

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์ดินเหนียว

##### 4.1.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินเหนียว B<sub>0</sub>

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินเหนียว B<sub>0</sub> แสดงในตารางที่ 4.1 ทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพ ค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) สามารถศึกษาได้จากค่าดัชนีเมทิลีนบลู (methylene blue index, MBI) ปฏิกริยาเกิดขึ้นโดยแอนไอออนของชั้นดินเหนียวดูดซับแคตไอออนของสารละลายเมทิลีนบลูเอาไว้ ปฏิกริยาดังสมการที่ 2.2 เมื่อปฏิกริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์การดูดซับไอออนทำให้หยดสารละลายดินเหนียวเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน (ASTM C837-81, 1998; Ozacar *et al.*, 2005) จากการทดสอบพบว่าใช้สารละลายเมทิลีนบลูในการไตเตรตปริมาตรเท่ากับ 146 ml ปฏิกริยาจึงเกิดสมบูรณ์ นำปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลูที่ได้จากการไตเตรตมาคำนวณค่าดัชนีเมทิลีนบลูตามสมการที่ 3.1 ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 73 meq เมื่อเทียบกับดินเหนียว 100 g และค่าดัชนีเมทิลีนบลูสามารถเทียบเคียงได้กับค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพราะเป็นการดูดซับแคตไอออนเหมือนกัน ทำให้สามารถทราบค่าการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้ จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องค่า CEC ของดินเหนียวมอนท์โมริลโลในที่มีค่าระหว่าง 70 – 120 meq ต่อดินเหนียว 100 g (ตามตารางที่ 2.6) (Sivakugan, N, 2001; ไพบูลย์, 2549) ดังนั้นค่า CEC ของดินเหนียว B<sub>0</sub> ที่ได้จากการทดลองมีค่า CEC ในช่วงเดียวกันกับค่า CEC ของมอนท์โมริลโลในท์

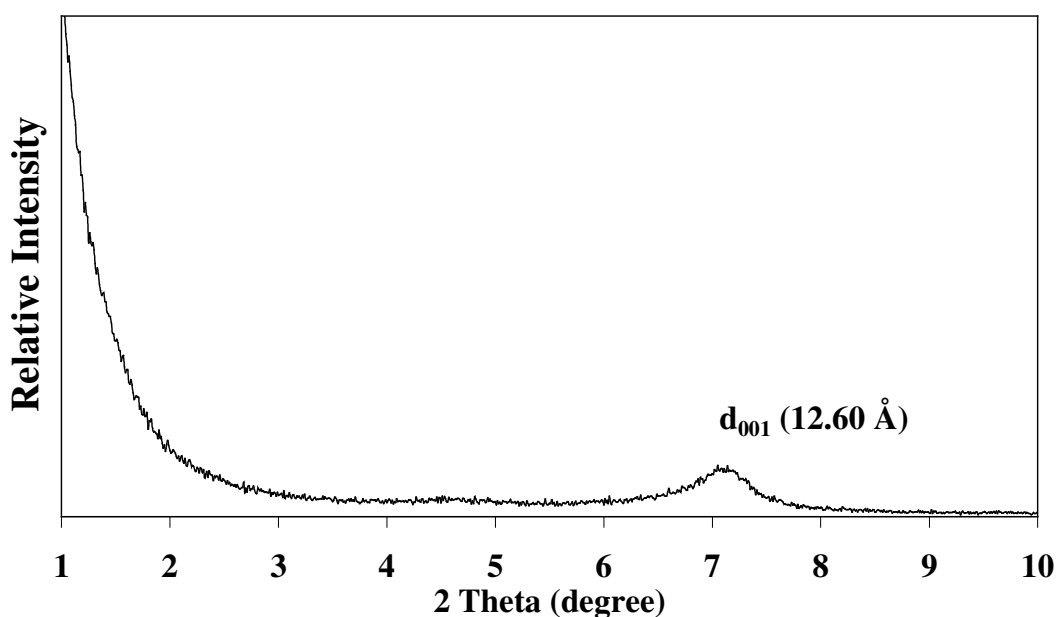
เมื่อศึกษาค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียว B<sub>0</sub> พบว่าหลังจากทดสอบการบวมตัวของดินเหนียว B<sub>0</sub> ในน้ำและตั้งสารละลายดินเหนียวทิ้งไว้เวลานาน 16 h ระดับความสูงของปริมาตรดินเหนียวที่เกิดการบวมตัวในกระบอกตวงเพิ่มขึ้นเท่ากับ 25 ml สามารถรายงานค่าดัชนีการบวมตัวจากปริมาตรที่เกิดการบวมตัวภายในกระบอกตวง ดังนั้นค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียว B<sub>0</sub> ในน้ำมีค่าเท่ากับ 25 ml ต่อดินเหนียวน้ำหนัก 2 g ลักษณะการบวมตัวและการกระจายตัวของดินเหนียวในน้ำแสดงในภาคผนวก ข

สมบัติของดินเหนียวมอนท์โมริลโลในท์อีกอย่างคือ ค่าระยะห่างระหว่างชั้น (d – spacing) สามารถศึกษาได้จากเครื่อง XRD สเปกตรัมแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า การกระเจิงของรังสี

เอกซ์เมื่อดกกระทบกับความเป็นผลึกของดินเหนียวแสดงที่มุม  $7.12^\circ$  นำมุมมองมาในการกระเจิงแสงคำนวณค่า d – spacing ตามสมการที่ 2.6 ( $n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$ ) พบว่า d – spacing ของดินเหนียว  $B_0$  มีค่าเท่ากับ 12.60 Å ค่าที่ตรวจสอบได้สอดคล้องกับค่า d – spacing ของมอนท์โมริลโลไนท์ที่ไม่มีการปรับสภาพจากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องมีค่าในช่วง 12 – 15 Å เช่นกัน (Sivakugan, 2001; Paul *et al.*, 2005)

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินเหนียวเบนโทไนท์ ( $B_0$ )

CEC (meq/100 g of MMT)	Swelling index (ml/2 g of MMT)	2 Theta (degree)	d – spacing (Å)	ลักษณะทางกายภาพ
73	25	7.12	12.60	ของแข็ง/ผง/สีขาว



รูปที่ 4.1 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวที่ไม่มีการปรับสภาพ  $B_0$

#### 4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของดินเหนียว $B_0$

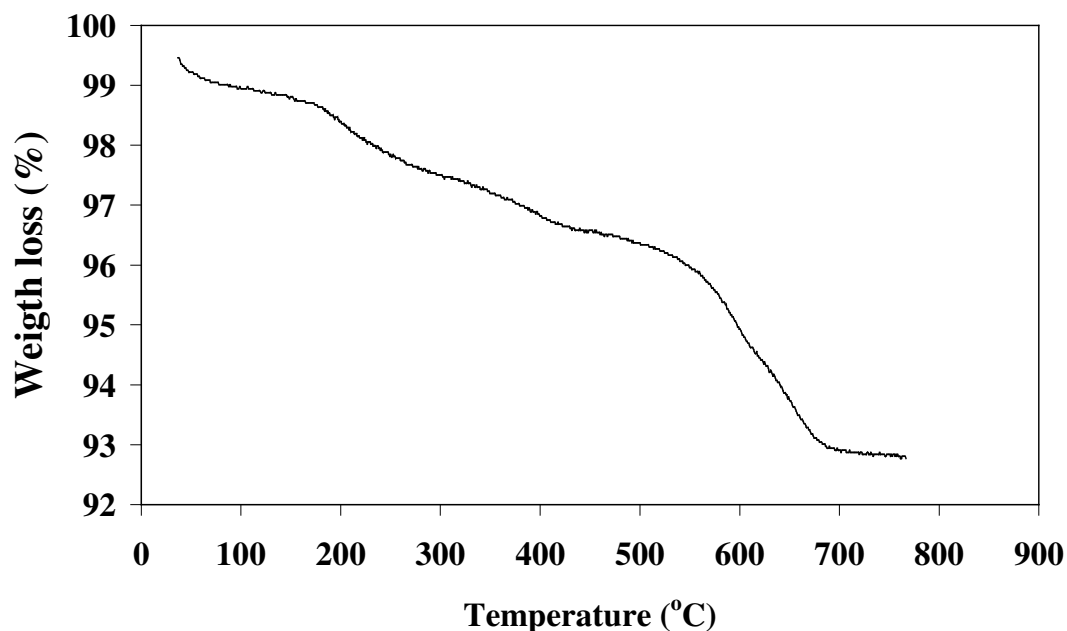
ความเสถียรทางความร้อนและอุณหภูมิการเสื่อมสลาย (thermal degradation temperature,  $T_d$ ) สามารถทดสอบด้วยเครื่อง TGA ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่า ช่วงน้ำหนักที่สลายไปในช่วงแรก คือ ช่วงอุณหภูมิ 25 – 100°C เป็นช่วงการระเหยของน้ำที่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ภายในระหว่างชั้นของดินเหนียว (Lee *et al.*, 2004) ส่วนช่วง

น้ำหนักที่หายไปในช่วงที่สองคือ ช่วงอุณหภูมิ 100 – 720°C เป็นช่วงน้ำหนักที่หายไปของโครงสร้างดินเหนียว  $B_0$  และธาตุที่เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้าง (Zhang *et al.*, 2005; Burgentzle *et al.*, 2004) สาเหตุที่ดินเหนียว  $B_0$  มีอุณหภูมิการเสื่อมสลายเมื่อน้ำหนักหายไป 5% และ 10% ( $T_5$  และ  $T_{10}$ ) สูง เท่ากับ 545°C และ 780°C ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของดินเหนียวชนิดนี้มีระยะห่างระหว่างชั้นแคบ และชั้นดินเหนียวอยู่ชิดติดกันทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสความร้อนต่ำ เมื่อได้รับความร้อนการนำพาความร้อนและการกระจายความร้อนเกิดขึ้นได้ช้า ชั้นดินเหนียวที่จัดเรียงโครงสร้างซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ จะขัดขวางการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนทำให้การเผาไหม้เกิดได้ยากขึ้น ดินเหนียวชนิดนี้จึงมีความเสถียรทางความร้อนสูง (Qin *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2003; Lee and Char, 2002) ส่วนค่าอุณหภูมิเมื่อน้ำหนักหายไป 50% ( $T_{50}$ ) ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากน้ำหนักของดินเหนียวไม่ได้หายไปถึง 50% เมื่อให้ความร้อนถึง 800°C

ตารางที่ 4.2 ความเสถียรทางความร้อนของดินเหนียว  $B_0$

ดินเหนียว	$T_5$ (°C) <sup>a</sup>	$T_{10}$ (°C) <sup>b</sup>	$T_{50}$ (°C) <sup>c</sup>	ปริมาณถ่าน 800°C (%)
$B_0$	545	780	-	88

<sup>a</sup>อุณหภูมิเมื่อน้ำหนักหายไป 5%, <sup>b</sup>อุณหภูมิเมื่อน้ำหนักหายไป 10%, <sup>c</sup>อุณหภูมิเมื่อน้ำหนักหายไป 50%



รูปที่ 4.2 เทอร์โมแกรมความเสถียรทางความร้อนของดินเหนียวที่ไม่มีการปรับสภาพ  $B_0$

### 4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติการละลายของดินเหนียว B<sub>0</sub>

การเตรียมพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคสารละลาย จำเป็นต้องเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมกับพอลิซัลโฟนาโนและดินเหนียวชนิดนั้นๆ จึงต้องศึกษาการกระจายตัวของดินเหนียว B<sub>0</sub> ในตัวทำละลายที่เหมาะสมกับพอลิซัลโฟนาโน คือ DMF DMAc และ NMP ศึกษาความหนืดสัมพัทธ์และลักษณะทางกายภาพของสารละลายดินเหนียว เพื่อหาตัวทำละลายที่มีความเหมาะสม ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า ดินเหนียว B<sub>0</sub> กระจายตัวได้ดีในตัวทำละลายทั้งสามชนิด ไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างตัวทำละลายและดินเหนียว เนื่องจากดินเหนียว B<sub>0</sub> โดยโครงสร้างจัดเป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงเหมาะสมกับตัวทำละลายทั้งสามชนิดซึ่งมีขั้วเช่นกัน (Zhang *et al.*, 2004) เมื่อตรวจสอบความหนืดสัมพัทธ์ของสารละลาย B<sub>0</sub> ในตัวทำละลายทั้งสามชนิด ค้นพบตามสมการที่ 2.11 พบว่า สารละลายดินเหนียว B<sub>0</sub> ใน DMF มีค่าความหนืดสัมพัทธ์สูงสุด รองลงมาคือสารละลายดินเหนียวในตัวทำละลาย NMP และในตัวทำละลาย DMAc ตามลำดับ แสดงว่าดินเหนียว B<sub>0</sub> กระจายตัวใน DMF ได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.3 การกระจายตัวและความหนืดสัมพัทธ์ของสารละลายดินเหนียว B<sub>0</sub> ในตัวทำละลาย

สมบัติ	ดินเหนียว	ตัวทำละลาย		
		DMF	NMP	DMAc
การกระจายตัว	B <sub>0</sub>	✓	✓	✓
ความหนืดสัมพัทธ์	B <sub>0</sub>	1.52	1.21	1.28

หมายเหตุ : ✓ = เฟสเดียวกัน (homogeneous)

X = แยกเฟส (phase separation)

## 4.2 การวิเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพ

### 4.2.1 ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของดินเหนียวปรับสภาพ

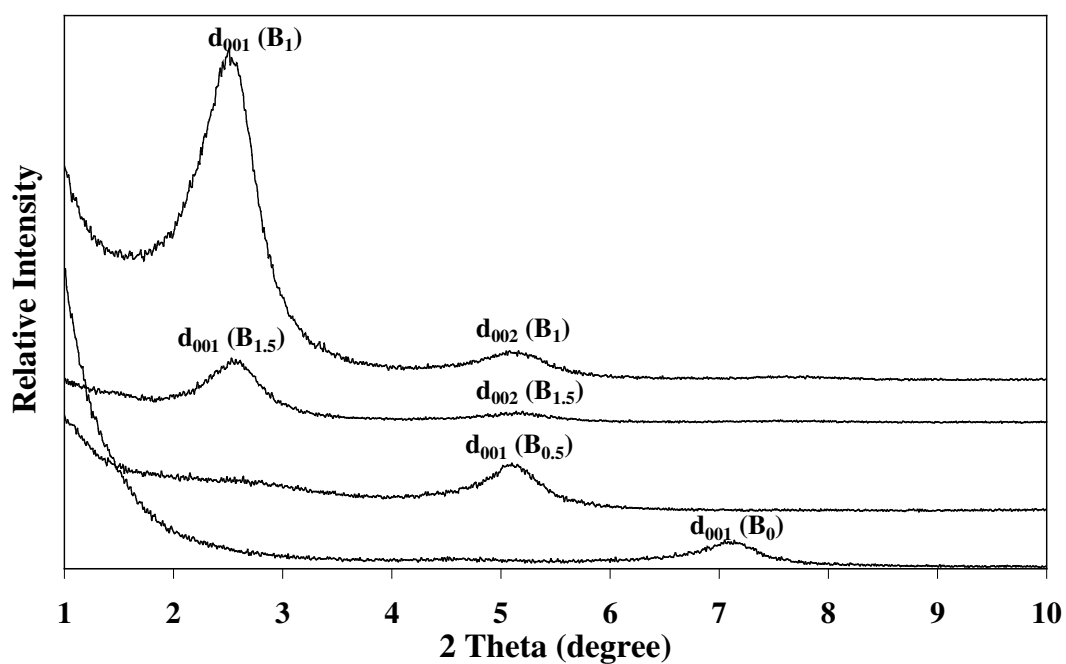
การสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพในงานวิจัยนี้ คือ การนำดินเหนียวที่ไม่มีการปรับสภาพมาปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีความแตกต่างกันทางโครงสร้าง 2 ชนิด ชนิดแรกคือ สารลดแรงตึงผิวเมทิลฟอสโฟออกซีเอทิลีน (15) ออกตะเดคคะนะแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ 3 หาง และชนิดที่สองคือสารลดแรงตึงผิวไดออกตะเดคซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ 2 หาง และแปรปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในปริมาณต่างกัน คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่าของค่า CEC จากการตรวจสอบเอกสาร

