ผลงานของ ผศ.ดร.ฉลองศรี ฟลัด

การศึกษาค่าการเปลี่ยนไปของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ (Conversion) และค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) จากปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของเอทิลอาซีเทตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบต่อเนื่อง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาค่า Conversionและ Electrical ConductivityจากปฏิกิริยาSponification ของEthyl acetate (EtOAc) และSodium hydroxide (NaOH) ใน Continuous Stirred Tank Reactor ซึ่งเป็นการศึกษาของระบบที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal system) ที่ 30°C, ความเร็วของใบกวนมีค่า 200 rpm และปริมาตรของสารใน Reactor เท่ากับ 1,500 cm^3 โดยใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAC เท่ากับ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 สำหรับอัตราส่วนความเข้มข้นของ NAOH:EtOAc เท่ากับ 1:1 ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 30:30, 40:40, 50:50 และ60:60 cm^3/min เมื่อระบบเข้าสู่ steady-state ค่า conversion เท่ากับ 0.64, 0.46, 0.3และ 0.22 ตามลำดับ และค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า(Electrical conductivity) เท่ากับ 8.14, 6.47, 5.73และ3.2 µS/cm ตามลำดับ และสำหรับอัตราส่วนความเข้มข้นของ NAOH:EtOAc เท่ากับ 1:1.5 ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 20:30, 30:45, 40:60 และ50:75 cm^3/min เมื่อระบบเข้าสู่ steady-state ค่า conversion เท่ากับ 0.63, 0.58, 0.38 และ 0.25 ตามลำดับ และค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) เท่ากับ 7.85, 5.86, 5.27 และ3.96 µS/cm ตามลำดับ และอัตราส่วนความเข้มข้นของ NAOH:EtOAc เท่ากับ 1:2 ใช้อัตราการไหลเท่ากับ10:20, 20:40 และ30:60 cm^3/min เมื่อระบบเข้าสู่ steady-state ค่า conversion เท่ากับ 0.697, 0.485 และ 0.363 ตามลำดับ และค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) เท่ากับ 8.33, 7.42 และ 5.23 µS/cm ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 อัตราส่วนการไหลของสารที่ทำปฏิกิริยาระหว่าง NAOH:EtOAc ที่ 1:1,1:1.5 และ 1:2 แปรผกผันกับค่า conversion รวมทั้งยังแปรผกผันกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า อีกด้วย และเมื่อพิจารณาค่า conversion กับความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเมื่อระบบเข้าสู่ steady-state พบว่าค่า conversion แปรผันตรงกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
หน้าอนุมัติ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม	
2.1 Continuous Stirred Tank Reactor: CSTR	2
2.2 ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น (Sponification Reaction)	3
2.3 เอทิลอาซีเทต (Ethyl acetate)	4
2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	5
2.5 โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate)	6
2.6 เอทานอล (Ethyl alcohol)	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	8
3.2 การเตรียมสารละลาย	10
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	11
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นระหว่าง conversion กับ time	12
4.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นระหว่าง electrical conductivity กับ time	15
4.3 ผลการทดลองระหว่าง conversion กับ electrical conductivity	18

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
บทสรุป	21
ข้อเสนอแนะ	21
เอกสารอ้างอิง	22
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลอง	23
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	28

สารบัญตาราง

รูปที่ หน้า

บทที่ 2

รูปที่ 1 Continuous Stirred Tank Reactor 2
รูปที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของเอทิลอาซีเทต 4
รูปที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5
รูปที่ 4 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตท 6
รูปที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลของเอทานอล 7

บทที่ 3

รูปที่ 6 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) 8
รูปที่ 7 Conductometer 9
รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 9
รูปที่ 9 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 9

บทที่ 4

รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างConversion กับ Time 12
ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc =1:1
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างConversion กับ Time 13
ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc =1:1.5
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างConversion กับ Time 14
ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc =1:2
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างElectrical conductivity กับ Time 15
ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc=1:1
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างElectrical conductivity กับ Time 16
ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc=1:1.5
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างElectrical conductivity กับ Time 17
ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc=1:2

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Electrical conductivity กับ Conversion ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc = 1:1 18

รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Electrical conductivity กับ Conversion ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc = 1:1.5 19

รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Electrical conductivity กับ Conversion ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc = 1:2 20

บทที่ 1
บทนำและวัตถุประสงค์

1.1 บทนำ

ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของสารระหว่าง Sodium hydroxide กับ Ethly acetate ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบต่อเนื่อง (continuous stired tank reacter:CSTR) โดยจะศึกษาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้ากับค่า conversion ที่อัตราความเข้มข้นของ Sodium hydroxide กับ Ethly acetate 1:1, 1:1.5 และ 1:2 และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady-state)จะได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าและค่า conversion ค่าหนึ่งเพื่อที่จะสร้างเป็น calibration cuve ซึ่งจะสามารถบอกค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าได้จากค่า conversion นั้นๆได้เลย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่า conversion กับเวลาของปฏิกิริยาSaponification ระหว่าง Ethyl acetate กับ Sodium hydroxide
2. เพื่อศึกษาค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) กับเวลาของปฏิกิริยา Saponification ระหว่าง Ethyl acetate กับ Sodium hydroxide
3. เพื่อศึกษาค่า conversion กับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ของปฏิกิริยาSaponification ระหว่าง Ethyl acetate กับ Sodium hydroxide

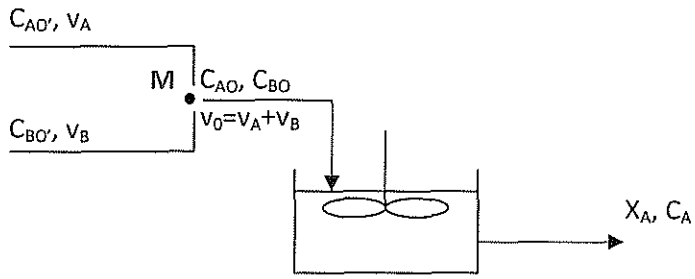
1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor) โดยวัดค่า conversion ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ที่เวลาต่างๆ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรของปฏิกิริยา โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง Ethyl acetate (EtOAc) กับ Sodiun hydroxide (NaOH) ที่ EtOAc:NaOH เท่ากับ 1:1, 1:1.5 และ 1:2
2. นำผลที่ได้ไปพลอตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า conversion, ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ที่มีผลกับเวลา
3. ทำ calibration curve ระหว่างค่า conversion กับค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า ทำให้เป็น smooth curve เพื่อที่จะสามารถอ่านค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าจากค่า conversion ได้

