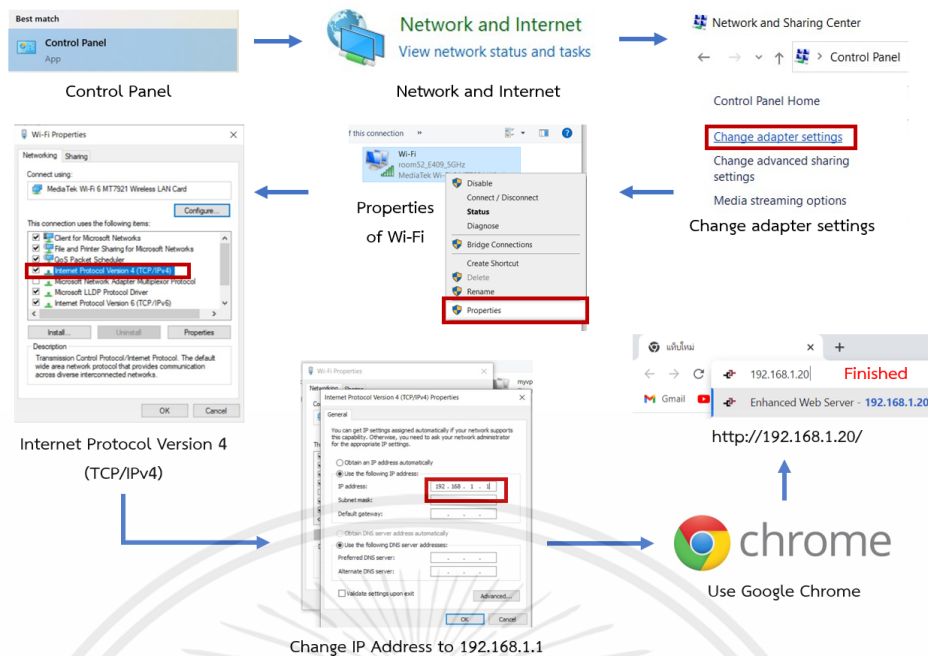
#### 3.3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.06 M

1. ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.4 g สำหรับเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.06 M ปริมาตร 1 L
2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.06 M ตามปริมาตรที่ต้องการ
3. คนสารละลายให้โซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำจนกว่าสารจะเป็นสีใส
4. เทลงในถังพลาสติกและตั้งทิ้งไว้ให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

### 3.4 การตั้งค่าคอมพิวเตอร์และวิธีการเก็บข้อมูลการทดลอง

#### 3.4.1 การตั้งค่าคอมพิวเตอร์

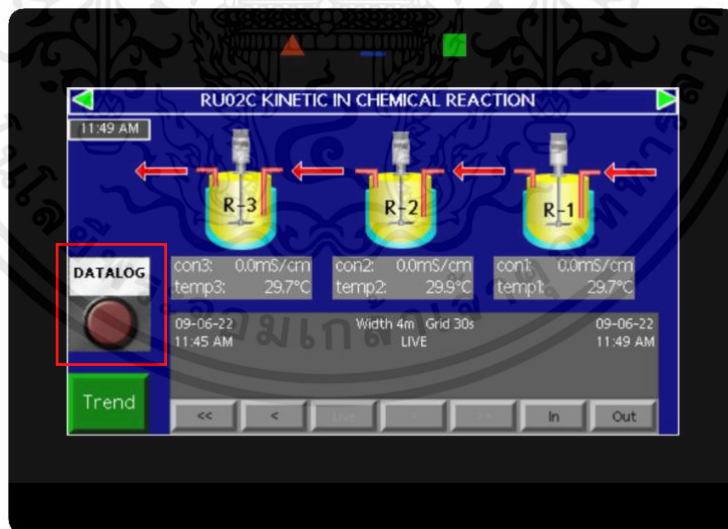
1. กดที่ Start → Control Panel → Network and Internet
2. คลิกที่ View network status and task → Change adapter settings
3. คลิกขวาที่ Wi-Fi จากนั้นกด View properties
4. เลือกที่ Internet Protocol Version 4 (TCP/IPv4) จากนั้นกด Configure
5. ตั้งค่า IP Address ของคอมพิวเตอร์เป็น 192.168.1.1 และกดยืนยัน



รูปที่ 3.2 การตั้งค่าคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลการทดลอง

### 3.4.2 วิธีการเก็บข้อมูลการทดลอง

1. เชื่อมสายแลนเข้ากับคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นเปิดเว็บไซต์ 192.168.1.20
2. กดปุ่ม Datalog เพื่อเริ่มบันทึกข้อมูลการทดลอง
3. กดเข้าไปที่ Logs และคลิกขวาที่ไฟล์ เพื่อบันทึกข้อมูลโดยใช้นามสกุล .csv



รูปที่ 3.3 จอแสดงผล Data Logger

## 3.5 ขั้นตอนการทดลอง

### 3.5.1 การวัดอัตราการไหลของปั๊ม

1. เตรียมน้ำปริมาตร 4 L ลงในถังพลาสติก
2. จุ่มสายยางปั๊มลงในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
4. หมุนสวิตช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On
5. ปรับปั๊มให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 3 L/h และกดเปิดปั๊ม
6. เปิดวาล์วด้านล่างของถังปฏิกรณ์
7. วัดอัตราการไหลโดยการบันทึกปริมาตรและจับเวลา
8. บันทึกผลการทดลอง
9. ทำการทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 7 L/h, 11 L/h, 15 L/h และ 19 L/h ตามลำดับ
10. ทำ Calibration curve ระหว่างอัตราการไหลที่แสดงในจอเทียบกับอัตราการไหลที่วัดได้จากการทดลอง

### 3.5.2 การสร้าง Calibration Curve เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นและค่า Conversion ของผลิตภัณฑ์

1. เตรียมสารละลายที่ Conversion ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.1
2. ผสมสารละลายให้เข้ากัน
3. หมุน Main switch และสวิตช์ของ Mixing ให้อยู่ที่ On
4. เปิดสวิตช์ของใบกวนที่ความเร็วรอบประมาณ 300 rpm
5. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend
6. ป้อนสารผสมที่เตรียมไว้ทางด้านบนของถังปฏิกรณ์
7. บันทึกค่า Conductivity ที่ Steady state
8. สร้าง Calibration Curve ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทกับค่า Conductivity

ตารางที่ 3.1 แสดงการเตรียมสารละลายที่ Conversion ต่าง ๆ

Conversion	Solution Mixtures		
	0.06 M NaOH (mL)	0.06 M CH <sub>3</sub> COONa (mL)	H <sub>2</sub> O (mL)
0%	450	0	450
25%	337.5	112.5	450
50%	225	225	450
75%	112.5	337.5	450
100%	0	450	450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การหา Mixing time

1. สร้าง Calibration curve ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับค่า Conductivity แสดงดังตารางที่ 3.2
2. เตรียมน้ำปริมาตร 900 mL และใช้หลอดฉีดยาดูดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 50 mL
3. หมุน Main switch และสวิตช์ของ Mixing ให้อยู่ที่ On
4. ใส่ น้ำที่เตรียมไว้ผ่านช่องด้านบนของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1
5. เปิดสวิตช์ของใบกวนที่ความเร็วรอบประมาณ 300 rpm
6. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
7. ฉีดยาละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ลงไป
8. หยุดทำการทดลองเมื่อค่า Conductivity เข้าสู่สมดุล และบันทึกเวลา
9. ทำการทดลองซ้ำกับถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 และ 3
10. เปรียบเทียบค่า Mixing time ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ตัว

ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

NaOH Concentration (M)	NaOH Volume (mL)	H <sub>2</sub> O Volume (mL)
0.060	1,000	0
0.048	800	200
0.036	600	400
0.030	500	500
0.018	300	700
0.006	100	900
0.000	0	1,000

### 3.5.4 การทดลองแบบ Batch Reactor

1. เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
2. หมุนสวิตช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On
3. เตรียมสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M อย่างละ 500 mL
4. เปิดสวิตช์ของใบกวนที่ความเร็วประมาณ 200 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
6. ป้อนสารละลายทั้งสองชนิดพร้อมกันผ่านช่องด้านบนของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 3
7. รอจนเข้าสู่ Steady State และบันทึกผลการทดลอง
8. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 300 และ 400 rpm ตามลำดับ

### 3.5.5 การทดลองแบบ Continuous reactor แบบอนุกรม 3 ถัง

#### 3.5.5.1 ศึกษาการผสมกรณีอัตราการไหลคงที่

1. เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
2. หมุนสวิทช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On
3. จุ่มสายยางป้อนลงในสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M ปริมาตร 20 L และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M ปริมาตร 20 L
4. เปิดสวิทช์ใบกวน ปรับค่าความเร็วรอบประมาณ 200 rpm
5. ปรับปั๊มตัวที่ 1 และ 2 ให้อัตราการไหลเท่ากับ 16 L/h และกดเปิดปั๊ม
6. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
7. รอจนเข้าสู่ Steady State และบันทึกผลการทดลอง
8. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 300 และ 400 rpm ตามลำดับ

#### 3.5.5.2 ศึกษาการผสมกรณีความเร็วรอบใบกวนคงที่

1. เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
2. หมุนสวิทช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On
3. จุ่มสายยางป้อนลงในสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M ปริมาตร 20 L และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M ปริมาตร 20 L
4. เปิดสวิทช์ใบกวน ปรับค่าความเร็วรอบประมาณ 200 rpm
5. ปรับปั๊มตัวที่ 1 และ 2 ให้อัตราการไหลเท่ากับ 13 L/h และกดเปิดปั๊ม
6. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
7. รอจนเข้าสู่ Steady State และบันทึกผลการทดลอง
8. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 16 L/h และ 19 L/h ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

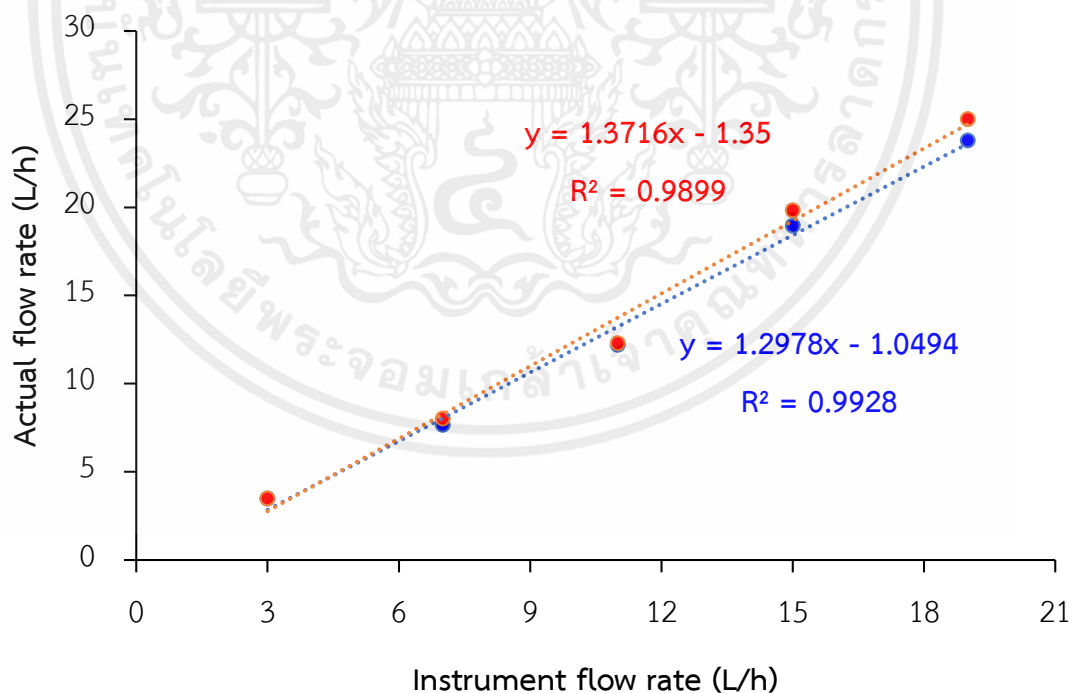
### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การวัดอัตราการไหลของปั๊ม

จากการศึกษาอัตราการไหลของปั๊มจำนวน 2 ตัวประกอบด้วย ปั๊ม A และปั๊ม B เพื่อนำผลการทดลองมาสร้าง Calibration curve ระหว่างอัตราการไหลบนจอแสดงผลเทียบกับอัตราการไหลที่วัดได้จากการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อกำหนดอัตราการไหลของปั๊ม A และปั๊ม B ที่จอแสดงผลให้มิต่ำเท่ากับ 3, 7, 11, 15 และ 19 L/h จะได้อัตราการไหลของปั๊ม A จากการทดลองเท่ากับ 3.50, 7.66, 12.20, 18.96, 23.81 L/h ตามลำดับ และอัตราการไหลของปั๊ม B ที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 3.51, 8.03, 12.31, 19.84, 25.03 L/h ตามลำดับ สังเกตได้ว่าอัตราการไหลของปั๊มจากการทดลองมีค่าสูงกว่าอัตราการไหลบนจอแสดงผล โดยค่าความคลาดเคลื่อนจะเพิ่ม เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองสามารถนำมาสร้าง Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของปั๊มบนจอแสดงผลเทียบกับอัตราการไหลของปั๊มจากการทดลอง โดยเลือกใช้ข้อมูลช่วง 11 ถึง 19 L/h ซึ่งเป็นช่วงที่ศึกษาในการสร้าง Calibration curve แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อัตราการไหลของปั๊มที่บนจอแสดงผลเทียบกับอัตราการไหลที่วัดได้จากการทดลอง

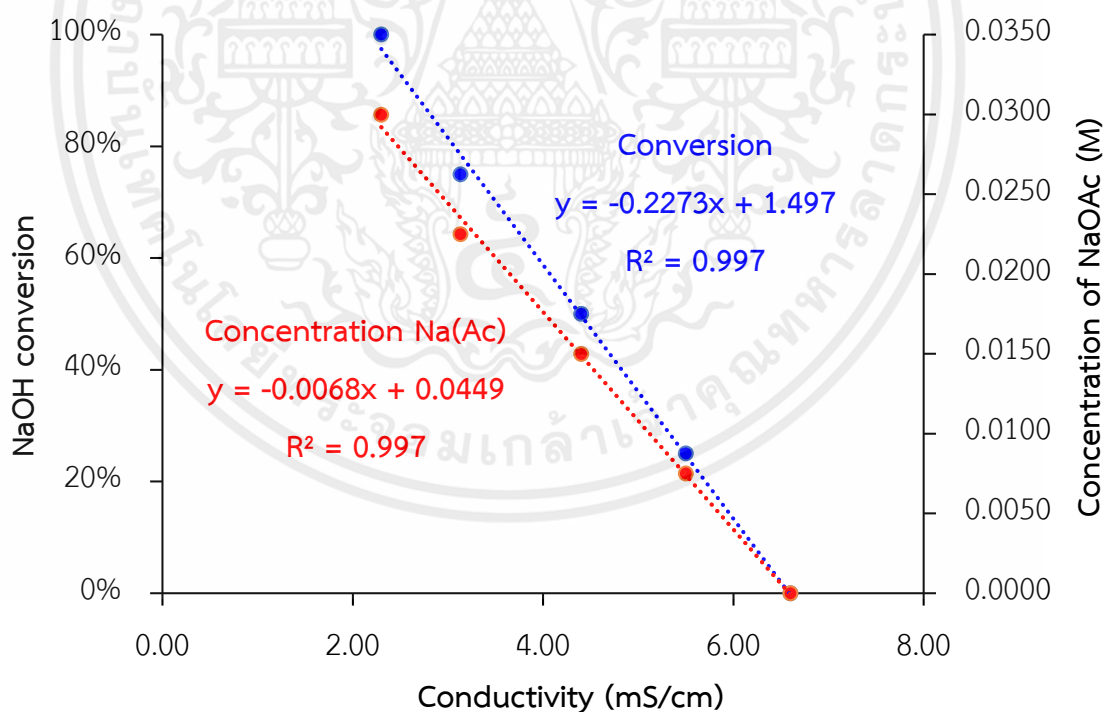
จากกราฟในรูป 4.1 จะได้สมการที่สามารถใช้ในการหาอัตราการไหลจริงของบ่มีได้ โดยสมการที่ใช้ในการหาอัตราการไหลของบ่มี A และ B คือ  $y = 1.3716x - 1.35$  และ  $y = 1.2978x - 1.0494$  ตามลำดับ

## 4.2 การสร้าง Calibration Curve เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นและค่า Conversion ของผลิตภัณฑ์

จากการทดลองเตรียมสารละลายที่ค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0, 25, 50, 75 และ 100% ตามลำดับ เพื่อสร้าง Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าจากการทดลองเทียบกับความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่เป็นผลิตภัณฑ์หลัก และ Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนถัดไป ได้ผลดังนี้

ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0, 25, 50, 75 และ 100% มีค่าเท่ากับ 6.60, 5.50, 4.40, 3.13 และ 2.30 mS/cm ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นสร้าง Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าจากการทดลองเทียบกับความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่เป็นผลิตภัณฑ์หลัก และ Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Calibration Curve เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นและค่า Conversion ของผลิตภัณฑ์

จากกราฟในรูปที่ 4.2 สังเกตได้ว่า เมื่อ Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปเป็นโซเดียมอะซิเตทที่ความเข้มข้นสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากปฏิกิริยามีค่าลดลง

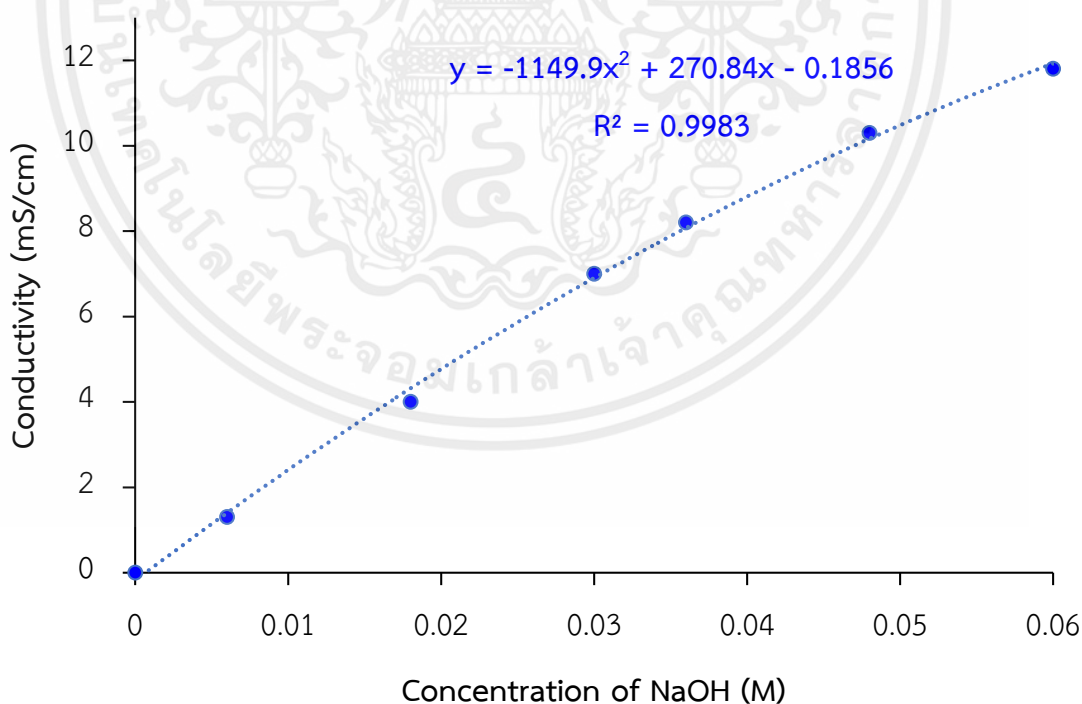
และจากกราฟจะได้สมการถดถอย (Linear Regression) โดยสามารถใช้สมการข้างต้นในการหาค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่าความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทได้จากสมการ  $y = -0.2273x + 1.497$  และ  $y = -0.0068x + 0.0449$  ตามลำดับ

### 4.3 การหา Mixing time

จากการศึกษาหาเวลาในการผสมของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสม ทำการทดลองหาเวลาในการผสมที่ความเร็วรอบของใบกวนเท่ากับ 300 rpm และสร้าง Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับค่าการนำไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.060, 0.048, 0.036, 0.030, 0.018, 0.00 และ 0.000 M วัดค่าการนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 11.8, 10.3, 8.2, 7.0, 4.0, 1.3 และ 0.0 mS/cm ตามลำดับ

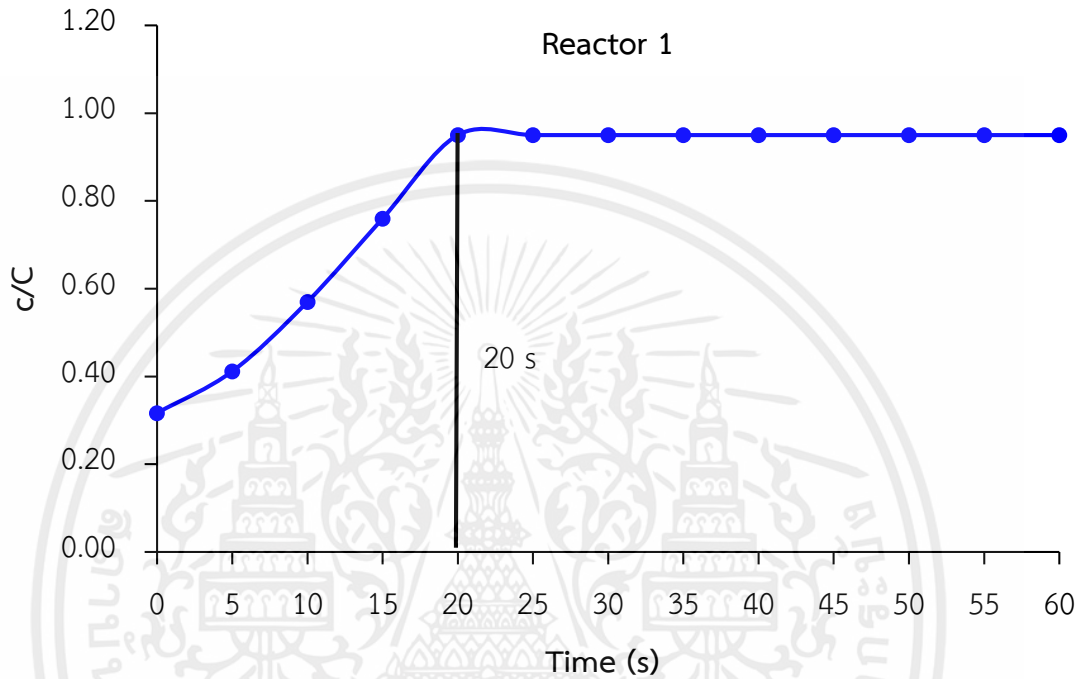
จากข้อมูลข้างต้นสามารถสร้าง Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับค่าการนำไฟฟ้า ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



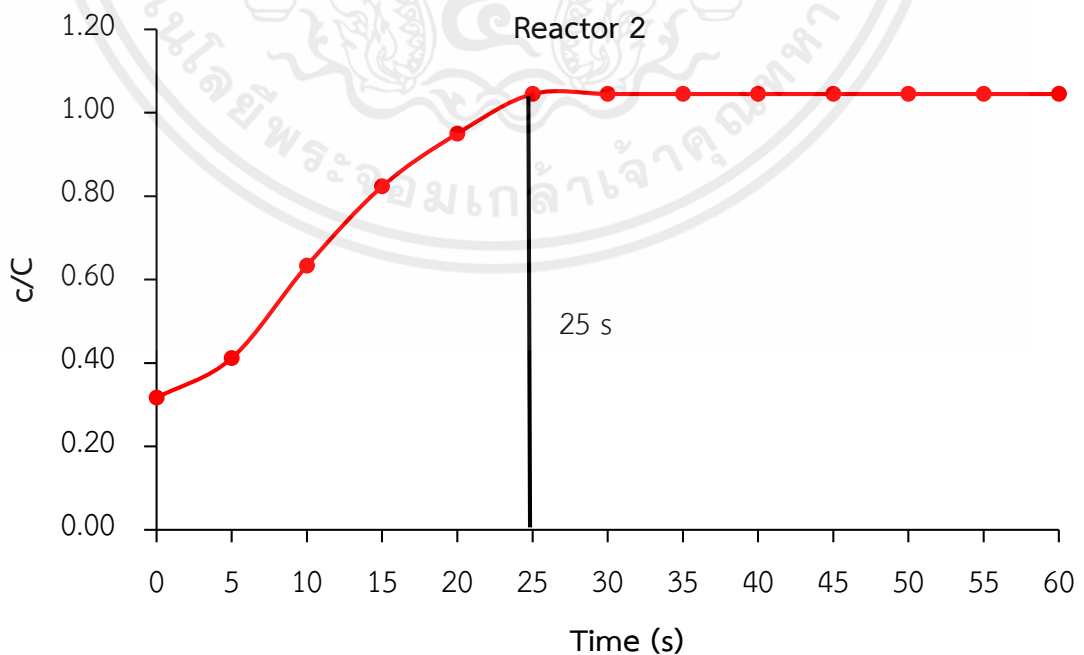
รูปที่ 4.3 Calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับค่าการนำไฟฟ้า

จากกราฟรูปที่ 4.3 สามารถใช้สมการ  $y = -1149.9x^2 + 270.84x - 0.1856$  ในการหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เมื่อทราบค่าการนำไฟฟ้าได้

จากการทดลองเพื่อหาเวลาในการผสม สามารถสร้างกราฟแสดงเวลาในการผสมของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมแต่ละถัง แสดงดังรูปที่ 4.4 – 4.6 โดย C แทน  $\bar{C}$  หรือ ความเข้มข้นของสารเฉลี่ยสุดท้ายของ Tracer

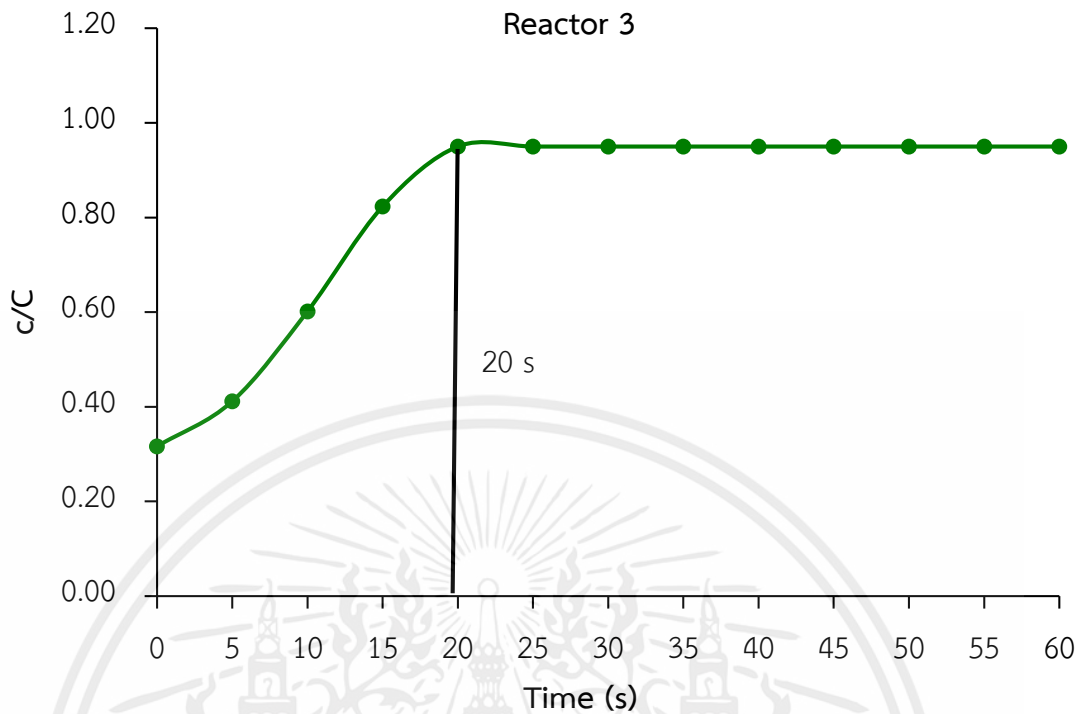


รูปที่ 4.4 Mixing time ภายในถังปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 1