ที่เกี่ยวข้องพบว่าสารลดแรงตึงผิวจะจัดเรียงโครงสร้างบริเวณผิวหน้าของชั้นดินเหนียวทำให้ค่า  $d$  - spacing เพิ่มขึ้น สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่า  $d$  - spacing ได้จากเครื่อง XRD ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 - 4.4 พบว่า เมื่อปรับสภาพดินเหนียวด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวนิคเมทิลพอลิออกซีเอทิลีน (15) ออกตะเดคคะนะแอมโมเนียมคลอไรด์ในปริมาณ 0.5, 1 และ 1.5 เท่าของค่า CEC ค่า  $d$  - spacing มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 17.34 Å, 34.15 Å และ 35.53 Å ตามลำดับ และเมื่อปรับสภาพดินเหนียวด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวนิคไดออกตะเดคซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในปริมาณ 0.5, 1 และ 1.5 เท่าของค่า CEC มีค่า  $d$  - spacing เท่ากับ 25.83 Å, 30.26 Å และ 35.38 Å ตามลำดับ ค่า  $d$  - spacing เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น แสดงว่าสารลดแรงตึงผิวมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $d$  - spacing ของดินเหนียว และการเพิ่มขึ้นของค่า  $d$  - spacing เป็นไปตามทฤษฎีตามเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Ray *et al.*, 2003)

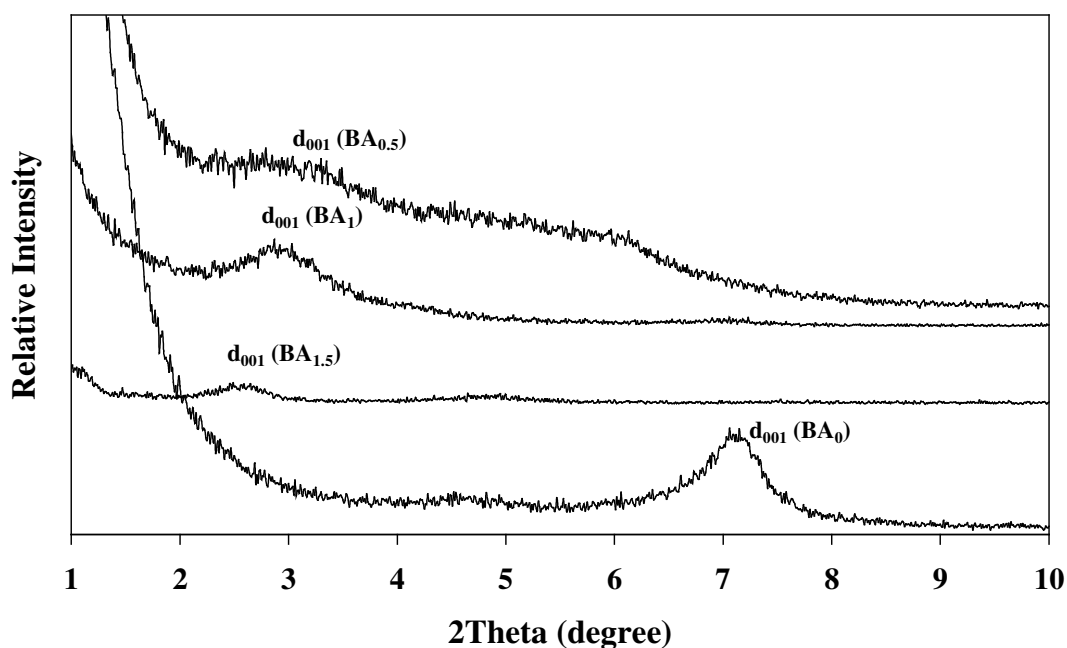
การเปลี่ยนแปลงค่า  $d$  - spacing ระหว่างชั้นดินเหนียวเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวบริเวณผิวหน้าของชั้นดินเหนียวในปริมาณสูง โมเลกุลสารลดแรงตึงผิวจัดเรียงโมเลกุลในแนวตั้งมากขึ้นเพื่อลดความเครียดภายในโมเลกุลลง แรงวันเดอร์วาล์วระหว่างชั้นอ่อนลงส่งผลให้ค่า  $d$  - spacing เพิ่มขึ้น ตรงตามรายงานการวิจัยของนักวิจัยอื่นๆ ที่ทำการสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวพบว่า ค่า  $d$  - spacing เพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับสภาพดินเหนียวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีโมเลกุลยาว (Gong *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2004; Burmistr *et al.*, 2005) เมื่อเปรียบเทียบค่า  $d$  - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA พบว่า ดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B มีค่า  $d$  - spacing สูงกว่าดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA เพราะโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B มีจำนวนสายโมเลกุลที่เชื่อมต่อพันธะกับไนโตรเจนแคทไอออนจำนวน 3 โมเลกุล และโมเลกุลมีความยาวมากกว่าสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทำให้ดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ขยาย  $d$  - spacing ได้มากกว่าดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA

ตารางที่ 4.4 ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และกลุ่ม BA

ตัวอย่าง	d - spacing (Å)		
	$d_{001}$	$d_{002}$	$d_{Avg}$
$B_0$	12.60	-	12.60
$B_{0.5}$	17.34	-	17.34
$B_1$	34.07	17.07	34.15
$B_{1.5}$	36.03	17.52	35.53
$BA_{0.5}$	26.40	12.63	25.83
$BA_1$	29.79	15.36	30.26
$BA_{1.5}$	34.64	18.06	35.38



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียว  $B_0$  และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B



รูปที่ 4.4 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียว  $BA_0$  และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA

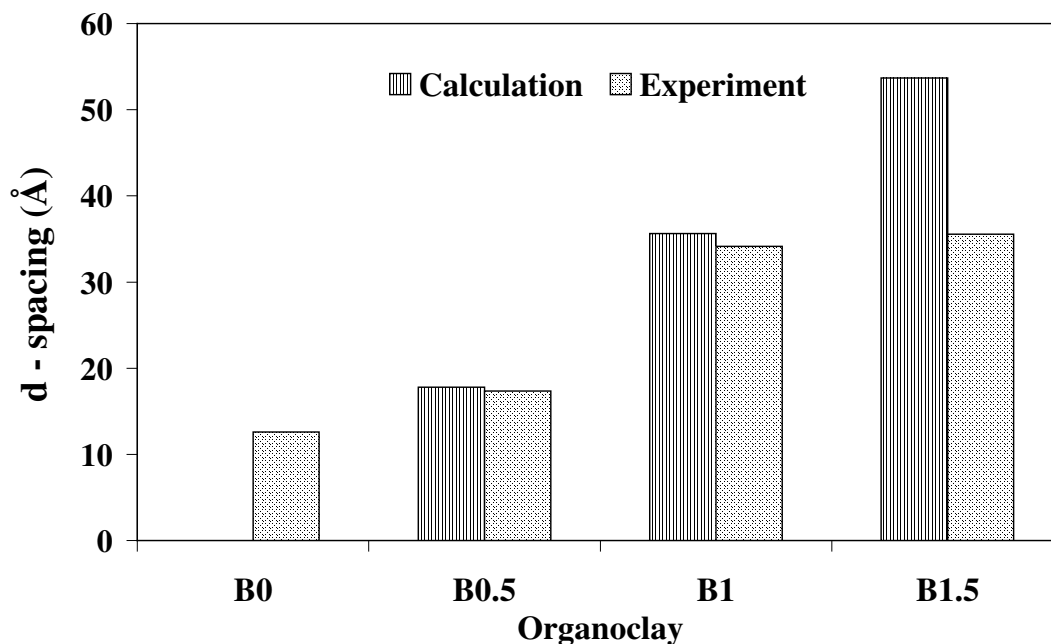
#### 4.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าระยะห่างระหว่างชั้นจากการสังเคราะห์และทฤษฎี

เมื่อนำผลการทดสอบค่าระยะห่างระหว่างชั้นที่ตรวจสอบจากเครื่อง XRD เปรียบเทียบกับค่าระยะห่างระหว่างชั้นที่คำนวณทางทฤษฎีตามสมการที่ 2.3 และ 2.4 ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 – 4.6 พบว่า ดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ค่า d - spacing ที่ตรวจสอบได้จากเครื่อง XRD มีค่าใกล้เคียงกับค่า d - spacing ที่คำนวณได้จากทฤษฎี ยกเว้น กรณีการสังเคราะห์ดินเหนียวปรับสภาพชนิด  $B_{1.5}$  ค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง XRD มีค่าเท่ากับ 35.53 Å แต่จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 53.68 Å สาเหตุจากการคำนวณใช้ปริมาณสารลดแรงดึงผิวในปริมาณมากเกินไป 1.5 เท่าของค่า CEC แสดงว่าปริมาณสารลดแรงดึงผิวที่เติมลงไปในการสังเคราะห์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนกับแอนไอออนของชั้นดินเหนียวทั้งหมด ทำให้ค่า d - spacing จากการคำนวณจึงมีค่ามากกว่าจากการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ตรงตามรายงานการวิจัยของ Paul และคณะ (Paul *et al.*, 2005) ที่ได้ทำการศึกษาผลการเชื่อมยึดของโมเลกุลสารลดแรงดึงผิวภายในระหว่างชั้นของดินเหนียว เขาใช้สมการในการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างชั้นดินเหนียวทางทฤษฎี เปรียบเทียบกับค่าระยะห่างระหว่างชั้นที่ได้จากระบวนการสังเคราะห์พบว่าค่าระยะห่างระหว่างชั้นดินเหนียวจากระบวนการสังเคราะห์และจากการคำนวณทางทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อาจไม่เป็นไปตามทฤษฎีได้เช่นกันถ้าโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวไม่สามารถเชื่อมยึดภายในระหว่างชั้นของดินเหนียวได้ตามจำนวนที่เติมปริมาณสารลดแรงดึงผิว เพราะการเชื่อมยึด

ระหว่างกันจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ คือ ความเหมาะสมของประจุ ค่าการแลกเปลี่ยนแคทไอออน ระยะห่างระหว่างชั้น และกระบวนการสังเคราะห์ เป็นต้น

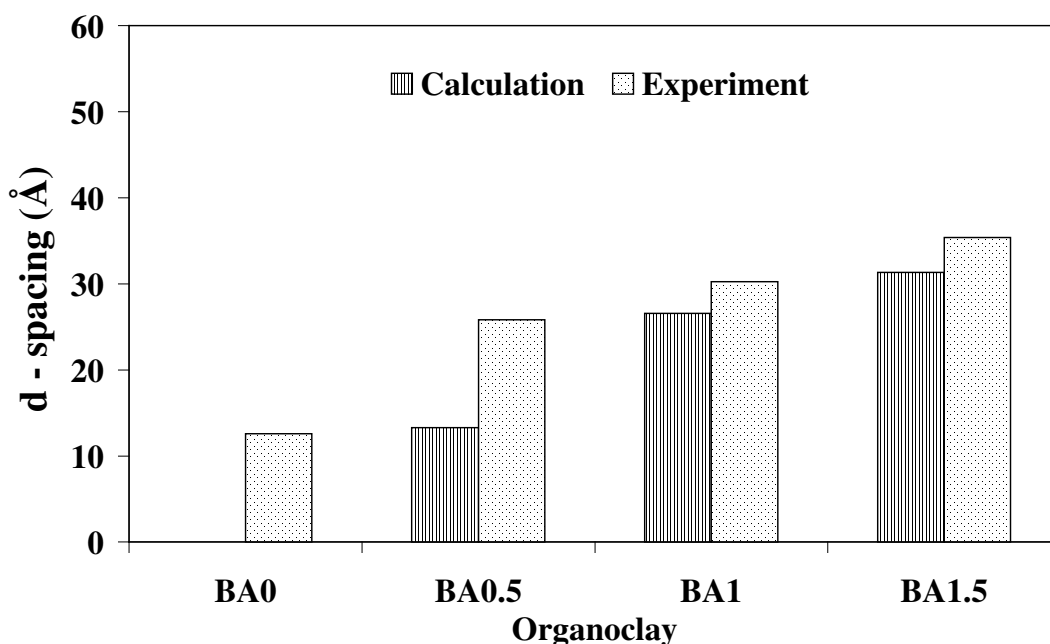
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า d – spacing จากการคำนวณทางทฤษฎีและจากการสังเคราะห์

ดินเหนียวปรับสภาพ	d – spacing (Å)	
	จากการคำนวณ	จากการสังเคราะห์
B <sub>0</sub>	-	12.60
B <sub>0.5</sub>	17.81	17.34
B <sub>1</sub>	35.62	34.15
B <sub>1.5</sub>	53.68	35.53
BA <sub>0.5</sub>	13.30	25.83
BA <sub>1</sub>	26.60	30.26
BA <sub>1.5</sub>	31.35	35.38



รูปที่ 4.5 ค่าระยะห่างระหว่างชั้นของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B จากการคำนวณทางทฤษฎีและจากการสังเคราะห์





รูปที่ 4.6 ค่าระยะห่างระหว่างชั้นของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA จากการคำนวณทางทฤษฎีและการสังเคราะห์

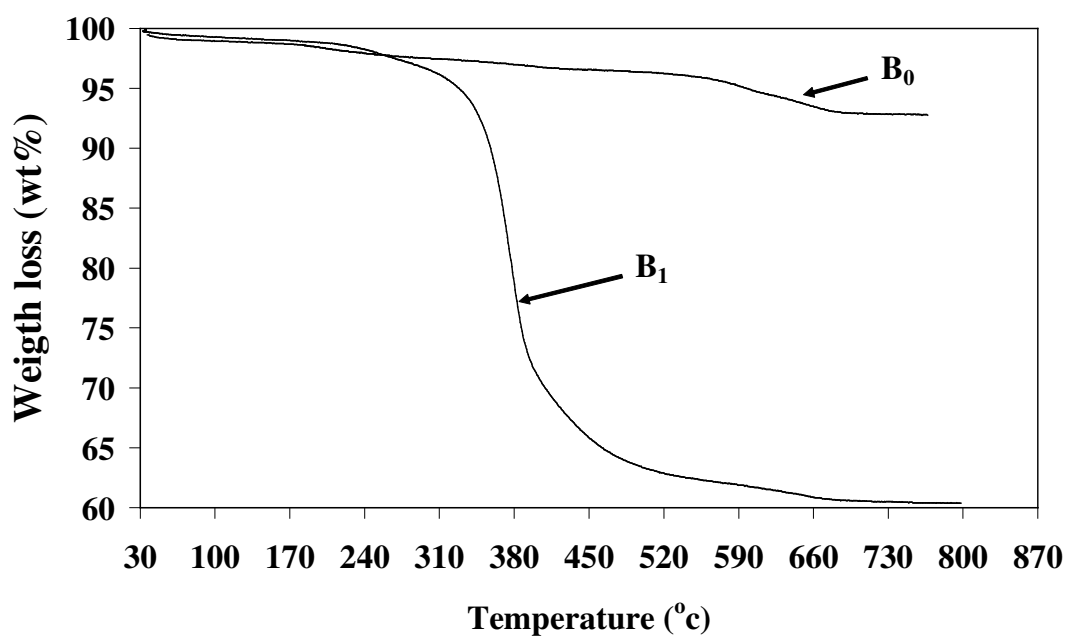
#### 4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของดินเหนียวปรับสภาพ

ตรวจสอบความเสถียรทางความร้อนของดินเหนียว  $B_0$  และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B คือ  $B_{0.5}$ ,  $B_1$  และ  $B_{1.5}$  ด้วยเครื่อง TGA ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 – 4.8 พบว่า อุณหภูมิเมื่อน้ำหนักสารหายไป 5% ( $T_5$ ) และ 10% ( $T_{10}$ ) ระหว่างดินเหนียว  $B_0$  และดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$ ,  $B_1$  และ  $B_{1.5}$  ค่า  $T_5$  และ  $T_{10}$  ของ  $B_0$  มีค่าเท่ากับ  $545^\circ\text{C}$  และ  $780^\circ\text{C}$  ตามลำดับ โดยโครงสร้างของดินเหนียวมีระยะห่างระหว่างชั้นแคบ พื้นที่ผิวในการสัมผัสความร้อนต่ำ การนำความร้อนและการกระจายความร้อนเกิดได้ช้า การเสื่อมสลายจากการเผาไหม้เกิดขึ้นได้ยาก  $T_5$  และ  $T_{10}$  ของดินเหนียว  $B_0$  จึงมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ  $T_5$  ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$ ,  $B_1$  และ  $B_{1.5}$  สาเหตุที่ค่า  $T_5$  ของดินเหนียวปรับสภาพมีค่าต่ำลงเพราะไอออนที่อยู่ระหว่างชั้นเป็นไอออนของสารลดแรงตึงผิวสามารถเกิดการสลายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง  $300 - 450^\circ\text{C}$  (Carrado, 2000; Limpanart *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2003) การนำพาความร้อนเกิดขึ้นได้ง่ายจึงเกิดการเสื่อมสลายได้เร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ของดินเหนียว  $B_0$  และดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$ ,  $B_1$  และ  $B_{1.5}$  พบว่า ดินเหนียว  $B_0$  มีปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มากกว่าปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$ ,  $B_1$  และ  $B_{1.5}$  สาเหตุเพราะดินเหนียว  $B_0$  มี

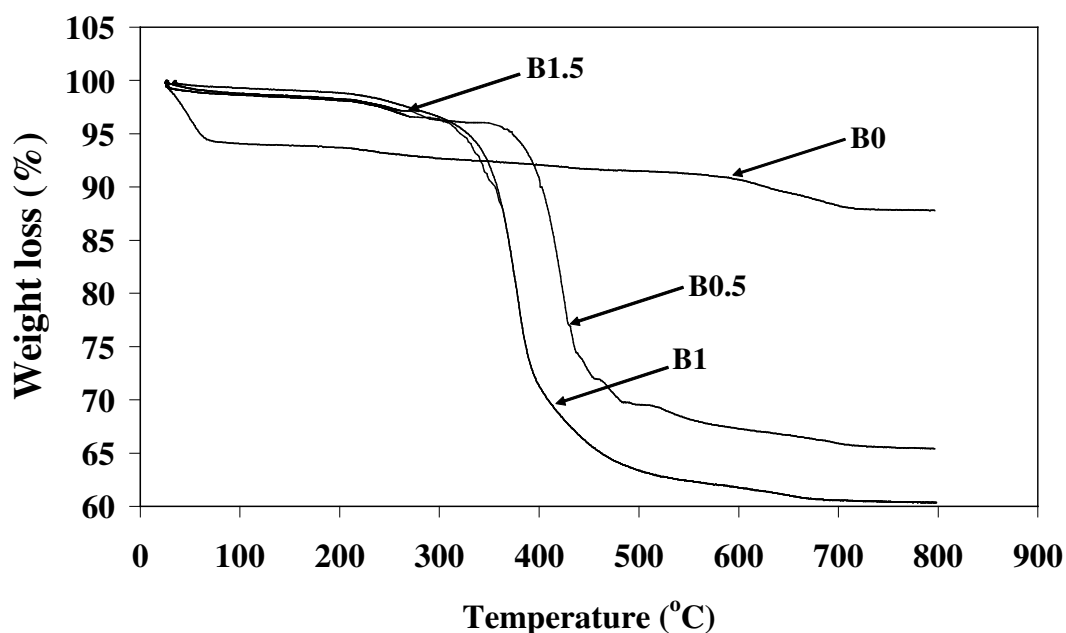
ปริมาณเนื้อดินเหนียวมากกว่าดินเหนียวที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปเมื่อเทียบในช่วงน้ำหนักเดียวกัน

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิเมื่อน้ำหนักหายไป 5%, 10% และ 50% และปริมาณเถ้า (%)

ดินเหนียว	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>10</sub> (°C)	T <sub>50</sub> (°C)	ปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิ 800°C (%)
B <sub>0</sub>	545	780	-	88
B <sub>0.5</sub>	372	400	-	65
B <sub>1</sub>	328	357	-	60
B <sub>1.5</sub>	328	357	-	60



รูปที่ 4.7 เทอร์โมแกรมระหว่างดินเหนียว B<sub>0</sub> และดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub>



รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมระหว่างดินเหนียว B<sub>0</sub> และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B (B<sub>0.5</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>1.5</sub>)

#### 4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติการละลายของดินเหนียวปรับสภาพ

การทดสอบกระจายตัวของดินเหนียวปรับสภาพในตัวทำละลาย มีความสำคัญต่อกระบวนการเตรียมพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิต ทำให้สามารถหาตัวทำละลายที่เหมาะสมกับพอลิซัลโฟนและดินเหนียวปรับสภาพได้ จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับพอลิซัลโฟน คือ DMF DMAc และ NMP เพราะค่าการละลายของพอลิซัลโฟนและค่าการละลายของตัวทำละลายทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 2.3) และสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของเซอร์ และเยท (Sur *et al.*, 2001; Yeh *et al.*, 2004) ศึกษาการเตรียมพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคสารละลาย ใช้ตัวทำละลาย DMAc และ NMP เป็นตัวทำละลายในกระบวนการสังเคราะห์ ตามลำดับ

เมื่อทดสอบการกระจายตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ในตัวทำละลายข้างต้น ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 ตามลำดับ พบว่า ดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ทั้งสามชนิดกระจายตัวได้ดีในตัวทำละลาย DMF และ NMP แต่ในตัวทำละลาย DMAc กระจายตัวได้ไม่ดี เกิดการแยกชั้นระหว่างดินเหนียวปรับสภาพและตัวทำละลาย ส่วนดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้งสามชนิดกระจายตัวได้ดีในตัวทำละลาย DMF และ NMP แต่ในตัวทำละลาย DMAc ดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1</sub> และ BA<sub>1.5</sub> กระจายตัวได้ดี ยกเว้น ดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> กระจายตัวได้ไม่ดี เกิดการแยกชั้นระหว่างดินเหนียวและตัวทำละลาย DMAc

ตารางที่ 4.7 การกระจายตัวของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในตัวทำละลาย DMF

		DMAc และ NMP		
ดินเหนียว ปรับสภาพ	เวลา	ตัวทำละลาย		
		DMF	NMP	DMAc
B <sub>0.5</sub>	30 min	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	แยกชั้นระหว่างตัวทำ ละลายและดินเหนียว
	1 h	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	แยกชั้นระหว่างตัวทำ ละลายและดินเหนียว
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	แยกชั้นระหว่างตัวทำ ละลายและดินเหนียว
		กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	แยกชั้นระหว่างตัวทำ ละลายและดินเหนียว
B <sub>1</sub>	30 min	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
	1 h	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	แยกชั้นระหว่างตัวทำ ละลายและดินเหนียว
		กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	กั้น, สารละลายขุ่น, สี เหลืองเข้ม	แยกชั้นระหว่างตัวทำ ละลายและดินเหนียว

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ดินเหนียว	เวลา	ตัวทำละลาย		
		DMF	NMP	DMAc
B <sub>1.5</sub>	30 min	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
	1 h	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
168 h	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	
	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	แยกชั้นระหว่างตัวทำละลายและดินเหนียว	

ตารางที่ 4.8 การกระจายตัวของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ในตัวทำละลาย DMF DMAc และ NMP

ดินเหนียว	เวลา	ตัวทำละลาย		
		DMF	NMP	DMAc
BA <sub>0.5</sub>	30 min	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
	1 h	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	แยกชั้นระหว่างตัวทำละลายและดินเหนียว
168 h	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	
	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	แยกชั้นระหว่างตัวทำละลายและดินเหนียว	

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ดินเหนียว	เวลา	ตัวทำละลาย		
		DMF	NMP	DMAc
BA <sub>1</sub>	30 min	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
BA <sub>1</sub>	1 h	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
BA <sub>1</sub>	168 h	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
BA <sub>1,5</sub>	30 min	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
BA <sub>1,5</sub>	1 h	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
BA <sub>1,5</sub>	168 h	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม
		เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว	เข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว
		กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม	กัน, สารละลายขุ่น, สีเหลืองเข้ม

เมื่อศึกษาความหนืดสัมพัทธ์ของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในตัวทำละลายทั้งสามชนิด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า สารละลายดินเหนียวปรับสภาพในตัวทำละลาย NMP และ DMF มีค่าความหนืดสัมพัทธ์สูงกว่าสารละลายดินเหนียวปรับสภาพในตัวทำละลาย DMAc ดังนั้นตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อกระบวนการเตรียมพอลิซิลโฟนาโนคอมโพสิต คือ NMP และ DMF เพราะตัวทำละลายทั้งสองชนิดนี้เหมาะสมกับดินเหนียวปรับสภาพทั้งสองกลุ่ม โดยดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA กระจายตัวได้ดีในตัวทำละลายทั้งสองชนิดและไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างกันเกิดขึ้น แต่เมื่อศึกษาความหนืดของพอลิซิลโฟนาพบว่า สารละลาย

พอลิซัลโฟนในตัวทำละลาย NMP มีความหนืดสูงกว่าสารละลายพอลิซัลโฟนในตัวทำละลาย DMF ทำให้สารละลายพอลิซัลโฟนในตัวทำละลาย NMP ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตด้วยการอบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 100°C ได้ยาก ตัวทำละลายตกค้างในแผ่นฟิล์มได้ เพราะจุดเดือดของ NMP มีค่าสูงถึง 204.3°C เมื่อให้ความร้อนในการทำให้ตัวทำละลายระเหยต้องใช้ความร้อนและอุณหภูมิสูงมากเกินไป อาจทำให้ฟิล์มพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตมีพฤติกรรมเปราะและแตกหักได้ง่ายเมื่อโดนความร้อนสูง ดังนั้นตัวทำละลาย NMP จึงไม่เหมาะสมต่อการเตรียมพอลิซัลโฟนนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคสารละลาย งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวทำละลาย DMF เพียงชนิดเดียวในกระบวนการเตรียมพอลิซัลโฟนนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคสารละลาย

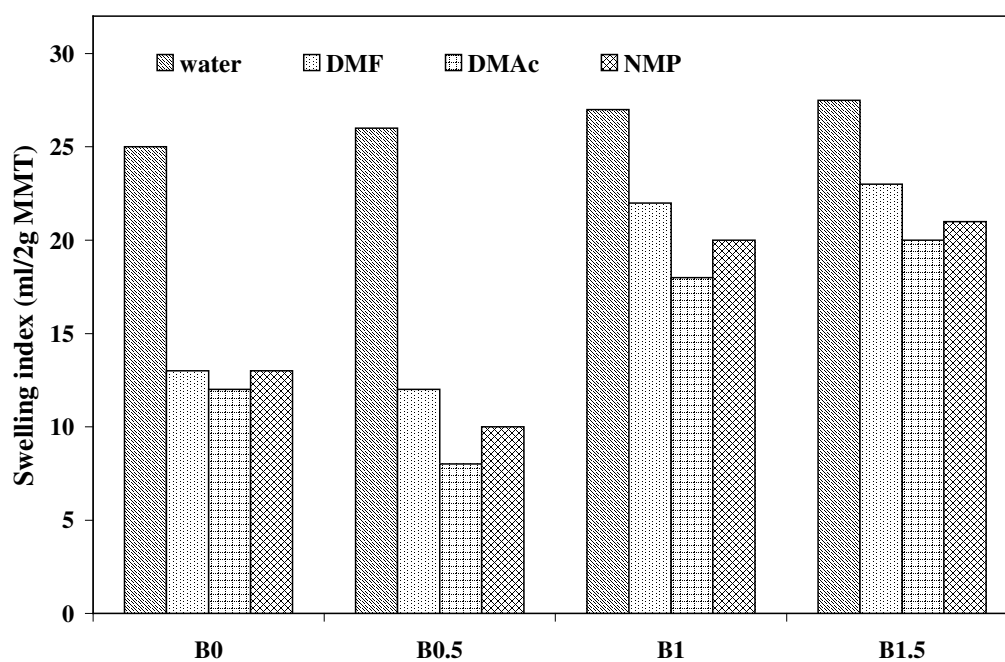
เมื่อศึกษาค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ในตัวทำละลาย DMF DMAc และ NMP ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9 - 4.10 ตามลำดับ พบว่า ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในน้ำ ( $B_{0.5}$ ,  $B_1$  และ  $B_{1.5}$ ) มีค่าสูงกว่าค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพในตัวทำละลายชนิดอื่นๆ และในกรณีค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ( $BA_{0.5}$ ,  $BA_1$  และ  $BA_{1.5}$ ) ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพในน้ำมีค่าสูงกว่าค่าดัชนีการบวมตัวในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวทำละลายด้วยกัน พบว่า ตัวทำละลาย DMF ทำให้ดินเหนียวปรับสภาพทั้ง 2 ชนิดกระจายตัวได้ดีมากกว่าในตัวทำละลายชนิดอื่น ลักษณะการกระจายตัวของดินเหนียวในตัวทำละลายแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.9 ความหนืดสัมพัทธ์ของสารละลายดินเหนียวปรับสภาพในตัวทำละลาย DMF, DMAc และ NMP

สมบัติ	ดินเหนียว	ตัวทำละลาย		
		DMF	NMP	DMAc
ความหนืดสัมพัทธ์	$B_0$	1.52	1.21	1.28
	$B_{0.5}$	1.62	1.76	1.69
	$B_1$	1.97	2.50	1.89
	$B_{1.5}$	2.21	2.42	1.71
	$BA_{0.5}$	1.21	1.11	1.19
	$BA_1$	1.34	1.53	1.41
	$BA_{1.5}$	1.40	1.78	1.69

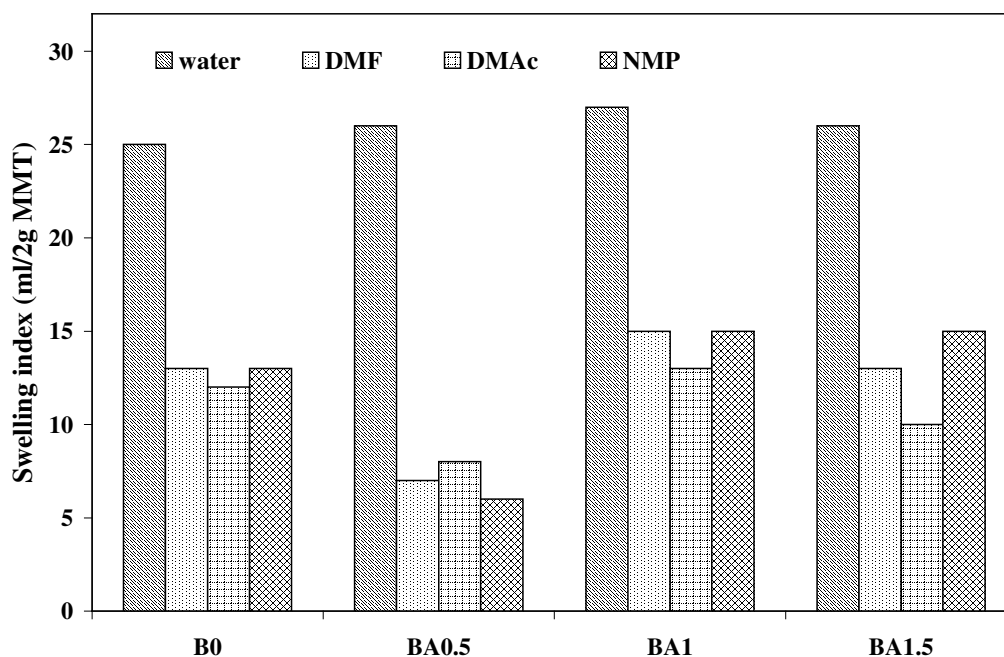
ตารางที่ 4.10 ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ในตัวทำละลาย

