สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....

กิตติกรรมประกาศ.....

สารบัญ.....

สารบัญตาราง.....

สารบัญภาพ.....

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

2 ความรู้เบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 กระบวนการโซล-เจล (Sol-Gel processing)..... 5

2.2 รีโซซินอล ฟอร์มอลดีไฮด์เจลและคาร์บอนเจล..... 7

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเจลก่อนการอบแห้ง..... 8

2.2.2 การอบแห้ง (Drying processing)..... 12

2.2.3 การเผาให้เป็นคาร์บอน (Carbinization)..... 13

2.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน..... 14

2.4 การให้โมเลกุลหน่วยย่อยวางตัวเข้าด้วยกันอย่างเป็นระเบียบด้วยตัวเอง (self-assembly)..... 17

2.5 บล็อกโคพอลิเมอร์ (Block copolymer)..... 20

2.6 การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)..... 23

2.6.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย..... 29

2.6.2 การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย..... 29

2.6.3 การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีสำหรับสารจำพวกเรซิน..... 31

บทที่ หน้า
3 การดำเนินงานวิจัย..... 32
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 32
3.2 ขั้นตอนและการวิจัย..... 33
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล ก่อนการอบแห้ง..... 35
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลแบบเป็นbulk..... 36
3.2.3 ขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย..... 39
3.2.4 ขั้นตอนการเผาให้เป็นคาร์บอน..... 40
3.3 การตรวจวิเคราะห์..... 40
3.3.1 สมดุลการดูดซับ-คายซับ ไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส..... 40
3.3.2 ภาพถ่ายSEM..... 41
3.3.3 ภาพถ่าย TEM..... 42
3.3.4 การวัดความหนืด (Viscometer measurement)..... 43
3.3.5 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลโดยใช้เทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)..... 44
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 45
4.1 ศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลและวัสดุคาร์บอนที่เตรียมแบบเป็น bulk ที่มีผลต่อลักษณะและสมบัติรูพรุน..... 45
4.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลและวัสดุคาร์บอนที่ได้หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะและสมบัติรูพรุน..... 51
4.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิขาเข้าที่ใช้ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะและสมบัติรูพรุน..... 59
4.4 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลายรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์ ที่มีต่อไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน และลักษณะสมบัติรูพรุน..... 63
4.5 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล..... 75
4.5.1 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างชนิดกัน..... 75

บทที่ หน้า

4.5.2 ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลายรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์ที่มีผลต่อหมู่ฟังก์ชันของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล 81

4.5.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อหมู่ฟังก์ชันของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล 91

5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 103

5.1 สรุปผลงานวิจัย 103

5.2 ข้อเสนอแนะ 104

6 รายการอ้างอิง 105

7 ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ 108

ภาคผนวก .....

รายงานสรุปการเงิน .....

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนสภาวะการเผาให้เป็นคาร์บอนที่ส่งผลต่อลักษณะสมบัติรูพรุนของคาร์บอนเจล	14
3.1	เงื่อนไขที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย	39
4.1	แสดงลักษณะสมบัติรูพรุนของวัสดุคาร์บอนรูพรุนที่เตรียมแบบ bulk ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างชนิดกัน	47
4.2	แสดงลักษณะสมบัติรูพรุนของวัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างชนิดกัน	54
4.3	แสดงลักษณะสมบัติรูพรุนของวัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าต่างกัน	60
4.4	ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์และลักษณะสมบัติรูพรุนของคาร์บอนที่ทำการสังเคราะห์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ	64
4.5	ช่วงเลขคลื่นของแถบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันในรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล	76

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนผังโครงสร้างของ (a) พาทิคูเลทเจลที่เกิดจากสารแขวนลอยของอนุภาคขนาดเล็ก และ (b) พอลิเมอร์เจลที่เกิดจากจากสารละลาย	6
2.2	แผนผังโครงสร้างของ (a) พาทิคูเลทเจลที่เกิดจากสารแขวนลอยของอนุภาคขนาดเล็ก และ (b) พอลิเมอร์เจลที่เกิดจากจากสารละลาย	7
2.3	กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์ RFGel	9
2.4	อนุภาคที่เติบโตขึ้นของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์ มอนอเมอร์	9
2.5	แนวคิดของกลไลการกลายเป็นเจลของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล (a) กรณีที่มีค่า C/W สูงและ (b) กรณที่มีค่า C/W ต่ำ	10
2.6	ลักษณะต่าง ๆ ของไอโซเทอร์มการดูดซับ – คายซับ ตามหลักของ IUPAC	16
2.7	แบบจำลองลักษณะโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวประเภท Amphiphilic	17
2.8	รูปแบบเบื้องต้นของสารกลุ่ม Pluronic® (PEO-PPO-PEO) ในรูปแบบไมเซลล์	18
2.9	แผนภาพแบบโครงสร้างไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่างกัน ของ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)	19
2.10	ลักษณะการจัดเรียงตัวโคพอลิเมอร์แบบบล็อค (Block copolymer)	20
2.11	การรวมตัวของโคพอลิเมอร์ภายใต้สมดุลไดนามิคด้วยมอนอเมอร์	21
2.12	โครงสร้างของ PEO-PPO-PEO triblock copolymers	21
2.13	โครงสร้างของ PEO-PPO-PEO triblock copolymers	22
2.14	โครงสร้างของบล็อกโคพอลิเมอร์ที่จัดเรียงตัวด้วยตัวเอง	23
2.15	ลักษณะของ Rotary atomizer	24
2.16	ลักษณะของ Pressure nozzle atomizer	25
2.17	ลักษณะหัวฉีดแบบ Two-Fluid nozzle	25
2.18	การไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (ก) co-current (ข) counter-current และ (ค) การไหลแบบผสม (Mixed flow)	27
2.19	กลไกการอบแห้งของละอองฝอย	28
2.20	แสดงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	29