รูปที่ 4.5 Mixing time ภายในถังปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำหรือเผยแพร่ข้อมูลด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 Mixing time ภายในถังปฏิกรณ์แบบถังผสมต่อเนื่องถังที่ 3

จากกราฟรูปที่ 4.4 – 4.6 พบว่าเวลาในการผสมที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีซึ่งบ่งบอกว่าการผสมในกระบวนการเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสารมีความเข้มข้นคงที่และเป็น 95% ของการผสม โดยเวลาในการผสมของถังที่ 1 ถึงที่ 2 และถังที่ 3 มีค่าเท่ากับ 20 s, 25 s และ 20 s ตามลำดับ ซึ่งค่าเวลาในการผสมที่ต่างกันเป็นผลมาจากตำแหน่งของโพรบวัดค่าการนำไฟฟ้า และตำแหน่งทศนิยมที่อุปกรณ์สามารถบันทึกและแสดงค่าได้

จากอุปกรณ์การทดลอง ใบกวนที่ใช้ในการทดลองเป็นใบกวนที่ผสมระหว่างใบกวนชนิด Pitch-blade turbine และใบกวนชนิด Propeller ดังนั้นการคำนวณเพื่อหาเวลาในการผสมทางทฤษฎีจึงเลือกใช้สมการสมการที่ (4) สำหรับการทดลองเป็นใบกวนชนิด Pitch-blade turbine และสมการที่ (5) สำหรับการทดลองเป็นใบกวนชนิด Propeller ในบทที่ 2 ได้เวลาในการผสมจากการคำนวณเท่ากับ 12.59 s สำหรับใบกวนชนิด Pitch-blade turbine และ 37.38 s สำหรับใบกวนชนิด Propeller ตามลำดับ

จากการทดลองเวลาในปริศยานิพนธ์นี้ เวลาในการผสมของเครื่องปฏิกรณ์ถังที่ 1 ถึงที่ 2 และถังที่ 3 มีค่าเท่ากับ 20 s, 25 s และ 20 s ตามลำดับ ซึ่งพบว่าใบกวนที่ใช้ในการทดลองเป็นใบกวนแบบผสมระหว่าง Turbine และ Propeller จริง เนื่องจากมีค่าเวลาในการผสมอยู่ระหว่าง 12.59 s และ 37.38 s

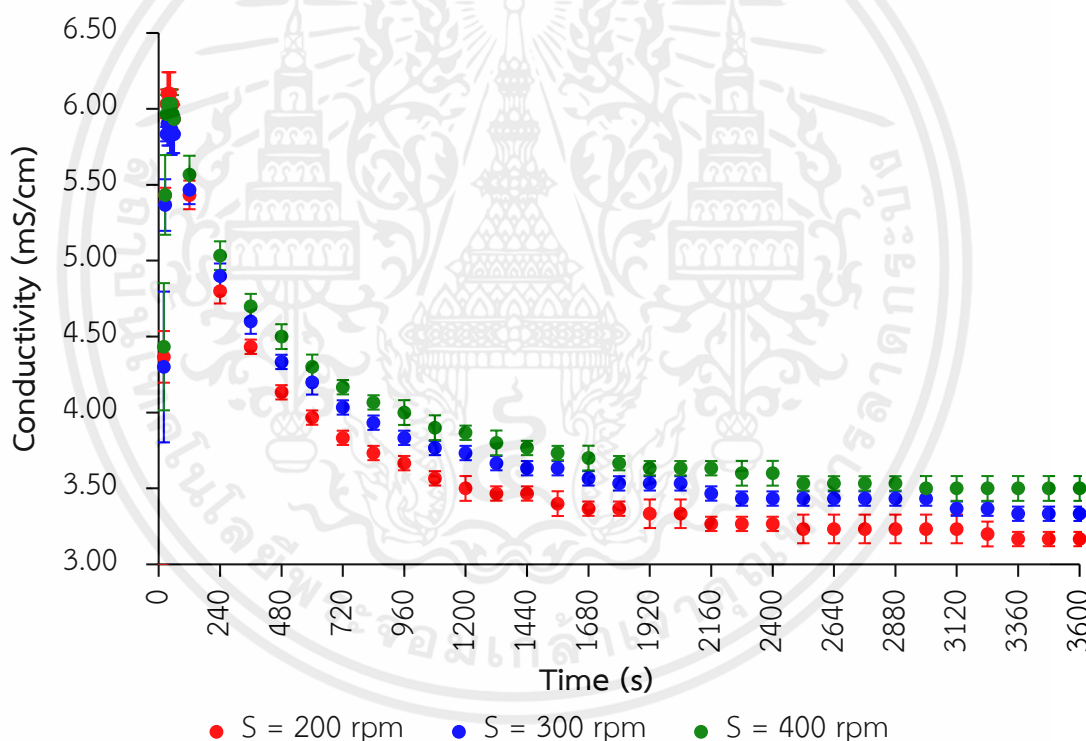
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองแบบ Batch Reactor

จากการทดลองแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M ในอัตราส่วนที่เท่ากันโดยกำหนดปริมาตรของสารละลายทั้งสองชนิดที่ 500 mL จากนั้นป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนมีค่าเท่ากับ 200, 300 และ 400 rpm ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จะลดลงจนเข้าสู่ค่า ๆ หนึ่ง และสังเกตได้ว่าที่เวลาเดียวกันค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบของใบกวน 400 rpm จะมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วรอบใบกวนที่ 300 และ 200 rpm โดยค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ที่ความเร็วรอบดังกล่าว ณ เวลา 3,600 s มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.50, 3.33 และ 3.17 mS/cm ตามลำดับ

จากข้อมูลการทดลองสามารถสร้างกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.7

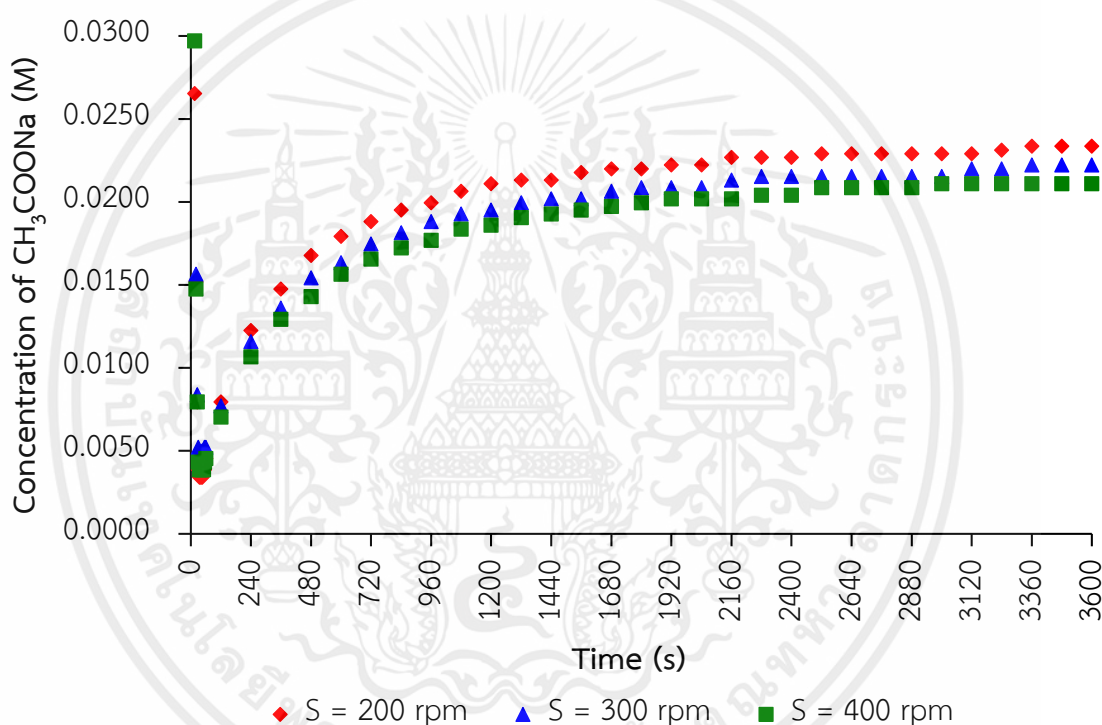


รูปที่ 4.7 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี Batch reactor

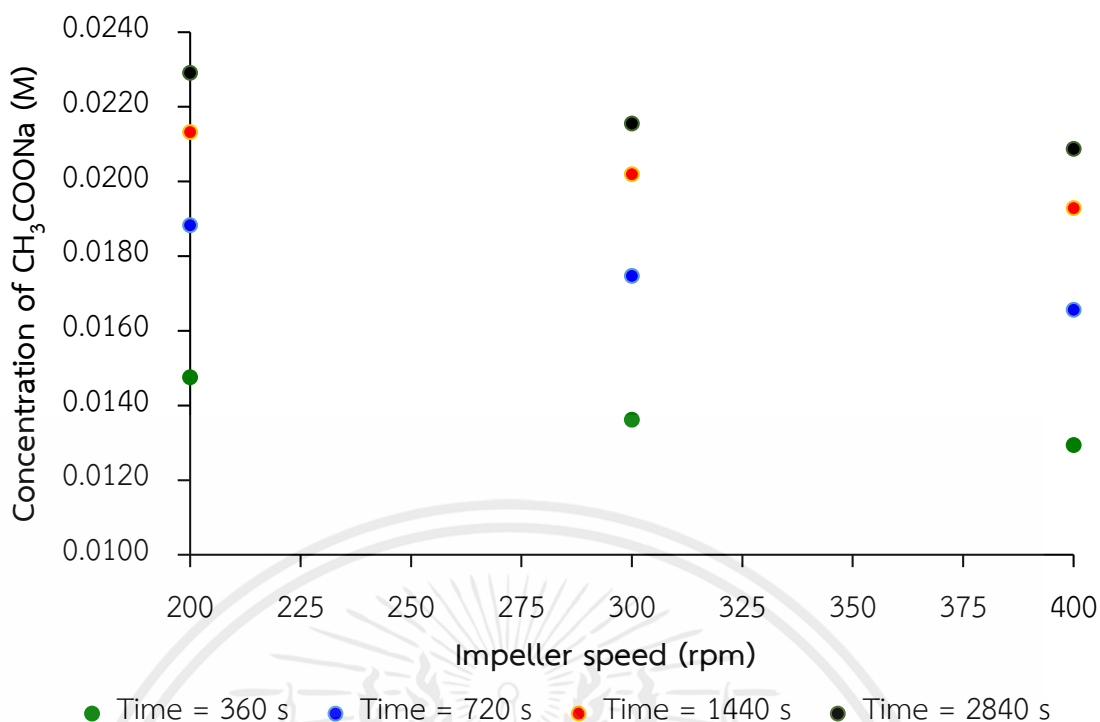
จากกราฟรูปที่ 4.7 สังเกตได้ว่า ในตอนเริ่มต้นการทดลองค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จะลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง จะถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนที่นำไฟฟ้าได้น้อยกว่า ส่งผลให้การนำไฟฟ้าของสารละลายลดลง และพบว่า ณ เวลาเดียวกัน ปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนที่สูงกว่าจะให้ค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนที่ค่า

ความเร็วรอบต่ำกว่า เนื่องจากความเร็วรอบของใบกวนที่ต่ำกว่าจะช่วยให้สารละลายเอทิลอะซิเตทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์กันมีเวลาสัมผัสกันเพื่อให้เกิดการผสมและทำปฏิกิริยากันมากขึ้น ทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนได้มากขึ้น

เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองไปหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตท ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยาจากสมการที่ได้จากกราฟรูป 4.2 จะได้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท ที่เวลา 3,600 s เท่ากับ 0.0234, 0.0222 และ 0.0211 M โดยใช้ความเร็วรอบใบกวนมีค่าเท่ากับ 200, 300 และ 400 rpm ตามลำดับ และจากผลการคำนวณสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



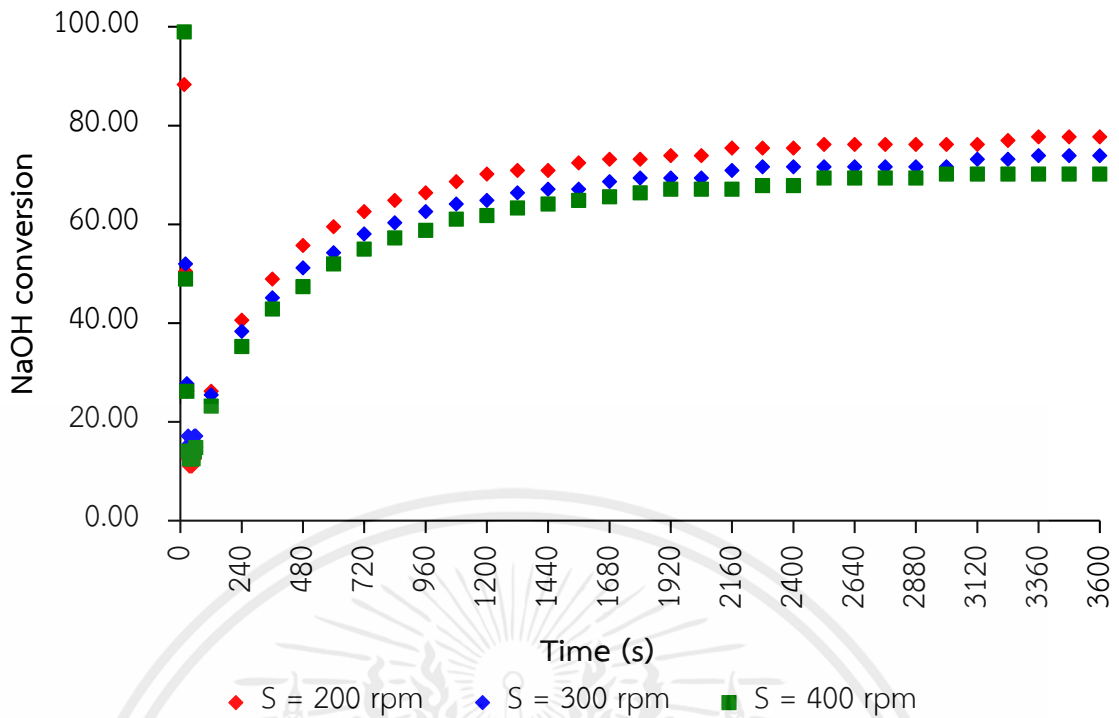
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี Batch reactor



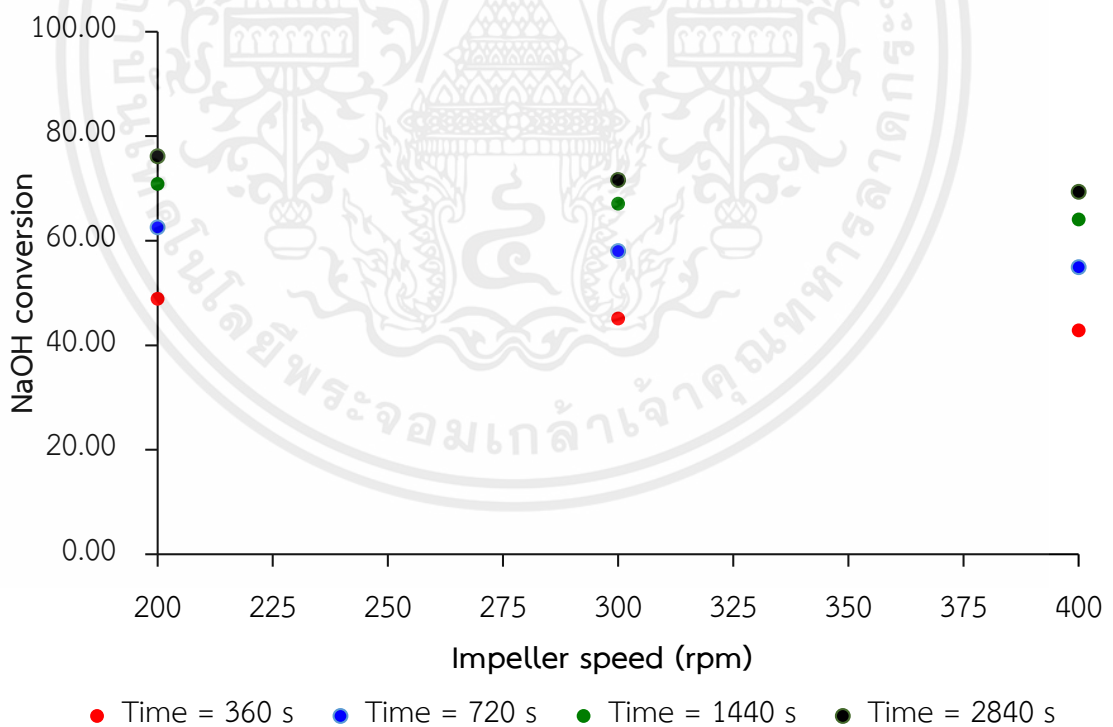
รูปที่ 4.9 แสดงแนวโน้มความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน  
กรณี Batch reactor

จากกราฟรูปที่ 4.8 และ 4.9 สังเกตได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักจะเพิ่มขึ้น และเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง และพบว่า ณ เวลาเดียวกันที่ค่าความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้จากปฏิกิริยาจะมีค่าลดลง เนื่องจากเวลาที่สารจะเกิดการสัมผัสเพื่อผสมและทำปฏิกิริยากันมีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการผสมเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญต่อการทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองไปหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ หรือค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากสมการที่ได้จากกราฟรูป 4.2 โดยจะได้ค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลา 3,600 s มีค่าเท่ากับ 77.72, 73.93 และ 70.15% โดยใช้ความเร็วรอบใบกวนมีค่าเท่ากับ 200, 300 และ 400 rpm ตามลำดับ และจากผลการคำนวณสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี Batch reactor

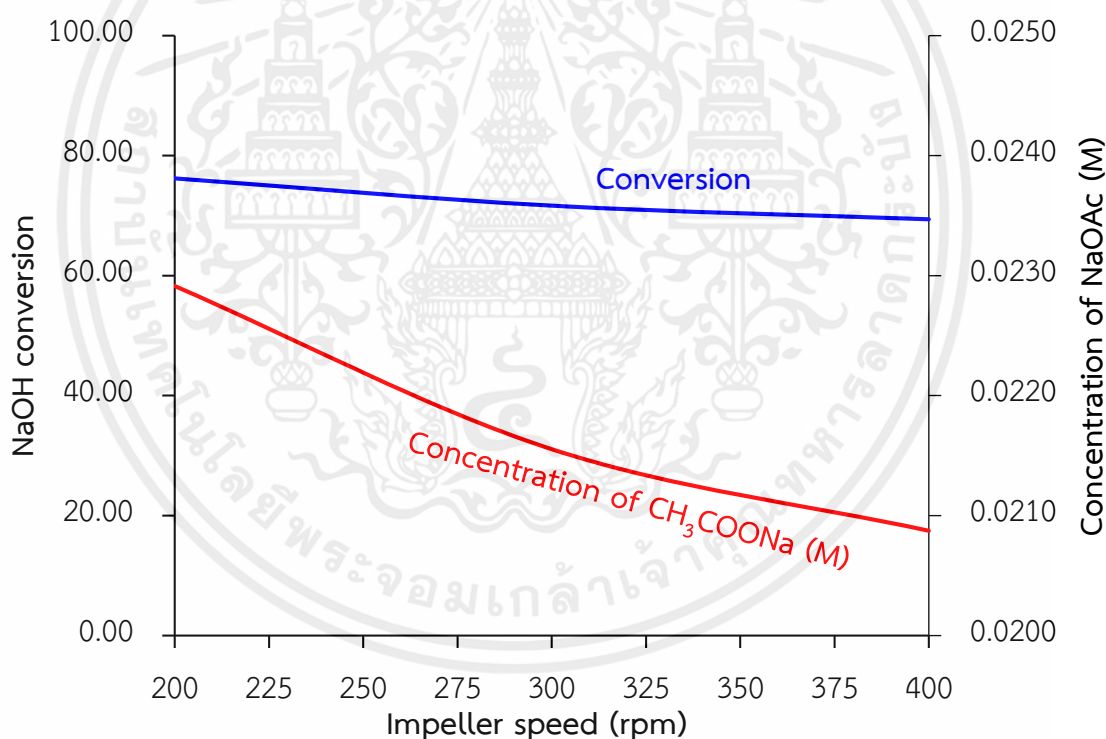


รูปที่ 4.11 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน  
กรณี Batch reactor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.10 และ 4.11 สังเกตได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น เป็นผลิตภัณฑ์ หรือค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเพิ่มขึ้น และเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง และพบว่า ณ เวลาเดียวกัน ที่ค่าความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นเป็น ผลิตภัณฑ์ หรือค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีค่าลดลง เนื่องจากเวลาที่สารจะเกิดการ สัมผัสเพื่อผสมและทำปฏิกิริยา และผลต่างของความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีค่าลดลง ทำให้แรงขับ (Driving force) ในการทำปฏิกิริยาลดลง ซึ่งการติดตามและควบคุม Conversion เป็นสิ่งสำคัญใน การจัดการกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตใน อุตสาหกรรม

จากข้อมูลค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ หรือค่า Conversion ของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่าความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่คำนวณได้ สามารถสร้าง กราฟแสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของใบกวน ได้แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และความเข้มข้นของ โซเดียมอะซิเตท เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของใบกวน กรณี Batch reactor

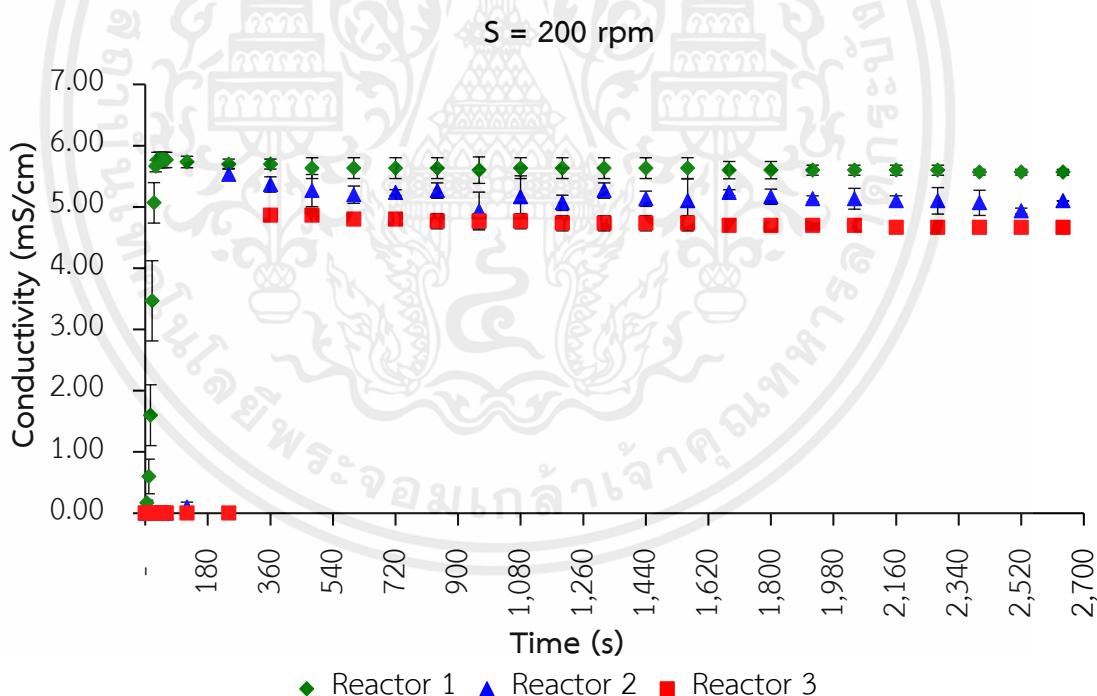
## 4.5 การทดลองแบบ Continuous reactor แบบอนุกรม 3 ถัง

จากการทดลองแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องซึ่งต่อกันแบบอนุกรม 3 ถัง โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M ในอัตราส่วนที่เท่ากันโดยป้อนสารตั้งต้นทั้งสองสารผ่านปั๊มเพื่อทำปฏิกิริยา โดยการทดลองแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีอัตราการไหลของสารตั้งต้นคงที่ ที่ความเร็วรอบใบกวนต่างกัน และกรณีความเร็วรอบใบกวนคงที่ ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่างกัน

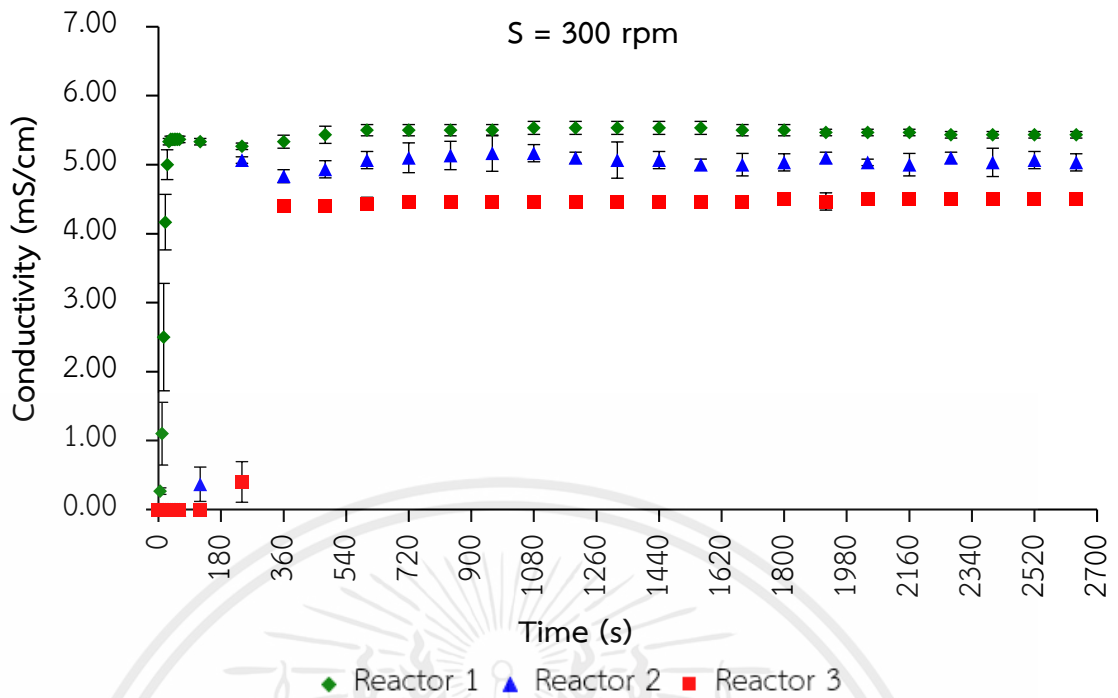
### 4.5.1 กรณีอัตราการไหลคงที่ ที่ความเร็วรอบใบกวนต่างกัน

จากการทดลองทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M กรณีอัตราการไหลของสารตั้งต้นคงที่ ที่ความเร็วรอบใบกวนต่างกันั้น กำหนดให้อัตราการไหลของสารตั้งต้นภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องซึ่งต่อกันแบบอนุกรมทั้ง 3 ถังมีค่าคงที่เท่ากับ 16 L/h โดยกำหนดให้ความเร็วรอบใบกวนมีค่าเท่ากับ 200, 300 และ 400 rpm

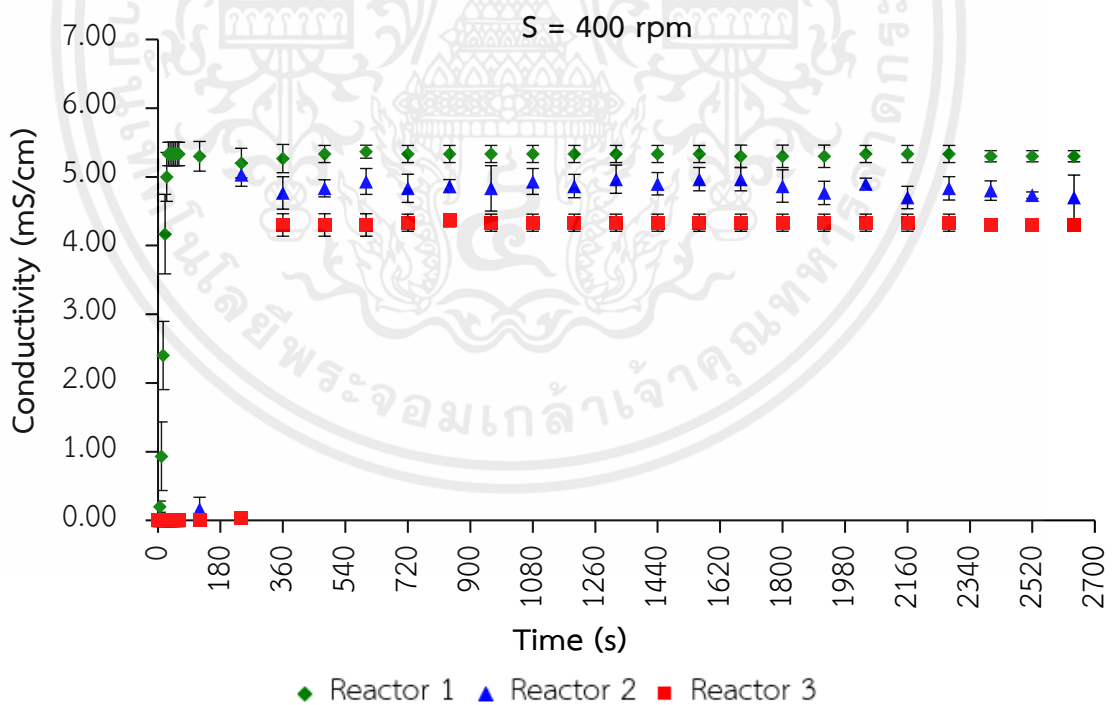
จากข้อมูลการทดลองสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยา ณ ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.13 – 4.15



รูปที่ 4.13 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวน 200 rpm เมื่อเวลาผ่านไป  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.14 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวน 300 rpm เมื่อเวลาผ่านไป  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

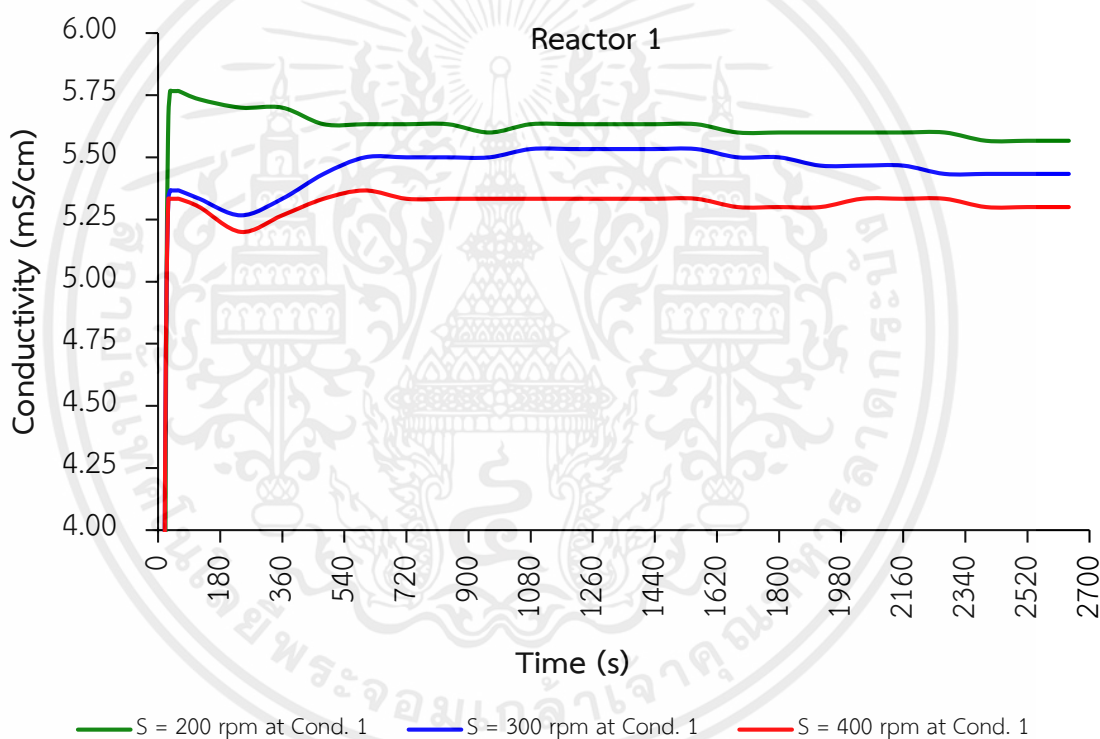


รูปที่ 4.15 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวน 400 rpm เมื่อเวลาผ่านไป  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

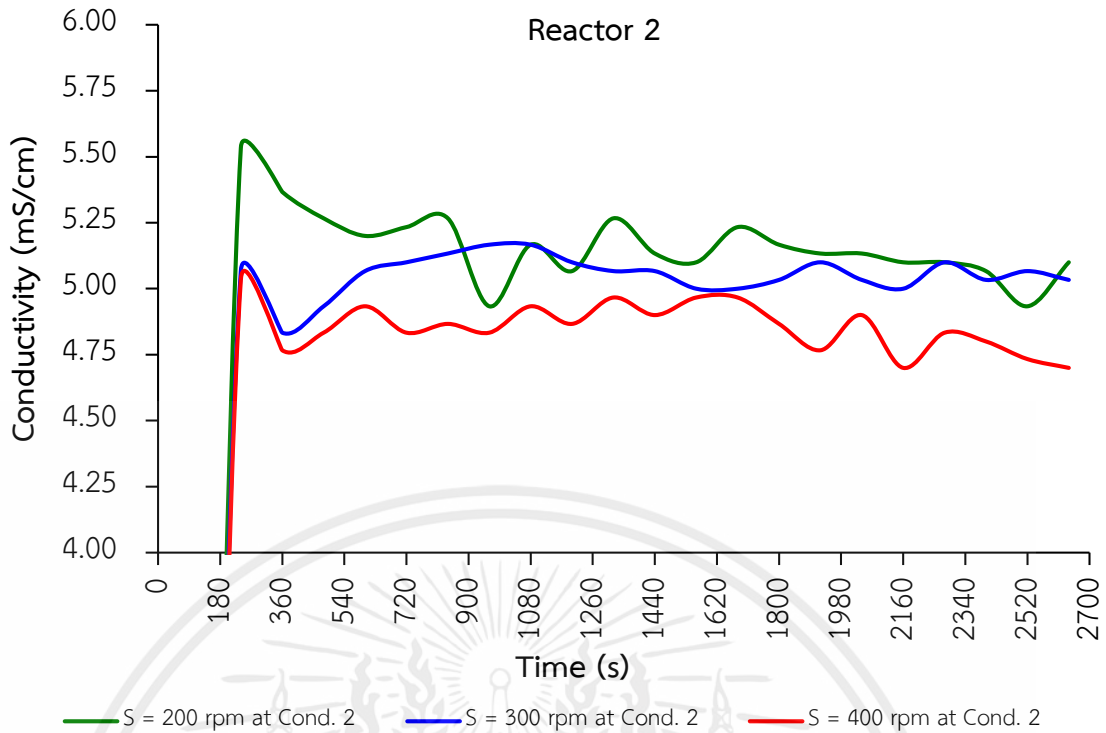
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสังเกตกราฟรูป 4.13 - 4.15 พบว่าในขั้นตอนเริ่มต้นของการทดลอง ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนเข้าสู่ค่าคงที่หนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของเครื่องปฏิกรณ์ในถังที่ 3 มีค่าต่ำกว่าค่าการนำไฟฟ้าของถังที่ 2 และถังที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งถังทั้งสามถูกต่อกันแบบอนุกรม ดังนั้นสารที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์จะเกิดปฏิกิริยาต่อกัน โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง จะถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนที่มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้การนำไฟฟ้าของสารละลายลดลงเมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้น

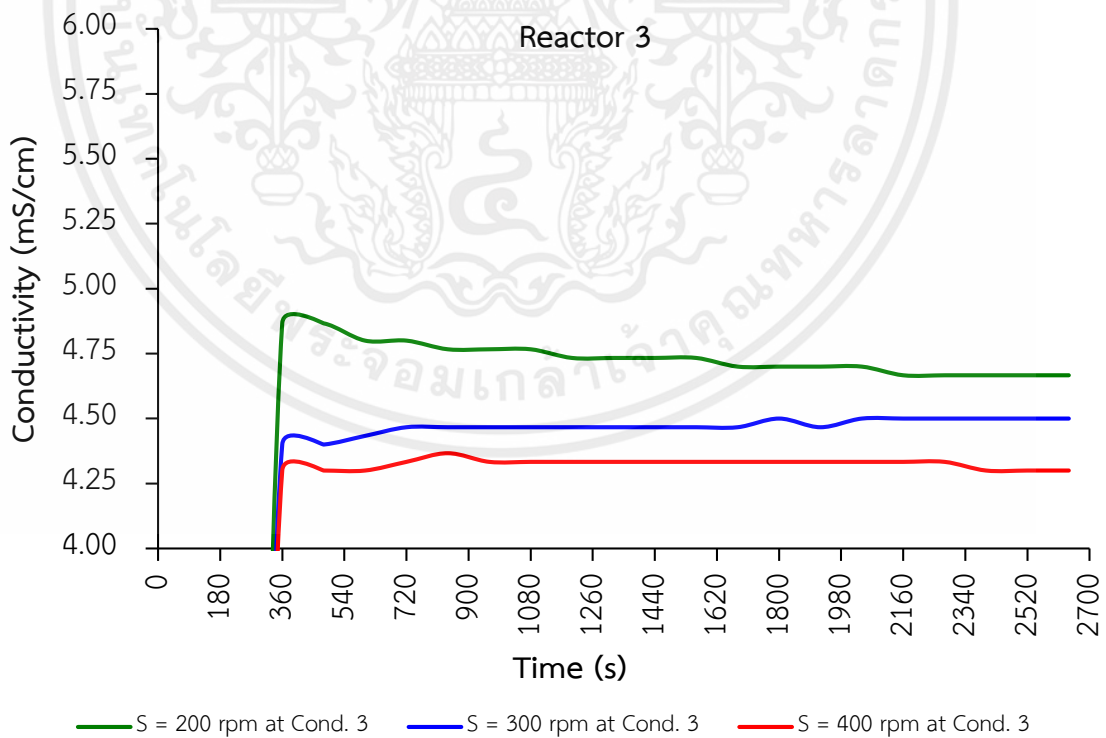
และจากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาของแต่ละถัง ณ ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป แสดงดังรูปที่ 4.16 - 4.18



รูปที่ 4.16 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไปในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.17 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็รรอบใบกวนต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



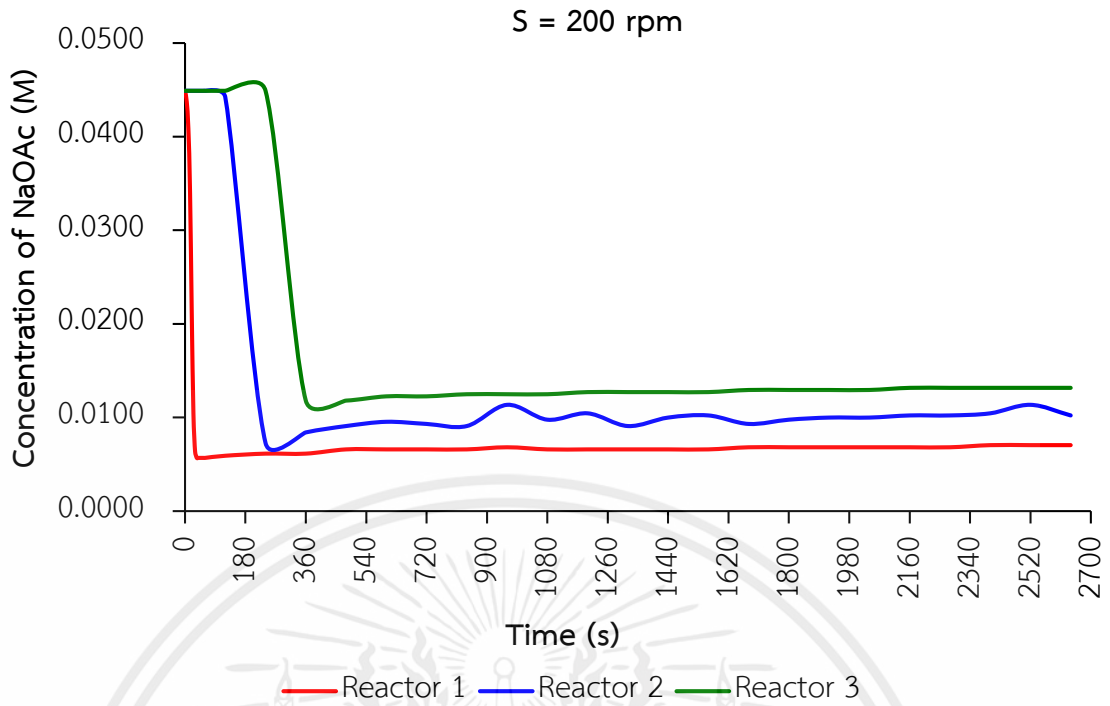
รูปที่ 4.18 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่ความเร็รรอบใบกวนต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 3 เมื่อเวลาผ่านไปในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

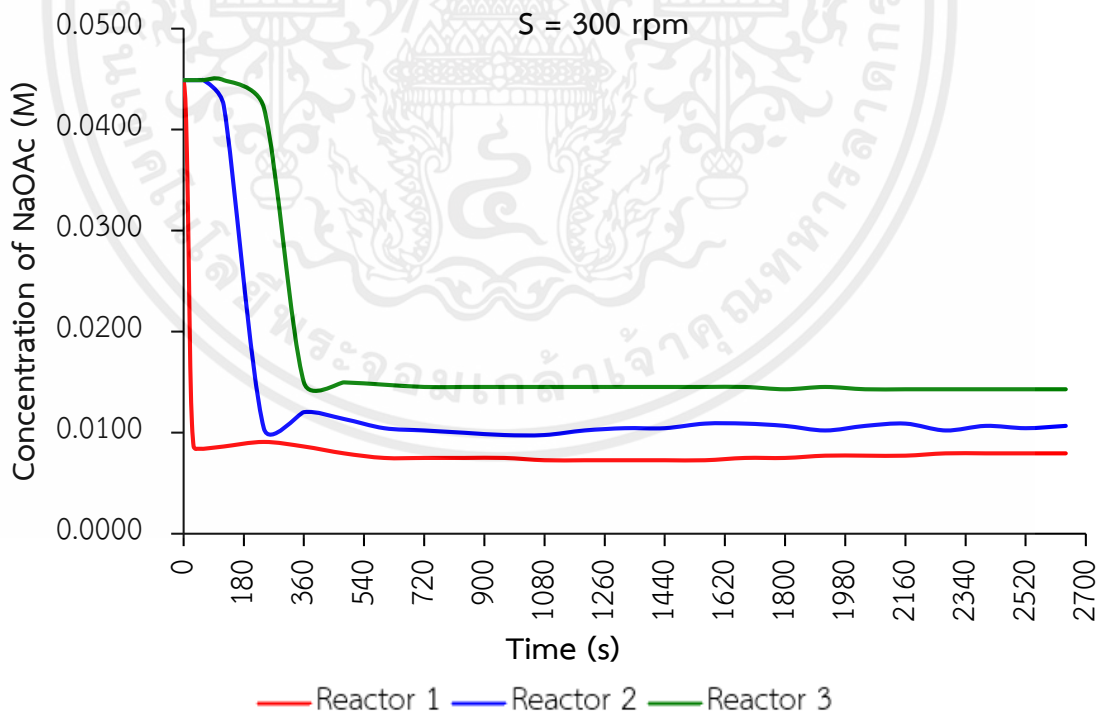
จากกราฟรูป 4.16 - 4.18 สังเกตได้ว่า ที่เริ่มต้นปฏิกิริยาค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าสูงมาก เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ณ เวลาดังกล่าวคือค่าการนำไฟฟ้าของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเป็นค่าของโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่วัดได้มีค่าลดลง และพบว่า ณ เวลาเดียวกัน ปฏิกิริยาที่ความเร็รรอบใบกวนที่สูงกว่าจะวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ต่ำกว่าปฏิกิริยาที่ความเร็รรอบใบกวนที่ค่าความเร็รรอบต่ำกว่า เนื่องจากการเพิ่มความเร็รรอบใบกวนจะช่วยให้สารเกิดการผสมได้ดีขึ้น (โดยเฉพาะสารละลายเจือจาง) ซึ่งภายในถังกวนผสมต่อเนื่องแบบอนุกรม 3 ถัง (CSTR in series) เวลาไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการผสมได้ดี แต่เป็นความเร็รรอบของใบกวน ความเร็รรอบใบกวนที่สูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผสม โดยจะเพิ่มการสัมผัสระหว่างสารในกระบวนการ ทำให้สารที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการผสมได้มีโอกาสสัมผัสกันเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ส่งผลให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนได้มากขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จึงมีค่าต่ำลง

นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 มีความเป็นไปได้ที่จะเบี่ยงเบนมากขึ้นหรือน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1 และตัวที่ 3 เนื่องจากฟองก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการในถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1 นั้นไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ ในขณะที่ถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 มีฟองก๊าซเกิดขึ้น ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังมีการสัมผัสกับโพรบที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าที่เบี่ยงเบนลง ในขณะเดียวกันถังปฏิกรณ์ตัวที่สามมีฟองก๊าซเกิดขึ้นในกระบวนการเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากตำแหน่งของโพรบวัดค่าการนำไฟฟ้าอยู่บริเวณด้านหลัง ซึ่งทำให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นหายไปก่อนที่จะสัมผัสกับโพรบวัดค่า ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากถังปฏิกรณ์ตัวที่ 3 จึงมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถังที่ 2 เนื่องจากฟองก๊าซที่เกิดขึ้นส่งผลต่อค่าที่วัดได้น้อยมาก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า นอกจากค่าความเร็รรอบใบกวนที่ส่งผลต่อการผสม และการเกิดปฏิกิริยาแล้ว ตำแหน่งของเครื่องมือวัดในถังปฏิกรณ์ก็ส่งผลต่อค่าที่วัดได้จากการทดลองเช่นกัน

เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองไปหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยาจากสมการที่ได้จากกราฟรูป 4.2 จะได้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท และจากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็รรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.19 - 4.22

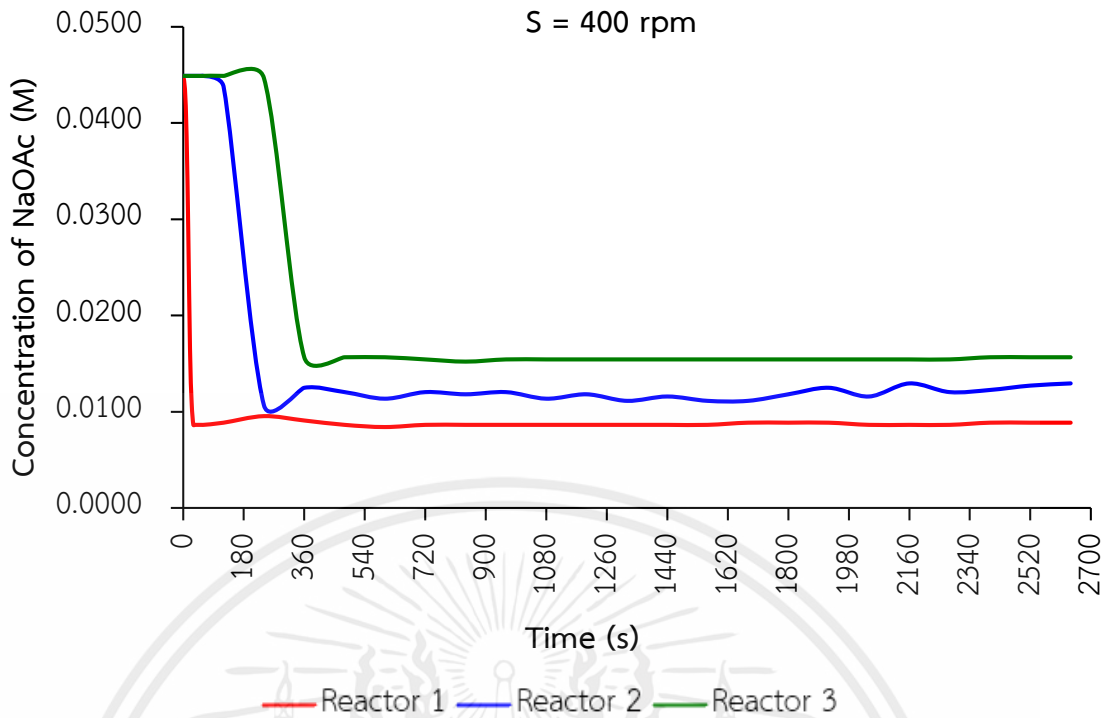


รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่ความเร็วรอบใบกวน 200 rpm  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

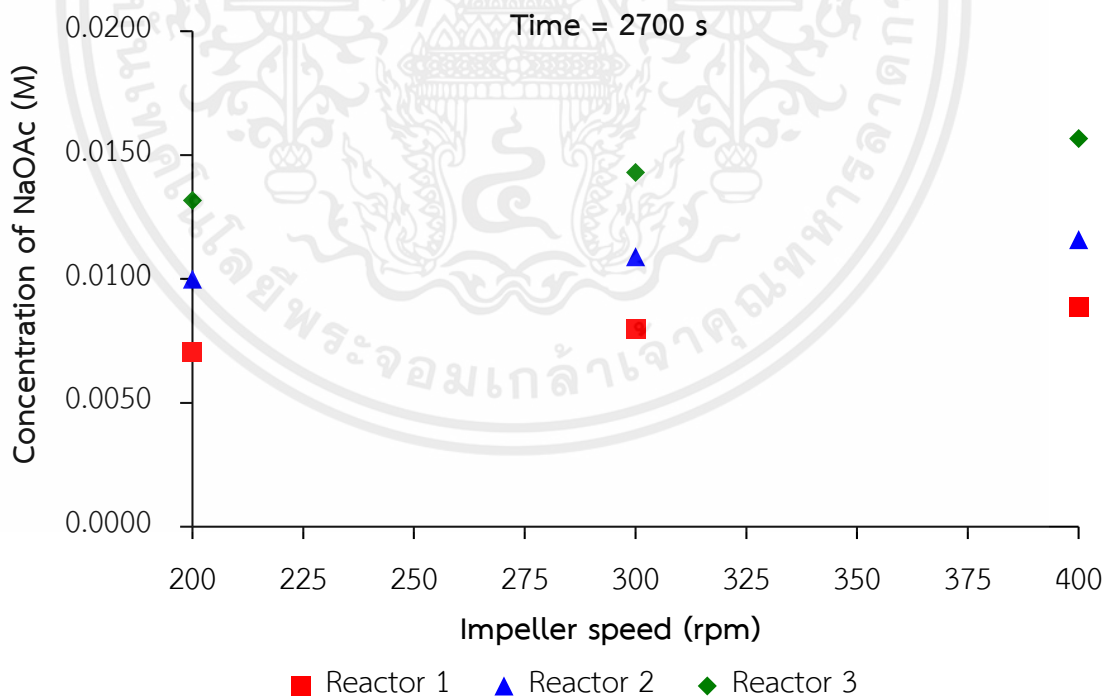


รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตตที่ความเร็วรอบใบกวน 300 rpm  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่ความเร็วรอบใบกวน 400 rpm  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.22 แสดงแนวโน้มความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท ที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง ณ เวลา 2,700 s

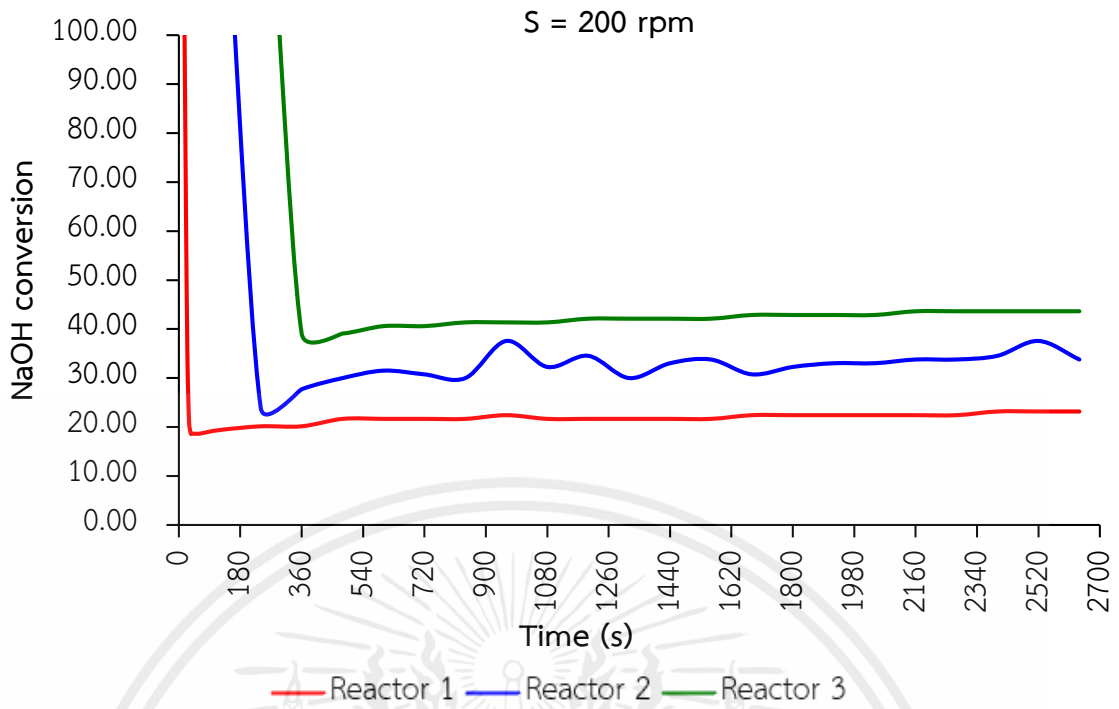
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.19 – 4.21 สังเกตได้ว่า จากการเริ่มต้นปฏิกิริยา ความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าสูงอย่างมากเนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ณ เวลานั้นคือค่าการนำไฟฟ้าของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าการนำไฟฟ้าจึงเปลี่ยนไปเป็นค่าของโซเดียมอะซิเตท ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการปฏิกิริยาในกระบวนการ ค่าความเข้มข้นที่ได้จากปฏิกิริยามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และสุดท้ายจะเข้าสู่ค่าคงที่หนึ่งในแต่ละถังปฏิกรณ์ โดยที่เวลาเดียวกันค่าความเข้มข้นของถังปฏิกรณ์ที่ 3 จะมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 และถังปฏิกรณ์ที่ 1 ตามลำดับ