ดินเหนียวและ ดินเหนียวปรับสภาพ	ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพ (ml/2g of MMT)			
	H <sub>2</sub> O	DMF	DMAc	NMP
B <sub>0</sub>	25	13	12	13
B <sub>0.5</sub>	26	12	8	10
B <sub>1</sub>	27	22	18	20
B <sub>1.5</sub>	27.5	23	20	21
BA <sub>0.5</sub>	26	7	8	6
BA <sub>1</sub>	27	15	13	15
BA <sub>1.5</sub>	26	13	10	15



รูปที่ 4.9 ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในตัวทำละลาย





รูปที่ 4.10 ค่าดัชนีการบวมตัวของดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ในตัวทำละลาย

#### 4.2.5 อิทธิพลของตัวทำละลายต่อโครงสร้างทางเคมีของดินเหนียว

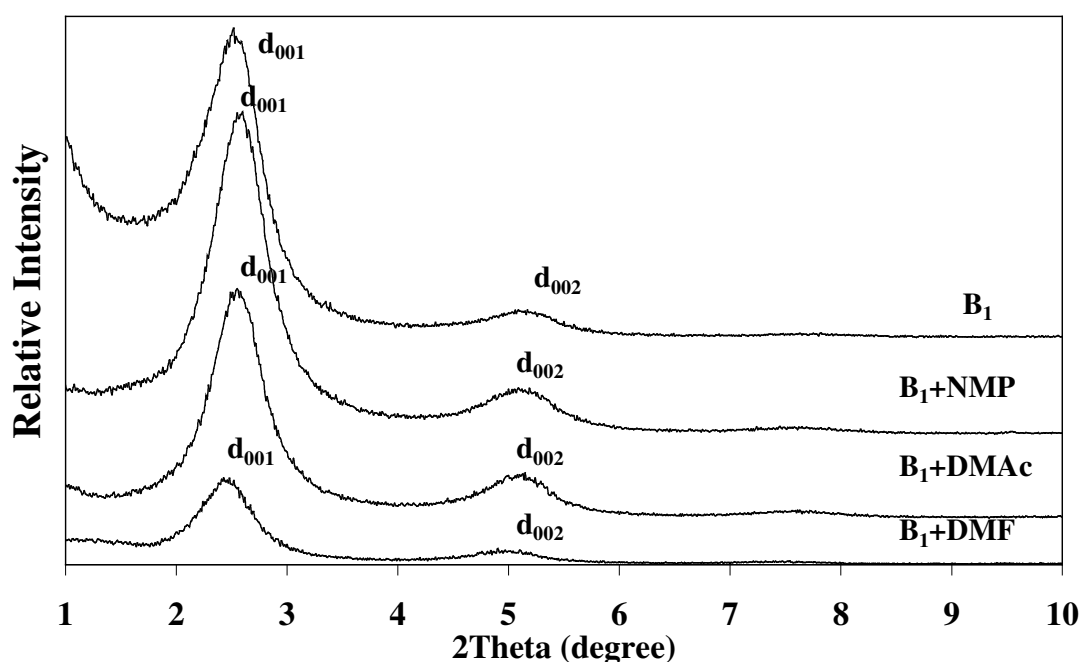
ตัวทำละลายที่เลือกใช้ในระบบการเตรียมพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิตเป็นตัวทำละลายมีขั้วทำให้เหมาะสมกับโครงสร้างของดินเหนียวที่มีขั้วเช่นกัน และตัวทำละลายทั้งสามชนิดมีค่าการละลายใกล้เคียงกับค่าการละลายของพอลิซัลโฟนาโน ทำให้ละลายซึ่งกันและกันได้ดี ดังนั้นต้องศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลายต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินเหนียว ศึกษาจากเครื่อง XRD เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่า  $d$  - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพหลังผ่านการกระจายตัวในตัวทำละลาย ในงานวิจัยนี้เลือกทดสอบกับดินเหนียวปรับสภาพชนิด  $B_1$  เนื่องจากมีปริมาณของสารลดแรงตึงผิวบริเวณผิวหน้าของชั้นในปริมาณหนาแน่นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$

ค่า  $d$  - spacing และสเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  หลังจากผ่านการกระจายตัวในตัวทำละลาย DMF DMAc และ NMP แสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.11 พบว่า ตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชั้นดินเหนียวปรับสภาพ เพราะค่า  $d$  - spacing ที่ตรวจสอบได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับค่า  $d$  - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ที่ไม่ได้ผ่านการกระจายตัวในตัวทำละลาย เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงจากการคำนวณมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างชั้นที่เกิดขึ้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการละลายของดินเหนียวปรับสภาพในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดพบว่า ค่าความ

หนืดของสารละลายดินเหนียวในตัวทำละลาย NMP มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ในตัวทำละลาย DMF และ DMAc ตามลำดับ ศึกษาความหนืดของสารละลายดินเหนียวเพื่อเป็นข้อมูลข้างต้นเกี่ยวกับสมบัติด้านการละลายของดินเหนียวปรับสภาพ ดังนั้นต้องศึกษาดัชนีการบวมตัวของสารละลายดินเหนียวในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด เพื่อยืนยันความเหมาะสมระหว่างตัวทำละลายกับดินเหนียวปรับสภาพ พบว่า ดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ( $B_{0.5}$ ,  $B_1$  และ  $B_{1.5}$ ) และดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ( $BA_{0.5}$ ,  $BA_1$  และ  $BA_{1.5}$ ) มีค่าดัชนีการบวมตัวในตัวทำละลาย DMF สูงสุด แสดงว่าตัวทำละลาย DMF มีความเหมาะสมกับดินเหนียวปรับสภาพทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นจึงเลือกตัวทำละลาย DMF ในกระบวนการเตรียมพอลิซัลโฟนาโนคอมโพสิตเพียงชนิดเดียว ถึงแม้เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างชั้นด้วยเครื่อง XRD พบว่า ตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ สาเหตุที่ระยะห่างระหว่างชั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะก่อนทดสอบด้วยเครื่อง XRD ต้องระเหยตัวทำละลายออกจากดินเหนียวปรับสภาพ อาจทำให้โครงสร้างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงกลับสู่สภาพโครงสร้างเดิมเมื่อระเหยตัวทำละลายออก เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างโครงสร้างอย่างเด่นชัด

ตารางที่ 4.11 ค่า d – spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  หลังจากผ่านการกระจายตัวในตัวทำละลาย

ตัวอย่าง	d - spacing (Å)			เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง (%)
	$d_{001}$	$d_{002}$	$d_{Avg}$	
$B_1$	34.07	17.07	34.15	-
$B_1 + DMF$	35.38	18.24	35.93	5.21
$B_1 + NMP$	34.27	17.29	33.43	2.23
$B_1 + DMAc$	34.65	17.20	34.91	2.11

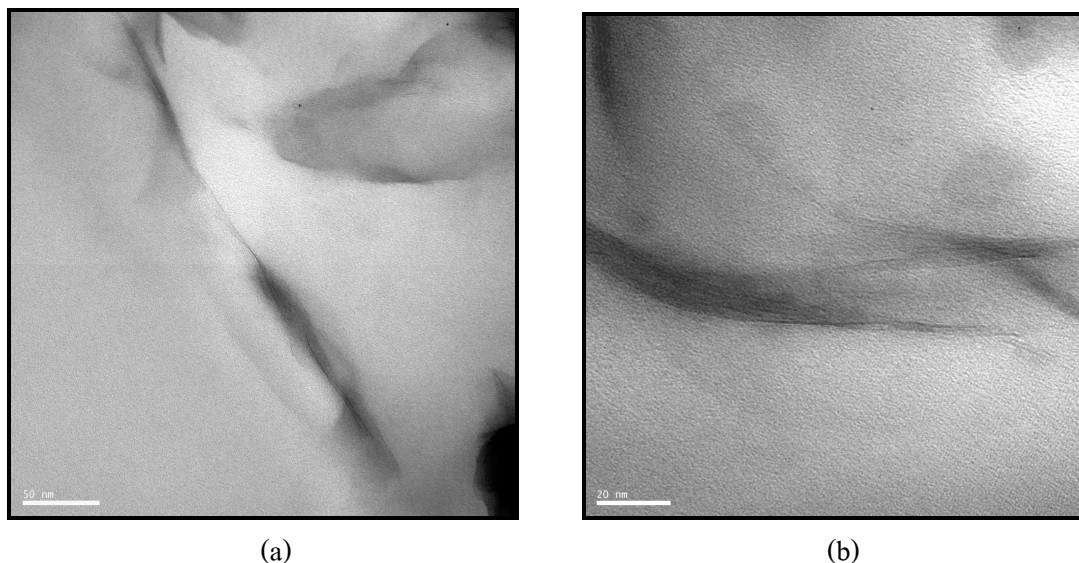


รูปที่ 4.11 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  หลังผ่านการกระจายตัวในตัวทำละลาย DMF DMAc และ NMP

#### 4.3 การตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B

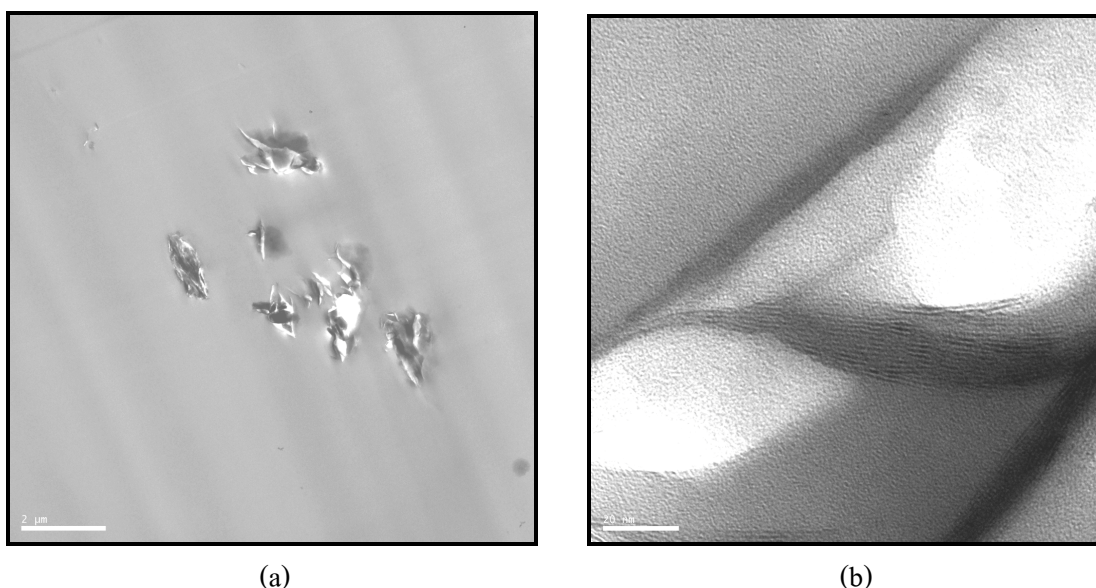
##### 4.3.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างของดินเหนียวปรับสภาพ $B_0$ ในพอลิซัลโฟน

โครงสร้างของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียว  $B_0$  ในปริมาณ 1% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM ใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 62,000 เท่า และ 100,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า เมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 62,000 เท่า ชั้นของดินเหนียวในเนื้อพอลิซัลโฟนมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นๆเรียงซ้อนกัน เมื่อเพิ่มกำลังขยายในการตรวจสอบเป็น 100,000 เท่า โครงสร้างที่ตรวจสอบได้มีการจัดเรียงตัวของชั้นดินเหนียวอย่างเป็นระเบียบอยู่ภายในเนื้อพอลิซัลโฟน เมื่อตรวจสอบระยะห่างระหว่างชั้นจากมาตราส่วนวัดของเครื่อง TEM พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างชั้นเกิดขึ้น สันนิษฐานได้ว่าโมเลกุลของพอลิซัลโฟนไม่สามารถแทรกเข้าไปภายในระหว่างชั้นได้ โครงสร้างจึงเป็นแบบไมโครคอมโพสิต



รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% B<sub>0</sub> แสดงชั้นของดินเหนียว B<sub>0</sub> (a) กำลังขยาย 62,000 เท่า  
(b) กำลังขยาย 100,000 เท่า

เมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียว B<sub>0</sub> ในปริมาณสูงขึ้นเป็น 3% โครงสร้างของชั้นดินเหนียวเมื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM ใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 7,000 เท่า และ 150,000 เท่า สันฐานวิทยาของโครงสร้างชั้นดินเหนียวแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่า เมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 7,000 เท่า ลักษณะของชั้นดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นกลุ่มก้อนภายในเนื้อพอลิซัลโฟน เมื่อใช้กำลังขยายเพิ่มสูงขึ้นพบว่า โครงสร้างของชั้นดินเหนียวมีการจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ ไม่มีการขยายระยะห่างระหว่างชั้น แสดงว่ามีโครงสร้างเป็นแบบไมโครคอมโพสิต ระยะห่างระหว่างชั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.13 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B<sub>0</sub> แสดงชั้นของดินเหนียว B<sub>0</sub> (a) กำลังขยาย 7,000 เท่า (b) กำลังขยาย 150,000 เท่า

#### 4.3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B<sub>0.5</sub>

ศึกษาค่า d - spacing ของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ด้วยเครื่อง XRD ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.12 และสเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิซัลโฟนนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% แสดงในรูปที่ 4.14 พบว่า จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD การเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ในพอลิซัลโฟนปริมาณ 1% ไม่สามารถหาค่า d - spacing ได้ ส่วนการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 3% และ 5% พบว่าค่า d - spacing ปรากฏในช่วงใกล้เคียงกับค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า d - spacing เกิดขึ้น สามารถสันนิษฐานได้ว่าโมเลกุลของพอลิซัลโฟนไม่สามารถแทรกเข้าไปภายในระหว่างชั้นได้ระยะห่างระหว่างชั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ผลการศึกษาจากเครื่อง XRD เป็นการทดสอบโครงสร้างเบื้องต้นสามารถยืนยันโครงสร้างที่แท้จริงได้จากเครื่อง TEM เนื่องจากเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ปริมาณของดินเหนียวในเนื้อพอลิซัลโฟนอาจมีปริมาณน้อยเกินไป ทำให้เมื่อตรวจสอบจึงไม่แสดงค่า d - spacing เกิดขึ้น