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม

2.1 Continuous Stirred Tank Reactor: CSTR

CSTR หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mixed flow reactor เป็นเครื่องปฏิกรณ์เคมีที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งสามารถจะใช้เครื่องเดี่ยวหรือนำมาต่อกันเป็นแบบ series ก็ได้ ซึ่งหลักการของ CSTR คือมีการไหลของสารตั้งต้นเข้าเครื่องปฏิกรณ์เคมีและมีการไหลออกของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง และของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์เคมีเป็นแบบ perfectly mixed ดังนั้นทำให้คุณสมบัติของสารละลายนั้นเป็น uniform ตลอดเวลา โดยมีใบกวนช่วยกวนให้สารตั้งต้นผสมกันได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นสารละลายที่ได้ (output) จะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์เคมี นอกจากนี้ระบบอาจจะ operate แบบ steady-state หรือ unsteady-state ก็ได้



รูปที่ 1 Continuous Stirred Tank Reactor

Assumptions

1. Steady-state system
   ซึ่งเมื่อระบบเข้าสู่ steady-state จะทำให้ conditions ต่างๆเหล่านี้คงที่ คือ ปริมาตรของสารใน reactor, volumetric flowrate, Temperature, ความเข้มข้นของสารตั้งต้นใน reactor, ค่า conversion, ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น, ความเร็วของใบกวน,ความเข้มข้นของสารที่ออกจาก reactor จะเท่ากับความเข้มข้นของสารใน reactor
2. Isothermal system
   การทำให้อุณหภูมิใน reactor คงที่ จะใช้น้ำหล่อเย็นในการควบคุมอุณหภูมิ

<u>การหาค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น</u>

ความเข้มข้นของ NaOH: A

Mole A balance around point M

Rate of mole A in point M = Rate of mole A out point M

$C_{A0}{}' * v_A = C_{A0} * v_0$

$C_{A0} = C_{A0}{}' * v_A / v_0$ ... (1)

ความเข้มข้นของ EtOAc: B

Mole B balance around point M

(Rate of mole B in point M) = (Rate of mole B out point M)

$C_{B0}{}' * v_B = C_{B0} * v_0$

$C_{B0} = C_{B0}{}' * v_B / v_0$ ... (2)

2.2 **ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน** (Sponification Reaction)

ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นเป็นปฏิกิริยาระหว่างเอสเทอร์ เช่น เอทิลอาซีเทต กับเบสแก่ เช่น โซดาไฟ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นนี้คือ โซเดียมอะซิเตทและอัลกอฮอล์

กลไกการเกิดปฏิกิริยา

การเกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$NaOH + EtOAc \longrightarrow NaOAc + EtOH$$

โดยที่ NaOH: Sodium hydroxide

EtOAc: Ethyl acetate

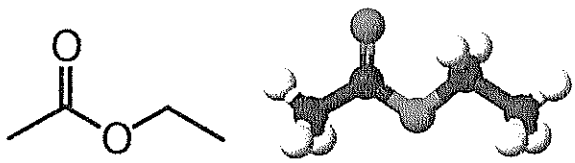
NaOAc: Sodium acetate

EtOH: Ethyl alcohol

2.3 เอทิลอาซีเทต (Ethyl acetate)

เป็นสารประกอบเคมีอินทรีย์ชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวมีกลิ่นคล้ายผลไม้ ไม่มีสี ระเหยได้ติดไฟง่าย เป็นสารช่วยเติมรสกลิ่นในทางเภสัชกรรม ทำความสะอาดสิ่งทอ(Cleaning textile) เป็นตัวทำละลาย ใช้สังเคราะห์สารอินทรีย์

เอทิลอาซีเทต มีโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



รูปที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของเอทิลอาซีเทต

คุณสมบัติทั่วไปของเอทิลอาซีเทต มีดังนี้

ชื่อตาม IUPAC Ethyl acetate

สูตรโมเลกุล $C_4H_8O_2$

มวลโมเลกุล 88.11 g/mol

จุดเดือด 77.1 °C

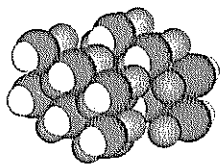
จุดหลอมเหลว -83.6 °C

2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ คือ สารประกอบชนิดหนึ่งเป็นของแข็งสีขาว ดูดความชื้นดีมาก ละลายน้ำได้ดี ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมทำสบู่ ไหมเรยอง

โซดาไฟถูกใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน และยังใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย เช่น ในการผลิตเยื่อและกระดาษสบู่ ผลิตภัณฑ์ซักฟอก เคมีภัณฑ์ การใช้งานทางอุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร ไหมเรยอง สิ่งทอ และอื่น ๆ

โซเดียมไฮดรอกไซด์ มีโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



รูปที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์

คุณสมบัติทั่วไปของโซเดียมไฮดรอกไซน์ มีดังนี้

ชื่อตาม IUPAC Sodium Hydroxide

สูตรโมเลกุล NaOH

มวลโมเลกุล 39.997 g/mol

จุดเดือด 1390 °C

จุดหลอมเหลว 318 °C

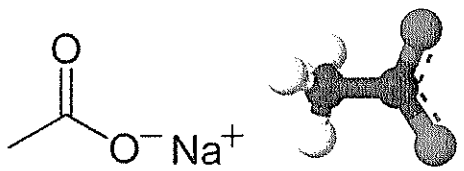
ข้อควรระวังเมื่อใช้โซดาไฟ

โซดาไฟ สามารถทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายได้อย่างเฉียบพลัน ถ้าสูดดมควันของสารจะทำให้ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ อาจเกิดปอดอักเสบ น้ำท่วมปอดได้ หากเข้าตาจะมีฤทธิ์ทำลาย ตั้งแต่ระคายเคืองหรือรุนแรงกระทั่งทำให้ตาบอดได้ หากถูกผิวหนังจะทำให้เกิดการไหม้จนเป็นแผลลึก หากรับประทานเข้าไปจะเกิดการไหม้ในปาก ลำคอ และทางเดินอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย หมดสติ ถึงขั้นเสียชีวิตได้ ผู้ที่เคยได้รับสารเข้าไปทางปาก อาจมีการพัฒนากลายเป็นมะเร็งในภายหลัง 12-42 ปี หลังจากกินเข้าไป

2.5 โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate)

โซเดียมอะซิเตท(Sodium acetate) เป็นผงผลึกสีขาวที่ดูดความชื้น สารจะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อสัมผัสกับกรดแก่ที่ทำให้เกิดควันของกรด acetic ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับสารออกซิไดซ์อย่างแรง เมื่อละลายในน้ำจะได้เป็นด่างอ่อน สารนี้ทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างอ่อนต่อดวงตาและผิวหนัง

โซเดียมอะซิเตทมีโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



รูปที่ 4 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมอะซิเตท

คุณสมบัติทั่วไปโซเดียมอะซิเตทมีดังนี้

ชื่อตาม IUPAC Sodium acetate

สูตรโมเลกุล $C_2H_3NaO_2$

มวลโมเลกุล 82.03 g/mol

ความหนาแน่น 1.528 g/cm^3

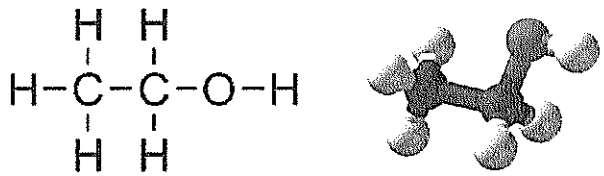
จุดหลอมเหลว 58 °C

จุดเดือด 122 °C

2.6 เอทานอล (Ethanol)

เอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นของเหลวใสไม่มีสีแต่มีกลิ่นฉุน เป็นสารไวไฟ สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำหรือสารประกอบอินทรีย์อื่นๆได้ดี เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการนำเอาพืชมาหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย สามารถทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ได้ด้วยการกลั่น โดยจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอทานอลนั้นมีหลายชนิด แต่ที่นิยมอย่างแพร่หลาย คือ ยีสต์ (Yeast) แต่ในปัจจุบันพบว่าแบคทีเรีย(Bacteria) สายพันธุ์ *Zymomonas mobilis* ทำหน้าที่ผลิตเอทานอลได้ดีกว่ายีสต์ แต่การนำแบคทีเรียมาใช้ค่อนข้างที่จะยาก เพราะโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่คุ้นเคยกับยีสต์มากกว่า ทั้งนี้การผลิตเอทานอลนั้นยังสามารถทำได้โดยการสังเคราะห์ทางกระบวนการทางเคมีอีกด้วย

เอทานอลมีโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



รูปที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลของเอทานอล

คุณสมบัติทั่วไปของเอทานอลมีดังนี้

ชื่อตาม IUPAC Ethanol

สูตรโมเลกุล C_2H_5OH

มวลโมเลกุล 46.07 g/mol

ความหนาแน่น 0.789 g/cm^3

จุดหลอมเหลว -114.3°C

จุดเดือด 78.4°C

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือทดลองหลัก

Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

Conductometer

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขวดรูปชมพู่

บีกเกอร์

เทอร์โมมิเตอร์

ขวดวัดปริมาตร

ปิเปต

บิวเรต

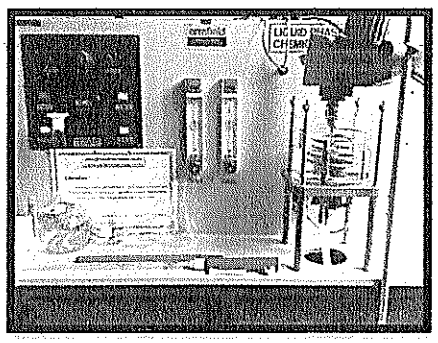
แท่งแก้วคนสาร

กระบอกตวง

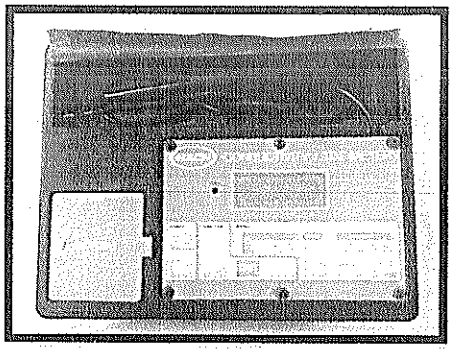
นาฬิกาจับเวลา

ถังเตรียมสาร 10 L (4 ถัง)

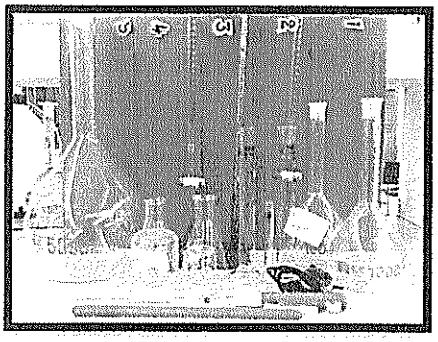
เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 6 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)



รูปที่ 7 Conductometer



รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารละลายเอทิลอาซีเทต (Ethyl acetate 0.1 M)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide 0.1 M)

สารละลายไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid 37%w/w)

ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)

น้ำ DI

รูปที่ 9 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2 การเตรียมสารละลาย

สารละลาย Ethyl acetate (EtOAc) เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 20 L

- ตวงสารละลาย EtOAc ปริมาณ 195.6 mL
- ละลายในน้ำจนได้ปริมาตร 20 L

สารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 20 L

- ชั่งสาร NaOH ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ปริมาณ 80 g
- นำ NaCl มาละลายในน้ำ
- เติมสารละลาย NaOH ที่ได้และน้ำลงในขวดวัดปริมาตรจนได้ปริมาตร 20 L

สารละลาย Hydrochloric acid (HCl) ปริมาตร 1 L (ใช้ในการหยุดปฏิกิริยา)

- ตวงสารละลายกรด HCL เข้มข้น 37% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 8.32 mL
- ละลายในน้ำจนได้ปริมาตร 1 L

สารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 1 L (ใช้ในการไตเตรต)

- ชั่งสาร NaOH ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ปริมาณ 4 g
- นำ NaCl มาละลายในน้ำ
- เติมสารละลาย NaOH ที่ได้และน้ำลงในขวดวัดปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 L

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 เทสารละลาย NaOH 0.1 M และ EtOAc 0.1 M ลงใน tank A และ tank B ตามลำดับ

3.3.2 เปิด pump ให้มีสารป้อนเข้าไปใน Reactor และเปิดน้ำหล่อเย็น เพื่อทำให้อุณหภูมิใน Reactor คงที่ รวมทั้งเปิดใบกวนที่ความเร็วรอบ 200 rpm

3.3.3 ปรับ flow rate ของ NaOH:EtOAc เท่ากับ 1:1 โดยใช้ NaOH:EtOAc เท่ากับ 30:30 cm^3/min

3.3.4 ทำการเก็บ sample ครั้งละ 10 mL ทุกๆ 10 นาที บริเวณด้านบนของ Reactor แล้วหยุดปฏิกิริยาด้วย HCl 0.1 M ปริมาณ 10 mL พร้อมกับวัดอุณหภูมิภายใน Reactor

3.3.5 นำไปวัดค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Conductometer

3.3.6 หยด phenolphthalein จำนวน 2-3 หยด แล้วทำการไทเตรตกับ NaOH 0.1 M ที่เตรียมไว้ในบิวเรต เพื่อหาปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยา แล้วบันทึกผลการทดลอง

3.3.7 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.3.4-3.3.6 แต่เปลี่ยน NaOH:EtOAc เท่ากับ 40:40, 50:50 และ 60:60 cm^3/min