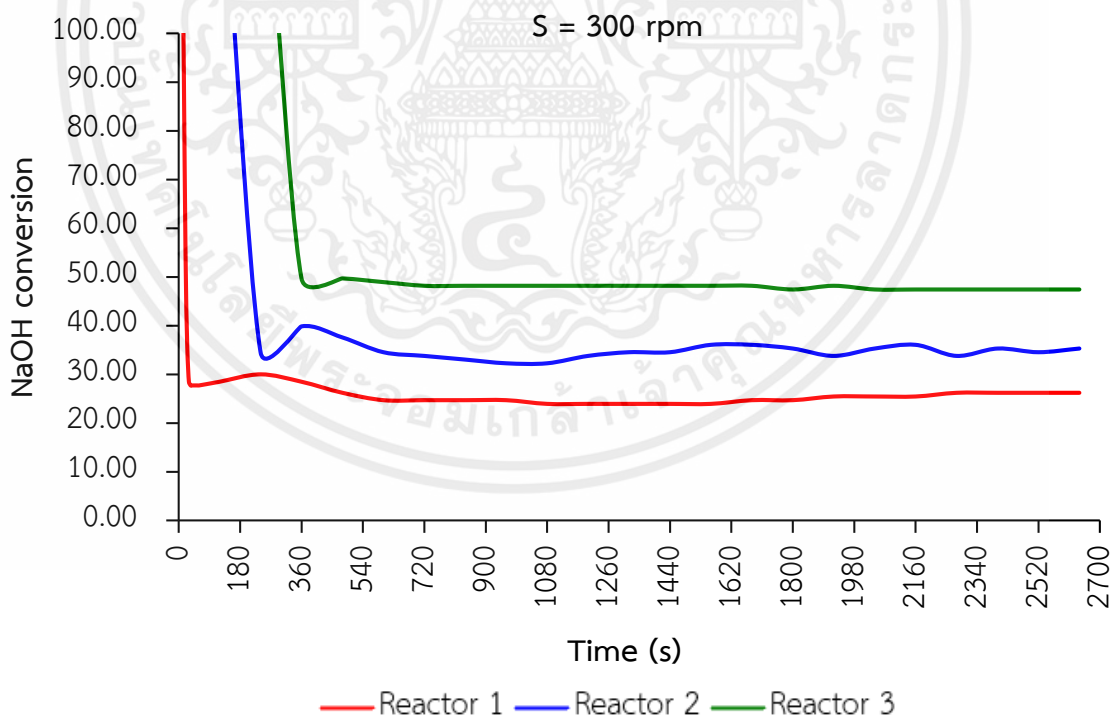
และจากกราฟรูปที่ 4.22 พบว่า ในเวลาเดียวกันที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในระบบการผสมที่มีความเร็วรอบใบกวนสูงกว่านั้น ค่าความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สูงกว่าปฏิกิริยาที่มีความเร็วรอบใบกวนที่ค่าความเร็วน้อยกว่า เนื่องจากการเพิ่มความเร็วในการหมุนของใบกวนในกระบวนการผสมสามารถมีผลทำให้กระบวนการผสมเกิดขึ้นได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของสารละลายที่เจือจางอยู่ในถังกวนผสมต่อเนื่องแบบอนุกรม 3 ถัง (CSTR in series) ความเร็วของใบกวนมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผสม ในทางกลับกัน ค่าเวลาไม่ได้เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการผสมโดยตรง

การเพิ่มความเร็วในการหมุนของใบกวนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผสม โดยการเพิ่มความเร็วนั้นจะส่งผลให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารในกระบวนการผสมมากขึ้น ซึ่งสารที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการผสมจะมีโอกาสสัมผัสกันเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ดังนั้นผลลัพธ์ที่เกิดจากนี้คือความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของใบกวนสูงขึ้น

เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองไปหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ หรือค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากสมการที่ได้จากกราฟรูป 4.2 จะได้ค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และจากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Conversion ของสารละลายไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.23 - 4.26

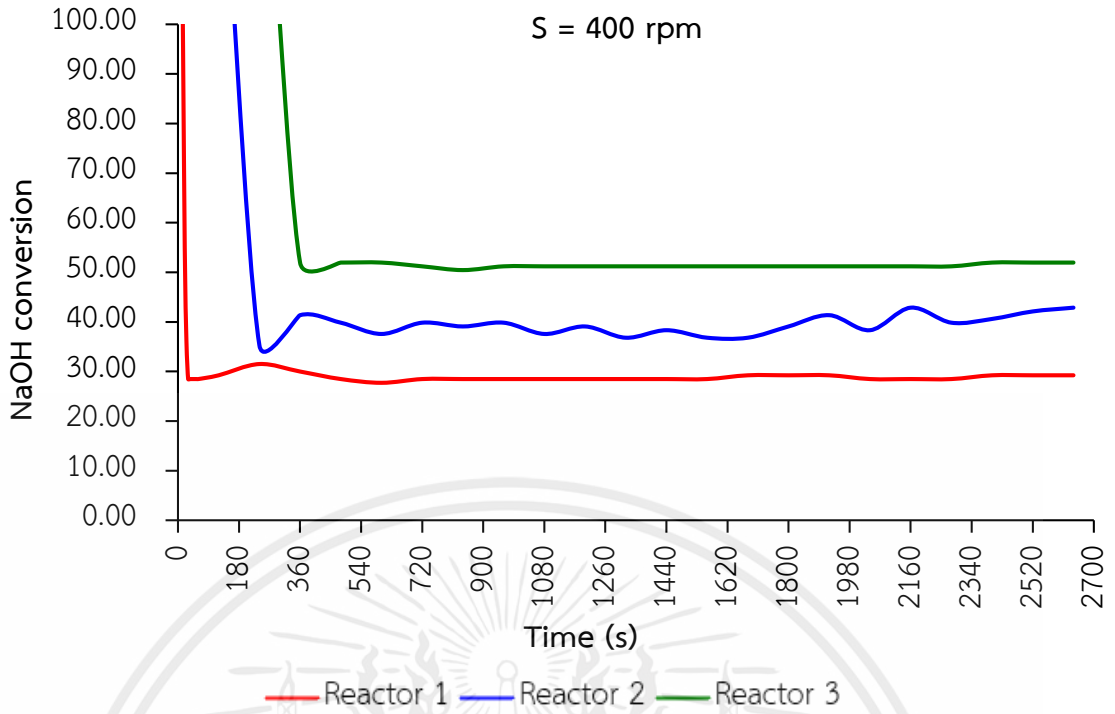


รูปที่ 4.23 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวน 200 rpm เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

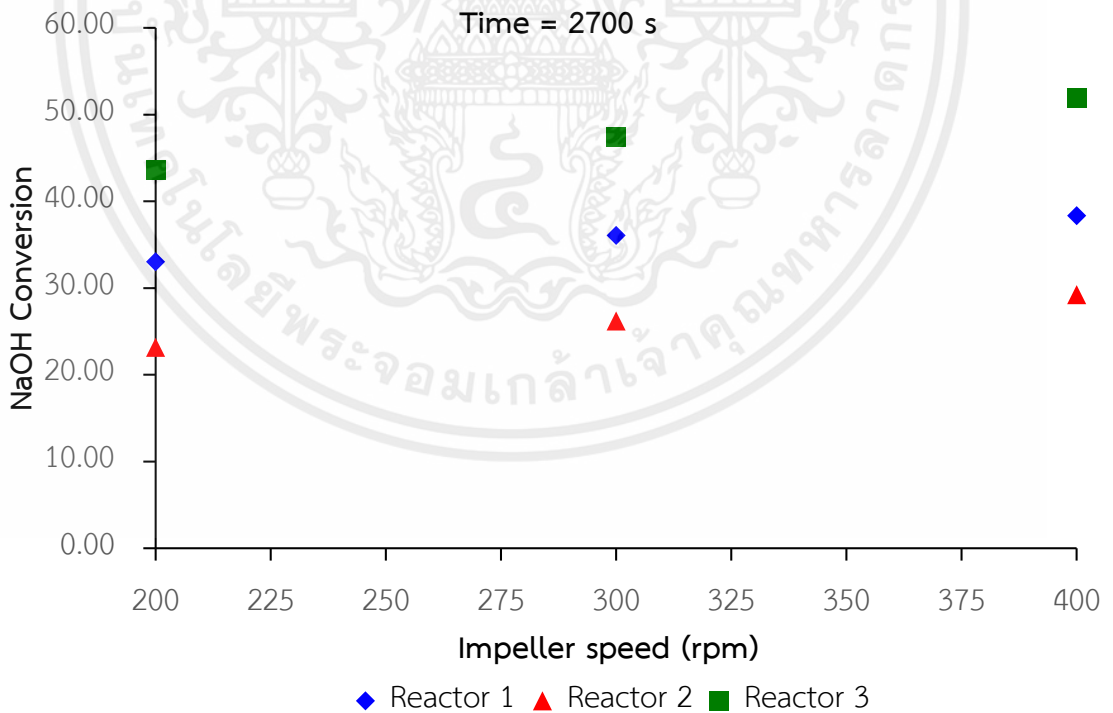


รูปที่ 4.24 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวน 300 rpm เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบใบกวน 400 rpm เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.26 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเร็วรอบของใบกวนต่างกัน  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

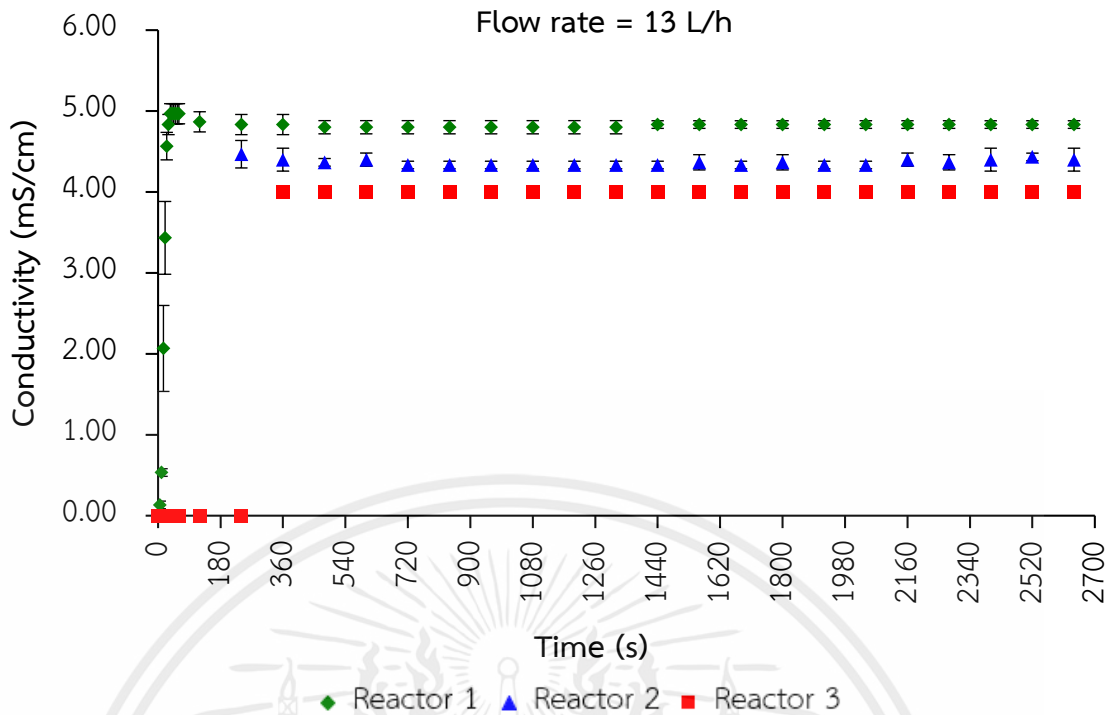
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.23 – 4.25 สังเกตได้ว่า เมื่อเริ่มต้นการปฏิกิริยา ค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มักพบว่าค่า Conversion เริ่มต้นมีค่าสูงมาก เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ในเวลานั้น ซึ่งเป็นค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นโซเดียมอะซิเตท ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของการปฏิกิริยานั้น ดังนั้นจึงนับค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่จุดที่ค่า Conversion ของไฮดรอกไซด์มีค่าต่ำที่สุด เมื่อเวลาผ่านไป Conversion จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าคงที่ในแต่ละถังปฏิกรณ์ โดยเฉพาะถังปฏิกรณ์ตัวที่ 3 จะมีค่า Conversion มากกว่าถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 และตัวที่ 1 ตามลำดับ

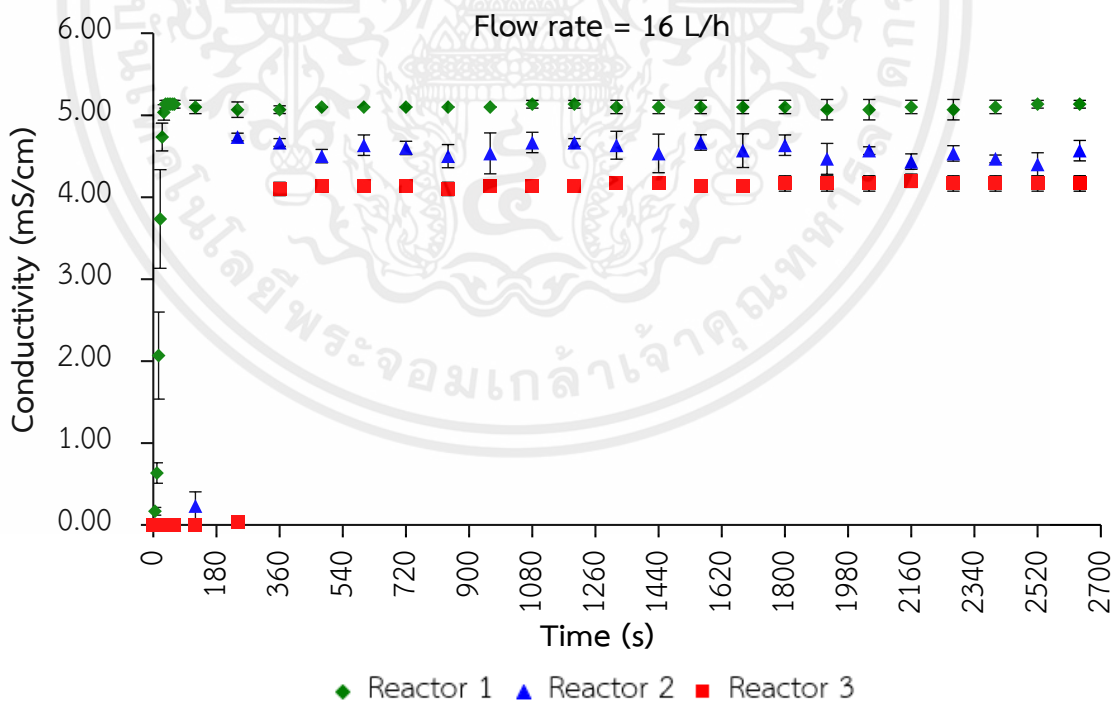
และจากกราฟรูปที่ 4.26 พบว่า แนวโน้มคล้ายกับความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท ณ เวลาเดียวกัน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบใบกวนในกระบวนการผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในถังกวนแบบอนุกรม 3 ถัง จะทำให้ค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้น เนื่องจากความเร็วรอบใบกวนที่สูงจะช่วยให้สารเกิดการผสมได้ดีขึ้น ความเร็วรอบใบกวนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผสมได้ เนื่องจากเพิ่มการสัมผัสระหว่างสารในกระบวนการทำให้สารที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการผสมได้มีโอกาสสัมผัสกันเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ทำให้ค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มีค่ามากขึ้นกรณีความเร็วรอบใบกวนคงที่ ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่างกัน

จากการทดลองทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M กรณีอัตราการไหลของความเร็วรอบใบกวนคงที่ ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่างกันนั้น กำหนดให้ความเร็วรอบใบกวนคงที่เท่ากับ 300 rpm โดยกำหนดให้อัตราการไหลของสารตั้งต้นทั้งสองสารมีค่าเท่ากันเท่ากับ 13, 16 และ 19 L/h ตามลำดับ

จากข้อมูลการทดลองสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยา ณ อัตราการไหลต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.27 – 4.29

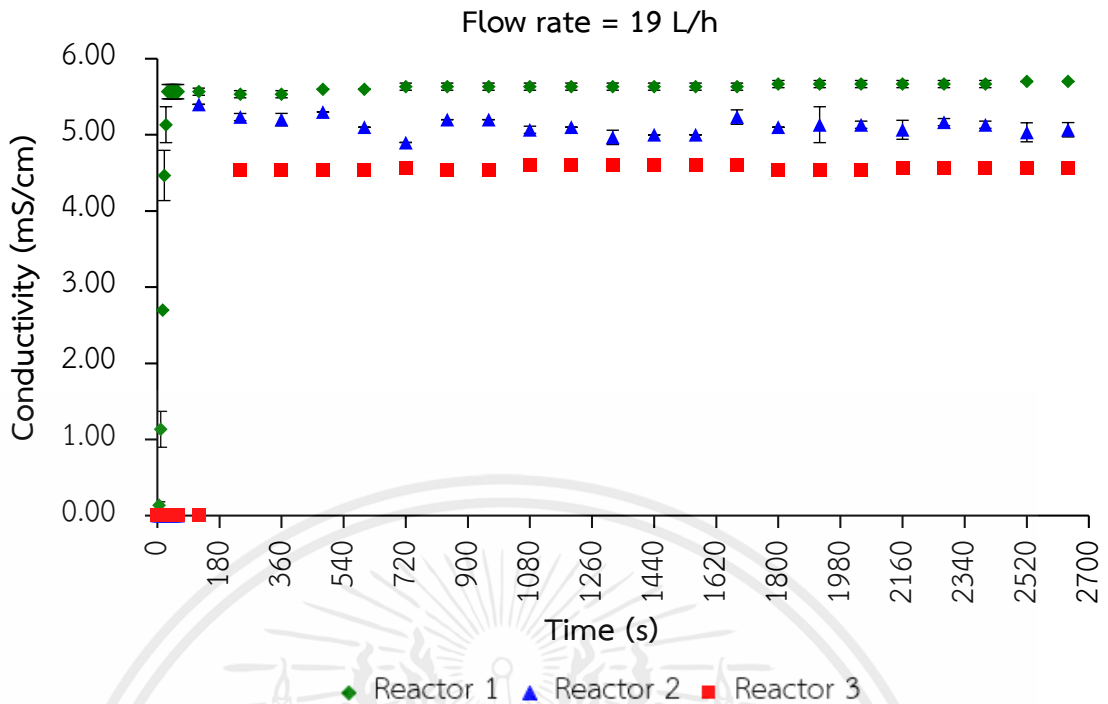


รูปที่ 4.27 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหล 13 L/h เมื่อเวลาผ่านไป  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.28 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหล 16 L/h เมื่อเวลาผ่านไป  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

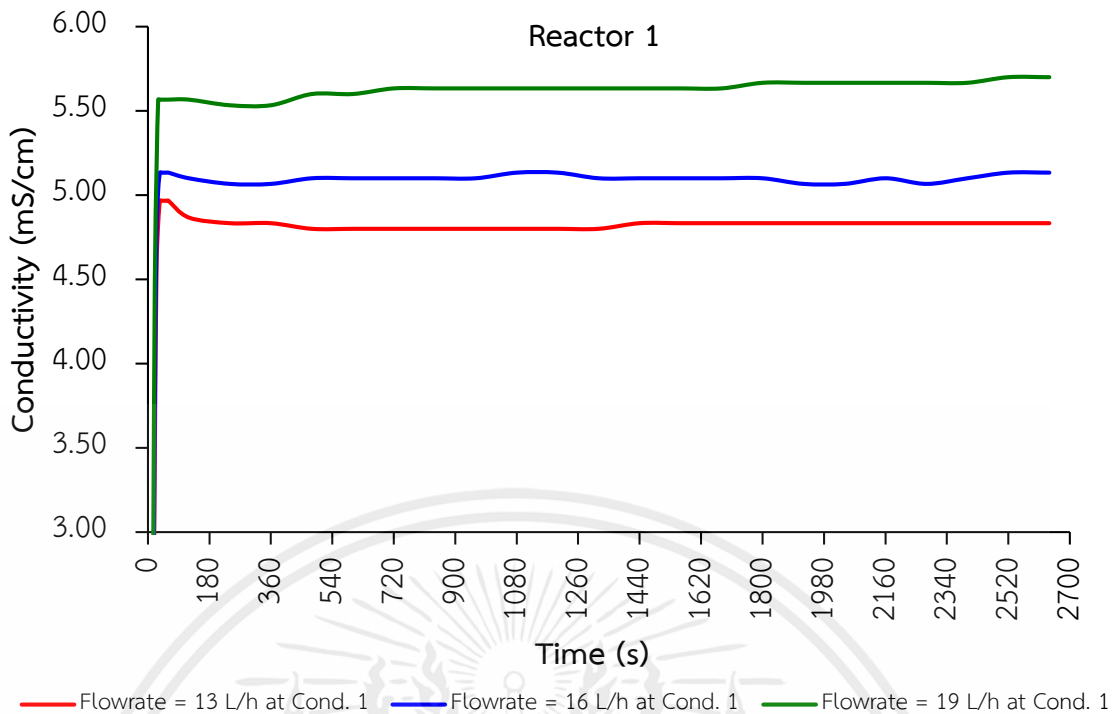
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



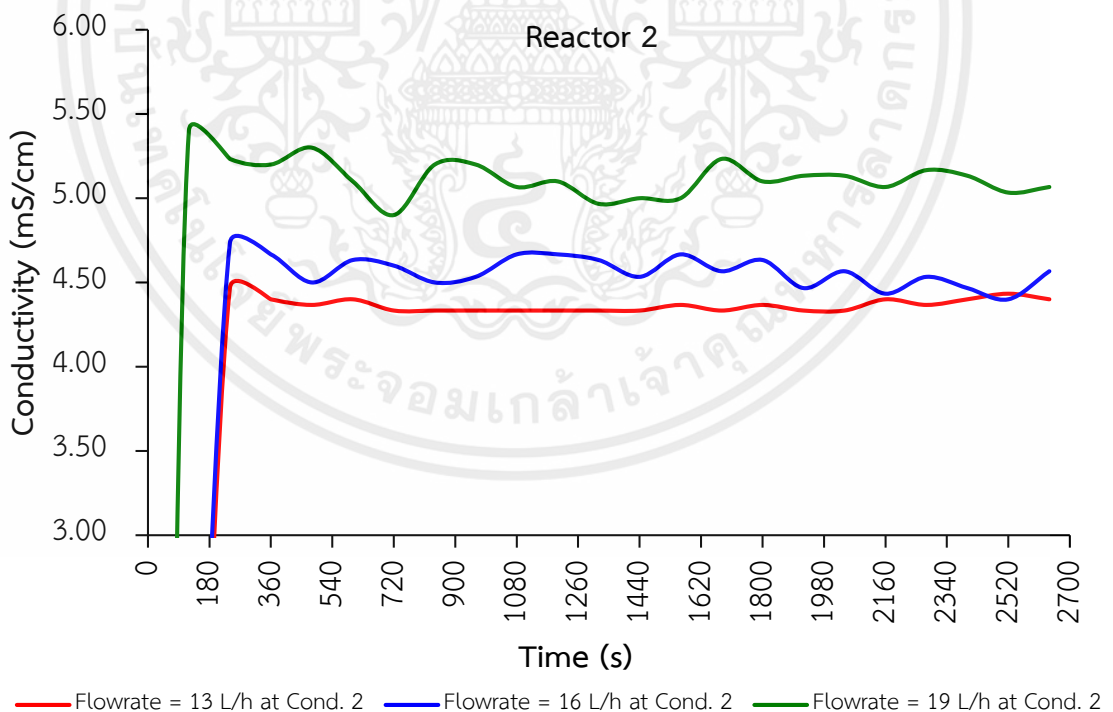
รูปที่ 4.29 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหล 19 L/h เมื่อเวลาผ่านไป  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

จากกราฟรูป 4.27 - 4.29 สังเกตได้ว่า ในตอนเริ่มต้นของการทดลองค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น จากนั้นจึงค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง และพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของเครื่องปฏิกรณ์ถังที่ 3 จะมีค่าต่ำกว่าค่าการนำไฟฟ้าของถังที่ 2 และถังที่ 1 ตามลำดับ เนื่องจากทั้ง 3 ถังต่อกันแบบอนุกรม ดังนั้นสารที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์จะทำปฏิกิริยาต่อกันโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง จะถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนที่นำไฟฟ้าได้น้อยกว่า ส่งผลให้การนำไฟฟ้าของสารละลายลดลงเมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้น

และสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาของแต่ละถัง ณ อัตราการไหลต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.30 - 4.32

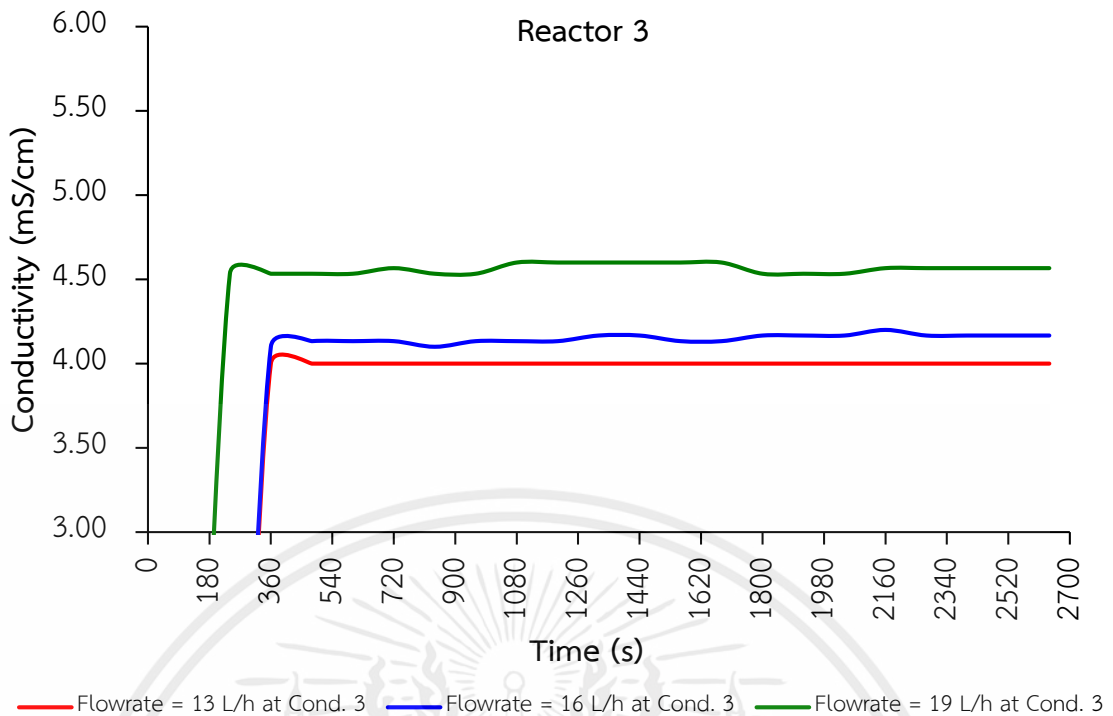


รูปที่ 4.30 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไปในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.31 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถังที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในถังกวนผสมต่อเนื่องถึงที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