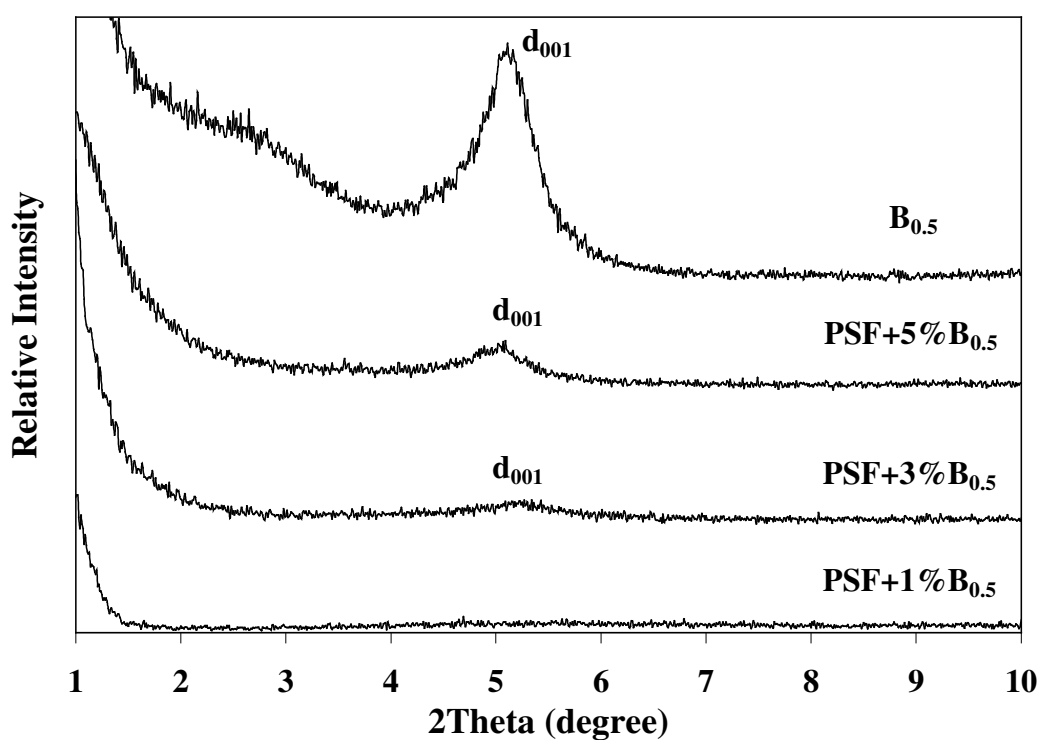
โครงสร้างของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 1% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM ใช้กำลังขยายต่างกันคือ 100,000 เท่า และ

150,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า เมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 100,000 เท่า ชั้นของดินเหนียวในเนื้อพอลิซัลโฟนมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นๆเรียงซ้อนกัน เมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเพิ่มสูงขึ้นเป็น 150,000 เท่า ลักษณะของชั้นดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นชั้นซ้อนทับกันอย่างชัดเจน และเมื่อทำการตรวจสอบระยะห่างระหว่างชั้นจากมาตราส่วนวัดของเครื่อง TEM พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างชั้นเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM การเติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$  ในปริมาณ 1% พบว่า ผลการทดสอบไม่สัมพันธ์กัน เนื่องจากผลการทดสอบจากเครื่อง XRD ไม่สามารถหาค่า d - spacing ได้ แต่เมื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM พบว่า ชั้นของดินเหนียวไม่มีการขยายออก ดังนั้นสามารถสรุปโครงสร้างของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด  $B_{0.5}$  ในปริมาณ 1% มีโครงสร้างแบบไมโครคอมโพสิต

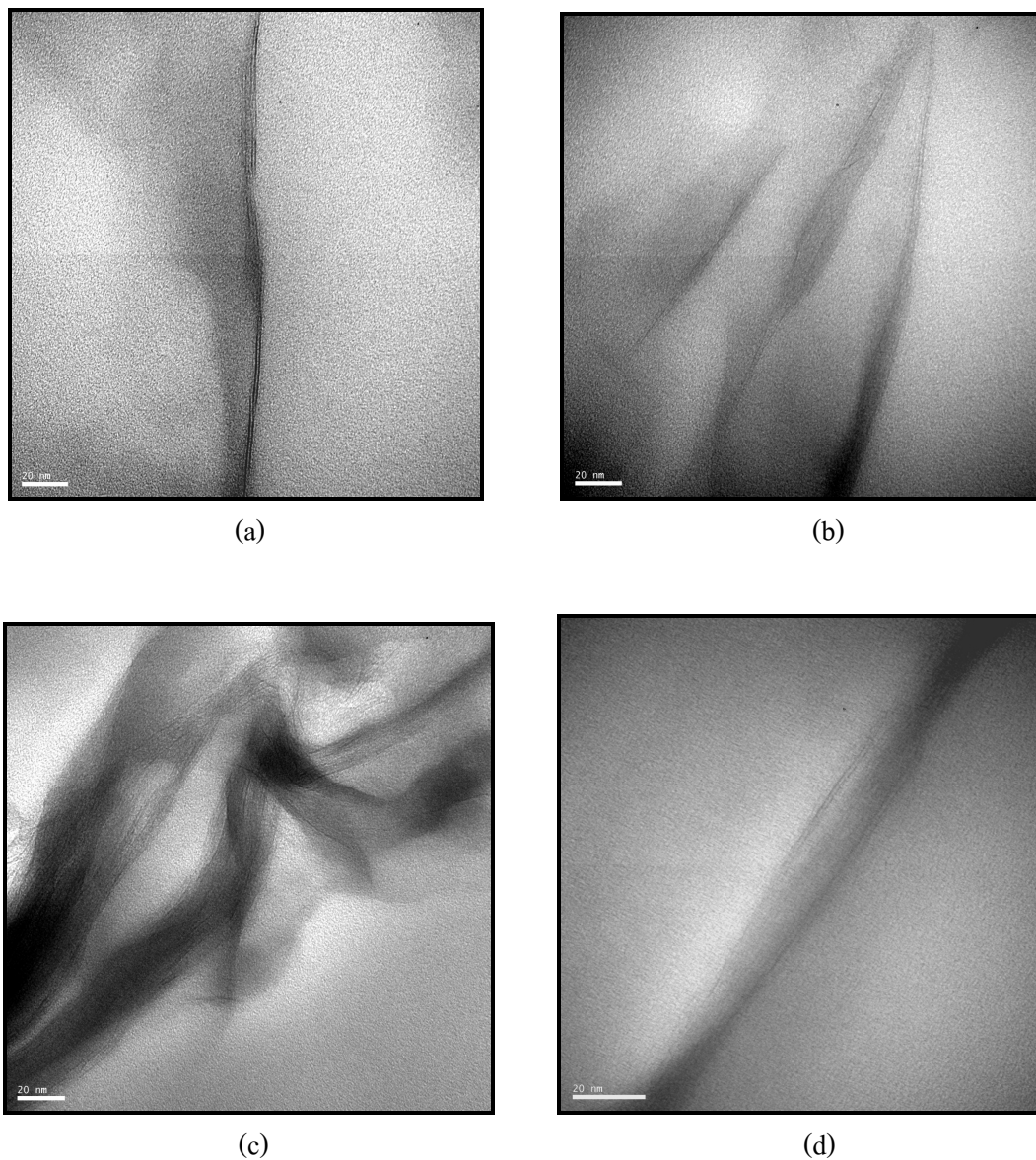
โครงสร้างของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$  ในปริมาณ 3% เมื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM โดยใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 19,000 เท่า และ 62,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.16 พบว่า เมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 19,000 เท่า ลักษณะของอนุภาคดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นกลุ่มก้อน ลักษณะกลุ่มก้อนเกิดจากชั้นดินเหนียวรวมตัวกันหลายๆชั้นและเกาะกลุ่มกันอย่างเหนียวแน่นภายในเนื้อพอลิซัลโฟน โมเลกุลของพอลิซัลโฟนไม่สามารถเกิดอันตรกิริยากับชั้นของดินเหนียวและสารลดแรงตึงผิวได้ เมื่อใช้กำลังขยายเพิ่มสูงขึ้นเป็น 62,000 เท่า ลักษณะของชั้นดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นกลุ่มก้อนชัดเจนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM พบว่า การเติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$  ในปริมาณ 3% ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า d - spacing เกิดขึ้น สันนิษฐานได้ว่า โมเลกุลของพอลิซัลโฟนไม่สามารถแทรกเข้าไปภายในระหว่างชั้นได้ ทำให้ไม่เกิดการเกี่ยวพันกับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว ชั้นของดินเหนียวจึงไม่แยกขยายออกจากกัน โครงสร้างของชั้นดินเหนียวจึงเป็นแบบไมโครคอมโพสิต

ตารางที่ 4.12 ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%

ตัวอย่าง	d - spacing, Å		
	d <sub>001</sub>	d <sub>002</sub>	d <sub>Avg</sub>
B <sub>0.5</sub>	17.34	-	17.34
PSF+1%B <sub>0.5</sub>	-	-	-
PSF+3%B <sub>0.5</sub>	17.10	-	17.10
PSF+5%B <sub>0.5</sub>	17.48	-	17.48

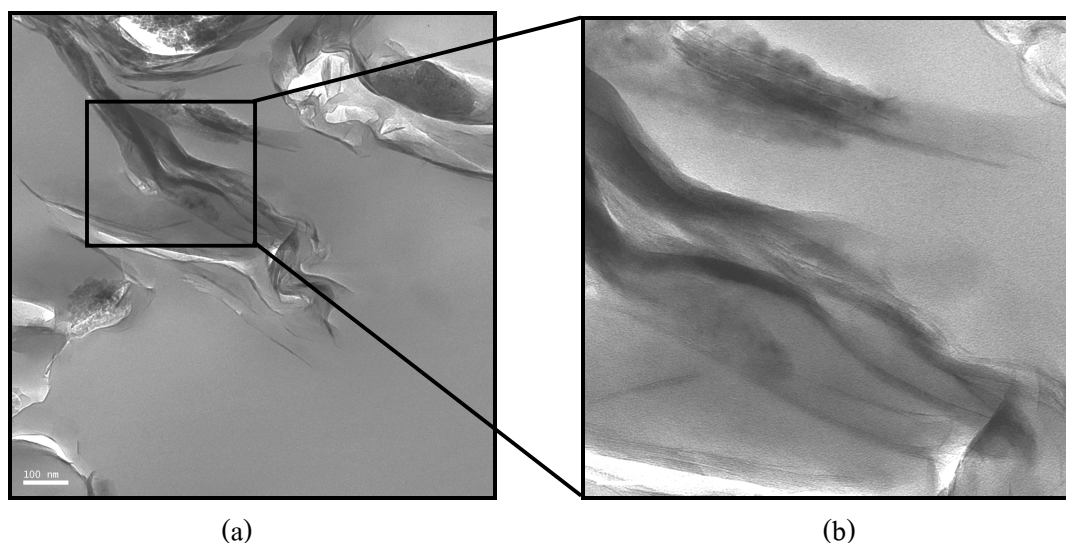


รูปที่ 4.14 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%



รูปที่ 4.15 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% B<sub>0.5</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> (a) กำลังขยาย 100,000 เท่า (b) – (c) กำลังขยาย 100,000 เท่า (d) กำลังขยาย 150,000 เท่า





รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B<sub>0.5</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> (a) กำลังขยาย 19,000 เท่า (b) กำลังขยาย 62,000 เท่า

เมื่อศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึงและความทนต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 พบว่า ค่าความทนต่อแรงดึงและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวคอมโพสิตที่มีค่าต่ำลง ส่วนค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าลดลงกว่าของพอลิซัลโฟน สาเหตุอาจเกิดจากโครงสร้างของชั้นดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> ในพอลิซัลโฟนที่ 1 – 5% โครงสร้างเป็นแบบไมโครคอมโพสิต อนุภาคของชั้นดินเหนียวเกาะกลุ่มรวมตัวกันเป็นชั้นๆภายในเนื้อพอลิซัลโฟนทำให้ขีดขวางการยืดและลดความแข็งแรงลงเมื่อมีแรงดึงมากกระทำ

ตารางที่ 4.13 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub>

ตัวอย่าง	มอดูลัส (GPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	ค่าความเครียด ณ จุดขาด (%)
PSF	1.57 ± 0.07	55.50 ± 6.77	6.47 ± 1.20
PSF+1%B <sub>0.5</sub>	1.74 ± 0.11	52.17 ± 7.77	5.29 ± 0.83
PSF+3%B <sub>0.5</sub>	1.70 ± 0.32	50.38 ± 1.71	5.41 ± 0.27
PSF+5%B <sub>0.5</sub>	1.70 ± 0.24	45.09 ± 8.45	4.72 ± 0.61

ตารางที่ 4.14 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{0.5}$

ตัวอย่าง	ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง ( $\text{kJ/m}^2$ )
PSF	452.89
PSF+1%B <sub>0.5</sub>	357.45
PSF+3%B <sub>0.5</sub>	465.10
PSF+5%B <sub>0.5</sub>	369.61

#### 4.3.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด $B_1$

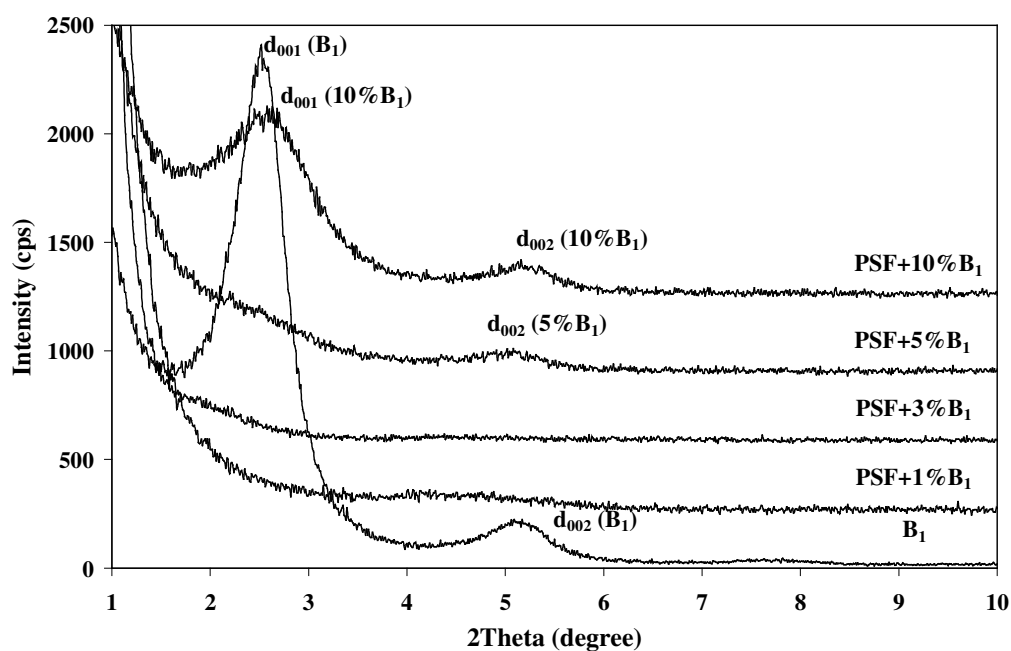
ศึกษาค่า  $d$  - spacing ของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ด้วยเครื่อง XRD ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.15 และสเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในปริมาณ 1%, 3%, 5% และ 10% แสดงในรูปที่ 4.17 พบว่า จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD การเติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในพอลิซัลโฟนปริมาณ 1% ไม่สามารถหาค่า  $d$  - spacing ได้ ส่วนการเติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในปริมาณ 3%, 5% และ 10% พบว่า ค่า  $d$  - spacing มีค่าใกล้เคียงกับค่า  $d$  - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  โครงสร้างแบบนี้คือ โครงสร้างแบบไมโครคอมโพสิต สันนิษฐานได้ว่าโมเลกุลของพอลิซัลโฟนไม่สามารถแทรกเข้าไปภายในระหว่างชั้นดินเหนียวได้ จำเป็นต้องตรวจสอบโครงสร้างที่แท้จริงจากเครื่อง TEM พบว่าโครงสร้างของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในปริมาณ 1% เมื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM โดยใช้กำลังขยาย คือ 100,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.18 ชั้นของดินเหนียวในเนื้อพอลิซัลโฟนมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นๆเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบ และจากภาพถ่าย TEM เมื่อคำนวณระยะห่างระหว่างชั้นโดยเปรียบเทียบกับมาตราส่วนกำลังขยายพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างชั้นเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าโมเลกุลของพอลิซัลโฟนสามารถแทรกเข้าไปภายในระหว่างชั้นดินเหนียวปรับสภาพได้ ชั้นดินเหนียวขยายระยะห่างเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM การเติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในปริมาณ 1% พบว่า ผลการทดสอบไม่สัมพันธ์กัน เนื่องจากผลการทดสอบจากเครื่อง XRD ไม่สามารถหาค่า  $d$  - spacing ได้ แต่เมื่อตรวจสอบด้วยวิธีทางโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM พบการขยายระยะห่างระหว่างชั้นเกิดขึ้น ดังนั้นสามารถยืนยันโครงสร้างของชั้นดินเหนียวปรับสภาพ

