

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(13)
รายการรูป	(16)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(21)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	5
2.2 พอลิซัลโฟน	6
2.2.1 โครงสร้างทางเคมี	6
2.2.2 สมบัติของพอลิซัลโฟน	6
2.2.2.1 สมบัติทางกายภาพ	6
2.2.2.2 สมบัติความต้านทานสารเคมี	7
2.2.2.3 สมบัติด้านการละลาย	8
2.2.2.4 สมบัติเชิงกล	9
2.2.2.5 สมบัติทางความร้อน	9
2.3 ดินเหนียวมอนท์โมริลโลไนท์	11
2.3.1 องค์ประกอบทางเคมี	11
2.3.2 หน่วยโครงสร้างพื้นฐาน	11
2.3.3 ชนิดและรูปแบบการจัดเรียงโครงสร้าง	14
2.3.4 ค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออน	15
2.3.5 สมบัติทางกายภาพ	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ดินเหนียวปรับสภาพ	18
2.4.1 การขยายระยะห่างระหว่างชั้น	19
2.4.2 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	20
2.5 กระบวนการเตรียมและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	21
2.5.1 การเตรียมพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ด้วยเทคนิคสารละลาย	21
2.5.2 การเตรียมพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ด้วยเทคนิคพอลิเมอร์ไรซ์มอนอเมอร์	22
2.5.3 การเตรียมพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ด้วยเทคนิคหลอมโดยใช้ความร้อน	23
2.6 ชนิดของโครงสร้างพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	24
2.7 การตรวจสอบสมบัติของดินเหนียวและดินเหนียวปรับสภาพ	25
2.7.1 การตรวจสอบค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออน	25
2.7.2 การตรวจสอบการบวมตัวของดินเหนียว	26
2.7.3 การตรวจสอบค่าระยะห่างระหว่างชั้น	26
2.7.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน	28
2.8 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	29
2.8.1 การตรวจสอบโครงสร้างของพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ด้วยเครื่องตรวจสอบการกระเจิงด้วยรังสีเอกซ์	29
2.8.2 การศึกษาโครงสร้างของชั้นดินเหนียวด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบส่องผ่าน	31
2.8.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์	31
2.8.3.1 การทดสอบแรงดึง	31
2.8.3.2 การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.4 การวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลวัต	33
2.8.5 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่าง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น	33
2.8.6 การหาหุ้มฟังก์ชันของสารด้วยรังสีอินฟราเรด	34
2.8.7 การตรวจสอบความหนืด	34
2.8.8 การทดสอบการดูดซับน้ำ	35
2.8.9 การทดสอบความต้านทานสารเคมี	35
2.8.10 การตรวจสอบลักษณะความโปร่งใส	36
2.9 การตรวจสอบเอกสาร	36
2.9.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพ	36
2.9.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมพอลิเมอร์ - ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคสารละลาย	40
2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมพอลิเมอร์ - ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคหลอมโดยใช้ความร้อน	46
3. วิธีการวิจัย	53
3.1 สารเคมี	53
3.2 อุปกรณ์การวิจัย	55
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	56
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง	56
3.4.1 การหาค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเหนียว	56
3.4.2 การทดสอบดัชนีการบวมตัวของดินเหนียว	58
3.4.3 การสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพ	58
3.4.4 การทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวปรับสภาพใน ตัวทำละลาย	61
3.4.5 การวัดความหนืดของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพ	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.6 การเตรียมพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคสารละลาย	62
3.4.7 การเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิต	62
3.4.8 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิต	63
3.4.8.1 การตรวจสอบโครงสร้างของดินเหนียวปรับสภาพในพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิตด้วยเครื่อง XRD	63
3.4.8.2 การตรวจสอบโครงสร้างของดินเหนียวปรับสภาพในพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิตด้วยเครื่อง TEM	63
3.4.9 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิต	64
3.4.9.1 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง	64
3.4.9.2 การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งยึด	64
3.4.10 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก	65
3.4.11 การวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลวัต	65
3.4.12 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยรังสีอินฟราเรด	66
3.4.13 การทดสอบความต้านทานสารเคมี	66
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	67
4.1 การวิเคราะห์ดินเหนียว	67
4.1.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินเหนียว B_0	67
4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของดินเหนียว B_0	68
4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติการละลายของดินเหนียว B_0	70
4.2 การวิเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพ	70
4.2.1 ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของดินเหนียวปรับสภาพ	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าระยะห่างระหว่างชั้นจากการสังเคราะห์และทางทฤษฎี	73
4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของดินเหนียวปรับสภาพ	75
4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติการละลายของดินเหนียวปรับสภาพ	77
4.2.5 อิทธิพลของตัวทำละลายต่อโครงสร้างทางเคมีของดินเหนียว	83
4.3 การตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B	85
4.3.1 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างของดินเหนียวปรับสภาพ B_0 ในพอลิซัลโฟน	85
4.3.2 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $B_{0.5}$	87
4.3.3 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B_1	92
4.3.4 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $B_{1.5}$	97
4.4 การตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA	102
4.4.1 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $BA_{0.5}$	102
4.4.2 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA_1	106
4.4.3 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $BA_{1.5}$	110
4.5 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	113
4.5.1 ผลการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมสารลดแรงดึงผิวกลุ่ม B	113