จากกราฟรูป 4.30 - 4.32 สังเกตได้ว่า ที่เริ่มต้นปฏิกิริยา ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าสูงมากเนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ณ เวลาดังกล่าวคือค่าการนำไฟฟ้าของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อเวลาผ่านไปจึงจะเป็นค่าของโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของปฏิกิริยาที่วัดได้มีค่าลดลง และพบว่า ณ เวลาเดียวกัน ปฏิกิริยาที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นมีค่าที่ต่ำกว่าจะวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ต่ำกว่าปฏิกิริยาที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มีค่าสูงกว่า เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารตั้งต้น จะทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และเอทิลอะซิเตทซึ่งเป็นสารตั้งต้นมีระยะเวลาในการสัมผัสกันได้น้อยลง ทำให้โอกาสที่สารจะทำปฏิกิริยาลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าอัตราการไหลที่สูงไม่ได้ทำให้สารเกิดปฏิกิริยากันได้ดีเสมอไป การควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมจะช่วยให้สารเกิดการผสม และทำปฏิกิริยากันได้ดีขึ้น โดยจะเพิ่มการสัมผัสระหว่างสารในกระบวนการทำให้สารที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการผสมได้มีโอกาสสัมผัสกันเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ส่งผลให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนได้มากขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จึงมีค่าต่ำลง

นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 อาจมีค่าที่เบี่ยงเบนขึ้นหรือลงเมื่อเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1 และ 3 เนื่องจากการเกิดฟองก๊าซในกระบวนการของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1 ซึ่งไม่มีการเกิดฟอง

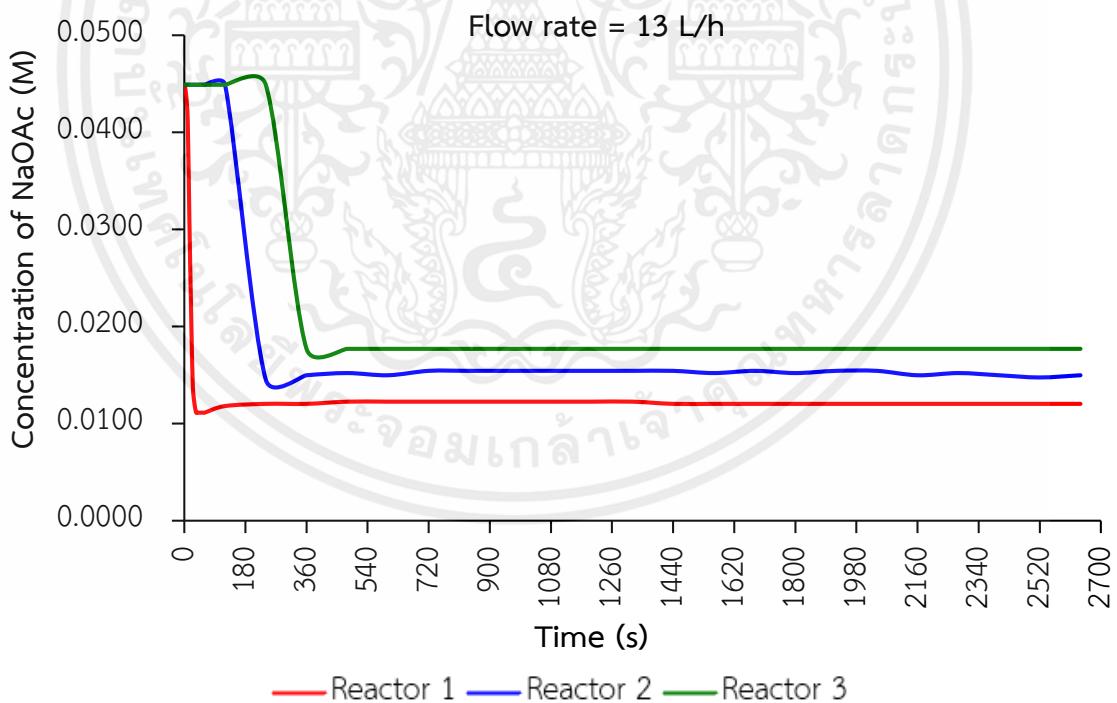
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซ และถึงปฏิกรณ์ตัวที่ 3 ซึ่งมีการเกิดฟองก๊าซ แต่ตำแหน่งของโพรบวัดค่าการนำไฟฟ้าอยู่ด้านหลัง ภายในเครื่องปฏิกรณ์

ในกรณีของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1 ที่ไม่มีการเกิดฟองก๊าซ ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จะมีค่าที่เหมือนกับค่าการนำไฟฟ้าจริง โดยไม่มีปัจจัยที่มีผลกระทบจากฟองก๊าซที่เกิดขึ้นในถัง ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้จะมีค่าที่เสถียรและแน่นอน

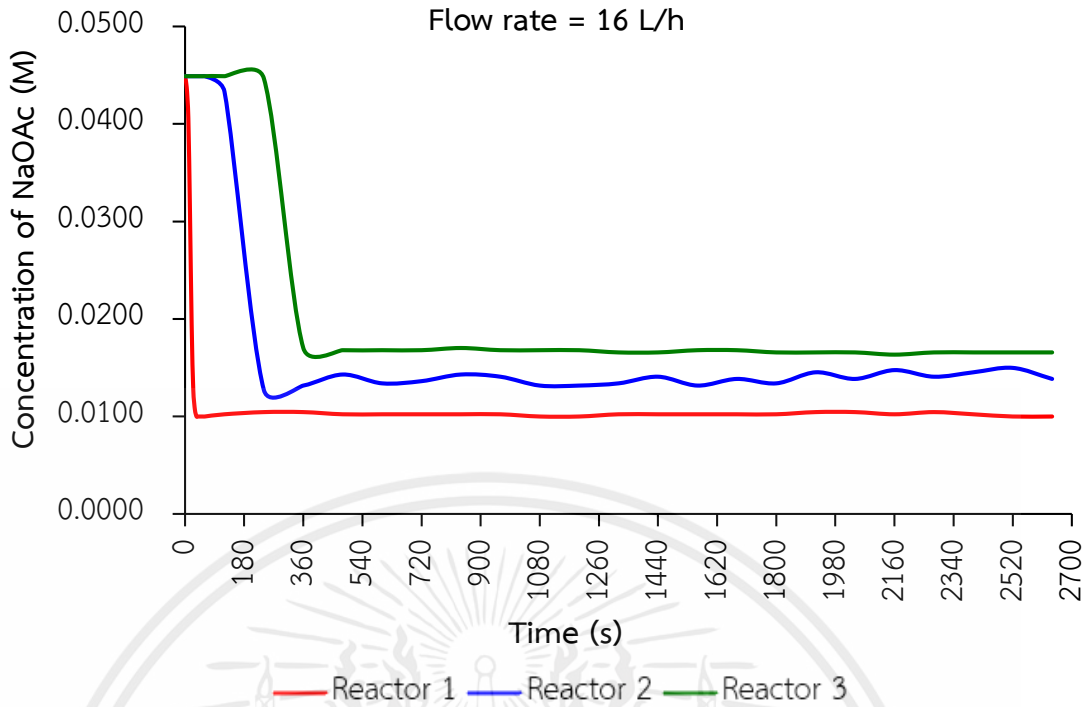
ในกรณีของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 ที่เกิดฟองก๊าซ ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังมีการสัมผัสกับโพรบวัดค่าการนำไฟฟ้า ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าที่เบี่ยงเบนขึ้นหรือลง ซึ่งค่าการนำไฟฟ้านี้อาจไม่สามารถแทนค่าการนำไฟฟ้าจริงได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากผลจากฟองก๊าซที่สัมผัสโพรบวัดค่าการนำไฟฟ้า

เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองไปหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยาจากสมการที่ได้จากกราฟรูป 4.2 จะได้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท และจากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทที่อัตราการไหลต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.33 - 4.36

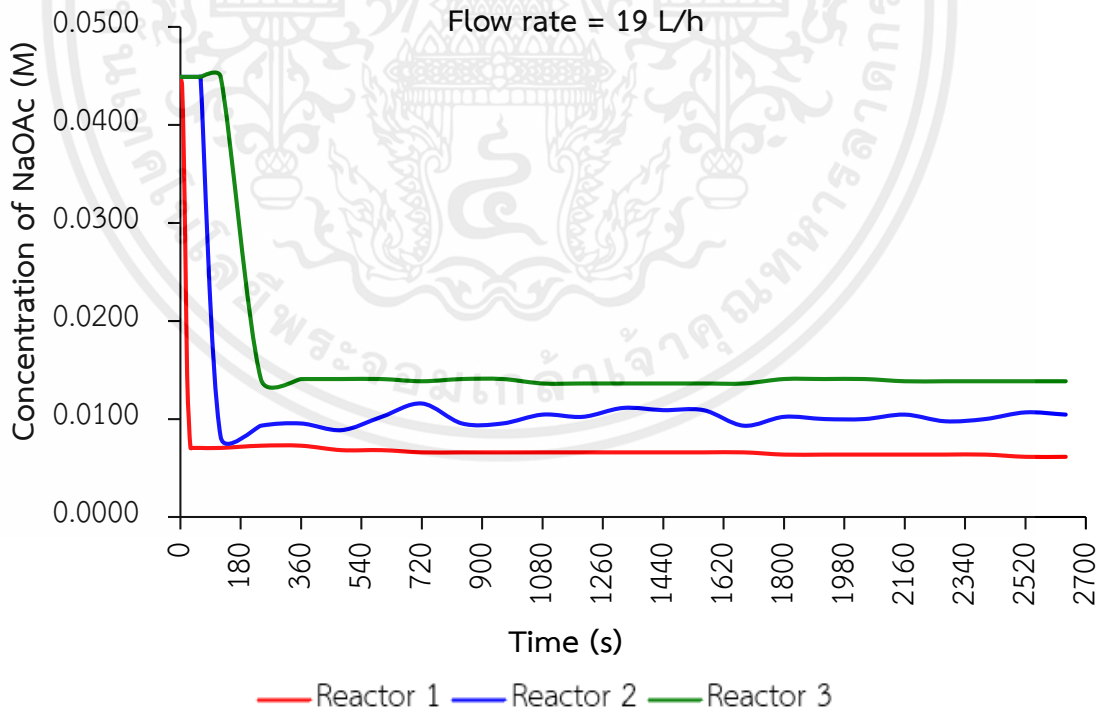


รูปที่ 4.33 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่อัตราการไหล 13 L/h  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

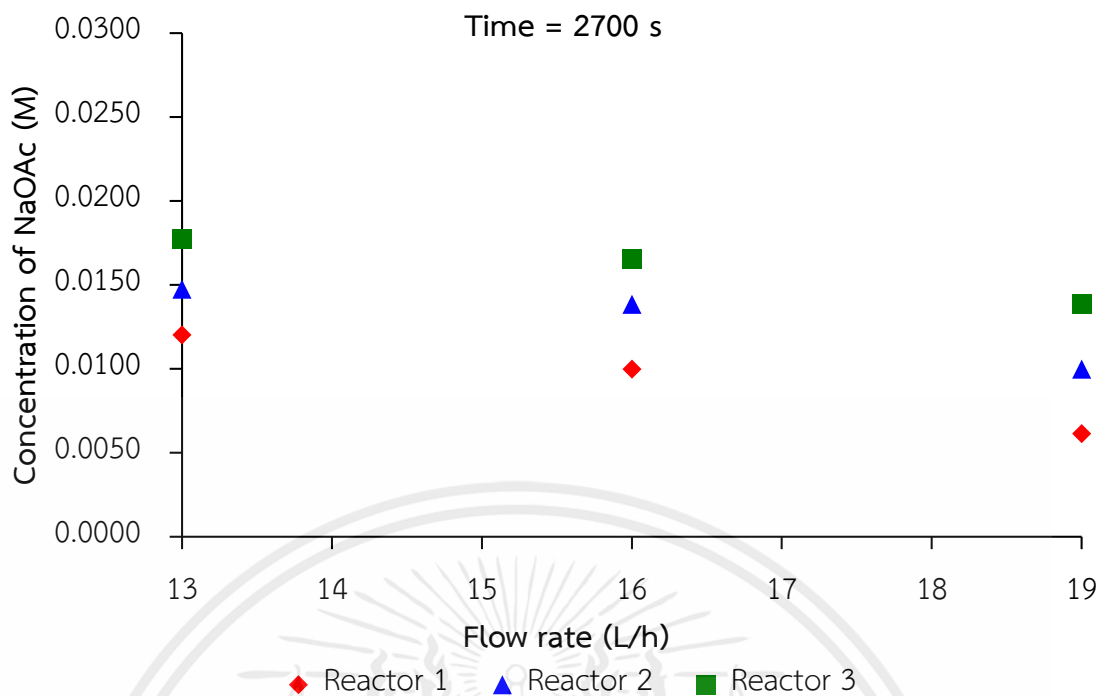


รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่อัตราการไหล 16 L/h  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่อัตราการไหล 19 L/h  
ในกรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

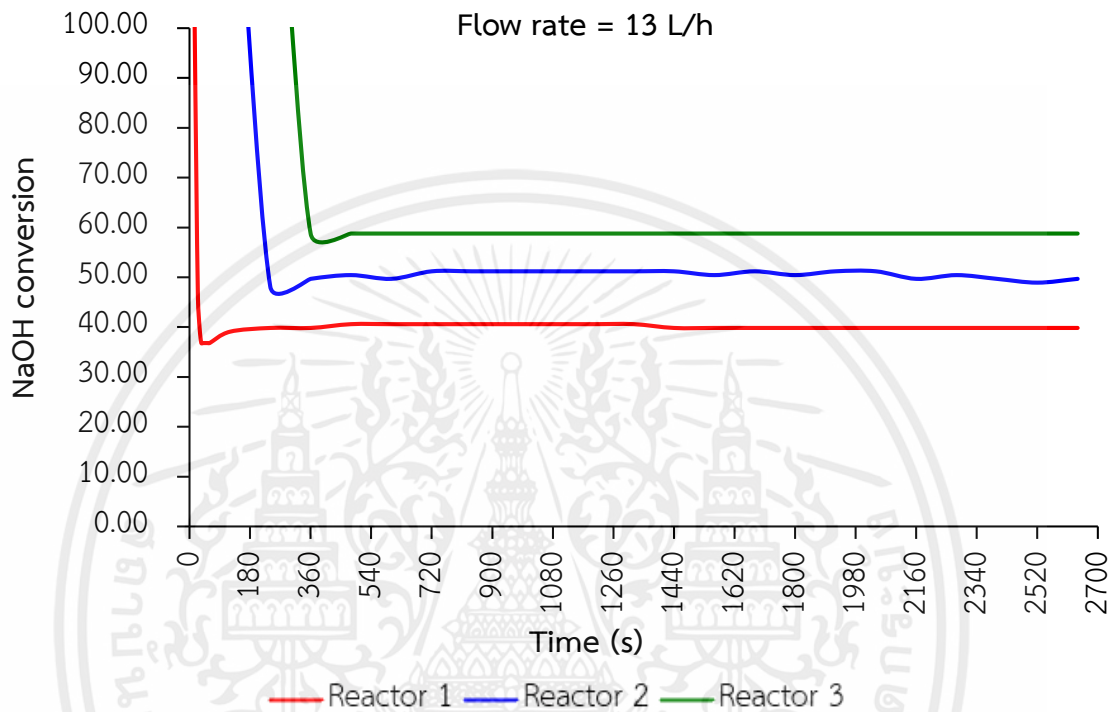


รูปที่ 4.36 แสดงแนวโน้มความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตท ที่อัตราการไหลต่างกัน  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถึง ณ เวลา 2,700 s

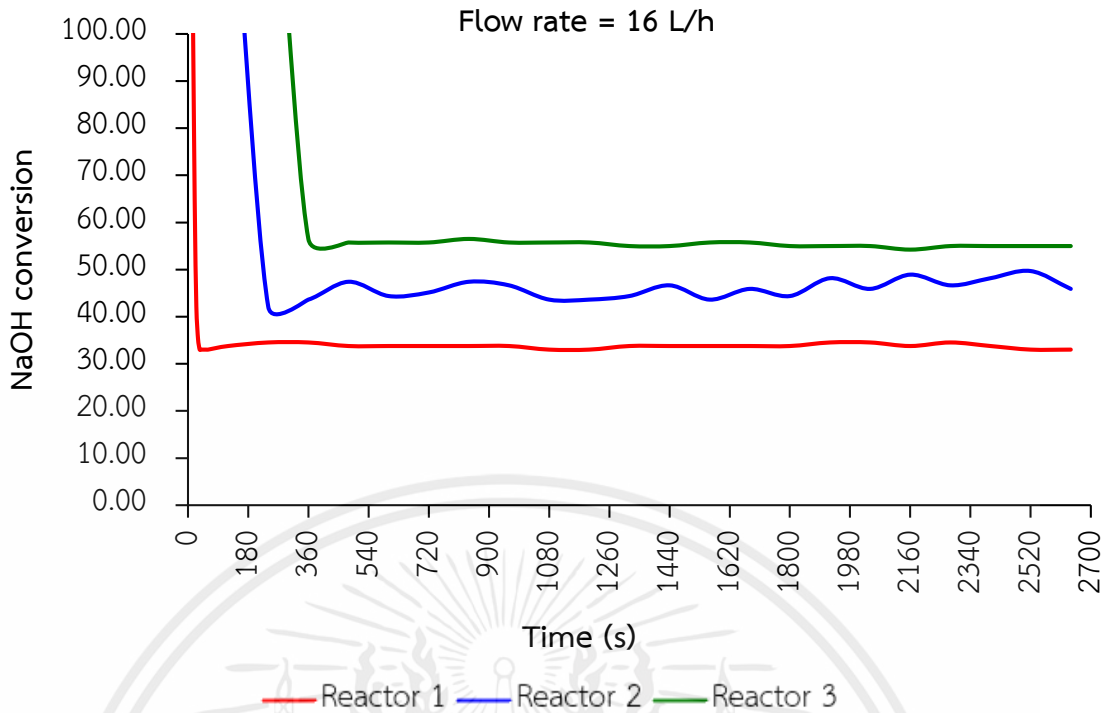
จากกราฟรูปที่ 4.33 – 4.35 สังเกตได้ว่า ในขณะที่เริ่มต้นปฏิกิริยาความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าสูงมาก เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ณ เวลาดังกล่าวคือค่าการนำไฟฟ้าของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อเวลาผ่านไปจึงเป็นค่าของโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากนั้นค่าความเข้มข้นที่ได้จากปฏิกิริยาซึ่งเป็นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทจะเพิ่มขึ้น และเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งในถังปฏิกรณ์แต่ละถัง โดยที่เวลาเดียวกันค่าความเข้มข้นของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 3 จะมากกว่าถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 และตัวที่ 1 ตามลำดับ

และจากกราฟรูปที่ 4.36 พบว่า ณ เวลาเดียวกัน ปฏิกิริยาที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นมีค่าที่ต่ำกว่าจะได้ค่าความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สูงกว่าปฏิกิริยาที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นมีค่าสูงกว่า เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารตั้งต้นจะทำให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเอทิลอะซิเตทซึ่งเป็นสารตั้งต้นมีระยะเวลาในการสัมผัสกันได้น้อยลง ทำให้โอกาสที่สารจะทำปฏิกิริยาลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นการควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมจะช่วยให้สารเกิดการผสม และทำปฏิกิริยากันได้ดีขึ้น โดยจะเพิ่มการสัมผัสระหว่างสารในกระบวนการ ทำให้สารที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการผสมได้มีโอกาสสัมผัสกันเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักมีค่ามากขึ้น

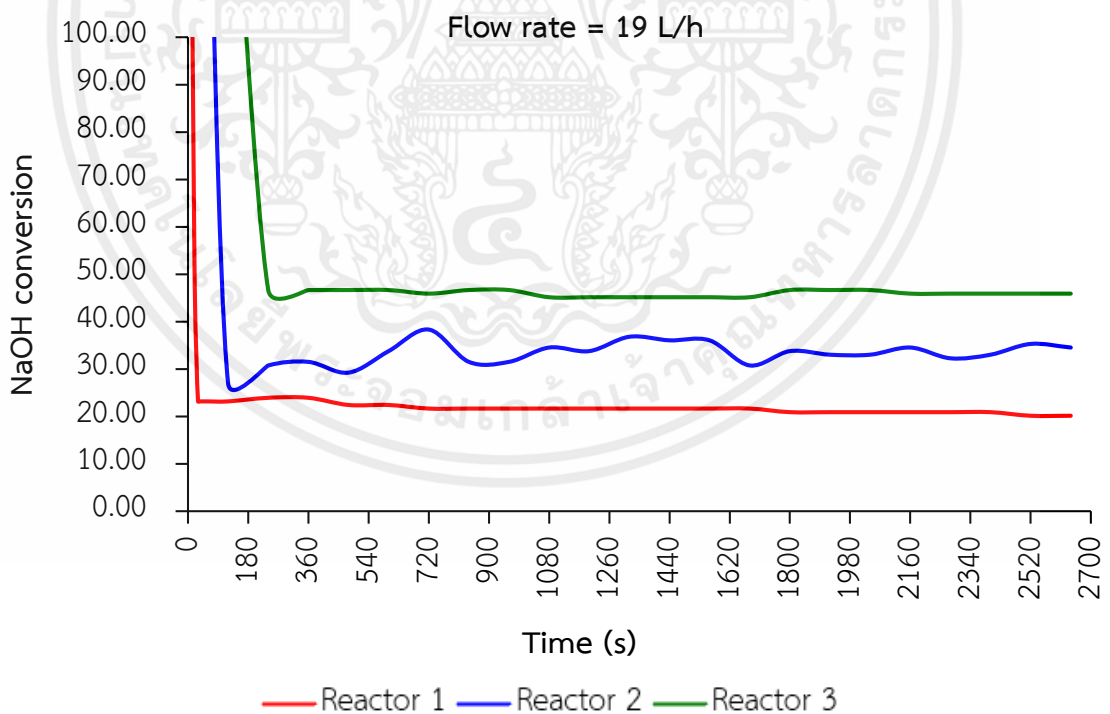
เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองไปหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ หรือค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากสมการที่ได้จากกราฟรูป 4.2 จะได้ค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และจากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Conversion ของสารละลายไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหลต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปได้แสดงดังรูปที่ 4.37 - 4.40



รูปที่ 4.37 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหล 13 L/h เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

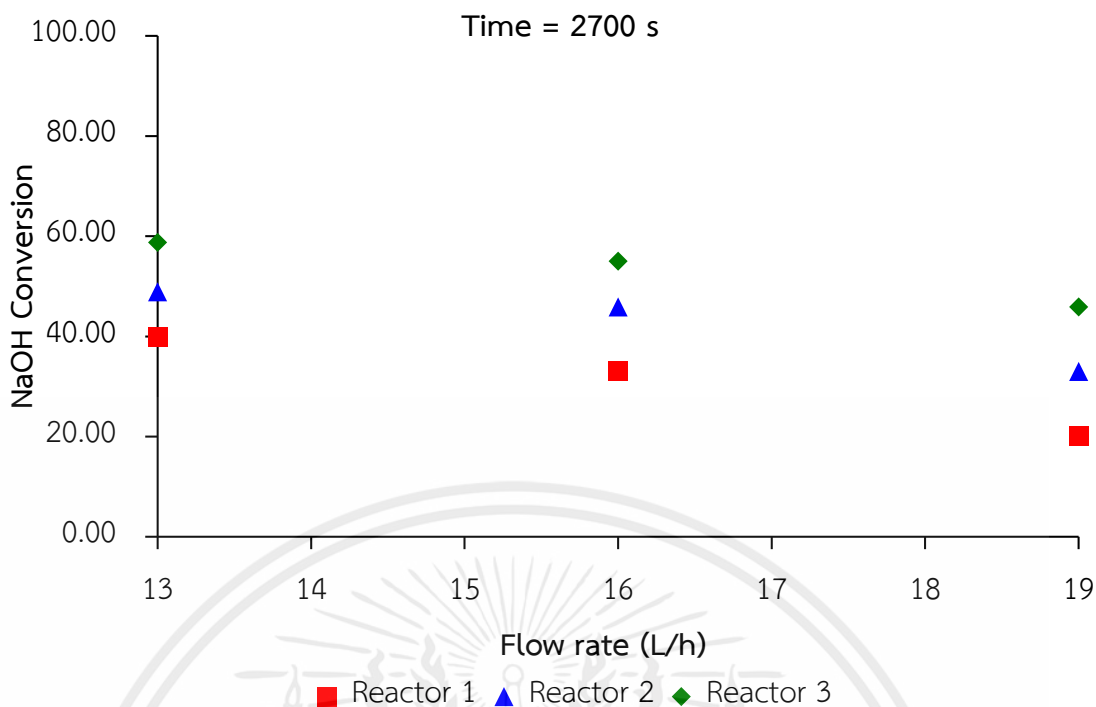


รูปที่ 4.38 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหล 16 L/h เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง



รูปที่ 4.39 Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหล 19 L/h เมื่อเวลาผ่านไป  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 แสดงแนวโน้ม Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราการไหลต่างกัน  
กรณี CSTR แบบอนุกรม 3 ถัง

จากกราฟรูปที่ 4.37 – 4.39 สังเกตได้ว่า ที่เริ่มต้นปฏิกิริยา ค่า Conversion ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้มีค่าสูงมากเนื่องจาก ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ณ เวลาดังกล่าว คือค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่เมื่อเวลาผ่านไปจึงจะเป็นค่าของโซเดียมอะซิเตท ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จึงเริ่มนับตั้งแต่ว่าจุดที่ค่า Conversion ของไฮดรอกไซด์มีค่าต่ำที่สุด จากนั้นค่า Conversion จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งในถังปฏิกรณ์แต่ละถัง โดยที่เวลาเดียวกัน Conversion ของไฮดรอกไซด์ของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 3 จะมากกว่าถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 และตัวที่ 1 ตามลำดับ

และจากกราฟรูปที่ 4.40 พบว่า ณ เวลาเดียวกัน ปฏิกิริยาที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่ำกว่าจะได้ค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่าปฏิกิริยาที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นมีค่าสูงกว่า เนื่องจากเนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารตั้งต้น จะทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์และเอทิลอะซิเตทซึ่งเป็นสารตั้งต้นมีระยะเวลาในการสัมผัสกันได้น้อยลง ทำให้โอกาสที่สารจะทำปฏิกิริยาลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นการควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมจะช่วยให้สารเกิดการผสม และทำปฏิกิริยากันได้ดีขึ้น โดยจะเพิ่มการสัมผัสระหว่างสารในกระบวนการ ทำให้สารที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการผสมได้มีโอกาสสัมผัสกันเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่า Conversion ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้มีค่ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้ทำการศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างเอทิลอะซิเตทและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากันคือ 0.06M ได้ศึกษากระบวนการผสมและปัจจัยที่ส่งผลต่อการผสมในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง นอกจากนี้เพื่อสร้างคู่มือสำหรับวิชาปฏิบัติการเฉพาะหน่วยโดยใช้ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ในภาวะวิเคราะห์ผลการทดลอง