จากเครื่อง TEM เป็นหลัก โครงสร้างของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในปริมาณ 1% เป็นแบบอินเตอร์คาร์เลชัน

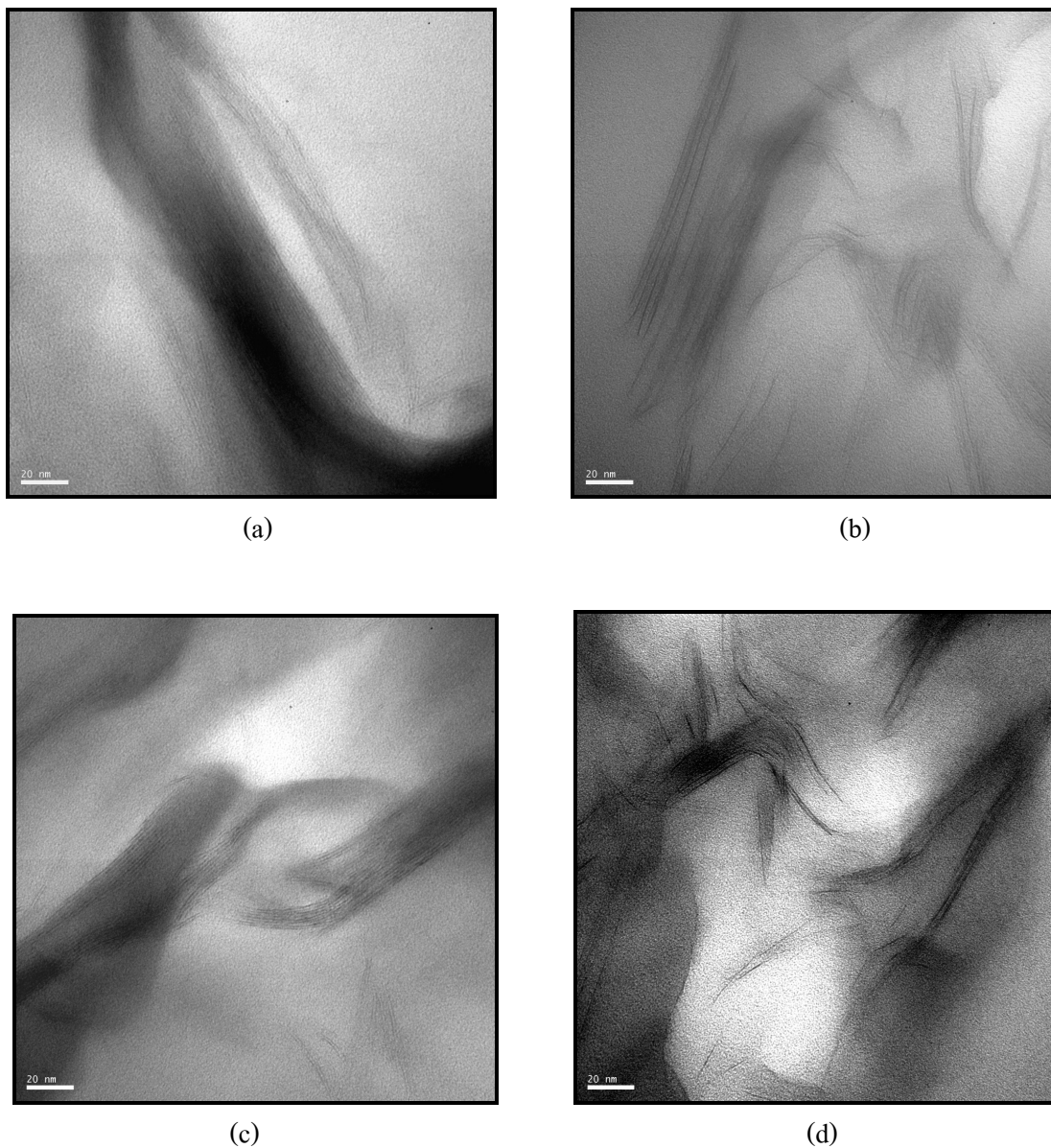
โครงสร้างของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในปริมาณ 3% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM โดยใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 19,000 เท่า และ 63,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.19 พบว่า เมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 19,000 เท่า ชั้นของดินเหนียวในเนื้อพอลิซัลโฟนมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นๆเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบ เมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเพิ่มสูงขึ้นเป็น 63,000 เท่า สถาบันวิทยาเชิงโครงสร้างของดินเหนียวปรับสภาพเมื่อตรวจสอบจากเครื่อง TEM โครงสร้างของชั้นดินเหนียวมีลักษณะเป็นชั้นซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ และเมื่อตรวจสอบระยะห่างระหว่างชั้นด้วยการเปรียบเทียบกับมาตราส่วนของเครื่อง TEM พบว่าระยะห่างระหว่างชั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM พบว่า ผลการทดสอบสัมพันธ์กัน โครงสร้างของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตเป็นแบบไมโครคอมโพสิต

ตารางที่ 4.15 ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 1%, 3% 5% และ 10%

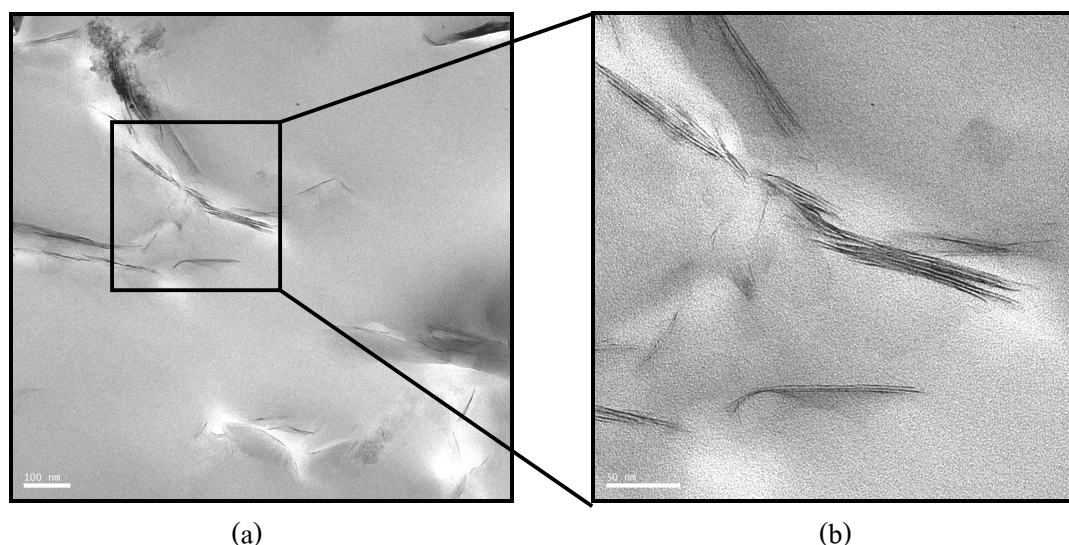
ตัวอย่าง	d - spacing, Å		
	d <sub>001</sub>	d <sub>002</sub>	d <sub>Avg</sub>
B <sub>1</sub>	34.07	17.07	34.15
PSF+1%B <sub>1</sub>	-	-	-
PSF+3%B <sub>1</sub>	35.25	17.51	35.13
PSF+5%B <sub>1</sub>	38.69	17.32	36.67
PSF+10%B <sub>1</sub>	34.27	16.99	34.13



รูปที่ 4.17 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 1%, 3%, 5% และ 10%



รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% B<sub>1</sub> แสดงชั้นของคินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> (a - d) กำลังขยาย 100,000 เท่า



รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B<sub>1</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> (a) กำลังขยาย 19,000 เท่า (b) กำลังขยาย 63,000 เท่า

เมื่อศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึง และสมบัติความทนต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.16 และตารางที่ 4.17 พบว่า ค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณดินเหนียวในปริมาณมากขึ้น โดยเมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% และ 5% จะทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นประมาณ 33.76% และ 43.95% ตามลำดับ การเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 1 – 3 % จะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดประมาณ 32.20% และ 30.40% ตามลำดับ เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณสูงขึ้นมากกว่า 5% ค่าความทนต่อแรงดึงจะมีค่าลดลง ส่วนค่าความเครียดจุดขาดมีค่าใกล้เคียงกันทั้งที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> และไม่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> (5 – 6%) ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 1% มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 3% ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 12.24% และเมื่อมีปริมาณดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณมากกว่า 5% จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งลดลง

ตารางที่ 4.16 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียว  
ปรับสภาพชนิด B<sub>1</sub>

ตัวอย่าง	มอดุลัส (GPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	ค่าความเครียด ณ จุดขาด (%)
PSF	1.57 ± 0.07	55.50 ± 6.77	6.47 ± 1.20
PSF+1%B <sub>1</sub>	2.01 ± 0.24	73.34 ± 1.90	6.17 ± 0.58
PSF+3%B <sub>1</sub>	2.10 ± 0.17	72.37 ± 3.90	6.74 ± 0.62
PSF+5%B <sub>1</sub>	2.26 ± 0.38	57.62 ± 1.86	5.73 ± 0.23

ตารางที่ 4.17 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่  
เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B<sub>1</sub>

ตัวอย่าง	ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง (kJ/m <sup>2</sup> )
PSF	452.89
PSF+1%B <sub>1</sub>	450.82
PSF+3%B <sub>1</sub>	508.33
PSF+5%B <sub>1</sub>	396.87
PSF+10%B <sub>1</sub>	292.64

#### 4.3.4 ผลการตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B<sub>1,5</sub>

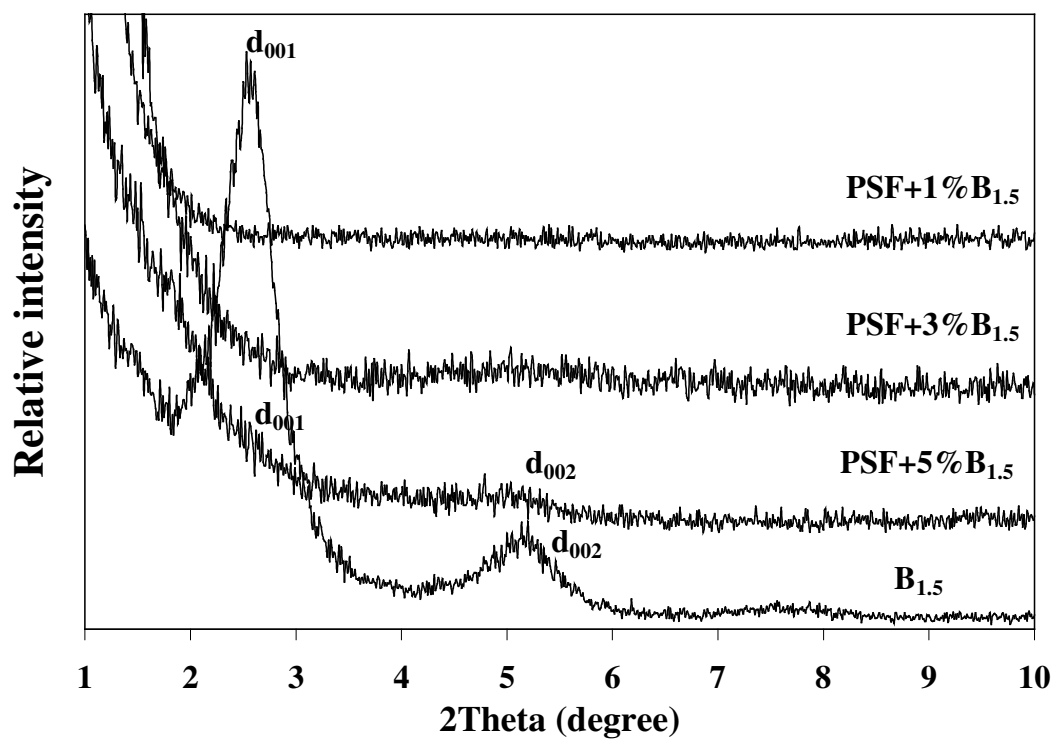
เมื่อศึกษาค่า d - spacing ของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1,5</sub> ด้วยเครื่อง XRD แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.18 และสเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1,5</sub> เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1,5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% แสดงในรูปที่ 4.20 พบว่า จากการตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD การเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1,5</sub> ในพอลิซัลโฟนปริมาณ 1% และ 3% ไม่สามารถหาค่า d - spacing ได้ สาเหตุอาจเกิดเนื่องจากมีปริมาณดินเหนียวปรับสภาพน้อยเกินไป ทำให้เมื่อตรวจสอบด้วย XRD จึงไม่แสดงความเป็นผลึกของชั้นดินเหนียวได้ ส่วนการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1,5</sub> ในปริมาณ 5% พบว่า ค่า d - spacing ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1,5</sub> แสดงว่าโมเลกุลของพอลิซัลโฟนไม่สามารถแทรกเข้าไปภายใน

ในระหว่างชั้นได้ สามารถยืนยันผลการตรวจสอบโครงสร้างที่แท้จริงได้จากเครื่อง TEM ดังนี้ โครงสร้างของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{1.5}$  ในปริมาณ 3% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM โดยใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 5,000 เท่า 19,000 เท่า 62,000 เท่า 80,000 เท่า และ 100,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.21 พบว่า โครงสร้างของชั้นดินเหนียวในเนื้อพอลิซัลโฟนเมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 5,000 เท่า ลักษณะของอนุภาคดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นกลุ่มก้อนเกิดจากชั้นดินเหนียวหลายๆชั้นรวมตัวกันในพอลิซัลโฟน และเมื่อใช้กำลังขยายเพิ่มสูงขึ้นเป็น 19,000 เท่า 62,000 เท่า และ 100,000 เท่า ลักษณะของชั้นดินเหนียวไม่มีการเปลี่ยนแปลงขยาย  $d - spacing$  เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM พบว่า โครงสร้างที่ตรวจสอบได้ไม่สัมพันธ์กัน เนื่องจากการตรวจสอบจากเครื่อง XRD ไม่สามารถหาค่า  $d - spacing$  ได้ แต่การตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM โครงสร้างของชั้นดินเหนียวเป็นแบบไมโครคอมโพสิต

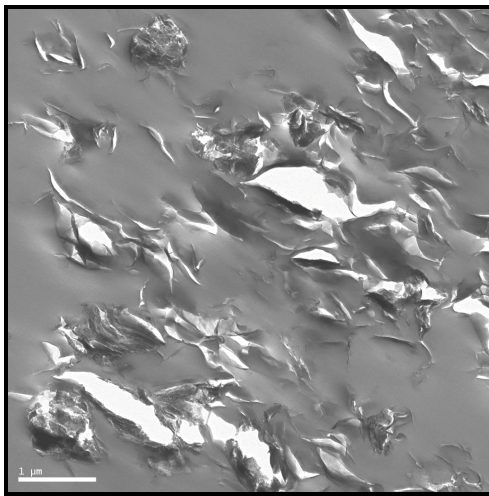
ตารางที่ 4.18 ค่า  $d - spacing$  ของดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{1.5}$  และพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_{1.5}$  ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%