3.3.8 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.3.4-3.3.6 แต่เปลี่ยน NaOH:EtOAc เท่ากับ 20:30, 30:45, 40:60 และ 50:75 cm^3/min

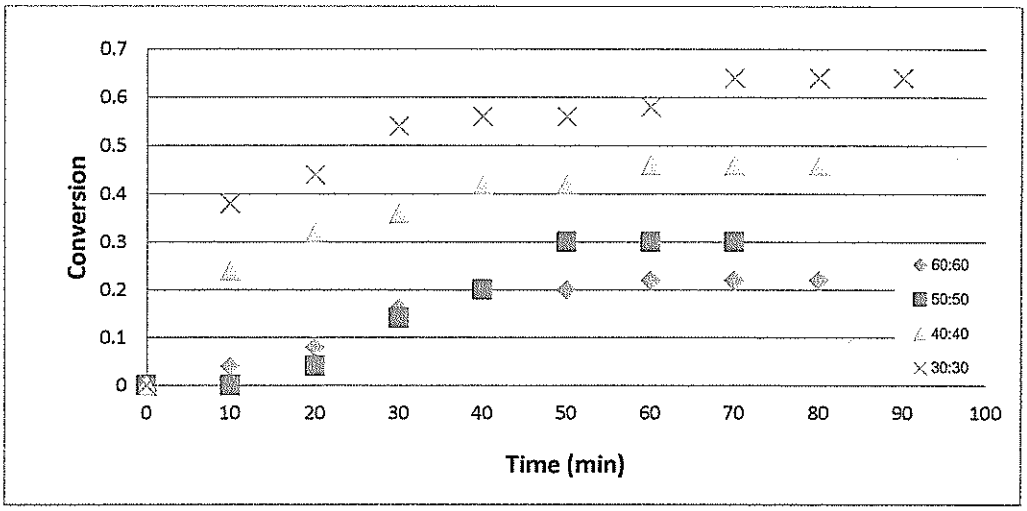
3.3.8 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.3.4-3.3.6 แต่เปลี่ยน NaOH:EtOAc เท่ากับ 10:20, 20:40 และ 30:60 cm^3/min

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นระหว่าง conversion กับ time

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:1

อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.05 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.05 mol/L

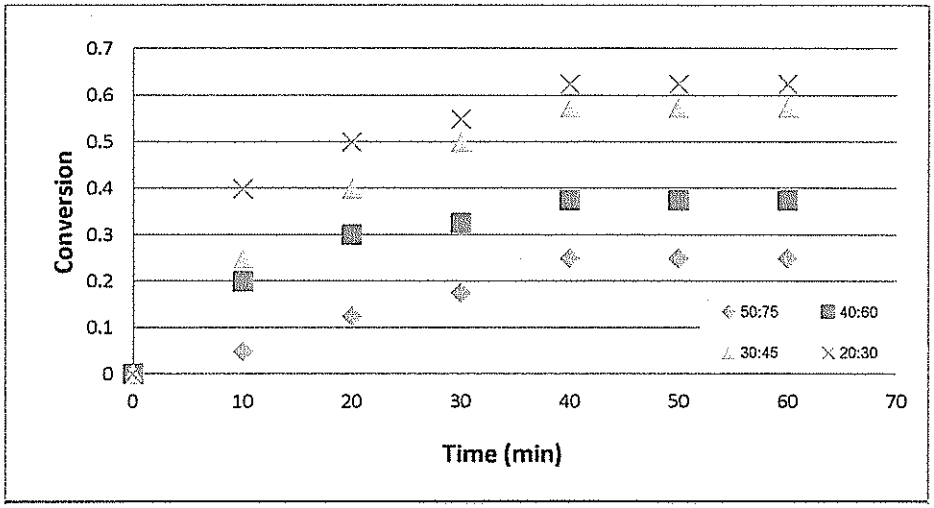


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างConversion กับ Time ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc =1:1

จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่า conversion ที่ได้จะเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากความเข้มข้นของ NaOH และ EtOAc มีค่าความเข้มข้นที่สูงอยู่ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว แต่พอเวลาผ่านไปผลิตภัณฑ์ที่เกิดมากขึ้น ความเข้มข้นของ NaOH และ EtOAc ลดน้อยลง จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง จนกระทั่งถึงระยะเวลาหนึ่งๆ ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลของ NaOH ต่อ EtOAc เท่ากับ 30:30, 40:40, 50:50 และ60:60 cm^3/min ค่า conversion ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.64, 0.46, 0.3 และ 0.22 ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลการทดลอง เมื่อ flow rate ต่ำ ค่า conversion ที่ได้จะมีค่าสูง และเมื่อ flow rate สูง ค่า conversion ที่ได้จะมีค่าต่ำ เป็นเพราะว่าถ้าให้ flowrate สูงๆ สารต่างๆก็จะมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยากันไม่นาน จึงทำให้ค่า conversion มีค่าน้อย

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:1.5

อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.04 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.06 mol/L

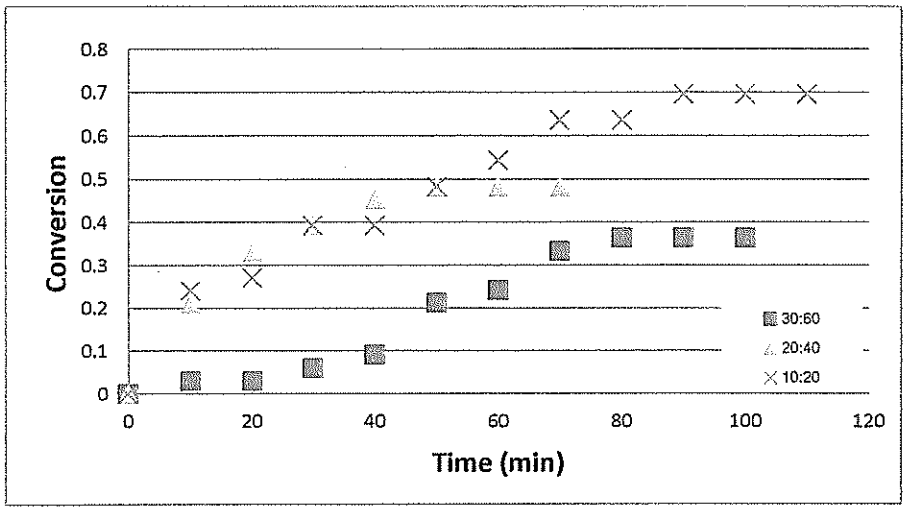


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างConversion กับ Time ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc =1:1.5

จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่า conversion ที่ได้จะเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากความเข้มข้นของ NaOH และ EtOAc มีค่าความเข้มข้นที่สูงอยู่ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว แต่พอเวลาผ่านไปผลิตภัณฑ์ที่เกิดมากขึ้น ความเข้มข้นของ NaOH และ EtOAc ลดน้อยลง จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง จนกระทั่งถึงระยะเวลาหนึ่งๆ ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลของ NaOH ต่อ EtOAc เท่ากับ 20:30, 30:45, 40:60 และ50:75 cm^3/min ค่า conversion ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.63, 0.58, 0.38 และ 0.25 ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลการทดลอง เมื่อ flow rate ต่ำ ค่า conversion ที่ได้จะมีค่าสูง และเมื่อ flow rate สูง ค่า conversion ที่ได้จะมีค่าต่ำ เป็นเพราะว่าถ้าให้ flowrate สูงๆ สารต่างๆก็จะมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยากันไม่นาน จึงทำให้ค่า conversion มีค่าน้อย

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:2

อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.033 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.066 mol/L

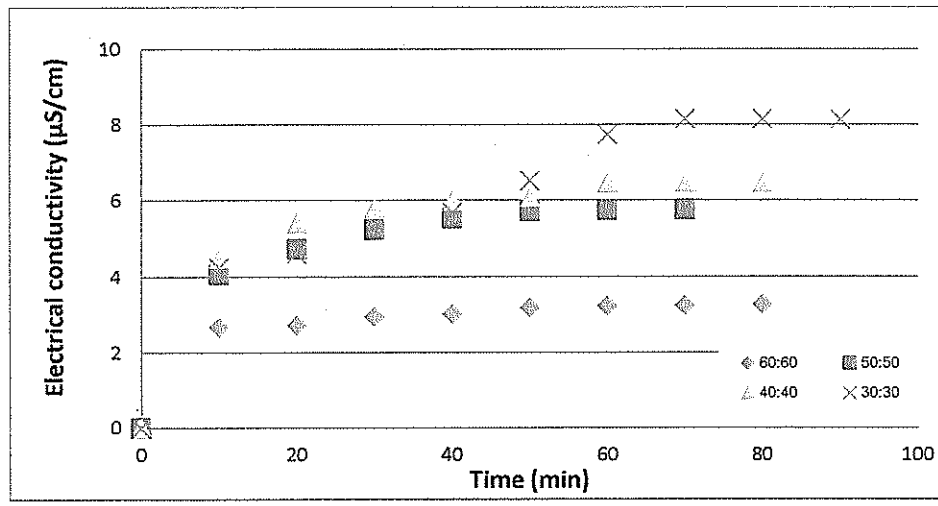


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างConversion กับ Time ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc =1:2

จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่า conversion ที่ได้จะเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากความเข้มข้นของ NaOH และ EtOAc มีค่าความเข้มข้นที่สูงอยู่ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว แต่พอเวลาผ่านไปผลิตภัณฑ์ที่เกิดมากขึ้น ความเข้มข้นของ NaOH และ EtOAc ลดน้อยลง จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง จนกระทั่งถึงระยะเวลาหนึ่งๆ ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลของ NaOH ต่อ EtOAc เท่ากับ 10:20, 20:40 และ30:60 cm^3/min ค่า conversion ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.697, 0.485 และ 0.363ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลการทดลอง เมื่อ flow rate ต่ำ ค่า conversion ที่ได้จะมีค่าสูง และเมื่อ flow rate สูง ค่า conversion ที่ได้จะมีค่าต่ำ เป็นเพราะว่าถ้าให้ flowrate สูงๆ สารต่างๆก็จะมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยากันไม่นาน จึงทำให้ค่า conversion มีค่าน้อย

4.2 ผลการทดลองของปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นระหว่าง electrical conductivity กับ time

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:1	
อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.05 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.05 mol/L

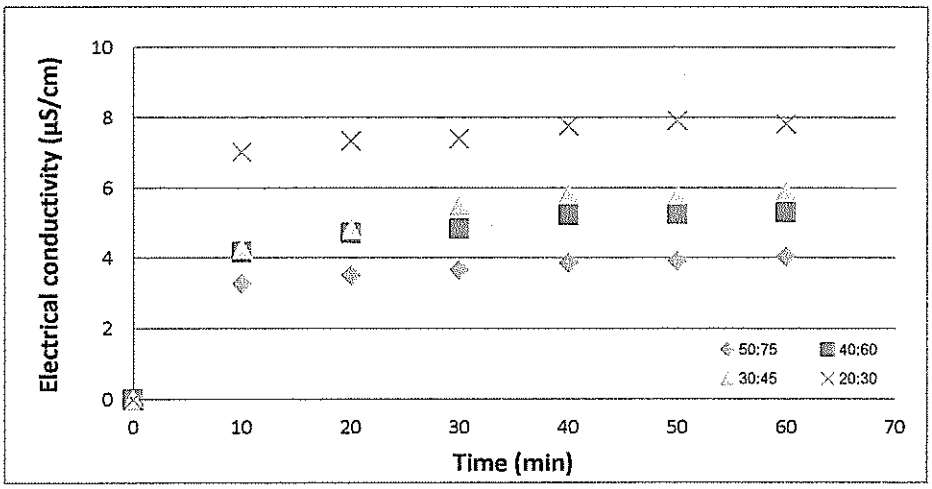


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างElectrical conductivity กับ Time ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc=1:1

จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยในช่วงแรกนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะสารตั้งต้นยังมีความเข้มข้นสูง จึงทำให้สามารถแตกเป็นประจุได้มาก จากนั้นจะเริ่มคงที่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งๆ เป็นเพราะการแตกตัวเป็นของสารตั้งต้นถึงจุดอิ่มตัวแล้ว และพบว่าเมื่อระบบเข้าสู่ steady stateแล้ว ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันของแต่ละอัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH ต่อ EtOAc ซึ่งที่อัตราการไหลของ NaOH ต่อ EtOAc เท่ากับ 30:30, 40:40, 50:50 และ60:60 cm^3/min ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 8.14, 6.47, 5.73 และ 3.2

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc=1:1.5

อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.04 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.06 mol/L