ก่อนการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผสมในเครื่องปฏิกรณ์มีการวัดอัตราการไหลของสารเพื่อตรวจสอบสมรรถภาพของปั๊ม โดยจากการทดลองพบว่า อัตราการไหลจริงที่วัดได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าอัตราการไหลที่แสดงบนจอแสดงผล จึงมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากจอแสดงผลเทียบกับอัตราการไหลจริง เพื่อใช้ในการทำการทดลองในส่วนถัดไป

จากการหาเวลาในการผสมเพื่อตรวจสอบว่าถังปฏิกรณ์แต่ละถังมีความสามารถในการผสมที่เท่ากันหรือไม่ พบว่าเวลาในการผสมที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีซึ่งบ่งบอกว่าการผสมในกระบวนการเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสารมีความเข้มข้นคงที่และเป็น 95% ของการผสม โดยเวลาในการผสมของถังที่ 1 ถึงที่ 2 และถังที่ 3 มีค่าเท่ากับ 20, 25 และ 20 s ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ต่างกันเป็นผลมาจากตำแหน่งของโพรบ และตำแหน่งทศนิยมที่อุปกรณ์สามารถบันทึกและแสดงค่าได้ และจากใบกวนที่ใช้ในการทดลองเป็นใบกวนที่มีลักษณะผสมระหว่างใบกวนชนิด Pitch-blade turbine และใบกวนชนิด Propeller เมื่อทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบเวลาในการผสมทางการทดลองเทียบกับทางทฤษฎีแล้วพบว่าใบกวนที่ใช้เป็นใบกวนแบบผสมระหว่าง Turbine และ Propeller จริง เนื่องจากมีค่าเวลาในการผสมอยู่ระหว่าง ค่าเวลาในการผสมทางทฤษฎีของใบกวนสองชนิดดังกล่าว

จากการทดลองศึกษาปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันระหว่างเอทิลอะซิเตทและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากันคือ 0.06 M กรณีการทดลองแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) จะศึกษาเฉพาะผลของความเร็รรอบใบกวน โดยศึกษาที่ความเร็รรอบใบกวนเท่ากับ 200, 300 และ 400 rpm พบว่า ณ เวลาเดียวกันความเร็รรอบที่สูงจะให้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าที่ความเร็รรอบใบกวนต่ำ หรือกล่าวได้ว่าการทดลองแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีเมื่อความเร็รรอบใบกวนต่ำ โดยจะส่งผลให้ความการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ หรือ Conversion มีค่าสูง และได้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้น

จากการทดลองแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (Continuous reactor) แบบอนุกรม 3 ถัง แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี และสรุปผลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษากรณีอัตราการไหลของสารตั้งต้นคงที่ ที่ความเร็วรอบใบกวนต่างกันที่ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 200, 300 และ 400 rpm พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของใบกวนจะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง การลดลงของค่าการนำไฟฟ้าเป็นผลมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงถูกแทนที่ด้วยอะซิเตทไอออนได้มากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าความเร็วรอบใบกวนที่สูงจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าความเร็วรอบใบกวนต่ำ

จากการศึกษากรณีความเร็วรอบใบกวนคงที่ ที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่างกันที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นเท่ากับ 13, 16 และ 19 พบว่าอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่สูงกว่าจะให้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่า หรือกล่าวได้ว่าในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นต่ำจะเกิดผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าที่อัตราการไหลของสารตั้งต้นสูง เนื่องจากอัตราการไหลต่ำทำให้มีเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น

และจากการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 มีความเบี่ยงเบนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1 และตัวที่ 3 เนื่องจากฟองก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการในถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 สัมผัสกับโพรบที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่านอกจากค่าความเร็วรอบใบกวน และอัตราการไหลของสารตั้งต้นที่ส่งผลต่อการผสมและการเกิดปฏิกิริยาแล้ว ตำแหน่งของเครื่องมือวัดในถังปฏิกรณ์ก็ส่งผลต่อค่าที่วัดได้จากการทดลองเช่นกัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการดำเนินการทดลองใน Batch reactor โดยการป้อนสารละลายเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ ควรใช้วิธีการป้อนสารสองชนิดพร้อมกัน โดยผ่านท่อที่มีจุ่มลงภายในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อให้สารสองชนิดนั้นผสมกันได้อย่างทั่วถึงภายในเครื่องปฏิกรณ์
2. จากการทดลองพบว่าตำแหน่งของโพรบเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ควรมีการควบคุมตำแหน่งให้อยู่ในระยะและทิศทางเดียวกัน
3. ในป้อนการขณะทำการทดลองหาเวลาในการผสม และทำการทดลองกรณี Batch reactor ควรระวังในการเปิดและปิดจุกด้านบนให้แน่นเพื่อป้องกันรั่วไหล และลดการเกิดฟองก๊าซภายในระบบ
4. ในการปรับความเร็วรอบของใบกวนพบว่า การปรับค่าให้เท่ากันในแต่ละครั้งทำได้ยาก ควรมีวิธีในการปรับความเร็วรอบ เช่น ปรับเปลี่ยนจากปั๊มแบบหมุนเป็นกำหนดค่า
5. หากต้องการให้มีแรงขับในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ควรเพิ่มอัตราการไหล หรือความเข้มข้นของสารตัวใดตัวหนึ่งให้มากเกินพอสำหรับการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะให้เห็นแนวโน้มหรือการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A.Kayode. Coker, Modeling of chemical kinetics and reactor design, Gulf Professional Pub, 2001.
- [2] K.L.Kapoor, A textbook of Physical Chemistry (McMillan: New Delhi, India, 2004, Vol. 5) 116., n.d.
- [3] M. Danish, M. Khaloofah, A. Mesfer, M. Rashid, M.K. al Mesfer, Effect of Operating Conditions on CSTR performance: an Experimental Study Synthesis of Poly aniline for noble adsorption View project Used oil treatment View project Effect of Operating Conditions on CSTR performance: an Experimental Study, 2015. [www.ijera.com](http://www.ijera.com).
- [4] K. Das, P. Sahoo, M. Sai Baba, N. Murali, P. Swaminathan, Kinetic studies on saponification of ethyl acetate using an innovative conductivity-monitoring instrument with a pulsating sensor, *Int J Chem Kinet.* 43 (2011) 648–656. <https://doi.org/10.1002/kin.20597>.
- [5] McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York. 1993.
- [6] Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. 3rd Edition. John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [7] Missen, R.W., Mims, C.A. and Saville, B.A. Introduction to chemical reaction engineering and kinetics. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. 2015.
- [8] Fogler, H. Scott. Elements of Chemical Reaction Engineering. Upper Saddle River, N.J. Prentice Hall PTR, 1999.
- [9] M.D. Grau, J.M. Nogués, L. Puigjaner, Comparative study of two chemical reactions with different behaviour in batch and semibatch reactors, 2002.
- [10] G. Ascanio, Mixing time in stirred vessels: A review of experimental techniques, *Chin J Chem Eng.* 23 (2015) 1065–1076. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2014.10.022>.
- [11] D.B. Holmes, R.M. Voncken, J.A. Dekker, Fluid flow in turbine-stirred, baffled tanks—I, *Chem Eng Sci.* 19 (1964) 201–208. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(64\)85030-2](https://doi.org/10.1016/0009-2509(64)85030-2).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Fluid Mixing in Reactors, in: Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design, Elsevier, 2001: pp. 552–662. <https://doi.org/10.1016/B978-088415481-5/50009-7>.
- [13] A.W. Nienow, N. Harnby, M.F. Edwards, Introduction to mixing problems, in: Mixing in the Process Industries, Elsevier, 1992: pp. 1–24. <https://doi.org/10.1016/B978-075063760-2/50022-6>.
- [14] S. Parvizi, E. Keshavarz Alamdari, S.H. Hashemabadi, M. Kavousi, A. Sattari, Investigating Factors Affecting on the Efficiency of Dynamic Mixers, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 37 (2016) 342–368. <https://doi.org/10.1080/08827508.2016.1218868>.
- [15] Warren L. McCabe, Julian C. Smith, and Peter Harriott, Unit operations of Chemical Engineering (7th edition), McGraw-Hill, International edition., 2005.
- [16] Massimiliano Giona, Tracer Dispersion in Stirred Tank Reactors, (2002). <https://doi.org/10.1002/cjce.5450800421>
- [17] E. Bumrunghthaichaichan, A review on numerical consideration for computational fluid dynamics modeling of jet mixing tanks, Korean Journal of Chemical Engineering. 33 (2016) 3050–3068. <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0236-x>.
- [18] M.K.A. Mesfer, Experimental Study of Batch Reactor Performance for Ethyl Acetate Saponification, International Journal of Chemical Reactor Engineering. 16 (2018). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2016-0174>.
- [19] APC. (3 January 2018). เข้าถึงได้จาก เอกสารข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี เอทิลอะซิเตท: [https://www.apcbkk.com/pdf/products/Esters/SDS/EAC\\_TH.pdf](https://www.apcbkk.com/pdf/products/Esters/SDS/EAC_TH.pdf)
- [20] กองควบคุมวัตถุเสพติด สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2022). เข้าถึงได้จาก โซเดียม ไฮดรอกไซด์: <https://mnfda.fda.moph.go.th/narcotic/?p=6644>
- [21] อาร์ซีไอแล็บสแกน. (2021). เข้าถึงได้จาก โซเดียม อะซิเตท ไตรไฮเดรต (SODIUM ACETATE TRIHYDRATE): <https://www.rcilabscan.com/wp-content/uploads/2021/04/Sodium-Acetate-Trihydrate-T-010521.pdf>
- [22] MERCK. (2017). เข้าถึงได้จาก เอกสารข้อมูลความปลอดภัย เอทานอล: <https://dt.mahidol.ac.th/th/wp-content/uploads/2019/09/140-Ethanol.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 อัตราการไหลจากการทดลองของปั๊ม A

Instrument		Experiment										%error
Flow rate (L/h)	Flow rate (ml/s)	Volume (ml)			Time (s)			Flow rate (ml/s)				
		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	Mean	
3	0.83	24.0	25.0	26.5	25.76	25.55	26.23	0.93	0.98	1.01	0.97	16.82
7	1.94	33.0	34.0	33.5	15.94	15.57	15.76	2.07	2.18	2.13	2.13	9.36
11	3.06	37.0	37.0	37.2	11.18	10.92	10.73	3.31	3.39	3.47	3.39	10.89
15	4.17	44.0	48.0	47.5	8.73	8.85	8.90	5.04	5.42	5.34	5.27	26.41
19	5.28	52.8	52.0	50.0	8.08	7.61	7.72	6.53	6.83	6.48	6.61	25.33

ตารางที่ ก.2 อัตราการไหลจากการทดลองของปั๊ม B

Instrument		Experiment										%error
Flow rate (L/h)	Flow rate (ml/s)	Volume (ml)			Time (s)			Flow rate (ml/s)				
		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	Mean	
3	0.83	24.5	25.0	25.5	25.66	25.72	25.61	0.95	0.97	1.00	0.97	16.90
7	1.94	34.0	37.0	36.0	15.61	16.66	15.73	2.18	2.22	2.29	2.23	14.64
11	3.06	35.0	36.0	38.5	10.52	10.61	10.88	3.33	3.39	3.54	3.42	11.91
15	4.17	48.5	52.0	48.5	8.86	9.42	8.76	5.47	5.52	5.54	5.51	32.25
19	5.28	53.0	55.5	56.0	7.84	7.79	8.03	6.76	7.12	6.97	6.95	31.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองเพื่อสร้าง Calibration curve ในการทดลองตอนที่ 2

Conversion NaOH	Solution Mixtures			Conc. NaOH	Conc. NaOAc	Conductivity (mS/cm)			
	0.06 M NaOH (mL)	0.06 M CH <sub>3</sub> COONa (mL)	H <sub>2</sub> O (mL)			No.1	No.2	No.3	Mean
0%	450	0	450	0.0300	0.0000	6.6	6.6	6.6	6.60
25%	337.5	112.5	450	0.0225	0.0075	5.5	5.5	5.5	5.50
50%	225	225	450	0.0150	0.0150	4.4	4.4	4.4	4.40
75%	112.5	337.5	450	0.0075	0.0225	3.1	3.1	3.2	3.13
100%	0	450	450	0.0000	0.0300	2.3	2.3	2.3	2.30

ตารางที่ ก.4 Mixing time ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีตัวที่ 1

Reactor 1						Conductivity (mS/cm)	Concentration NaOAc	c/C
No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0010	0.32
5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0013	0.41
10	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.24	0.0018	0.57
15	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.44	0.0024	0.76
20	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
25	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
30	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
35	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
40	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
45	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
50	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
60	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 Mixing time ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีตัวที่ 2

Reactor 2						Conductivity (mS/cm)	Concentration NaOAc	c/C
No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6			
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0010	0.32
5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0013	0.41
10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0020	0.63
15	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50	0.0026	0.82
20	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
25	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04
30	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04
35	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04
40	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04
45	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04
50	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04
55	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04
60	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.70	0.0033	1.04

ตารางที่ ก.6 Mixing time ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีตัวที่ 3

Reactor 3						Conductivity (mS/cm)	Concentration NaOAc	c/C
No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6			
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0010	0.32
5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0013	0.41
10	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.26	0.0019	0.60
15	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50	0.0026	0.82
20	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
25	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
30	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
35	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
40	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
45	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
50	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95
55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0030	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reactor 3						Conductivity (mS/cm)	Concentration NaOAc	c/C
No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6			
60	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.60	0.003	0.95

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองสำหรับ Batch reactor ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 200 rpm

Time (s)	Conductivity (mS/cm)				S.D.	NaOAc Concentration	NaOH Conversion
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean			
0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0449	149.70
5	0.2	0.2	0.1	0.17	0.05	0.0438	145.91
10	0.8	0.5	0.6	0.63	0.12	0.0406	135.30
15	3.1	2.6	2.4	2.70	0.29	0.0265	88.33
20	4.6	4.3	4.2	4.37	0.17	0.0152	50.45
25	5.5	5.4	5.4	5.43	0.05	0.0080	26.20
30	5.9	6.1	6.1	6.03	0.09	0.0039	12.56
35	5.9	6.2	6.2	6.10	0.14	0.0034	11.05
40	5.9	6.2	6.2	6.10	0.14	0.0034	11.05
45	5.9	6.2	6.2	6.10	0.14	0.0034	11.05
50	5.9	6.1	6.1	6.03	0.09	0.0039	12.56
55	5.9	6.1	6.1	6.03	0.09	0.0039	12.56
60	5.8	6.0	6.0	5.93	0.09	0.0046	14.84
120	5.3	5.5	5.5	5.43	0.09	0.0080	26.20
240	4.7	4.9	4.8	4.80	0.08	0.0123	40.60
360	4.4	4.5	4.4	4.43	0.05	0.0148	48.93
480	4.1	4.2	4.1	4.13	0.05	0.0168	55.75
600	4.0	4.0	3.9	3.97	0.05	0.0179	59.54
720	3.8	3.9	3.8	3.83	0.05	0.0188	62.57
840	3.7	3.8	3.7	3.73	0.05	0.0195	64.84
960	3.7	3.7	3.6	3.67	0.05	0.0200	66.36
1,080	3.6	3.6	3.5	3.57	0.05	0.0206	68.63
1,200	3.5	3.6	3.4	3.50	0.08	0.0211	70.15
1,320	3.5	3.5	3.4	3.47	0.05	0.0213	70.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (s)	Conductivity (mS/cm)				S.D.	NaOAc Concentration	NaOH Conversion
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean			
1,440	3.5	3.5	3.4	3.47	0.05	0.0213	70.90
1,560	3.4	3.5	3.3	3.40	0.08	0.0218	72.42
1,680	3.4	3.4	3.3	3.37	0.05	0.0220	73.18
1,800	3.4	3.4	3.3	3.37	0.05	0.0220	73.18
1,920	3.4	3.4	3.2	3.33	0.09	0.0222	73.93
2,040	3.4	3.4	3.2	3.33	0.09	0.0222	73.93
2,160	3.3	3.3	3.2	3.27	0.05	0.0227	75.45
2,280	3.3	3.3	3.2	3.27	0.05	0.0227	75.45
2,400	3.3	3.3	3.2	3.27	0.05	0.0227	75.45
2,520	3.3	3.3	3.1	3.23	0.09	0.0229	76.21
2,640	3.3	3.3	3.1	3.23	0.09	0.0229	76.21
2,760	3.3	3.3	3.1	3.23	0.09	0.0229	76.21
2,880	3.3	3.3	3.1	3.23	0.09	0.0229	76.21
3,000	3.3	3.3	3.1	3.23	0.09	0.0229	76.21
3,120	3.3	3.3	3.1	3.23	0.09	0.0229	76.21
3,240	3.2	3.3	3.1	3.20	0.08	0.0231	76.96
3,360	3.2	3.2	3.1	3.17	0.05	0.0234	77.72
3,480	3.2	3.2	3.1	3.17	0.05	0.0234	77.72
3,600	3.2	3.2	3.1	3.17	0.05	0.0234	77.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองสำหรับ Batch reactor ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 300 rpm

Time (s)	Conductivity (mS/cm)				S.D.	NaOAc Concentration	NaOH Conversion
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean			
0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0449	149.70
5	0.4	0.2	0.3	0.30	0.08	0.0429	142.88
10	1.2	0.5	0.7	0.80	0.29	0.0395	131.52
15	2.6	1.4	1.6	1.87	0.52	0.0322	107.27
20	5.0	4.0	3.9	4.30	0.50	0.0157	51.96
25	5.6	5.3	5.2	5.37	0.17	0.0084	27.72
30	5.8	5.8	5.9	5.83	0.05	0.0052	17.11
35	5.8	5.8	6.1	5.90	0.14	0.0048	15.59
40	5.8	5.8	6.1	5.90	0.14	0.0048	15.59
45	5.8	5.7	6.1	5.87	0.17	0.0050	16.35
50	5.8	5.7	6.1	5.87	0.17	0.0050	16.35
55	5.8	5.7	6.0	5.83	0.12	0.0052	17.11
60	5.8	5.7	6.0	5.83	0.12	0.0052	17.11
120	5.4	5.4	5.6	5.47	0.09	0.0077	25.44
240	4.9	4.8	5.0	4.90	0.08	0.0116	38.32
360	4.6	4.5	4.7	4.60	0.08	0.0136	45.14
480	4.3	4.3	4.4	4.33	0.05	0.0154	51.20
600	4.2	4.1	4.3	4.20	0.08	0.0163	54.23
720	4.0	4.0	4.1	4.03	0.05	0.0175	58.02
840	3.9	3.9	4.0	3.93	0.05	0.0182	60.30
960	3.8	3.8	3.9	3.83	0.05	0.0188	62.57
1,080	3.7	3.8	3.8	3.77	0.05	0.0193	64.08
1,200	3.7	3.7	3.8	3.73	0.05	0.0195	64.84
1,320	3.6	3.7	3.7	3.67	0.05	0.0200	66.36
1,440	3.6	3.6	3.7	3.63	0.05	0.0202	67.11
1,560	3.6	3.6	3.7	3.63	0.05	0.0202	67.11
1,680	3.5	3.6	3.6	3.57	0.05	0.0206	68.63
1,800	3.5	3.5	3.6	3.53	0.05	0.0209	69.39
1,920	3.5	3.5	3.6	3.53	0.05	0.0209	69.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (s)	Conductivity (mS/cm)				S.D.	NaOAc Concentration	NaOH Conversion
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean			
2,040	3.5	3.5	3.6	3.53	0.05	0.0209	69.39
2,160	3.4	3.5	3.5	3.47	0.05	0.0213	70.90
2,280	3.4	3.4	3.5	3.43	0.05	0.0216	71.66
2,400	3.4	3.4	3.5	3.43	0.05	0.0216	71.66
2,520	3.4	3.4	3.5	3.43	0.05	0.0216	71.66
2,640	3.4	3.4	3.5	3.43	0.05	0.0216	71.66
2,760	3.4	3.4	3.5	3.43	0.05	0.0216	71.66
2,880	3.4	3.4	3.5	3.43	0.05	0.0216	71.66
3,000	3.4	3.4	3.5	3.43	0.05	0.0216	71.66
3,120	3.3	3.4	3.4	3.37	0.05	0.0220	73.18
3,240	3.3	3.4	3.4	3.37	0.05	0.0220	73.18
3,360	3.3	3.3	3.4	3.33	0.05	0.0222	73.93
3,480	3.3	3.3	3.4	3.33	0.05	0.0222	73.93
3,600	3.3	3.3	3.4	3.33	0.05	0.0222	73.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองสำหรับ Batch reactor ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 400 rpm

Time (s)	Conductivity (mS/cm)				S.D.	NaOAc Concentration	NaOH Conversion
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean			
0	0.0	0.0	0.0		0.00	0.0449	149.70
5	0.4	0.5	0.3	0.40	0.08	0.0422	140.61
10	0.8	0.9	1.0	0.90	0.08	0.0388	129.24
15	2.5	1.9	2.3	2.23	0.25	0.0297	98.94
20	4.0	4.3	5.0	4.43	0.42	0.0148	48.93
25	5.2	5.3	5.8	5.43	0.26	0.0080	26.20
30	6.0	5.8	6.1	5.97	0.12	0.0043	14.08
35	6.1	5.9	6.1	6.03	0.09	0.0039	12.56
40	6.1	5.9	6.1	6.03	0.09	0.0039	12.56
45	6.1	5.9	6.1	6.03	0.09	0.0039	12.56
50	6.1	5.9	6.1	6.03	0.09	0.0039	12.56
55	6.0	5.8	6.1	5.97	0.12	0.0043	14.08
60	6.0	5.8	6.0	5.93	0.09	0.0046	14.84
120	5.6	5.4	5.7	5.57	0.12	0.0070	23.17
240	5.1	4.9	5.1	5.03	0.09	0.0107	35.29
360	4.7	4.6	4.8	4.70	0.08	0.0129	42.87
480	4.5	4.4	4.6	4.50	0.08	0.0143	47.42
600	4.3	4.2	4.4	4.30	0.08	0.0157	51.96
720	4.2	4.1	4.2	4.17	0.05	0.0166	54.99
840	4.1	4.0	4.1	4.07	0.05	0.0172	57.26
960	4.0	3.9	4.1	4.00	0.08	0.0177	58.78
1,080	3.9	3.8	4.0	3.90	0.08	0.0184	61.05
1,200	3.9	3.8	3.9	3.87	0.05	0.0186	61.81
1,320	3.8	3.7	3.9	3.80	0.08	0.0191	63.33
1,440	3.8	3.7	3.8	3.77	0.05	0.0193	64.08
1,560	3.7	3.7	3.8	3.73	0.05	0.0195	64.84
1,680	3.7	3.6	3.8	3.70	0.08	0.0197	65.60
1,800	3.7	3.6	3.7	3.67	0.05	0.0200	66.36
1,920	3.6	3.6	3.7	3.63	0.05	0.0202	67.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time (s)	Conductivity (mS/cm)				S.D.	NaOAc Concentration	NaOH Conversion
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean			
2,040	3.6	3.6	3.7	3.63	0.05	0.0202	67.11
2,160	3.6	3.6	3.7	3.63	0.05	0.0202	67.11
2,280	3.6	3.5	3.7	3.60	0.08	0.0204	67.87
2,400	3.6	3.5	3.7	3.60	0.08	0.0204	67.87
2,520	3.5	3.5	3.6	3.53	0.05	0.0209	69.39
2,640	3.5	3.5	3.6	3.53	0.05	0.0209	69.39
2,760	3.5	3.5	3.6	3.53	0.05	0.0209	69.39
2,880	3.5	3.5	3.6	3.53	0.05	0.0209	69.39
3,000	3.5	3.4	3.6	3.50	0.08	0.0211	70.15
3,120	3.5	3.4	3.6	3.50	0.08	0.0211	70.15
3,240	3.5	3.4	3.6	3.50	0.08	0.0211	70.15
3,360	3.5	3.4	3.6	3.50	0.08	0.0211	70.15
3,480	3.5	3.4	3.6	3.50	0.08	0.0211	70.15
3,600	3.5	3.4	3.6	3.50	0.08	0.0211	70.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก. 10 ผลการทดลองสำหรับ CSTR in series ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 200 rpm กรณีอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 16 L/h

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.17	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
10	1.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.60	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00
15	2.3	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	1.60	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
20	4.3	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	3.47	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00
25	5.5	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	5.07	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
30	5.6	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	5.67	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
35	5.6	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	5.77	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
40	5.6	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	5.77	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
45	5.6	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	5.77	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
50	5.6	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	5.77	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
55	5.6	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	5.77	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
60	5.6	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	5.77	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
120	5.6	0.1	0.0	5.8	0.0	0.0	5.8	0.2	0.0	5.73	0.10	0.00	0.09	0.08	0.00
240	5.6	5.4	0.0	5.7	5.6	0.0	5.8	5.6	0.0	5.70	5.53	0.00	0.08	0.09	0.00
360	5.6	5.2	4.8	5.7	5.5	4.9	5.8	5.4	4.9	5.70	5.37	4.87	0.08	0.12	0.05

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
480	5.4	4.9	4.8	5.7	5.5	4.9	5.8	5.4	4.9	5.63	5.27	4.87	0.17	0.26	0.05
600	5.4	5.1	4.7	5.8	5.1	4.9	5.7	5.4	4.8	5.63	5.20	4.80	0.17	0.14	0.08
720	5.4	5.2	4.7	5.8	5.3	4.9	5.7	5.2	4.8	5.63	5.23	4.80	0.17	0.05	0.08
840	5.4	5.1	4.6	5.8	5.3	4.9	5.7	5.4	4.8	5.63	5.27	4.77	0.17	0.12	0.12
960	5.3	4.5	4.6	5.8	5.2	4.9	5.7	5.1	4.8	5.60	4.93	4.77	0.22	0.31	0.12
1,080	5.4	4.7	4.6	5.8	5.5	4.9	5.7	5.3	4.8	5.63	5.17	4.77	0.17	0.34	0.12
1,200	5.4	4.9	4.6	5.8	5.2	4.9	5.7	5.1	4.7	5.63	5.07	4.73	0.17	0.12	0.12
1,320	5.4	5.1	4.6	5.8	5.3	4.9	5.7	5.4	4.7	5.63	5.27	4.73	0.17	0.12	0.12
1,440	5.4	5.1	4.6	5.8	5.3	4.9	5.7	5.0	4.7	5.63	5.13	4.73	0.17	0.12	0.12
1,560	5.4	4.6	4.6	5.8	5.4	4.9	5.7	5.3	4.7	5.63	5.10	4.73	0.17	0.36	0.12
1,680	5.4	5.2	4.6	5.7	5.3	4.8	5.7	5.2	4.7	5.60	5.23	4.70	0.14	0.05	0.08
1,800	5.4	5.2	4.6	5.7	5.0	4.8	5.7	5.3	4.7	5.60	5.17	4.70	0.14	0.12	0.08
1,920	5.5	5.2	4.6	5.7	5.1	4.8	5.6	5.1	4.7	5.60	5.13	4.70	0.08	0.05	0.08
2,040	5.5	4.9	4.6	5.7	5.3	4.8	5.6	5.2	4.7	5.60	5.13	4.70	0.08	0.17	0.08
2,160	5.5	5.2	4.6	5.7	5.1	4.7	5.6	5.0	4.7	5.60	5.10	4.67	0.08	0.08	0.05
2,280	5.5	5.2	4.6	5.7	4.8	4.7	5.6	5.3	4.7	5.60	5.10	4.67	0.08	0.22	0.05
2,400	5.5	4.8	4.6	5.6	5.3	4.7	5.6	5.1	4.7	5.57	5.07	4.67	0.05	0.21	0.05