ตัวอย่าง	$d - spacing, \text{\AA}$		
	$d_{001}$	$d_{002}$	$d_{Avg}$
$B_{1.5}$	36.03	17.52	35.53
PSF + 1% $B_{1.5}$	-	-	-
PSF + 3% $B_{1.5}$	-	-	-
PSF + 5% $B_{1.5}$	34.96	17.38	34.86

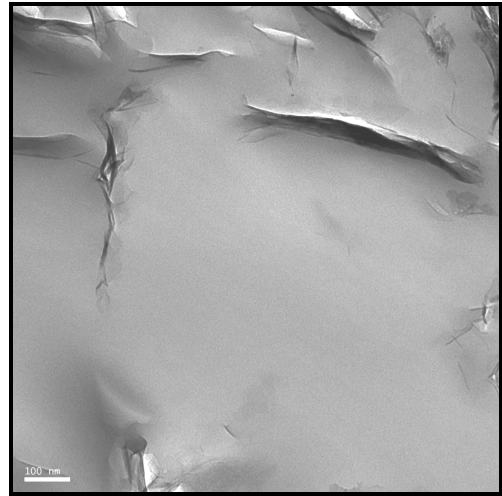




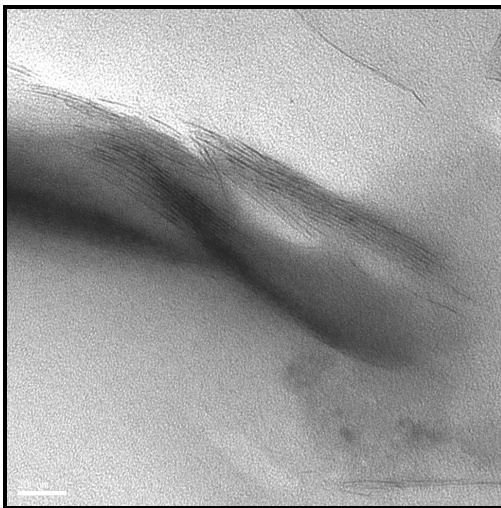
รูปที่ 4.20 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%



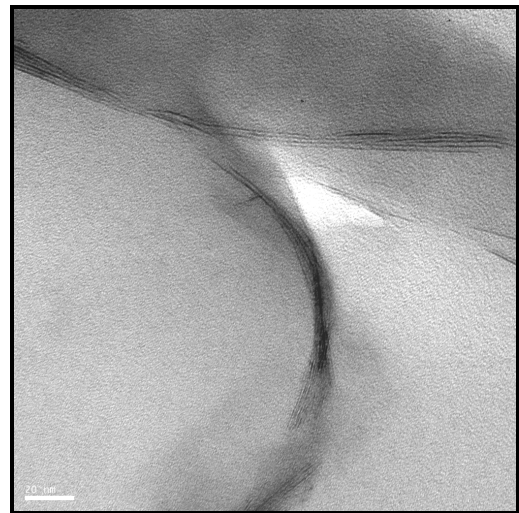
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% B<sub>1.5</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> (a) กำลังขยาย 5,000 เท่า (b) กำลังขยาย 19,000 เท่า (c - d) กำลังขยาย 100,000 เท่า

เมื่อศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึง และสมบัติความทนต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.19 และตารางที่ 4.20 พบว่า ค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณดินเหนียวในปริมาณมากขึ้น โดยเมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% และ 5% จะทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นประมาณ 22.93% และ 32.48% ตามลำดับ การเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> ในปริมาณ 1% จะมีค่าความทนต่อแรงดึงในช่วงเดียวกันกับค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณมากขึ้นเป็น 3 และ 5% จะทำให้ความทนต่อแรงดึงมีค่าลดลงประมาณ 15.75%

และ 32.25% ตามลำดับ ส่วนค่าค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกันทั้งที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> และไม่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 1% มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 3% ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 18.62% และเมื่อมีปริมาณดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> ในปริมาณมากกว่า 5% จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งลดลง

ตารางที่ 4.19 ค่าความทนต่อแรงดิ่งของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B<sub>1.5</sub>

ตัวอย่าง	มอดุลัส (GPa)	ความทนต่อแรงดิ่ง (MPa)	ค่าความเครียด ณ จุดขาด (%)
PSF	1.57 ± 0.07	55.50 ± 6.77	6.47 ± 1.20
PSF+1%B <sub>1.5</sub>	1.81 ± 0.15	55.11 ± 7.95	5.37 ± 0.82
PSF+3%B <sub>1.5</sub>	1.93 ± 0.37	46.76 ± 4.44	5.39 ± 0.59
PSF+5%B <sub>1.5</sub>	2.08 ± 0.26	37.60 ± 5.64	4.06 ± 0.28

ตารางที่ 4.20 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B<sub>1</sub>

ตัวอย่าง	ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง(kJ/m <sup>2</sup> )
PSF	452.89
PSF+1%B <sub>1.5</sub>	474.05
PSF+3%B <sub>1.5</sub>	537.20
PSF+5%B <sub>1.5</sub>	268.49

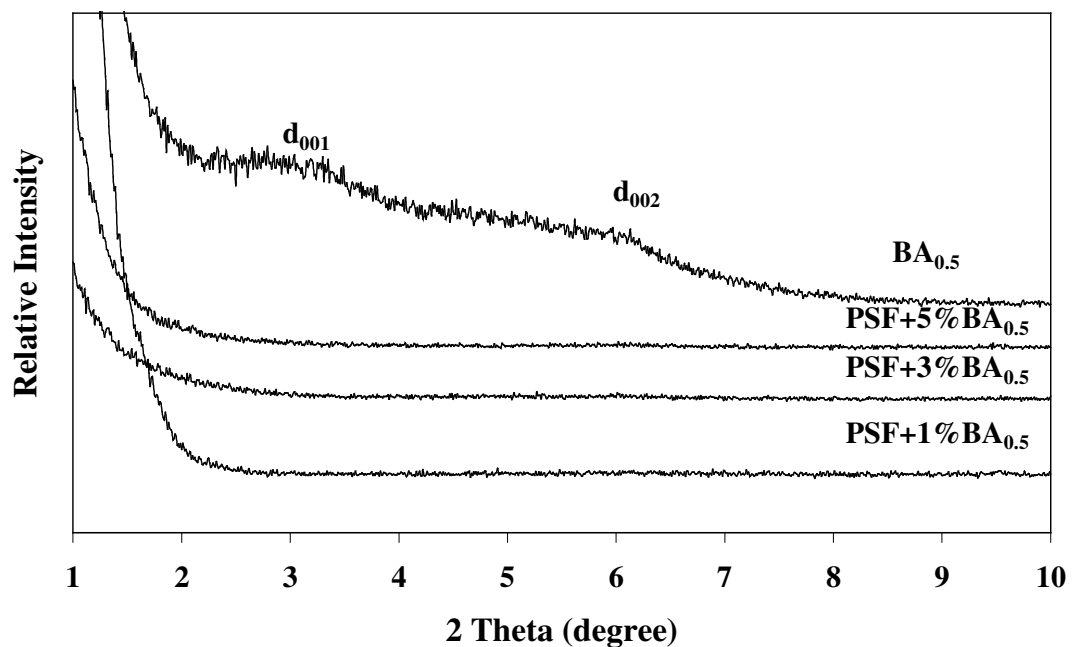
#### 4.4 การตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซิลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ กลุ่ม BA

##### 4.4.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซิลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอม โพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>0.5</sub>

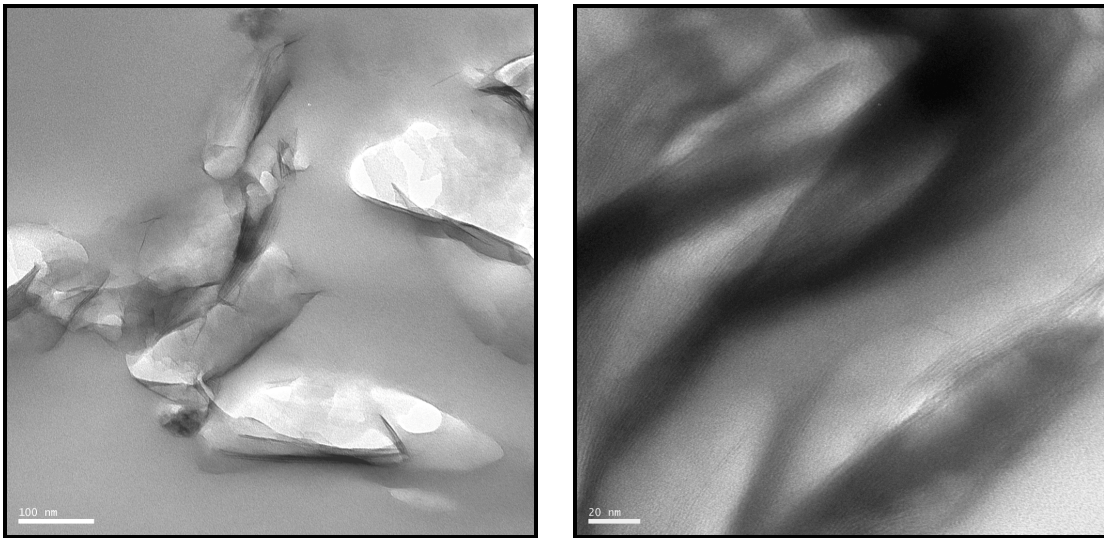
ผลการตรวจสอบค่า d - spacing ของพอลิซิลโฟนนานาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> แสดงในตารางที่ 4.21 และสเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> และพอลิซิลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% แสดงในรูปที่ 4.22 พบว่า เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> ในพอลิซิลโฟนปริมาณ 1%, 3% และ 5% จากการตรวจสอบไม่สามารถหาค่า d - spacing ได้ โดยเครื่อง XRD เป็นการทดสอบโครงสร้างเบื้องต้น สามารถยืนยันผลการตรวจสอบโครงสร้างได้จากเครื่อง TEM เพื่อยืนยันโครงสร้างที่แท้จริงได้ เนื่องจากเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ปริมาณของดินเหนียวในเนื้อพอลิซิลโฟนอาจมีปริมาณน้อยเกินไป ทำให้การตรวจสอบจึงไม่แสดงค่า d - spacing เกิดขึ้น โครงสร้างของพอลิซิลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM โดยใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 29,000 เท่า และ 100,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.24 พบว่า โครงสร้างของชั้นดินเหนียวในเนื้อพอลิซิลโฟนเมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 29,000 เท่า ลักษณะของอนุภาคดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นกลุ่มก้อนเกิดจากชั้นดินเหนียวหลายๆชั้นรวมตัวกันในพอลิซิลโฟน และเมื่อใช้กำลังขยายเพิ่มสูงขึ้นเป็น 100,000 เท่า ลักษณะของชั้นดินเหนียวไม่มีการเปลี่ยนแปลงขยาย d - spacing เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM พบว่า โครงสร้างที่ตรวจสอบได้ไม่สัมพันธ์กัน เนื่องจากการตรวจสอบจากเครื่อง XRD ไม่สามารถหาค่า d - spacing ได้ แต่การตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM สามารถสรุปโครงสร้างของชั้นดินเหนียวได้แบบไมโครคอมโพสิต

ตารางที่ 4.21 ค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ  $BA_{0.5}$  และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $BA_{0.5}$  ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%

ตัวอย่าง	d - spacing, Å		
	$d_{001}$	$d_{002}$	$d_{Avg}$
$BA_{0.5}$	30.40	12.63	27.83
PSF + 1% $BA_{0.5}$	-	-	-
PSF + 3% $BA_{0.5}$	-	-	-
PSF + 5% $BA_{0.5}$	-	-	-



รูปที่ 4.22 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ  $BA_{0.5}$  และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $BA_{0.5}$  ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%

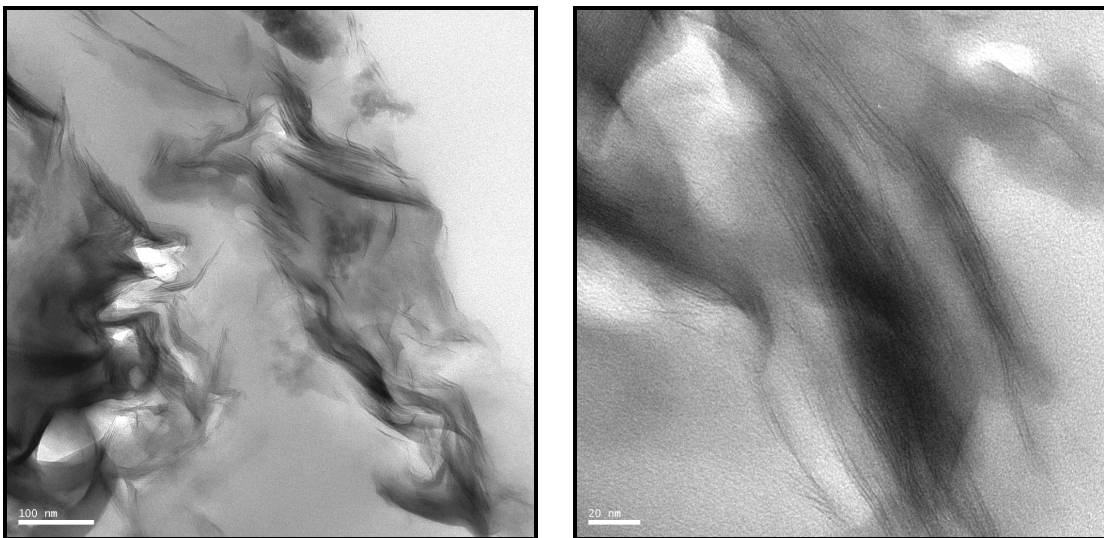


(a)

(b)

รูปที่ 4.23 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+1% BA<sub>0.5</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub>

(a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า

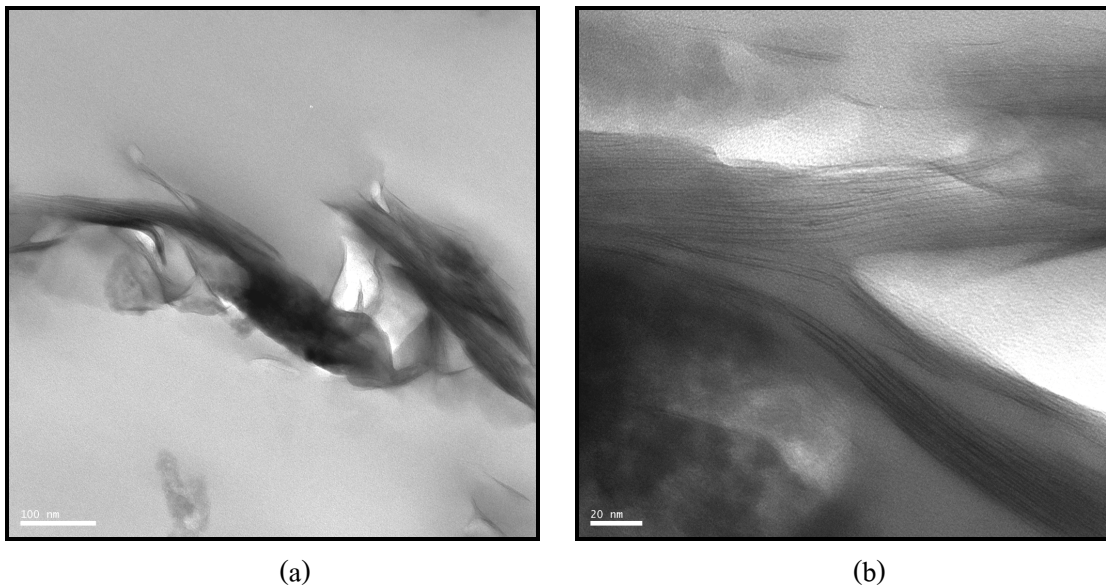


(a)