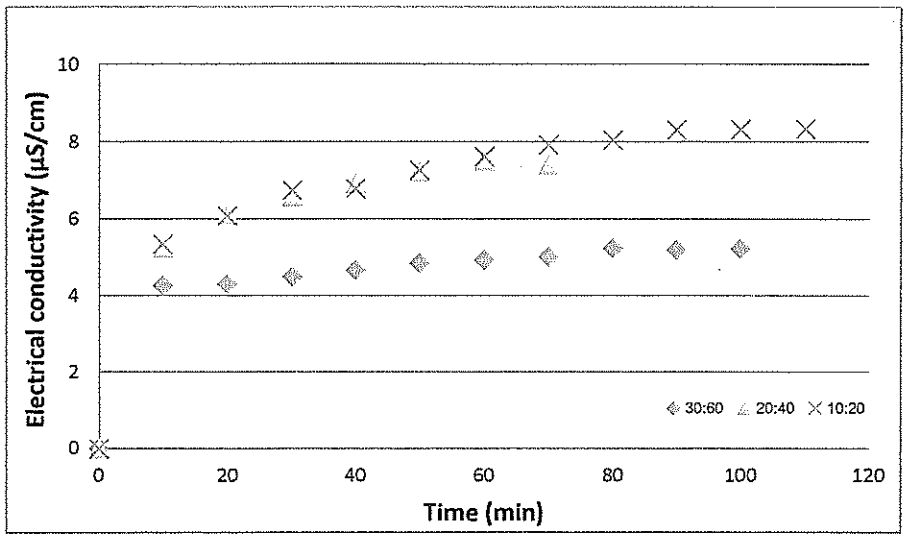


รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างElectrical conductivity กับ Time ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc=1:1.5

จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยในช่วงแรกนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะสารตั้งต้นยังมีความเข้มข้นสูง จึงทำให้สามารถแตกเป็นประจุได้มาก จากนั้นจะเริ่มคงที่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งๆ เป็นเพราะการแตกตัวเป็นของสารตั้งต้นถึงจุดอิ่มตัวแล้ว และพบว่าเมื่อระบบเข้าสู่ steady stateแล้ว ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันของแต่ละอัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH ต่อ EtOAc ซึ่งที่อัตราการไหลของ NaOH ต่อ EtOAc เท่ากับ 20:30, 30:45, 40:60 และ50:75 cm^3/min ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 7.85, 5.86, 5.27 และ 3.96

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:2

อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.033 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.066 mol/L

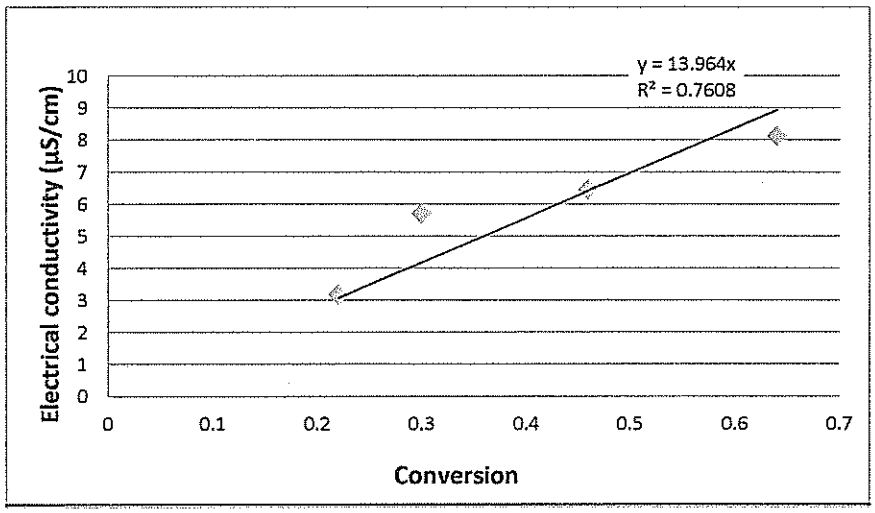


รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างElectrical conductivity กับ Time ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc=1:2

จากรูป พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยในช่วงแรกนั้นค่าความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะสารตั้งต้นยังมีความเข้มข้นสูง จึงทำให้สามารถแตกเป็นประจุได้มาก จากนั้นจะเริ่มคงที่เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งๆ เป็นเพราะการแตกตัวเป็นของสารตั้งต้นถึงจุดอิ่มตัวแล้ว และพบว่าเมื่อระบบเข้าสู่ steady stateแล้ว ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันของแต่ละอัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH ต่อ EtOAc ซึ่งที่อัตราการไหลของ NaOH ต่อ EtOAc เท่ากับ 10:20, 20:40และ30:60 cm^3/min ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 8.33, 7.42และ 5.23

4.3 ผลการทดลองระหว่าง conversion กับ electrical conductivity

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:1	
อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.05 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.05 mol/L

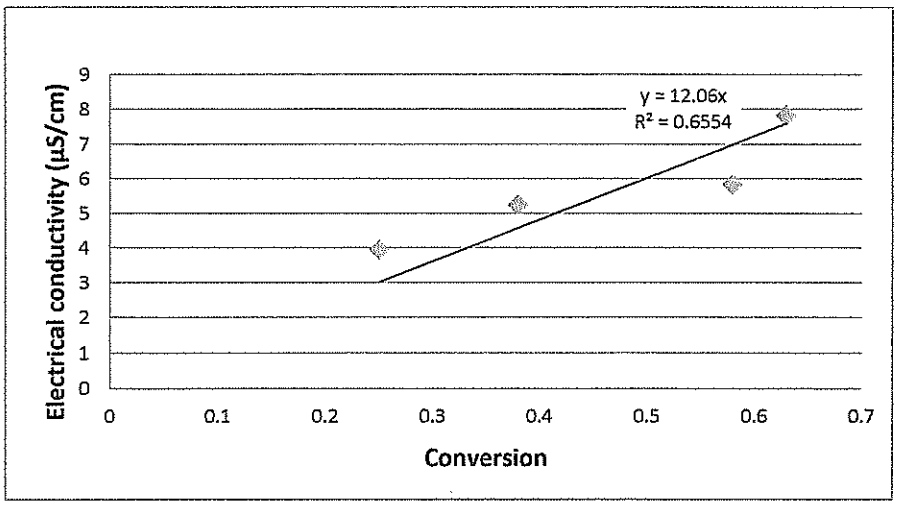


รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Electrical conductivity กับ Conversion ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc = 1:1

จากรูป พบว่าค่า conversion แปรผันตรงกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (electrical conductivity) คือเมื่อ conversion มีค่ามากทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่มากตามไปด้วย ซึ่งจากค่า conversion แปรผกผันกับ flowrate และจากที่กล่าวไปข้างต้นที่ว่าค่า conversion แปรผันตรงกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ดังนั้นอาจจะบอกได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าแปรผกผันกับค่า flowrate ด้วยเช่นกัน

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:1.5

อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.04 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.06 mol/L