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
2,520	5.5	4.9	4.6	5.6	5.0	4.7	5.6	4.9	4.7	5.57	4.93	4.67	0.05	0.05	0.05
2,640	5.5	5.1	4.6	5.6	5.1	4.7	5.6	5.1	4.7	5.57	5.10	4.67	0.05	0.00	0.05
2,700	5.5	5.2	4.6	5.6	4.9	4.7	5.6	5.3	4.7	5.57	5.13	4.67	0.05	0.17	0.05

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองสำหรับ CSTR in series ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 300 rpm กรณีสัณฐานการไหลคงที่เท่ากับ 16 L/h

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.27	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
10	1.2	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.10	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00
15	3.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	2.50	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00
20	4.5	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	4.17	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00
25	5.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	5.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00
30	5.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
35	5.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.37	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
40	5.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.37	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
45	5.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.37	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
50	5.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.37	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
55	5.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.37	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
60	5.3	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	5.37	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
120	5.3	0.1	0.0	5.4	0.7	0.0	5.3	0.3	0.0	5.33	0.37	0.00	0.05	0.25	0.00
240	5.2	5.0	0.0	5.3	5.1	0.5	5.3	5.1	0.7	5.27	5.07	0.40	0.05	0.05	0.29
360	5.2	4.9	4.3	5.4	4.9	4.4	5.4	4.7	4.5	5.33	4.83	4.40	0.09	0.09	0.08
480	5.3	4.8	4.3	5.4	4.9	4.4	5.6	5.1	4.5	5.43	4.93	4.40	0.12	0.12	0.08
600	5.4	4.9	4.3	5.5	5.1	4.5	5.6	5.2	4.5	5.50	5.07	4.43	0.08	0.12	0.09
720	5.4	4.8	4.4	5.5	5.2	4.5	5.6	5.3	4.5	5.50	5.10	4.47	0.08	0.22	0.05
840	5.4	4.9	4.4	5.5	5.1	4.5	5.6	5.4	4.5	5.50	5.13	4.47	0.08	0.21	0.05
960	5.4	4.8	4.4	5.5	5.3	4.5	5.6	5.4	4.5	5.50	5.17	4.47	0.08	0.26	0.05
1,080	5.4	5.0	4.4	5.6	5.2	4.5	5.6	5.3	4.5	5.53	5.17	4.47	0.09	0.12	0.05
1,200	5.4	5.0	4.4	5.6	5.2	4.5	5.6	5.1	4.5	5.53	5.10	4.47	0.09	0.08	0.05
1,320	5.4	4.7	4.4	5.6	5.3	4.5	5.6	5.2	4.5	5.53	5.07	4.47	0.09	0.26	0.05
1,440	5.4	4.9	4.4	5.6	5.1	4.5	5.6	5.2	4.5	5.53	5.07	4.47	0.09	0.12	0.05
1,560	5.4	4.9	4.4	5.6	5.0	4.5	5.6	5.1	4.5	5.53	5.00	4.47	0.09	0.08	0.05
1,680	5.4	4.8	4.4	5.6	5.2	4.5	5.5	5.0	4.5	5.50	5.00	4.47	0.08	0.16	0.05

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
1,800	5.4	4.9	4.4	5.6	5.2	4.6	5.5	5.0	4.5	5.50	5.03	4.50	0.08	0.12	0.08
1,920	5.4	5.0	4.3	5.5	5.2	4.6	5.5	5.1	4.5	5.47	5.10	4.47	0.05	0.08	0.12
2,040	5.4	5.0	4.4	5.5	5.0	4.6	5.5	5.1	4.5	5.47	5.03	4.50	0.05	0.05	0.08
2,160	5.4	4.8	4.4	5.5	5.2	4.6	5.5	5.0	4.5	5.47	5.00	4.50	0.05	0.16	0.08
2,280	5.4	5.0	4.4	5.5	5.1	4.6	5.4	5.2	4.5	5.43	5.10	4.50	0.05	0.08	0.08
2,400	5.4	4.8	4.4	5.5	5.3	4.6	5.4	5.0	4.5	5.43	5.03	4.50	0.05	0.21	0.08
2,520	5.4	4.9	4.4	5.5	5.2	4.6	5.4	5.1	4.5	5.43	5.07	4.50	0.05	0.12	0.08
2,640	5.4	4.9	4.4	5.5	5.2	4.6	5.4	5.0	4.5	5.43	5.03	4.50	0.05	0.12	0.08
2,700	5.4	4.9	4.4	5.5	5.1	4.6	5.4	5.0	4.5	5.43	5.00	4.50	0.05	0.08	0.08

ตารางที่ ก.12 ผลการทดลองสำหรับ CSTR in series ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 400 rpm กรณีอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 16 L/h

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.20	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
10	1.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.93	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
15	3.1	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	2.40	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
20	4.8	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	4.17	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00
25	5.3	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00
30	5.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
35	5.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
40	5.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
45	5.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
50	5.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
55	5.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
60	5.4	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.33	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
120	5.4	0.0	0.0	5.0	0.1	0.0	5.5	0.4	0.0	5.30	0.17	0.00	0.22	0.17	0.00
240	5.3	5.1	0.0	4.9	4.8	0.0	5.4	5.2	0.1	5.20	5.03	0.03	0.22	0.17	0.05
360	5.3	4.6	4.3	5.0	4.6	4.1	5.5	5.1	4.5	5.27	4.77	4.30	0.21	0.24	0.16
480	5.3	4.8	4.3	5.2	4.7	4.1	5.5	5.0	4.5	5.33	4.83	4.30	0.12	0.12	0.16
600	5.3	4.8	4.3	5.3	4.8	4.1	5.5	5.2	4.5	5.37	4.93	4.30	0.09	0.19	0.16
720	5.2	4.6	4.3	5.3	4.8	4.2	5.5	5.1	4.5	5.33	4.83	4.33	0.12	0.21	0.12
840	5.2	4.8	4.3	5.3	4.8	4.3	5.5	5.0	4.5	5.33	4.87	4.37	0.12	0.09	0.09
960	5.2	4.4	4.2	5.3	4.9	4.3	5.5	5.2	4.5	5.33	4.83	4.33	0.12	0.33	0.12

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
1,080	5.2	4.8	4.2	5.3	4.8	4.3	5.5	5.2	4.5	5.33	4.93	4.33	0.12	0.19	0.12
1,200	5.2	4.7	4.2	5.3	4.8	4.3	5.5	5.1	4.5	5.33	4.87	4.33	0.12	0.17	0.12
1,320	5.2	4.7	4.2	5.3	5.0	4.3	5.5	5.2	4.5	5.33	4.97	4.33	0.12	0.21	0.12
1,440	5.2	4.7	4.2	5.3	4.9	4.3	5.5	5.1	4.5	5.33	4.90	4.33	0.12	0.16	0.12
1,560	5.2	4.8	4.2	5.3	4.9	4.3	5.5	5.2	4.5	5.33	4.97	4.33	0.12	0.17	0.12
1,680	5.1	4.8	4.2	5.3	4.9	4.3	5.5	5.2	4.5	5.30	4.97	4.33	0.16	0.17	0.12
1,800	5.1	4.7	4.2	5.3	4.7	4.3	5.5	5.2	4.5	5.30	4.87	4.33	0.16	0.24	0.12
1,920	5.1	4.6	4.2	5.3	4.7	4.3	5.5	5.0	4.5	5.30	4.77	4.33	0.16	0.17	0.12
2,040	5.2	4.8	4.2	5.3	4.9	4.3	5.5	5.0	4.5	5.33	4.90	4.33	0.12	0.08	0.12
2,160	5.2	4.5	4.2	5.3	4.7	4.3	5.5	4.9	4.5	5.33	4.70	4.33	0.12	0.16	0.12
2,280	5.2	4.6	4.2	5.3	4.9	4.3	5.5	5.0	4.5	5.33	4.83	4.33	0.12	0.17	0.12
2,400	5.2	4.6	4.2	5.3	4.9	4.3	5.4	4.9	4.4	5.30	4.80	4.30	0.08	0.14	0.08
2,520	5.2	4.8	4.2	5.3	4.7	4.3	5.4	4.7	4.4	5.30	4.73	4.30	0.08	0.05	0.08
2,640	5.2	4.7	4.2	5.3	4.3	4.3	5.4	5.1	4.4	5.30	4.70	4.30	0.08	0.33	0.08
2,700	5.2	4.8	4.2	5.3	4.9	4.3	5.4	5.0	4.4	5.30	4.90	4.30	0.08	0.08	0.08

ตารางที่ ก.13 ผลการทดลองสำหรับ CSTR in series อัตราการไหลเท่ากับ 13 L/h ระยะเวลาเร็วรอบใบกวนคงที่เท่ากับ 200 rpm

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
10	0.6	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.53	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
15	2.7	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	2.07	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
20	4.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	3.43	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00
25	4.8	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	4.57	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
30	5.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	4.83	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
35	5.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.97	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
40	5.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.97	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
45	5.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.97	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
50	5.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.97	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
55	5.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.97	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
60	5.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	4.97	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
120	5.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	4.87	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
240	5.0	4.7	0.0	4.8	4.3	0.0	4.7	4.4	0.0	4.83	4.47	0.00	0.12	0.17	0.00
360	5.0	4.6	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3	4.0	4.83	4.40	4.00	0.12	0.14	0.00

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
480	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.4	4.0	4.80	4.37	4.00	0.08	0.05	0.00
600	4.9	4.5	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.4	4.0	4.80	4.40	4.00	0.08	0.08	0.00
720	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3	4.0	4.80	4.33	4.00	0.08	0.05	0.00
840	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3	4.0	4.80	4.33	4.00	0.08	0.05	0.00
960	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3	4.0	4.80	4.33	4.00	0.08	0.05	0.00
1,080	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3	4.0	4.80	4.33	4.00	0.08	0.05	0.00
1,200	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3	4.0	4.80	4.33	4.00	0.08	0.05	0.00
1,320	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3	4.0	4.80	4.33	4.00	0.08	0.05	0.00
1,440	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.33	4.00	0.05	0.05	0.00
1,560	4.9	4.5	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.37	4.00	0.05	0.09	0.00
1,680	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.33	4.00	0.05	0.05	0.00
1,800	4.9	4.5	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.37	4.00	0.05	0.09	0.00
1,920	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.33	4.00	0.05	0.05	0.00
2,040	4.9	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.33	4.00	0.05	0.05	0.00
2,160	4.9	4.5	4.0	4.8	4.4	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.40	4.00	0.05	0.08	0.00
2,280	4.9	4.5	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.37	4.00	0.05	0.09	0.00
2,400	4.9	4.6	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.40	4.00	0.05	0.14	0.00

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
2,520	4.9	4.5	4.0	4.8	4.4	4.0	4.8	4.4	4.0	4.83	4.43	4.00	0.05	0.05	0.00
2,640	4.9	4.6	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.40	4.00	0.05	0.14	0.00
2,700	4.9	4.7	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.3	4.0	4.83	4.43	4.00	0.05	0.19	0.00

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองสำหรับ CSTR in series อัตราการไหลเท่ากับ 16 L/h ภูมิความเร็วรอบใบกวนคงที่เท่ากับ 200 rpm

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.17	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
10	0.8	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.63	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00
15	2.1	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	2.07	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
20	4.3	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	3.73	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00
25	4.8	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	4.73	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
30	5.1	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.03	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
35	5.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
40	5.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
45	5.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
50	5.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
55	5.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
60	5.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	5.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
120	5.1	0.4	0.0	5.0	0.0	0.0	5.2	0.3	0.0	5.10	0.23	0.00	0.08	0.17	0.00
240	5.0	4.8	0.1	5.0	4.7	0.0	5.2	4.7	0.0	5.07	4.73	0.03	0.09	0.05	0.05
360	5.1	4.7	4.2	5.0	4.6	4.1	5.1	4.7	4.0	5.07	4.67	4.10	0.05	0.05	0.08
480	5.1	4.6	4.2	5.1	4.5	4.1	5.1	4.4	4.1	5.10	4.50	4.13	0.00	0.08	0.05
600	5.1	4.8	4.2	5.1	4.6	4.1	5.1	4.5	4.1	5.10	4.63	4.13	0.00	0.12	0.05
720	5.1	4.7	4.2	5.1	4.6	4.1	5.1	4.5	4.1	5.10	4.60	4.13	0.00	0.08	0.05
840	5.1	4.6	4.2	5.1	4.6	4.1	5.1	4.3	4.0	5.10	4.50	4.10	0.00	0.14	0.08
960	5.1	4.8	4.2	5.1	4.6	4.1	5.1	4.2	4.1	5.10	4.53	4.13	0.00	0.25	0.05
1,080	5.1	4.8	4.2	5.1	4.7	4.1	5.2	4.5	4.1	5.13	4.67	4.13	0.05	0.12	0.05
1,200	5.1	4.7	4.2	5.1	4.7	4.1	5.2	4.6	4.1	5.13	4.67	4.13	0.05	0.05	0.05
1,320	5.1	4.8	4.2	5.0	4.7	4.2	5.2	4.4	4.1	5.10	4.63	4.17	0.08	0.17	0.05
1,440	5.1	4.7	4.2	5.0	4.7	4.2	5.2	4.2	4.1	5.10	4.53	4.17	0.08	0.24	0.05
1,560	5.1	4.8	4.2	5.0	4.6	4.1	5.2	4.6	4.1	5.10	4.67	4.13	0.08	0.09	0.05
1,680	5.1	4.8	4.2	5.0	4.6	4.1	5.2	4.3	4.1	5.10	4.57	4.13	0.08	0.21	0.05

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
1,800	5.1	4.8	4.3	5.0	4.6	4.1	5.2	4.5	4.1	5.10	4.63	4.17	0.08	0.12	0.09
1,920	5.1	4.6	4.3	4.9	4.6	4.1	5.2	4.2	4.1	5.07	4.47	4.17	0.12	0.19	0.09
2,040	5.1	4.6	4.3	4.9	4.5	4.1	5.2	4.6	4.1	5.07	4.57	4.17	0.12	0.05	0.09
2,160	5.1	4.5	4.3	5.0	4.5	4.1	5.2	4.3	4.2	5.10	4.43	4.20	0.08	0.09	0.08
2,280	5.1	4.6	4.3	4.9	4.4	4.1	5.2	4.6	4.1	5.07	4.53	4.17	0.12	0.09	0.09
2,400	5.1	4.5	4.3	5.0	4.4	4.1	5.2	4.5	4.1	5.10	4.47	4.17	0.08	0.05	0.09
2,520	5.1	4.3	4.3	5.1	4.6	4.1	5.2	4.3	4.1	5.13	4.40	4.17	0.05	0.14	0.09
2,640	5.1	4.7	4.3	5.1	4.6	4.1	5.2	4.4	4.1	5.13	4.57	4.17	0.05	0.12	0.09
2,700	5.1	4.6	4.3	5.1	4.6	4.1	5.2	4.5	4.1	5.13	4.57	4.17	0.05	0.05	0.09

ตารางที่ ก. 15 ผลการทดลองสำหรับ CSTR in series อัตราการไหลเท่ากับ 19 L/h ระยะเวลาเร็วรอบใบกวนคงที่เท่ากับ 200 rpm

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.13	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
10	1.3	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	1.13	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00
15	2.7	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
20	4.7	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	4.47	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
25	5.3	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	5.13	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00
30	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	5.57	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
35	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	5.57	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
40	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	5.57	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
45	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	5.57	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
50	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	5.57	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
55	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	5.57	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
60	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	5.57	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
120	5.5	5.4	0.0	5.6	5.4	0.0	5.6	5.4	0.0	5.57	5.40	0.00	0.05	0.00	0.00
240	5.5	5.2	4.5	5.6	5.3	4.5	5.5	5.2	4.6	5.53	5.23	4.53	0.05	0.05	0.05
360	5.5	5.2	4.5	5.6	5.1	4.5	5.5	5.3	4.6	5.53	5.20	4.53	0.05	0.08	0.05
480	5.6	5.3	4.5	5.6	5.3	4.5	5.6	5.3	4.6	5.60	5.30	4.53	0.00	0.00	0.05
600	5.6	5.1	4.5	5.6	5.1	4.5	5.6	5.1	4.6	5.60	5.10	4.53	0.00	0.00	0.05
720	5.6	4.9	4.5	5.6	4.9	4.6	5.7	4.9	4.6	5.63	4.90	4.57	0.05	0.00	0.05
840	5.6	5.2	4.5	5.6	5.2	4.5	5.7	5.2	4.6	5.63	5.20	4.53	0.05	0.00	0.05
960	5.6	5.2	4.5	5.6	5.2	4.5	5.7	5.2	4.6	5.63	5.20	4.53	0.05	0.00	0.05

Time (s)	Conductivity (mS/cm)												S.D.		
	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3			Mean					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
1,080	5.6	5.0	4.6	5.6	5.1	4.6	5.7	5.1	4.6	5.63	5.07	4.60	0.05	0.05	0.00
1,200	5.6	5.1	4.6	5.6	5.1	4.6	5.7	5.1	4.6	5.63	5.10	4.60	0.05	0.00	0.00
1,320	5.6	4.9	4.6	5.6	5.1	4.6	5.7	4.9	4.6	5.63	4.97	4.60	0.05	0.09	0.00
1,440	5.6	5.0	4.6	5.6	5.0	4.6	5.7	5.0	4.6	5.63	5.00	4.60	0.05	0.00	0.00
1,560	5.6	5.0	4.6	5.6	5.0	4.6	5.7	5.0	4.6	5.63	5.00	4.60	0.05	0.00	0.00
1,680	5.6	5.1	4.6	5.6	5.3	4.6	5.7	5.3	4.6	5.63	5.23	4.60	0.05	0.09	0.00
1,800	5.6	5.1	4.5	5.7	5.1	4.5	5.7	5.1	4.6	5.67	5.10	4.53	0.05	0.00	0.05
1,920	5.6	4.8	4.5	5.7	5.3	4.5	5.7	5.3	4.6	5.67	5.13	4.53	0.05	0.24	0.05
2,040	5.6	5.1	4.5	5.7	5.1	4.5	5.7	5.2	4.6	5.67	5.13	4.53	0.05	0.05	0.05
2,160	5.7	4.9	4.6	5.7	5.1	4.5	5.6	5.2	4.6	5.67	5.07	4.57	0.05	0.12	0.05
2,280	5.7	5.2	4.6	5.7	5.1	4.5	5.6	5.2	4.6	5.67	5.17	4.57	0.05	0.05	0.05
2,400	5.7	5.2	4.6	5.7	5.1	4.5	5.6	5.1	4.6	5.67	5.13	4.57	0.05	0.05	0.05
2,520	5.7	4.9	4.6	5.7	5.0	4.5	5.7	5.2	4.6	5.70	5.03	4.57	0.00	0.12	0.05
2,640	5.7	5.2	4.6	5.7	5.0	4.5	5.7	5.0	4.6	5.70	5.07	4.57	0.00	0.09	0.05
2,700	5.7	5.2	4.6	5.7	5.1	4.5	5.7	5.1	4.6	5.70	5.13	4.57	0.00	0.05	0.05



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลอง

### การศึกษาการผสมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง

#### 1.1 วัตถุประสงค์

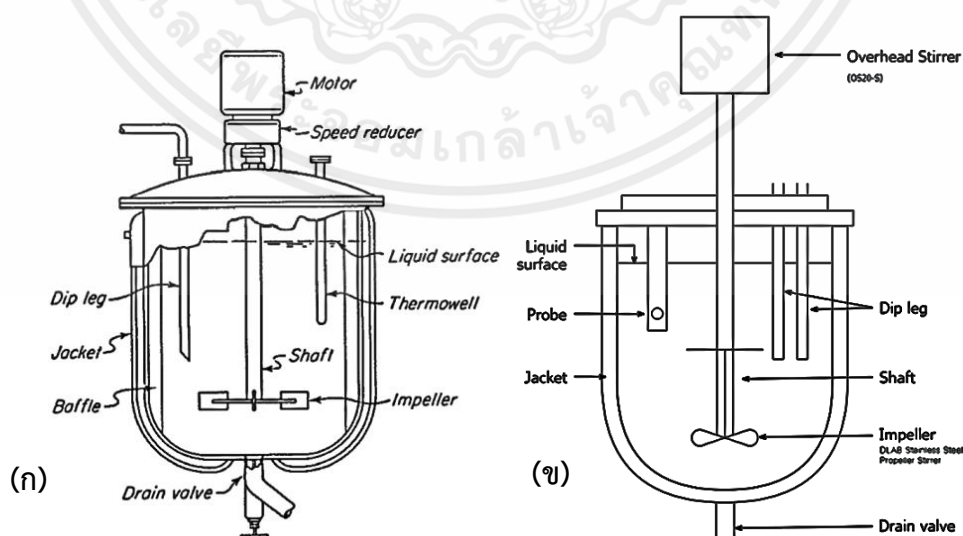
เพื่อศึกษากระบวนการผสมและปัจจัยที่ส่งผลต่อการผสมในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง

#### 1.2 ทฤษฎี

##### 1.2.1 เครื่องปฏิกรณ์เคมี (Chemical reactor)

ถังสำหรับกวนผสมของเหลวมักมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ติดตั้งอยู่ในแนวตั้งเรียกว่า ถังกวนผสม (Agitated Vessels) ส่วนบนของถังเป็นแบบเปิดออกสู่อากาศได้ ส่วนล่างมีลักษณะโค้ง ความลึกของถังประมาณเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง มักจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และลักษณะของการกวนผสม โดยส่วนประกอบหลักประกอบด้วยตัวถังปฏิกรณ์ (Vessel) ใบกวน (Impeller) มอเตอร์สำหรับการผสม (Mixer motor) และแผ่นกั้น (Baffles) ถังกวนผสมแบบมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 1

ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบถังกวนผสมจะมีการป้อนสารตั้งต้นเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และตั้งผลิตภัณฑ์ออกจากถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องในสถานะคงตัว (Steady state) ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมมีใบกวนช่วยกวนผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารหลังทำปฏิกิริยาเท่ากันตลอดทั้งถัง รวมถึงช่วยในการถ่ายเทมวลของสารที่มีความหนืดสูง การถ่ายเทความร้อนทำได้ด้วยการติดตั้งแจ็กเก็ตบริเวณรอบถังหรือใช้ขดลวด (Coil) ติดตั้งภายในถัง



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์เคมี

(ก) ถังกวนผสมแบบมาตรฐาน [5] (ข) ถังกวนผสมสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

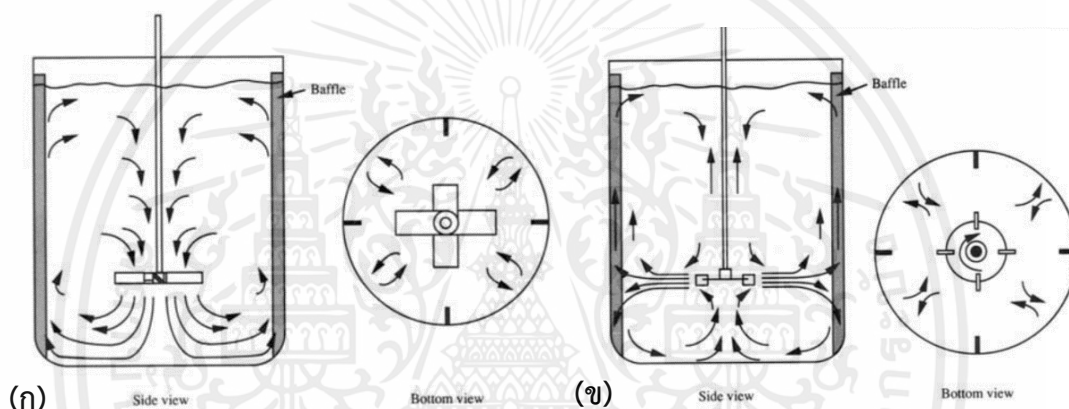
## 1.2.2 รูปแบบการไหลของของเหลว

### 1.2.2.1 การไหลตามแนวแกน (Axial flow)

เหมาะสำหรับการกวนผสมระหว่างของเหลวกับของเหลวที่ทำให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดการไหลในแนวแกน  $z$  หรือไหลตามแนวของเพลลา เช่น ใบกวนแบบ Propeller แสดงดังรูปที่ 2 (ก)

### 1.2.2.2 การไหลตามแนวรัศมี (Radial flow)

สร้างแรงเฉือนและกระแสน้ำไหลแบบปั่นป่วน เหมาะสำหรับการกวนผสมของแก๊สและของเหลว การกวนผสมของเหลวอิมัลชัน หรือสารที่ผสมกันไม่ได้หรือความหนืดสูง เกิดการไหลตามแนว  $\theta$  และ  $r$  หรือทิศทางรอบเพลลาและออกในแนวรัศมี เช่น ใบกวนแบบ Turbines แสดงดังรูปที่ 2 (ข) [1]



รูปที่ 0 รูปแบบการไหลของของเหลว [14]

(ก) การไหลตามแนวแกน (ข) การไหลตามแนวรัศมี

### 1.2.3 ชนิดของใบกวน

โดยทั่วไปใบกวนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักคือ Propeller, Paddles และ Turbines แต่ละประเภทจะมีหลายรูปแบบ โดยใบกวนชนิดพิเศษสามารถใช้ประโยชน์ได้ในบางสถานการณ์หรือบางกรณีเท่านั้น แต่ใบกวนทั้ง 3 ประเภทหลักสามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาในการกวนผสมของเหลวทั้งหมด [1]

ใบกวนนอกจากช่วยในการเร่งปฏิกิริยา หรือผสมสารให้มีเนื้อเดียวกันแล้ว ยังช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลและความร้อนในกรณีที่สารมีความหนืดสูง เช่น ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ในการเลือกใช้ใบกวนจะต้องระวังเรื่องลักษณะของใบกวน เนื่องจากการใช้ใบกวนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพในการกวนผสมลดลง

### 1.2.4 การจำแนกชนิดของเครื่องปฏิกรณ์

โครงสร้างและการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ในอุตสาหกรรมเคมีมีหลายชนิด แยกออกเป็น แบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์ โดยทั่วไปเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเอกพันธ์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ไหลในสภาวะคงตัว (Steady-state flow reactor) และเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ไหลในสภาวะไม่คงตัวหรือกึ่งต่อเนื่อง (Unsteady-state flow reactor หรือ Semi-batch reactor) [3]

#### 1.2.4.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่เรียบง่าย เหมาะสำหรับการศึกษาทดลองขนาดเล็ก นิยมใช้ในกระบวนการใหม่และกระบวนการที่มีผลผลิตน้อย เครื่องปฏิกรณ์แบบกะเริ่มต้นจากการป้อนสารตั้งต้นทั้งหมดเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์หนึ่งครั้งก่อนเริ่มปฏิกิริยา และปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไป หลังจากนั้นจึงผลิตผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือออกจากถังปฏิกรณ์เมื่อสิ้นสุดเวลาในการทำปฏิกิริยา มักดำเนินการในระบบปิด มวลรวมของแต่ละกะคงที่ ระยะเวลาของสารตั้งต้นที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (Residence time) สำหรับองค์ประกอบทั้งหมดของของไหลจะเท่ากัน องค์ประกอบจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา [4] ดังแสดงตามรูปที่ 3 (a)