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.2 ผลการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมสารลดแรงดึงผิวกลุ่ม BA	119
4.5.3 เปรียบเทียบสมบัติความทนต่อแรงดึงระหว่างพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และกลุ่ม BA	117
4.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง	119
4.7 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก	120
4.8 ผลการทดสอบความต้านทานต่อสารเคมี	123
4.9 ลักษณะความโปร่งใส	124
5. สรุปผลการทดลอง	126
5.1 สรุป	126
5.1.1 การวิเคราะห์ดินเหนียว	126
5.1.2 การสังเคราะห์และวิเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพ	126
5.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน นาโนคอมโพสิต	127
5.1.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก	128
5.1.5 การทดสอบความต้านทานสารเคมีและลักษณะความโปร่งใส	128
บรรณานุกรม	129
ภาคผนวก	140
ก การจำแนกชนิดดินเหนียว	141
ข เปรียบเทียบดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพ	143
ค การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน	146
ง งานที่ได้รับการตีพิมพ์	148
ประวัติผู้เขียน	175

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพของพอลิซัลโฟนชนิด Udel [®] P-1700	7
2.2 ความต้านทานสารเคมีของพอลิซัลโฟน	8
2.3 ความสามารถในการละลายของพอลิซัลโฟนและตัวทำละลาย	8
2.4 สมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน Udel [®] P-1700	10
2.5 สมบัติทางความร้อนของพอลิซัลโฟน	10
2.6 พื้นที่ผิวและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของดินเหนียวชนิดต่างๆ	16
2.7 ขนาดอนุภาคของชั้นดินเหนียว โซเดียมไอออน และสารลดแรงตึงผิว	28
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวเบนโทไนท์	54
3.2 สัญลักษณ์คำย่อของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA	60
4.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินเหนียวเบนโทไนท์ (B ₀)	68
4.2 ความเสถียรทางความร้อนของดินเหนียว B ₀	69
4.3 การกระจายตัวและความหนืดสัมพัทธ์ของดินเหนียว B ₀ ในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด	70
4.4 ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และกลุ่ม BA	72
4.5 เปรียบเทียบค่า d - spacing จากการคำนวณทางทฤษฎีและการสังเคราะห์	74
4.6 อุณหภูมิเมื่อน้ำหนักหายไป 5%, 10% และ 50% และปริมาณเต้า (%) ที่เหลือ	76
4.7 การกระจายตัว ความหนืดสัมพัทธ์และความหนืดจำเพาะของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในตัวทำละลาย DMF, DMAc และ NMP	78
4.8 การกระจายตัว ความหนืดสัมพัทธ์และความหนืดจำเพาะของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ในตัวทำละลาย DMF, DMAc และ NMP	79
4.9 ความหนืดสัมพัทธ์และความหนืดจำเพาะของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพในตัวทำละลาย DMF, DMAc และ NMP	81
4.10 ค่าดัชนีการรวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ	82
4.11 ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ หลังจากผ่านการกระจายตัวในตัวทำละลาย	84
4.12 ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ B _{0.5} และพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B _{0.5} ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	89

