สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ตรวจเอกสาร	2
1.1.1 การผลิตรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน	2
1.1.2 การกัดขยายรอย	3
1.1.3 การหาขนาดและการกระจายของรูบนแผ่นเมมเบรน	4
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ขอบเขต	5
บทที่2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการผลิตเมมเบรน	6
2.2 นิวตรอน	7
2.3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนฉากเปลี่ยนนิวตรอน เมื่อใช้ นิวตรอนเทอร์มัล	10
2.4 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มพอลิคาร์บอเนต เมื่อใช้ นิวตรอนเร็ว	10
2.5 การเกิดรอยบนแผ่นฟิล์ม	11
2.6 อนุภาคแอลฟา และ โปรตอน	13
2.7 การกัดขยายรอย	17
2.8 การหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูบนแผ่นเมมเบรน ด้วยเทคนิคฟองอากาศ (Bubble point technique)	21

สารบาญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	24
3.1 วัสดุ	24
3.2 อุปกรณ์	25
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.3.1 อาบนิวตรอน	27
3.3.2 การกัดขยายรอย	28
3.3.3 ทดสอบอัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นเมมเบรน	31
3.3.4 หาขนาดใหญ่ที่สุดของรูบนแผ่นเมมเบรน ด้วยเทคนิคฟองอากาศ	32
3.3.5 หาขนาด การกระจาย และความหนาแน่น ของรูบนแผ่นเมมเบรนโดยโปรแกรมคาร์นอย	33
บทที่4 ผลและการอภิปรายผล	34
4.1 ผลการศึกษาเงื่อนไขการกัดขยายรอย	34
4.2 ผลการทำให้เกิดรอยบนแผ่นฟิล์มพอลิคาร์บอเนต	37
4.3 การอาบแผ่นฟิล์มด้วยนิวตรอนเร็ว	39
4.3.1 อาบนิวตรอน 5 นาที	39
4.3.2 อาบนิวตรอน 10 นาที	46
4.3.3 อาบนิวตรอน 20 นาที	53
4.4 การอาบแผ่นฟิล์มด้วยนิวตรอนเทอร์มัล	59
4.5 ผลการหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูบนแผ่นเมมเบรน ด้วยเทคนิคฟองอากาศ	68
4.6 ผลการศึกษาเวลาในการอาบนิวตรอนเร็ว	73
4.7 ผลการศึกษาแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน	74
4.8 ผลการเปรียบเทียบแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นกับแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน	76
4.9 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น	79
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	81
บรรณานุกรม	83

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 87

ภาคผนวก ก ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ภาคผนวก ข กราฟการกระจายของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน

ภาคผนวก ค กราฟอัตราการไหลของน้ำ

ภาคผนวก ง เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

ภาคผนวก จ ความตึงผิวของเมทานอล ที่ อุณหภูมิต่างๆ

ภาคผนวก ฉ นอร์มาลิตี (Normality)

ภาคผนวก ช คู่มือการใช้โปรแกรม คาร์นอย

ประวัติผู้เขียน 165

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ชนิดและระดับพลังงานของนิวตรอน	8
3.1	แสดงเงื่อนไขการกัดรอยของนิวตรอนช้า	29
3.2	แสดงเงื่อนไขการกัดรอยของการอาบนิวตรอนเร็ว 5 นาที	30
3.3	แสดงเงื่อนไขการกัดรอยของการอาบนิวตรอนเร็ว 10 นา	30
3.4	แสดงเงื่อนไขการกัดรอยของการอาบนิวตรอนเร็ว 20 นาที	31
4.1	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 75^{0}C, 80 ^{0}C, 85^{0}C NaOH 2.25 N	39
4.2	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 80 ^{0}C NaOH 2.25 N, 4.25 N, 6.25 N	40
4.3	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 75^{0}C, 80 ^{0}C, 85^{0}C NaOH 1.25 N	46
4.4	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 75 ^{0}C NaOH 1.25 N, 2.25 N, 3.25 N	47
4.5	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 75^{0}C, 80 ^{0}C, 85^{0}C NaOH 0.75 N	53
4.6	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 80 ^{0}C NaOH 0.75 N, 1.00 N, 2.25 N	54
4.7	แสดงผลการหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน โดยใช้เทคนิคฟองอากาศ ของการอาบนิวตรอนเร็ว 5 นาที	68
4.8	แสดงผลการหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน โดยใช้เทคนิคฟองอากาศ ของการอาบนิวตรอนเร็ว 10 นาที	69
4.9	แสดงผลการหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน โดยใช้เทคนิคฟองอากาศ ของการอาบนิวตรอนเร็ว 20 นาที	70
4.10	แสดงผลการเปรียบเทียบการหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น ของการอาบนิสตรอนที่เวลาต่างๆ	71