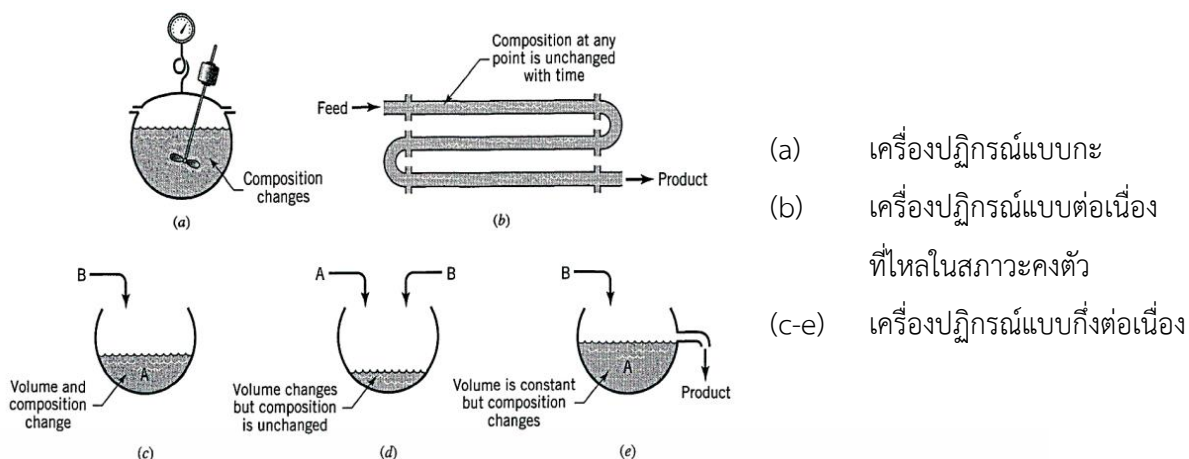
#### 1.2.4.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ไหลในสภาวะคงตัว (Steady-state flow reactor)

สารตั้งต้นถูกป้อนเข้าถังปฏิกรณ์และดึงผลิตภัณฑ์ออกจากถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง และอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state) คือไม่มีการสะสมมวลสารและความร้อน ทำให้ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบและอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เหมาะสำหรับกระบวนการขนาดใหญ่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นควบคุมได้ง่าย และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug flow reactor หรือ PFR) แสดงดังรูปที่ 3 (b) และเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง (Continuous stirred tank reactor หรือ CSTR)

#### 1.2.4.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-batch reactor)

เครื่องปฏิกรณ์ที่มีสารตั้งต้นอย่างน้อยหนึ่งกระแส ระบบจะอยู่ในสภาวะไม่คงตัว ทำให้ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถดำเนินการได้หลายแบบเช่น กรณีที่ 1 สารตั้งต้น A มีลักษณะการป้อนแบบกะ ส่วนสารตั้งต้น B มีลักษณะการป้อนแบบต่อเนื่อง กรณีที่ 2 สารตั้งต้น A และ B มีลักษณะการป้อนแบบต่อเนื่อง แต่ผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะแบบกะ และกรณีที่ 3 สารตั้งต้น A มีลักษณะการป้อนแบบกะ แต่ในส่วนของสารตั้งต้น B และผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นแบบต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 3 (c-e) ตามลำดับ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่าง ๆ

### 1.2.5 ปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification reaction)

การไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ภายใต้สภาวะปกติ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์และเกลือของกรดคาร์บอกซิลิก (คาร์บอกซิเลต) และมักใช้เพื่ออ้างอิงถึงปฏิกิริยาของโลหะอัลคาไลกับไขมันเพื่อสร้างสบู่ [6] ดังสมการ



ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาที่เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate) ถูกสลายพันธะเอสเทอร์ด้วยด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate) และแอลกอฮอล์ ดังสมการ

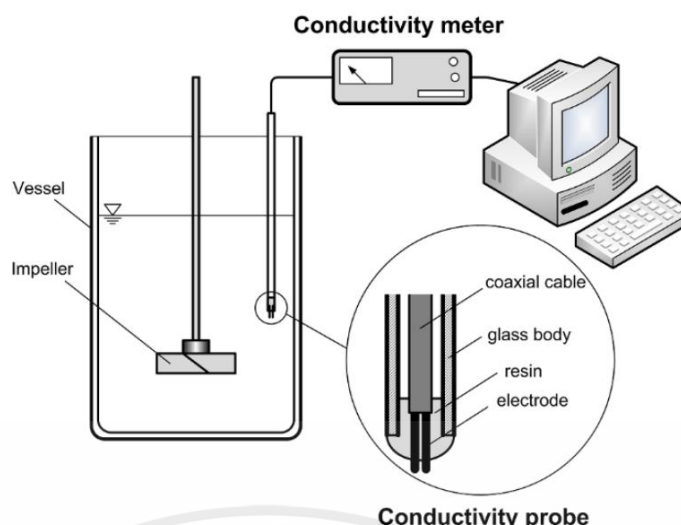


### 1.2.6 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

ค่าการนำไฟฟ้า คือ ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า และขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย โดยค่าการนำไฟฟ้าของตัวทำละลายมีค่าต่ำมาก การมีกรด เบส และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำอาจช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนอิสระทำหน้าที่ในการนำไฟฟ้า [7]

การวัดค่าการนำไฟฟ้าทางกายภาพทำได้โดยใช้โพรบที่วางอยู่ที่จุดต่าง ๆ ในภาชนะกวน โดยไม่คำนึงถึงขนาด โดยโพรบจะรับกวนการไหล ดังนั้นควรพิจารณาการวัดเวลาในการผสมให้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ภาชนะที่ขนาดเล็กมาก รูปที่ 4 แสดงการตั้งค่าทั่วไปของระบบการวัดค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยหัววัดค่าการนำไฟฟ้าและเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านสายแลน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ระบบการวัดค่าการนำไฟฟ้า [8]

### 1.2.7 การกวนและการผสม (Agitation and Mixing)

การกวน (Agitation) คือ การที่สารเนื้อเดียวกันเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งซึ่งการเคลื่อนที่โดยส่วนใหญ่มักเกิดในลักษณะวงกลม

การผสม (Mixing) คือ การนำสารหรือองค์ประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน และเกิดการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอให้เป็นระบบที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นสารผสมเนื้อเดียวกัน การผสมอาจเกิดจากองค์ประกอบระหว่างของเหลวที่ผสมกัน ของเหลวที่ไม่ผสมกัน ของแข็งกับของเหลว แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง แก๊สทั้งสองชนิด หรือระหว่างอนุภาคแขวนลอยและของไหลในวัฏภาคภายนอก (Continuous phase fluid) [9]

### 1.2.8 เวลาในการผสม (Mixing time)

เวลาในการผสม คือ เวลาที่ใช้ในการทำให้ปริมาณของเหลวในถังเป็นเนื้อเดียวกันหลังจากเปลี่ยนองค์ประกอบ [10] เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพและอุทกพลศาสตร์ของถังกวนผสม สามารถใช้ในการประเมินการสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ผสมเพื่อให้ได้การผสมที่เหมาะสม

เวลาในการผสมเป็นตัวแปรที่สำคัญในการผสม สามารถใช้เทคนิคที่แตกต่างกันได้ 2 วิธี ได้แก่ เทคนิค Tracer (Tracer technique) และเทคนิคการสังเกตด้วยสายตา (Visual observation technique) เทคนิคเหล่านี้ใช้วัดการผสมภายในถังกวนผสม กล่าวคือสามารถใช้เพื่อระบุเวลาที่ใช้ในสารเป็นเนื้อเดียวกันที่ทั่วทั้งถังกวนผสม [11]

เวลาในการผสมขึ้นอยู่กับตัวแปรจำนวนมาก เช่น ประเภทใบกวน เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง Reynold number ตำแหน่งของสายป้อนและตำแหน่งของโพรบจำนวนใบกวน และคุณสมบัติของของไหล เป็นต้น

สำหรับเทคนิค Tracer โดยทั่วไปแล้ว Tracer (สารละลายอิเล็กโทรไลต์) จะถูกฉีดเข้าไปในถัง กวนผสม เวลาของความเข้มข้นของสารติดตามจะถูกวัดที่จุดเฉพาะจุดเดียวหรือที่จุดเฉพาะหลายจุด ภายในถังกวนผสม เวลาในการผสม ( $t_m$ ) ถูกกำหนดเป็นเวลาที่ความเข้มข้น ( $c$ ) ได้ถึง (หรือเกือบถึง) ความเข้มข้นของเฉลี่ยสุดท้ายของ Tracer ( $\bar{c}$ ) หากไม่มี Tracer ภายในถังกวนผสม เวลาผสม สามารถวัดได้ตามเวลาจากสมการ

$$\left| \frac{c - \bar{c}}{\bar{c}} \right| = M \quad (1)$$

โดยที่  $M$  คือ ค่าสัมบูรณ์สูงสุดที่ยอมรับได้ของค่าสัมพัทธ์ความเบี่ยงเบนของการผสม เมื่อสาร เป็นเนื้อเดียวกันโดยสมบูรณ์ (สำหรับการผสม) ค่า  $M$  เท่ากับ 0 ในการทดลอง [11]

นอกจากนี้ เวลาในการผสมหาได้จากการวัดค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกกวนผสม เมื่อสารมีความเข้มข้นคงที่ถือว่าเกิดการกวนผสมขึ้นอย่างสมบูรณ์ (95% ของการผสม) เวลาในการผสม สามารถคำนวณได้เมื่อทราบค่า  $N_{Re}$  หรือ Reynold number สำหรับของไหลแบบ Newtonian fluid สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$N_{Re} = \frac{nD_a^2 \rho}{\mu} \quad (2)$$

เมื่อ  $n$  คือ ความเร็วรอบ (rev/s)  
 $D_a$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใบกวน (m) แสดงดังรูปที่ 5  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\mu$  คือ ความหนืดของของไหล ( $\text{kg/m}\cdot\text{s}$ )

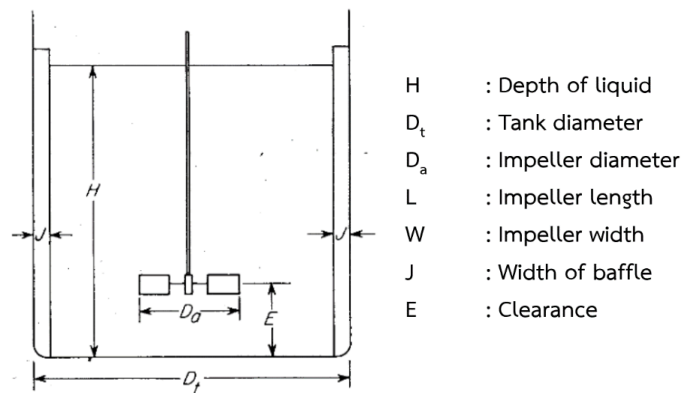
สำหรับการทดลองเป็นใบกวนชนิด Pitch-blade turbine สามารถนำข้อมูลแสดงดังรูปที่ 6 มาคำนวณเวลาในการผสมได้จากสมการ

$$f_T = \frac{t_T (nD_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H^{1/2} D_t^{3/2}} = nt_T \left( \frac{D_a}{D_t} \right)^2 \left( \frac{D_t}{H} \right)^{1/2} \left( \frac{g}{n^2 D_a} \right)^{1/6} \quad (3)$$

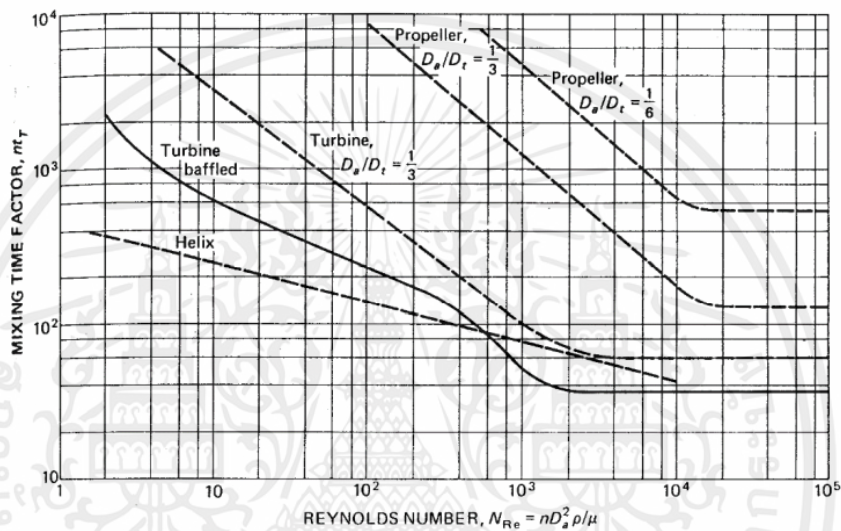
สำหรับการทดลองเป็นใบกวนชนิด Propeller สามารถนำข้อมูลแสดงดังรูปที่ 6 มาคำนวณเวลาในการผสมได้จากสมการ

$$f'_T = \frac{t_T (nD_a^2)^{2/3} g^{1/6}}{H^{1/2} D_t} = nt_T \left( \frac{D_a}{D_t} \right)^{3/2} \left( \frac{D_t}{H} \right)^{1/2} \left( \frac{g}{n^2 D_a} \right)^{1/6} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 สัดส่วนของถังกวนแบบมาตรฐาน [12]

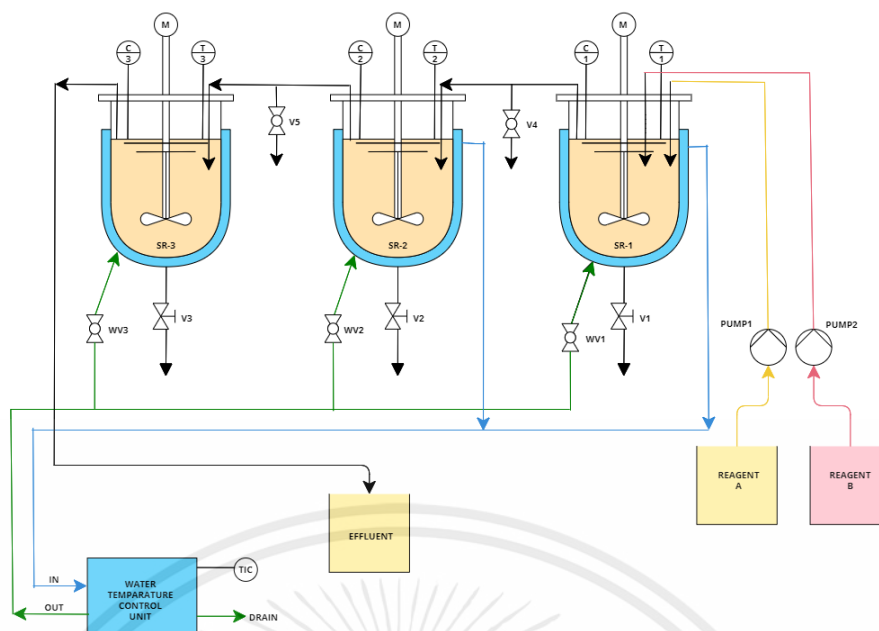


รูปที่ 6 เวลาในการผสมกรณีต่าง ๆ (เส้นประคือถังกวนที่ไม่มีแผ่นกั้น) [12]

### 1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 7
2. ชุดควบคุมซึ่งประกอบด้วย Pump, Conductivity controller และ Mixing
3. Feed pump
4. ถังพลาสติกสำหรับบรรจุสารป้อน
5. กระบอกตวง
6. ปีกเกอร์
7. ขวดปรับปริมาตร
8. ซ้อนคนสาร
9. หลอดฉีดยาขนาด 50 mL
10. กรวยเทสาร และที่สูบน้ำแบบมือปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 PFD แสดงเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนผสมต่อเนื่องและชุดควบคุม

#### 1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
2. เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate)
3. โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate)

#### 1.5 การเตรียมสารละลาย

##### 1.5.1 การเตรียมสารละลายเอทิลอะซิเตท ความเข้มข้น 0.06 M

1. ใช้สารเอทิลอะซิเตทปริมาตร 5.87 mL สำหรับเตรียมสารละลายเอทิลอะซิเตท ความเข้มข้น 0.06 M ปริมาตร 1 L
2. เตรียมสารละลายเอทิลอะซิเตทความเข้มข้น 0.06 M ตามปริมาตรที่ต้องการ
3. คนสารละลายให้เอทิลอะซิเตทและน้ำให้เข้ากัน
4. เทลงในถังพลาสติกและตั้งทิ้งไว้ให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

##### 1.5.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.06 M

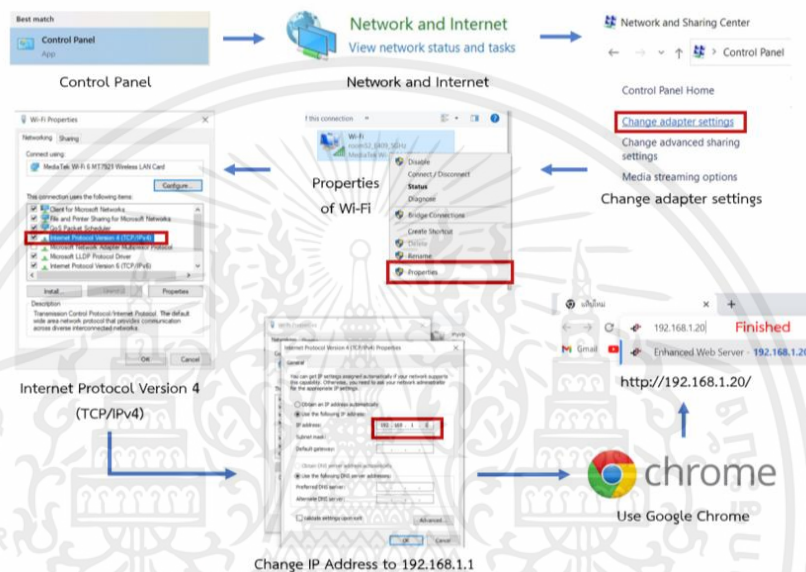
1. ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.4 g สำหรับเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.06 M ปริมาตร 1 L
2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.06 M ตามปริมาตรที่ต้องการ
3. คนสารละลายให้โซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำจนกว่าสารจะเป็นสีใส
4. เทลงในถังพลาสติกและตั้งทิ้งไว้ให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 การตั้งค่าคอมพิวเตอร์และวิธีการเก็บข้อมูลการทดลอง

### 1.6.1 การตั้งค่าคอมพิวเตอร์

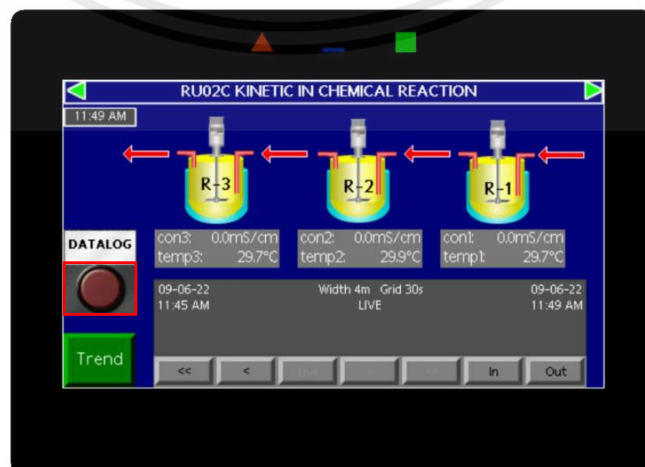
1. กดที่ Start → Control Panel → Network and Internet
2. คลิกที่ View network status and task → Change adapter settings
3. คลิกขวาที่ Wi-Fi จากนั้นกด View properties
4. เลือกที่ Internet Protocol Version 4 (TCP/IPv4) จากนั้นกด Configure
5. ตั้งค่า IP Address ของคอมพิวเตอร์เป็น 192.168.1.1 และกดยืนยัน



รูปที่ 8 การตั้งค่าคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลการทดลอง

### 1.6.2 วิธีการเก็บข้อมูลการทดลอง

1. เชื่อมสายแลนเข้ากับคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นเปิดเว็บไซต์ 192.168.1.20
2. กดปุ่ม Datalog เพื่อเริ่มบันทึกข้อมูลการทดลอง
3. กดเข้าไปที่ Logs และคลิกขวาที่ไฟล์ เพื่อบันทึกข้อมูลโดยใช้นามสกุล .csv



รูปที่ 9 จอแสดงผล Data Logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 ขั้นตอนการทดลอง

### 1.7.1 การวัดอัตราการไหลของปั๊ม

1. เตรียมน้ำปริมาตร 4 L ลงในถังพลาสติก
2. จุ่มสายยางปั๊มลงในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำ
3. เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
4. หมุนสวิตช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On
5. ปรับปั๊มให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 3 L/h และกดเปิดปั๊ม
6. เปิดวาล์วด้านล่างของถังปฏิกรณ์
7. วัดอัตราการไหลโดยการบันทึกปริมาตรและจับเวลา
8. บันทึกผลการทดลอง
9. ทำการทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 7 L/h, 11 L/h, 15 L/h และ 19 L/h ตามลำดับ
10. ทำ Calibration curve ระหว่างอัตราการไหลที่แสดงในจอเทียบกับอัตราการไหลที่วัดได้จากการทดลอง

### 1.7.2 การสร้าง Calibration Curve เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์

1. เตรียมสารละลายที่ Conversion ต่าง ๆ ตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการเตรียมสารละลายที่ Conversion ต่าง ๆ

Conversion	Solution Mixtures		
	0.06 M NaOH (mL)	0.06 M Na(Ac) (mL)	H <sub>2</sub> O (mL)
0%	450	0	450
25%	337.5	112.5	450
50%	225	225	450
75%	112.5	337.5	450
100%	0	450	450

2. ผสมสารละลายให้เข้ากัน
3. หมุน Main switch และสวิตช์ของ Mixing ให้อยู่ที่ On  
เปิดสวิตช์ของใบกวนที่ความเร็วรอบประมาณ 300 rpm
4. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
5. ป้อนสารผสมที่เตรียมไว้ทางด้านบนของถังปฏิกรณ์
6. บันทึกค่า Conductivity ที่ Steady state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สร้าง Calibration Curve ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอะซิเตทกับค่า Conductivity

### 1.7.3 การหา Mixing time

- เตรียมน้ำปริมาตร 900 mL และใช้หลอดฉีดยาคูดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 50 mL
- หมุน Main switch และสวิตช์ของ Mixing ให้อยู่ที่ On
- ใส่น้ำที่เตรียมไว้ผ่านช่องด้านบนของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1
- เปิดสวิตช์ของใบกวนที่ความเร็วรอบประมาณ 300 rpm
- กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
- ฉีดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ลงไป
- หยุดทำการทดลองเมื่อค่า Conductivity เข้าสู่สมดุล และบันทึกเวลา
- ทำการทดลองซ้ำกับถังปฏิกรณ์ตัวที่ 2 และ 3
- เปรียบเทียบค่า Mixing time ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ตัว
- 

### 1.7.4 การทดลองแบบ Batch Reactor

- เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
- หมุนสวิตช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On
- เตรียมนสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M อย่างละ 500 mL
- เปิดสวิตช์ของใบกวนที่ความเร็วประมาณ 200 rpm
- กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
- ป้อนสารละลายทั้งสองชนิดพร้อมกันผ่านช่องด้านบนของถังปฏิกรณ์ตัวที่ 3
- รอจนเข้าสู่ Steady State และบันทึกผลการทดลอง
- ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 300 และ 400 rpm ตามลำดับ

### 1.7.5 การทดลองแบบ Continuous reactor แบบอนุกรม 3 ถัง

#### 1.7.5.1 ศึกษาการผสมกรณีอัตราการไหลคงที่

- เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
- หมุนสวิตช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จุ่มสายยางป้อนลงในสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M ปริมาตร 20 L และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M ปริมาตร 20 L
4. เปิดสวิตช์ใบกวน ปรับค่าความเร็วรอบประมาณ 200 rpm
5. ปรับปั๊มตัวที่ 1 และ 2 ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 16 L/h และกดเปิดปั๊ม
6. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
7. รอจนเข้าสู่ Steady State และบันทึกผลการทดลอง
8. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 300 และ 400 rpm ตามลำดับ

#### 1.7.5.2 ศึกษาการผสมกรณีความเร็วรอบใบกวนคงที่

1. เปิดเครื่องโดยทำการหมุน Main switch ให้อยู่ที่ On
2. หมุนสวิตช์ของ Pump และ Mixing ให้อยู่ที่ On
3. จุ่มสายยางป้อนลงในสารละลายเอทิลอะซิเตท 0.06 M ปริมาตร 20 L และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.06 M ปริมาตร 20 L
4. เปิดสวิตช์ใบกวน ปรับค่าความเร็วรอบประมาณ 200 rpm
5. ปรับปั๊มตัวที่ 1 และ 2 ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 13 L/h และกดเปิดปั๊ม
6. กดปุ่ม Datalog ที่หน้าจอเพื่อเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง และกดปุ่ม Trend เพื่อแสดงกราฟ
7. รอจนเข้าสู่ Steady State และบันทึกผลการทดลอง
8. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 16 L/h และ 19 L/h ตามลำดับ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York. 1993.
- [2] S. Parvizi, E. Keshavarz Alamdari, S.H. Hashemabadi, M. Kavousi, A. Sattari, Investigating Factors Affecting on the Efficiency of Dynamic Mixers, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 37 (2016) 342–368.  
<https://doi.org/10.1080/08827508.2016.1218868>.
- [3] Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. 3rd Edition. John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [4] Missen, R.W., Mims, C.A. and Saville, B.A. Introduction to chemical reaction engineering and kinetics. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. 2015.
- [5] Fogler, H. Scott. Elements of Chemical Reaction Engineering. Upper Saddle River, N.J. Prentice Hall PTR, 1999.
- [6] M. Danish, M. Khaloofah, A. Mesfer, M. Rashid, M.K. al Mesfer, Effect of Operating Conditions on CSTR performance: an Experimental Study Synthesis of Poly aniline for noble adsorption View project Used oil treatment View project Effect of Operating Conditions on CSTR performance: an Experimental Study, 2015. [www.ijera.com](http://www.ijera.com).
- [7] M.D. Grau, J.M. Nogués, L. Puigjaner, Comparative study of two chemical reactions with different behaviour in batch and semibatch reactors, 2002.
- [8] G. Ascanio, Mixing time in stirred vessels: A review of experimental techniques, Chin J Chem Eng. 23 (2015) 1065–1076. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2014.10.022>.
- [9] Fluid Mixing in Reactors, in: Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design, Elsevier, 2001: pp. 552–662. <https://doi.org/10.1016/B978-088415481-5/50009-7>.
- [10] A.W. Nienow, N. Harnby, M.F. Edwards, Introduction to mixing problems, in: Mixing in the Process Industries, Elsevier, 1992: pp. 1–24. <https://doi.org/10.1016/B978-075063760-2/50022-6>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] M.K.A. Mesfer, Experimental Study of Batch Reactor Performance for Ethyl Acetate Saponification, International Journal of Chemical Reactor Engineering. 16 (2018). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2016-0174>.
- [12] Warren L.McCabe , Julian C. Smith, and Peter Harriott, Unit operations of Chemical Engineering (7th edition), McGraw-Hill, International edition., 2005.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้