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.13	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $B_{0.5}$	91
4.14	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $B_{0.5}$	92
4.15	ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ B_1 และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B_1 ในปริมาณ 1%, 3% 5% และ 10%	94
4.16	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B_1	97
4.17	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B_1	97
4.18	ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ $B_{1.5}$ และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ $B_{1.5}$ ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	99
4.19	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $B_{1.5}$	101
4.20	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $B_{1.5}$	101
4.21	ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ $BA_{0.5}$ และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ $BA_{0.5}$ ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	103
4.22	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $BA_{0.5}$	106
4.23	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $BA_{0.5}$	106
4.24	ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ BA_1 และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA_1 ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	107
4.25	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA_1	109

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.26	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA ₁	109
4.27	ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ BA _{1,5} และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA _{1,5} ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	110
4.28	ค่าความทนต่อแรงดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต ที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA _{1,5}	112
4.29	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA _{1,5}	112
4.30	ผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ ในปริมาณ 0%, 1%, 3% และ 5%	121
4.31	ผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ และ BA ₁ ในปริมาณ 3%	121
4.32	ความต้านทานสารเคมีของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	123
ตารางภาคผนวก		
1 ก	การจำแนกชนิดดินเหนียว	141

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	มาตราส่วนหน่วยวัดขนาด	2
2.1	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์และโครงสร้างทางเคมีของพอลิซัลโฟน	6
2.2	(a) โครงสร้างของซิลิกาเตตระฮีดรอลหนึ่งหน่วย (b) การเกิดพันธะระหว่างโครงสร้างของแผ่นเตตระฮีดรอล	12
2.3	โครงสร้างแผ่นเฮกซะโกนอลและช่องว่างที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของพันธะ	12
2.4	ลักษณะโครงสร้างของชั้นดินเหนียว	13
2.5	(a) หน่วยของอะลูมิเนียมออกเตตระฮีดรอลหนึ่งหน่วย (b) การเกิดพันธะระหว่างแผ่นออกเตตระฮีดรอล	13
2.6	การจัดเรียงโครงสร้างแบบ 2 : 1 ของมอนท์โมริลโลไนท์	14
2.7	พื้นผิวและประจุลบบริเวณผิวหน้าของชั้นดินเหนียว	16
2.8	ลักษณะโครงสร้างการจัดเรียงตัวแบบ 2 : 1 ของมอนท์โมริลโลไนท์	17
2.9	การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง Na^+ และแคทไอออนของสารลดแรงตึงผิว	18
2.10	ลักษณะการจัดเรียงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (a) การแทนที่แบบเบาบาง (lower coverage) (b) การแทนที่แบบปานกลาง (medium coverage) (c) การแทนที่แบบหนาแน่น (high coverage)	20
2.11	ลักษณะและส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิว	21
2.12	ลักษณะและชนิดของสารลดแรงตึงผิว	21
2.13	การเตรียมพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคสารละลาย	22
2.14	การเตรียมพอลิเมอร์- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคพอลิเมอร์ไรซม่อนอเมอร์	23
2.15	การเตรียมพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคหลอมโดยใช้ความร้อน	24
2.16	ชนิดของโครงสร้างพอลิเมอร์ – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	25
2.17	สูตรโครงสร้างทางเคมีของเมทิลลีนบลู	26
2.18	ลักษณะโครงสร้างของชั้นดินเหนียว สารลดแรงตึงผิวและขนาดของอนุภาค	28
2.19	ลำรังสีเอกซ์ตกกระทบและการเกิดสะท้อนกับผิวหน้าของวัตถุ	29
2.20	(a) ระนาบของชั้นดินเหนียวตามแนวแกน X แกน Y และแกน Z (b) ลักษณะของชั้นดินเหนียวและระนาบของชั้นดินเหนียว	30