ภาพที่		หน้า
2.21	วัสดุที่สามารถใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยผลิตได้	31
3.1	ขั้นตอนการทดลองซึ่งแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ (1) ขั้นตอนการเตรียมรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล ก่อนการอบแห้ง (2) ขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (3) ขั้นตอนการเผาให้เป็นคาร์บอน	34
3.2	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น Buchi B 290	39
3.3	แผนผังกระบวนการเผาให้เป็นคาร์บอน	40
3.4	BET analyzer รุ่น BEL sorp-mini (Japan)	41
3.5	เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JEOL JSM 6060	41
3.6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องทะลุผ่าน รุ่น JEOL JEM 2100F (Japan)	42
3.7	เครื่องวัดความหนืดยี่ห้อ Brookfield Programmable DV II (USA)	43
3.8	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) Nicolet 6700	44
4.1	ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมแบบ bulk (△) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมแบบ bulk และ (O) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมแบบ bulk หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน	48
4.2	การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมแบบ bulk หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน	49
4.3	การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของ (△) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมแบบ bulk หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน	50

ภาพที่ หน้า

4.4 การฟอร์มตัวของไมเซลกรณี (a) ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและ (b)โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... 54

4.5 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 55

4.6 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของ (□)วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 องศา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 56

4.7 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (△) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย และของ (O) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน.... 57

4.8 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุคาร์บอนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส หลังเผาให้เป็นคาร์บอนที่ 800 องศาเซลเซียส..... 58

4.9 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส หลังเผาให้เป็นคาร์บอนที่ 800 องศาเซลเซียส..... 58

4.10 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส..... 58

4.11 ภาพถ่าย TEM ของวัสดุคาร์บอนที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส หลังการเผาให้เป็นคาร์บอนที่ 800 องศาเซลเซียส..... 60

ภาพที่ หน้า

4.12 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส และ (■) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 61

4.13 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของ (□)วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส และ (■) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 62

4.14 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 65

4.15 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 66

4.16 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 67

ภาพที่ หน้า

4.17 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 68

4.18 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 69

4.19 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 5.5 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 70

4.20 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 6 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 71

4.21 ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 7 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน..... 72

ภาพที่		หน้า
4.22	ไอโซเทอร์มในการดูดซับ-คายซับไนโตรเจน (Nitrogen adsorption-desorption isotherm) ที่ -196 องศาเซลเซียส ของ (□) วัสดุคาร์บอนรูพรุนที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 8 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากทำการเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ก๊าซไนโตรเจน	73
4.23	FT-IR สเป็กตรัมของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ผ่านการบ่มสาร (aging) (a), 2 วัน (b), 4 วัน (c), 6 วัน (d), 8 วัน และ(e), 10 วัน	77
4.24	FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและทำการบ่ม (aging) เป็นเวลา10 วัน (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 1.41)	77
4.25	FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเวลาที่สารละลายกลายเป็นเจลอยู่ที่ 40 นาที (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 10.82)	78
4.26	FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเวลาที่สารละลายกลายเป็นเจลอยู่ที่ 60 นาที (ค่าความเป็นกรด – ด่าง =11.26)	79
4.27	FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 1.59)	82
4.28	FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 1.61)	83

ภาพที่ หน้า

4.29 FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 1.89) 84

4.30 FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 2.41) 85

4.31 FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 4.22) 86

4.32 FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 5.5 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 6.69) 87

4.33 FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 6 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 7.06) 88

4.34 FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 7 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 7.55) 89

4.35 FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์ (●) ซึ่งสอดคล้องกับวงแหวนแอโรเมติกของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 8 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ค่าความเป็นกรด – ด่าง = 8.24) 90

ภาพที่ หน้า

4.36 ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ..... 92

4.37 ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ.... 93

4.38 ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ.... 94

4.39 ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ.... 95

4.40 ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ.... 96

4.41 ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ.... 97

4.42 ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 5.5 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ.... 98

ภาพที่		หน้า
4.43	ค่าความหนืดของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจล และ FTIR signal ratios ของเมทิลีน (◆) และเมทิลีนอีเทอร์(●) ของรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลที่ใช้กรดไฮโดรคลอริคผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 6 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการบ่มสารที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ....	99
4.44	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างอนุภาคในสารละลายรีโซซินอล-ฟอร์มอลดีไฮด์เจลกรณี (a) ความหนืดมีค่าสูง และ (b) ความหนืดมีค่าต่ำ.....	101