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการจัดวางอุปกรณ์สำรับอาบนิวตรอนช้า	6
2.2	แสดงการจัดวางอุปกรณ์สำหรับนิวตรอนเร็ว	7
2.3	ต้นกำเนิดนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	9
2.4	ภาพถ่ายของรอยแฝงจาก SEM	11
2.5	การเกิดรอยอนุภาคตามทฤษฎีไอออนเอกซ์โพลชันสไปด์	12
2.6	การเกิดรอยบนแผ่นฟิล์ม	13
2.7	แสดงการเกิดไอออนกับระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ในตัวกลาง	15
2.8	ผิวฟิล์มที่ละลายออกในกระบวนการล้างกัดรอย	17
2.9	ภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์ แสดงรอยอนุภาคที่ผ่านการกัดรอยแล้ว	17
2.10	รูปทรงของรอยอนุภาคที่ความเร็ว V_T และ V_G คงที่	18
2.11	รูปทรงของรอยอนุภาคที่เกิดขึ้นเมื่อค่า V_T คงที่	19
2.12	รูปทรงของรอยอนุภาคที่ถูกกัดรอยในลักษณะต่างๆ	20
2.13	แสดงวิธีการต่างๆ ที่ใช้สำหรับหาขนาดและการกระจายของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน	21
2.14	แสดงความแตกต่าง ของเทคนิคฟองอากาศ กับเทคนิคการแทนที่ด้วยของเหลว	22
2.15	แสดงมุมสัมผัสระหว่าง ของเหลวกับเมมเบรนที่ความดันต่างๆ	23
3.1	แสดงการจัดอุปกรณ์ในการอาบนิวตรอน	37
3.2	แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับกัดรอยด้วยสารละลาย NaOH	28
3.3	แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบอัตราการไหลของน้ำ	31
3.4	แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับการหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน	32
4.1	ภาพถ่าย SEM ของการอาบนิวตรอนเร็ว 3 ชั่วโมง เงื่อนไขการกัดรอย อุณหภูมิ 60 ^{0}C เวลา 20 นาที	35
4.2	แสดงอัตราการไหลของน้ำ ที่เวลาอาบ UV ต่างๆ	36

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	แสดงภาพถ่าย SEM 7000X ของแผ่น PC ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการอาบนิวตรอนและกัดรอย	37
4.4	แสดงภาพถ่าย SEM 7000X ของการอาบนิวตรอนเร็ว 20 นาที เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 0.75 N เวลา 260 นาที	37
4.5	แสดงภาพถ่าย SEM 3000X ของการอาบนิวตรอนช้า 20 นาที ความต่างศักย์ 2000 V เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 2.25 N เวลา 260 นาที	38
4.6	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 2.25 อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 18 นาที	41
4.7	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 2.25 อุณหภูมิ 80 ^{0} C เวลา 34 นาที	41
4.8	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X ของการอาบนิวตรอนเร็ว 20 นาที เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 2.25 N เวลา 28 นาที	42
4.9	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X ของการอาบนิวตรอนเร็ว 20 นาที เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 80 ^{0}C NaOH 2.25 N เวลา 34 นาที	42
4.10	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 28 นาที	42
4.11	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 80 ^{0}C เวลา 34 นาที	43
4.12	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 6.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 7 นาที	43
4.13	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 2.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 28 นาที	44
4.14	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 7 นาที	44