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนทดสอบรูปคัมเบลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D412 แบบ die C สำหรับการทดสอบความทนต่อแรงดึง	64
3.2	ขั้นตอนทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งยึดตามมาตรฐาน ASTM D1822 Type L	65
4.1	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวที่ไม่มีการปรับสภาพ B ₀	68
4.2	เทอร์โมแกรมความเสถียรทางความร้อนของดินเหนียว B ₀	69
4.3	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียว B ₀ และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B	72
4.4	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียว B ₀ และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA	73
4.5	ค่าระยะห่างระหว่างชั้นของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B จากการสังเคราะห์และการคำนวณทางทฤษฎี	74
4.6	ค่าระยะห่างระหว่างชั้นของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA จากการสังเคราะห์และการคำนวณทางทฤษฎี	75
4.7	เทอร์โมแกรมระหว่างดินเหนียว B ₀ และดินเหนียวปรับสภาพ B ₁	76
4.8	เทอร์โมแกรมระหว่างดินเหนียว B ₀ และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B (B _{0.5} , B ₁ , B _{1.5})	77
4.9	ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ	82
4.10	ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ	83
4.11	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ หลังผ่านการกระจายตัวในตัวทำละลาย DMF, DMAc และ NMP	85
4.12	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% B ₀ แสดงชั้นของดินเหนียว B ₀ (a) กำลังขยาย 62,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า	86
4.13	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B ₀ แสดงชั้นของดินเหนียว B ₀ (a) กำลังขยาย 7,000 เท่า (b) กำลังขยาย 150,000 เท่า	87
4.14	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B _{0.5} และพอลิซิลิโคน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B _{0.5} ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	89

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% B _{0.5} แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B _{0.5} (a) กำลังขยาย 100,000 เท่า (b) – (c) กำลังขยาย 100,000 เท่า (d) กำลังขยาย 150,000 เท่า	90
4.16	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B _{0.5} แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B _{0.5} (a) กำลังขยาย 19,000 เท่า (b) กำลังขยาย 62,000 เท่า	91
4.17	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ และพอลิซิลิโคน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ ในปริมาณ 1%, 3%, 5% และ 10%	94
4.18	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% B ₁ แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ (a - d) กำลังขยาย 100,000 เท่า	95
4.19	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B ₁ แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ (a) กำลังขยาย 19,000 เท่า (b) กำลังขยาย 63,000 เท่า	96
4.20	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B _{1.5} และพอลิซิลิโคน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B _{1.5} ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	99
4.21	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B _{1.5} แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B _{1.5} (a) กำลังขยาย 5,000 เท่า (b) กำลังขยาย 19,000 เท่า (c - d) กำลังขยาย 100,000 เท่า	100
4.22	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA _{0.5} และพอลิซิลิโคน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA _{0.5} ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	103
4.23	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% BA _{0.5} แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA _{0.5} (a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า	104
4.24	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% BA _{0.5} แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA _{0.5} (a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า	104
4.25	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+5% BA _{0.5} แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA _{0.5} (a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า	105
4.26	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA ₁ และพอลิซิลิโคน – ดินเหนียว นาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA ₁ ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	108
4.27	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% BA ₁ แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA ₁ (a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า	108

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.28	สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA _{1.5} และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA _{1.5} ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%	111
4.29	ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% BA _{1.5} แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA _{1.5} (a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า	111
4.30	ค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ กลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิด	113
4.31	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิด	114
4.32	ค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิด	114
4.33	ค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด	115
4.34	ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด	116
4.35	ค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด	116
4.36	เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA	117
4.37	เปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA	118
4.38	เปรียบเทียบค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA	118
4.39	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B	119
4.40	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA	120

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.41	เทอร์โมแกรมความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟนที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ ในปริมาณ 0%, 1%, 3% และ 5%	122
4.42	เทอร์โมแกรมความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟนที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B ₁ และ BA ₁ ในปริมาณ 3%	122
4.43	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนและแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B ₁ (a) PSF, (b) PSF+1%B ₁ , (c) PSF+3%B ₁ และ (d) PSF+5%B ₁	124
4.44	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนและแผ่นฟิล์มโพลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ (a) PSF, (b) PSF+3%B _{0.5} , (c) PSF+3%B ₁ และ (d) PSF+3%B _{1.5}	125
รูปภาคผนวก		
1ข	(a) – (e) ภาพถ่ายลักษณะการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ในตัวทำละลาย DMF DMAc และ NMP	145
1ค	หมุ่ฟังก์ชันของดินเหนียวและพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต	147