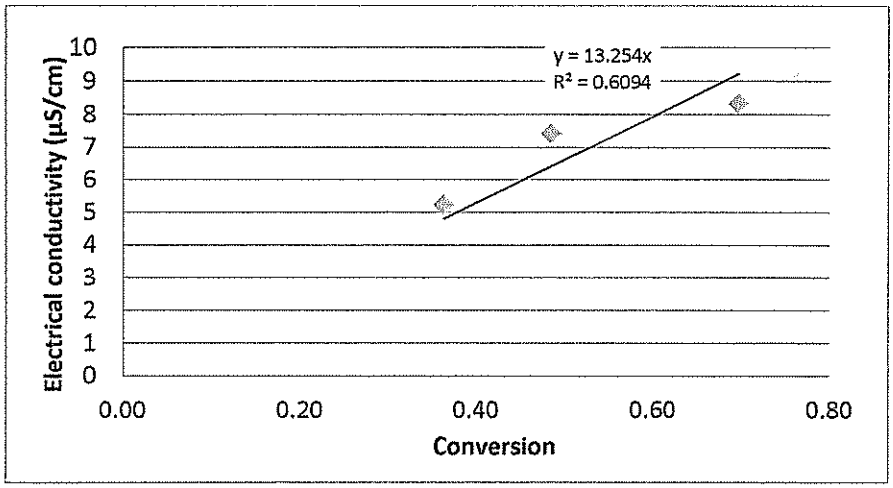


รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Electrical conductivity กับ Conversion ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc = 1:1.5

จากรูป พบว่าค่า conversion แปรผันตรงกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (electrical conductivity) คือเมื่อ conversion มีค่ามากทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่มากตามไปด้วย ซึ่งจากค่า conversion แปรผกผันกับ flowrate และจากที่กล่าวไปข้างต้นที่ว่าค่า conversion แปรผันตรงกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ดังนั้นอาจจะบอกได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าแปรผกผันกับค่า flowrate ด้วยเช่นกัน

อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc= 1:2

อุณหภูมิใน Reactor	30 °C
ความเร็วของใบกวน	200 rpm
ความเข้มข้น NaOH เริ่มต้น	0.033 mol/L
ความเข้มข้น EtOAc เริ่มต้น	0.066 mol/L



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Electrical conductivity กับ Conversion ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของ NaOH:EtOAc = 1:2

จากรูป พบว่าค่า conversion แปรผันตรงกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (electrical conductivity) คือเมื่อ conversion มีค่ามากทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่มากตามไปด้วย ซึ่งจากค่า conversion แปรผกผันกับ flowrate และจากที่กล่าวไปข้างต้นที่ว่าค่า conversion แปรผันตรงกับค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ดังนั้นอาจจะบอกได้ว่าค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าแปรผกผันกับค่า flowrate ด้วยเช่นกัน

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

1. ค่า conversion ที่ได้จากปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของ NaOH กับ EtOAc แปรผันตรงกับเวลา
2. ค่า electrical conductivity ที่ได้จากปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของ NaOH กับ EtOAc แปรผันตรงกับเวลา
3. ค่า conversion แปรผันตรงกับค่า electrical conductivity
4. ค่า conversion แปรผกผันกับ Volumetric flowrate

ข้อเสนอแนะ

1. ในการปรับ flowrate แต่ละค่าให้นิ่งนั้นค่อนข้างที่จะปรับยาก ทำให้ผลที่ออกมาได้มีความคลาดเคลื่อน
2. ติดตั้ง probe ที่ใช้วัดความเหนี่ยวนำไฟฟ้ากับ reactor โดยตรง เพื่อที่จะทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่แม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

Lavenspiel, O., Chemical Engineering, 3rd edition, Wiley International, 1990.

Fogler, H.S., Elements of Chemical Reaction Engineering, 4th edition, Prentice Hall, 2006

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลอง

อัตราส่วนของความเข้มข้น NaOH:EtOAc เท่ากับ 1:1

Table 1 ผลการทดลอง flowrate A:B = 60:60 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^oC)
0	0	0	0.05	0	30
10	5.4	2.72	0.046	0.08	30
20	5.8	2.94	0.042	0.16	30
30	6	3.02	0.04	0.20	30
40	6	3.18	0.04	0.20	30
50	6.1	3.23	0.039	0.22	30
60	6.1	3.24	0.039	0.22	30
70	6.1	3.27	0.039	0.22	30

Table 2 ผลการทดลอง flowrate A:B = 50:50 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^oC)
0	0	0	0.05	0	30
10	5	4.06	0.05	0	30
20	5.2	4.73	0.048	0.04	30
30	5.7	5.24	0.043	0.14	30
40	6	5.53	0.04	0.20	30
50	6.5	5.71	0.035	0.30	30
60	6.5	5.74	0.035	0.30	30
70	6.5	5.76	0.035	0.30	30

Table 3 แสดงผลการทดลอง flowrate A:B = 40:40 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^0C)
0	0	0	0.05	0	30
10	6.2	4.52	0.038	0.24	30
20	6.6	5.42	0.034	0.32	30
30	6.8	5.82	0.032	0.36	30
40	7.1	6.01	0.029	0.42	30
50	7.1	6.1	0.029	0.42	30
60	7.3	6.46	0.027	0.46	30
70	7.3	6.48	0.027	0.46	30
80	7.3	6.47	0.027	0.46	30

Table 4 แสดงผลการทดลอง flowrate A:B = 30:30 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^0C)
0	0	0	0.05	0	30
10	7.2	4.61	0.028	0.44	30
20	7.7	5.23	0.023	0.54	30
30	7.8	5.68	0.022	0.56	30
40	7.8	6.52	0.022	0.56	30
50	7.9	7.73	0.021	0.58	30
60	8.2	8.14	0.018	0.64	30
70	8.2	8.15	0.018	0.64	30
80	8.2	8.13	0.018	0.64	30

Table 5 ผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่ steady-state

Flowrate	X_A	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)
60:60	0.22	3.2
50:50	0.3	5.73
40:40	0.46	6.47
30:30	0.64	8.14

อัตราส่วนของความเข้มข้น NaOH:EtOAc เท่ากับ 1:1.5

Table 6 ผลการทดลอง flowrate A:B = 50:75 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^oC)
0	0	0	0.04	0	30
10	6.2	3.28	0.038	0.05	30
20	6.5	3.52	0.035	0.13	30
30	6.7	3.68	0.033	0.18	30
40	7	3.87	0.03	0.25	30
50	7	3.94	0.03	0.25	30
60	7	4.06	0.03	0.25	30

Table 7 ผลการทดลอง flowrate A:B = 40:60 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^oC)
0	0	0	0.04	0	30
10	6.8	4.18	0.032	0.20	30
20	7.2	4.72	0.028	0.30	30
30	7.3	4.85	0.027	0.33	30
40	7.5	5.23	0.025	0.38	30
50	7.5	5.27	0.025	0.38	30
60	7.5	5.31	0.025	0.38	30