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 2.25 N เวลา 28 นาที	44
4.16	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 7 นาที	45
4.17	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 28 นาที	45
4.18	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 1.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 28 นาที	48
4.19	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 1.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 110 นาที	48
4.20	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 1.25 N อุณหภูมิ 75 ^{0} C เวลา 150 นาที	49
4.21	แสดงภาพถ่าย SEM 5000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 75 ^{0}C NaOH 1.25 N เวลา 160 นาที	49
4.22	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 100 นาที	49
4.23	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 75 ^{0}C เวลา 160 นาที	47
4.24	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 1.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 120 นาที	50
4.25	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 3.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 11 นาที	51
4.26	แสดงภาพถ่าย SEM 5000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 1.25 N เวลา 120 นาที	51
4.27	แสดงภาพถ่าย SEM 5000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 3.25 N เวลา 11 นาที	51

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.28	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 120 นาที	52
4.29	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 11 นาที	52
4.30	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 1.00 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 120 นาที	55
4.31	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 1.00 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 120 นาที	55
4.32	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 1.00 N อุณหภูมิ 75 ^{0}C เวลา 180 นาที	56
4.33	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 0.75 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 260 นาที	56
4.34	แสดงอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขการกัดรอย : ความเข้มข้น 1.00 N อุณหภูมิ 85 ^{0} C เวลา 120 นาที	57
4.35	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 0.75 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 260 นาที	57
4.36	แสดงการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : NaOH 1.00 N อุณหภูมิ 85 ^{0}C เวลา 120 นาที	58
4.37	แสดงภาพถ่าย SEM 3000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 2.25 N เวลา 180 นาที	59
4.38	แสดงภาพถ่าย SEM 3000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 3.25 N เวลา 140 นาที	60
4.39	แสดงภาพถ่าย SEM 3000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 4.25 N เวลา 75 นาที	60
4.40	แสดงภาพถ่าย SEM 3000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 5.25 N เวลา 40 นาที	60

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.41	แสดงภาพถ่าย SEM 3000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 30 นาที	61
4.42	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 0 V	62
4.43	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 500 V	62
4.44	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 1000 V	62
4.45	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 1500 V	63
4.46	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V	63
4.47	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V อาบนิวตรอนช้า 15 นาที	64
4.48	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V อาบนิวตรอนช้า 20 นาที	64
4.49	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V อาบนิวตรอนช้า 25 นาที	65
4.50	แสดงลักษณะการอาบนิวตรอนช้า ของแผ่น film 1, film 2	66
4.51	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที อาบนิวตรอนช้า 10 นาที film 1	66
4.52	แสดงภาพถ่าย SEM 2000X เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 6.25 N เวลา 25 นาที อาบนิวตรอนช้า 10 นาที film 2	66

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.53	แสดงลักษณะรูพรุนใหญ่ที่สุดที่ได้จากโปรแกรมคาร์นอย ปละเทคนิคฟองอากาศ	72
4.54	แสดงภาพถ่าย SEM 5000X ของแผ่นเมมเบรนมาตราฐาน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.4 μm	72
4.55	แสดงภาพถ่าย SEM 5000X ของแผ่นเมมเบรนมาตราฐาน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.2 μm	72
4.56	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนมาตราฐาน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.4 μm โดยใช้โปรแกรมคาร์นอย	75
4.57	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนมาตราฐาน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.2 μm โดยใช้โปรแกรมคาร์นอย	75
4.58	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนมาตราฐาน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.4 μm โดยใช้โปรแกรมคาร์นอย	76
4.59	แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนมาตราฐาน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.2 μm โดยใช้โปรแกรมคาร์นอย	76
4.60	แสดงภาพถ่าย SEM ของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น จากการอาบนิวตรอนเร็ว 5 นาที	76
4.61	แสดงภาพถ่าย SEM ของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น จากการอาบนิวตรอนเร็ว 10 นาที	77
4.62	แสดงภาพถ่าย SEM ของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น จากการอาบนิวตรอนเร็ว 20 นาที	77
4.60	แสดงอัตราการไหลของน้ำ ของแผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอาบนิวตรอนเร็ว 5 นาที เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 2.25 N เวลา 34 นาที	79
4.61	แสดงอัตราการไหลของน้ำ ของแผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอาบนิวตรอนเร็ว 10 นาที เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 85 ^{0}C NaOH 1.25 N เวลา 20 นาที	79