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
a	area	พื้นที่
Al	aluminium	อะลูมิเนียม
ASTM	American Society for Testing and Materials	มาตรฐานการทดสอบ
c	centi	หน่วยวัดมีค่าเท่ากับ 10^{-2} m
CEC	cation exchange capacity	ค่าการแลกเปลี่ยนประจุ
cm	centimeter	เซนติเมตร
d	d - spacing	ระยะห่างระหว่างชั้น
d _{avg}	d - spacing average	ระยะห่างระหว่างชั้นเฉลี่ย
DMAc	dimethylacetamide	ไดเมทิลอะซิตาไมด์
DMF	dimethylformamide	ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์
DMTA	dynamic mechanical thermal analysis	เครื่องทดสอบทางกลศาสตร์ ความร้อนเชิงพลวัต
E'	storage modulus	พลังงานที่สะสมภายในชิ้นงาน
E''	loss modulus	พลังงานที่ชิ้นงานสูญเสีย
FTIR	fourier transformed infrared spectroscopy	เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
g	gram	กรัม
kg	kilogram	กิโลกรัม
kV	kilovolt	กิโลโวลต์
L	observed distance between bench marks on the entended specimen	ระยะที่ขึ้นทดสอบสามารถยึดตัวได้จนขาด
L ₀	original distance between bench marks length of origins	ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ
meq	miliequivalent	มิลลิอิควิวาเลนต์

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
m	meter	เมตร
	milli	มิลลิ (10^{-3} m)
mA	milliampair	มิลลิแอมแปร์
MBI	methylene blue index	ดัชนีเมทิลีนบลู
ml	milliliter	มิลลิลิตร
ml/2 g	milliliter per two gram	มิลลิลิตรต่อ 2 กรัม
mm	millimeter	มิลลิเมตร
mm/min	millimeter per second	มิลลิเมตรต่อนาที
min	minute	นาที
m ² /g	square meter per gram	ตารางเมตรต่อกรัม
MMT	montmorillonite	มอนท์โมริลโลไนท์
mol	mole	โมล
MPa	mega pascal	เมกะพาสกาล
mV	millivolt	มิลลิโวลต์
M _w	molecular weight	น้ำหนักโมเลกุล
N	normal	นอร์มอล
	newton	นิวตัน
Na	sodium	โซเดียมอะตอม
NH ₃	ammonium	แอมโมเนียม
N/mm ²	newton per millimeter	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
nm	nanometer	นาโนเมตร (10^{-9} m)
NMP	n-methyl pyrrolidone	เมทิลไพร์โรลิโดน
rpm	rpm	รอบต่อนาที
TEM	transmission electron microscope	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องผ่าน
TGA	thermogravimetric analysis	เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก
Tg	glass transition temperature	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
t	flow time of solution	เวลาการไหลของสารละลาย
t ₀	flow time of solvent	เวลาการไหลของตัวทำละลาย
PES	polyethersulfone	พอลิอีเทอร์ซัลโฟน
PSF	polysulfone	พอลิซัลโฟน
psi	pound per square inch	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
V	volume	ปริมาตร
XRD	X - Ray Diffraction	การกระเจิงของรังสีเอกซ์
η	viscosity	ความหนืด
η _r	relative viscosity	ความหนืดสัมพัทธ์
η _{sp}	specific viscosity	ความหนืดจำเพาะ
λ	wavelength	ความยาวคลื่น
σ	stress	ความเค้น
ε	strain	ความเครียด
μm	micrometer	ไมโครเมตร (10 ⁻⁶ m)
Å	angstrom	อังสตรอม (10 ⁻¹⁰ m)
°C	degree of Celsius	เซลเซียส
h	hour	ชั่วโมง