Table 8 ผลการทดลอง flowrate A:B = 30:45 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^oC)
0	0	0	0.04	0	30
10	7	4.29	0.03	0.25	30
20	7.6	4.84	0.024	0.40	30
30	8	5.52	0.02	0.50	30
40	8.3	5.86	0.017	0.58	30
50	8.3	5.82	0.017	0.58	30
60	8.3	5.93	0.017	0.58	30

Table 9 ผลการทดลอง flowrate A:B = 20:30 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^oC)
0	0	0	0.04	0	30
10	7.6	7.03	0.024	0.40	30
20	8	7.35	0.02	0.50	30
30	8.2	7.42	0.018	0.55	30
40	8.5	7.78	0.015	0.63	30
50	8.5	7.92	0.015	0.63	30
60	8.5	7.83	0.015	0.63	30

Table 10 ผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่ steady-state

Flowrate	X_A	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)
50:75	0.25	3.96
40:60	0.38	5.270
30 45	0.58	5.864
20:30	0.63	7.850

อัตราส่วนของความเข้มข้น NaOH:EtOAc เท่ากับ 1:2

Table 11 ผลการทดลอง flowrate A:B = 30:60 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^oC)
0	0	0	0.033	0	30
10	6.8	4.31	0.032	0.0303	30
20	6.9	4.51	0.031	0.0606	30
30	7	4.67	0.03	0.0909	30
40	7.5	4.93	0.025	0.2424	30
50	7.8	5.02	0.022	0.3333	30
60	7.9	5.24	0.021	0.3636	30
70	7.9	5.2	0.021	0.3636	30
80	7.9	5.23	0.021	0.3636	30

Table 12 ผลการทดลอง flowrate A:B = 20:40 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^0C)
0	0	0	0.033	0	30
10	7.4	5.26	0.026	0.2121	30
20	7.8	6.13	0.022	0.3333	30
30	8	6.58	0.02	0.3939	30
40	8.2	6.93	0.018	0.4545	30
50	8.3	7.24	0.017	0.4848	30
60	8.3	7.53	0.017	0.4848	30
70	8.3	7.42	0.017	0.4848	30

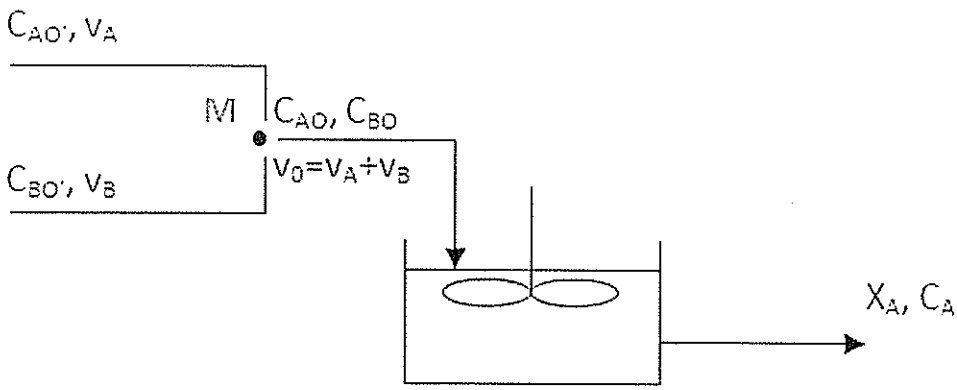
Table 13 ผลการทดลอง flowrate A:B = 10:20 cm^3/min

Time (min)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)	C_A (mol/L)	X_A	Temp. (^0C)
0	0	0	0.033	0	30
10	7.5	5.35	0.025	0.2424	30
20	7.6	6.09	0.024	0.2727	30
30	8	6.80	0.02	0.3939	30
40	8.3	7.28	0.017	0.4848	30
50	8.5	7.62	0.015	0.5455	30
60	8.8	8.06	0.012	0.6364	30
70	9	8.32	0.01	0.6970	30
80	9	8.33	0.01	0.6970	30
90	9	8.35	0.01	0.6970	30

Table 14 ผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่ steady-state

Flowrate	X_A	ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (µS/cm)
30:60	0.363	5.23
20:40	0.485	7.42
10:20	0.697	8.33

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ



การหาค่า C_{A0} และ C_{BO}

Mole A balance around point M

(Rate of mole A in point M) = (Rate of mole A out point M)

$C_{A0'} * v_A = C_{A0} * v_0$

$C_{A0} = C_{A0'} * v_A / v_0$

จากการทดลอง : กำหนดflowrate A:B = 1:1 เมื่อ A = Sodium Hydroxide

B = Ethyl acetate

$v_A = v_B$

$C_{A0'} = 0.1M$

$v_0 = v_A + v_B = 2v_A$

ดังนั้น $C_{A0} = (0.1M)*v_A/2v_A = 0.05$ mol/L

อัตราส่วนความเข้มข้นของ A:B เท่ากับ 1:1

ดังนั้น $C_{BO} = 0.05$ mol/L

จากการทดลอง : กำหนดflowrate A:B = 1:1.5 เมื่อ A = Sodium Hydroxide

B = Ethyl acetate

$v_A = v_B$

$C_{A0'} = 0.1M$

$v_0 = v_A + 1.5v_B = 2.5v_A$

ดังนั้น $C_{A0} = (0.1M)^*v_A/2.5v_A = 0.04$ mol/L

อัตราส่วนความเข้มข้นของ A:B เท่ากับ 1:1.5

ดังนั้น $C_{BO} = 0.06$ mol/L

จากการทดลอง : กำหนดflowrate A:B = 1:2เมื่อ A = Sodium Hydroxide

B = Ethyl acetate

$v_A = v_B$

$C_{A0'} = 0.1M$

$v_0 = v_A + 2v_B = 3v_A$

ดังนั้น $C_{A0} = (0.1M)^*v_A/3v_A = 0.033$ mol/L

อัตราส่วนความเข้มข้นของ A:B เท่ากับ 1:2

ดังนั้น $C_{BO} = 0.066$ mol/L

ตัวอย่างการคำนวณ: การหาค่าความเข้มข้นของNaOHหลังทำปฏิกิริยาจากการไทเทรตที่เวลาใดๆ และค่า conversion จากตารางที่ 1

เมื่อ A = Sodium Hydroxide

B = Ethyl acetate

Flowrate A:B = 60:60 cm^3/min, Volume=1500 cm^3, Volumetric flowrate=120 cm^3/min

C_{A0} = 0.05 mol/L, C_{B0} = 0.05 mol/L, C_{HCl} = 0.1 M, V_{HCl} = 10 cm^3

$V_{A,titrate}$ = 5.2 cm^3

ดังนั้น C_A = ((0.1 M)(10 cm^3)-(0.1 M)(5.2 cm^3))/10 cm^3

C_A = 0.048 mol/L

จาก $X_A = 1 - C_A/C_{A0}$

X_A = 1-((0.048mol/L)/(0.05mol/L))

X_A = 0.04