(b)

รูปที่ 4.24 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% BA<sub>0.5</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub>

(a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า



(a)

(b)

รูปที่ 4.25 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+5% BA<sub>0.5</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub>

(a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า

เมื่อศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึง และสมบัติความทนต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.22 และตารางที่ 4.23 พบว่า ค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 9.55% เมื่อมีการเติมปริมาณดินเหนียวในปริมาณ 1% แต่เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 3% และ 5% จะทำให้ค่ามอดูลัสลดลง การเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>0.5</sub> ในปริมาณ 1% - 5% จะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง น้อยกว่าค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ มีค่าลดลงประมาณ 16.02%, 42.18% และ 45.51% ตามลำดับ ส่วนค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมดินเหนียวในปริมาณมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวที่เป็นกลุ่มก้อนขัดขวางการยืดของสายโซ่โมเลกุลของพอลิซัลโฟนเมื่อมีแรงดึงมากกระทำ ตรงตามรายการการวิจัยของ ดีโลซีเออร์และคณะ เบอร์มิสและคณะ และลูและคณะ (Delozier et al., 2003 ; Burmistr et al., 2005 ; Liu et al., 2003) พบว่า การเติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณมากขึ้นอนุภาคดินเหนียวจะขัดขวางการยืดของสายโมเลกุล ทำให้ค่าความเครียด ณ จุดขาดลดต่ำลง ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 1% - 5% มีค่าลดลง ประมาณ 24.63%, 13.81% และ 14.71% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียว  
ปรับสภาพชนิด BA<sub>0.5</sub>

ตัวอย่าง	มอดุลัส (GPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	ค่าความเครียด ณ จุดขาด (%)
PSF	1.57 ± 0.07	55.50 ± 6.77	6.47 ± 1.20
PSF+1%BA <sub>0.5</sub>	1.72 ± 0.21	46.61 ± 3.48	4.26 ± 2.11
PSF+3%BA <sub>0.5</sub>	1.45 ± 0.04	32.09 ± 2.21	3.35 ± 1.09
PSF+5%BA <sub>0.5</sub>	1.41 ± 0.10	30.24 ± 4.56	4.31 ± 1.12

ตารางที่ 4.23 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่  
เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>0.5</sub>

ตัวอย่าง	ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง(kJ/m <sup>2</sup> )
PSF	452.89
PSF+1%BA <sub>0.5</sub>	341.36
PSF+3%BA <sub>0.5</sub>	390.32
PSF+5%BA <sub>0.5</sub>	386.25

#### 4.4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอม โพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1</sub>

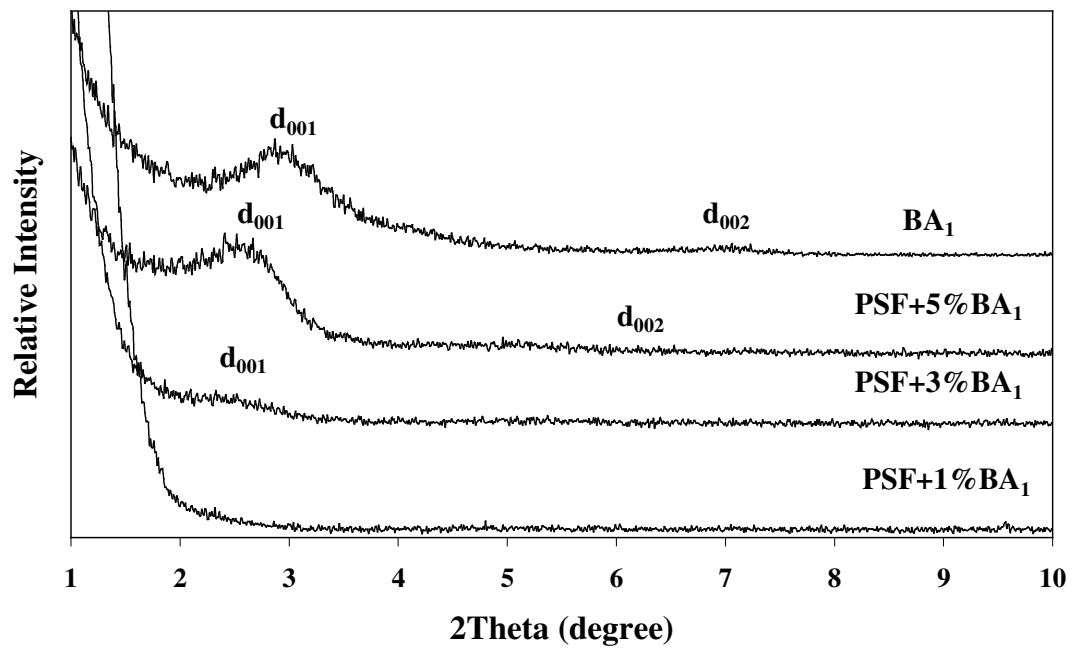
ผลการตรวจสอบค่า d - spacing ของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.24 และสเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> และพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% แสดงในรูปที่ 4.26 พบว่า เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> ในพอลิซัลโฟนปริมาณ 1% จากการตรวจสอบไม่สามารถหาค่า d - spacing ได้ เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% และ 5% พบว่า ค่า d - spacing มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่า d - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> สามารถยืนยันผลการตรวจสอบโครงสร้างได้จากเครื่อง TEM เพื่อยืนยันโครงสร้างที่แท้จริงได้ เนื่องจากเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ปริมาณของดินเหนียวในเนื้อพอลิซัลโฟนอาจมีปริมาณน้อยเกินไป ทำให้การตรวจสอบจึงไม่แสดงค่า d - spacing เกิดขึ้น โครงสร้างของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียว



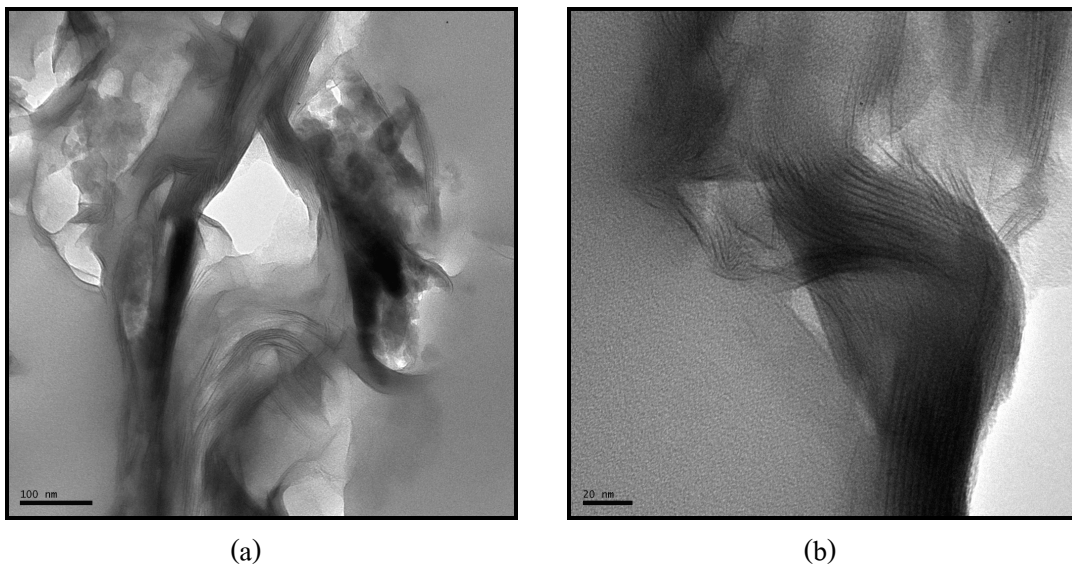
ปรับสภาพ  $BA_1$  ในปริมาณ 3% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM โดยใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 29,000 เท่า และ 100,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.26 พบว่า โครงสร้างของชั้นดินเหนียวในเนื้อ พอลิซัลโฟนเมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 29,000 เท่า ลักษณะของอนุภาคดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นกลุ่มก้อนเกิดจากชั้นดินเหนียวหลายๆชั้นรวมตัวกันในพอลิซัลโฟน และเมื่อใช้กำลังขยายเพิ่มสูงขึ้นเป็น 100,000 เท่า ลักษณะของชั้นดินเหนียวไม่มีการเปลี่ยนแปลงขยาย  $d - spacing$  เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM พบว่า โครงสร้างที่ตรวจสอบได้สัมพันธ์กัน เนื่องจากการตรวจสอบจากเครื่อง XRD สามารถหาค่า  $d - spacing$  ได้ระยะห่างระหว่างชั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อยืนยันโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM สามารถสรุปโครงสร้างของชั้นดินเหนียวได้แบบไมโครคอมโพสิต

ตารางที่ 4.24 ค่า  $d - spacing$  ของดินเหนียวปรับสภาพ  $BA_1$  และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ  $BA_1$  ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%

ตัวอย่าง	$d - spacing, \text{\AA}$		
	$d_{001}$	$d_{002}$	$d_{Avg}$
$BA_1$	29.79	15.36	30.26
PSF+1% $BA_1$	-	-	-
PSF+3% $BA_1$	-	35.66	35.66
PSF+5% $BA_1$	34.88	17.48	34.92



รูปที่ 4.26 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%



รูปที่ 4.27 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% BA<sub>1</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub>  
(a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า

เมื่อศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึง และสมบัติความทนต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.25 และตารางที่ 4.26 พบว่า ค่ามอดูลัสมีค่าใกล้เคียงกับค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ การเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 1% - 5% จะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลงน้อยกว่าค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์มีค่าลดลงประมาณ 20.72%, 32.22% และ 34.76% ตามลำดับ ส่วนค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมดินเหนียวในปริมาณมากขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 1% - 3% มีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน แต่เมื่อเติมดินเหนียวในปริมาณมากขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งมีค่าลดลงประมาณ 15.21%

ตารางที่ 4.25 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1</sub>

ตัวอย่าง	มอดูลัส (GPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	ค่าความเครียด ณ จุดขาด (%)
PSF	1.57 ± 0.07	55.50 ± 6.77	6.47 ± 1.20
PSF+1%BA <sub>1</sub>	1.65 ± 0.15	44.01 ± 1.29	4.45 ± 0.68
PSF+3%BA <sub>1</sub>	1.58 ± 0.09	37.62 ± 6.11	3.31 ± 1.10
PSF+5%BA <sub>1</sub>	1.52 ± 0.11	36.21 ± 3.58	3.87 ± 1.87

ตารางที่ 4.26 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1</sub>

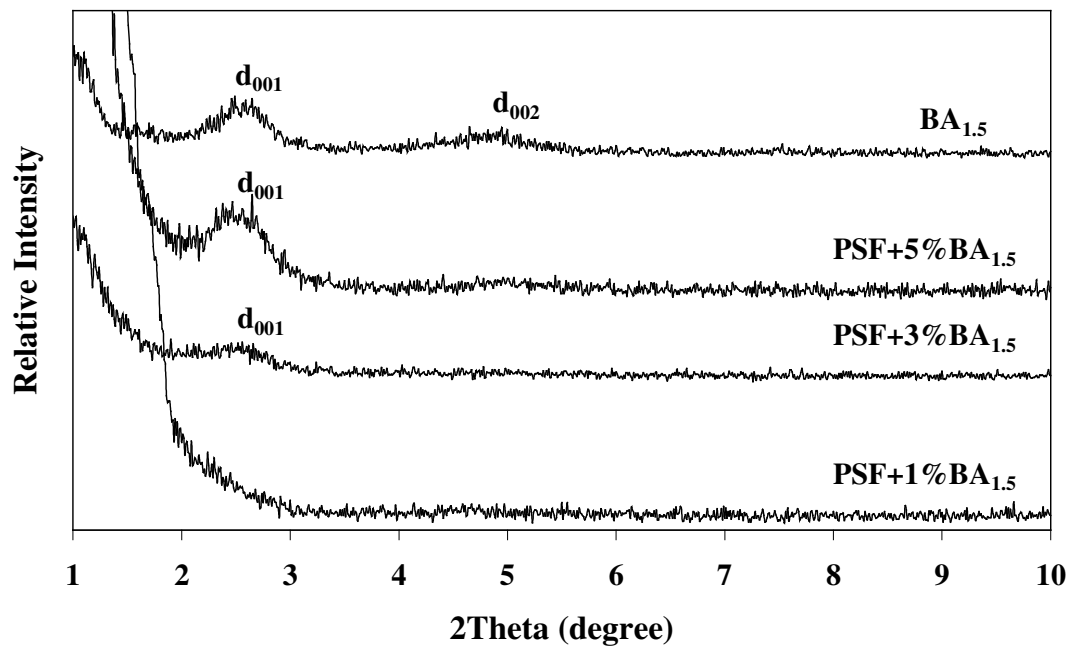
ตัวอย่าง	ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง(kJ/m <sup>2</sup> )
PSF	452.89
PSF+1%BA <sub>1</sub>	420.82
PSF+3%BA <sub>1</sub>	496.58
PSF+5%BA <sub>1</sub>	384.12

#### 4.4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1.5</sub>

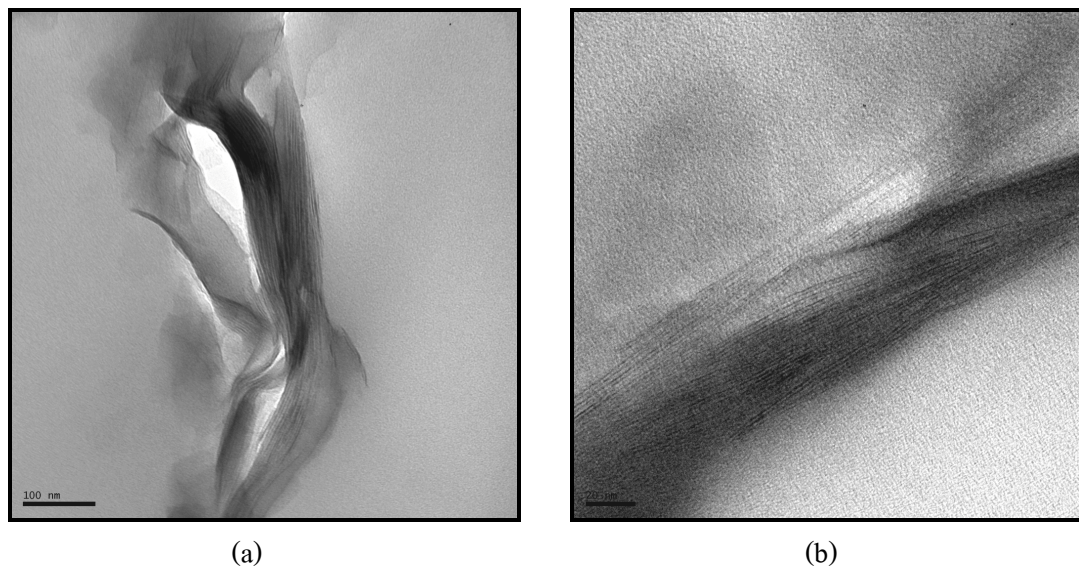
ตรวจสอบค่า  $d$  – spacing ของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> แสดงในตารางที่ 4.27 และสเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> และพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% แสดงในรูปที่ 4.28 พบว่า เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> ในพอลิซัลโฟนปริมาณ 1% จากการตรวจสอบไม่สามารถหาค่า  $d$  - spacing ได้ ปริมาณ 3% และ 5% พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $d$  - spacing เกิดขึ้น เนื่องจาก  $d$  - spacing ที่ตรวจสอบได้มีค่าใกล้เคียงกับ  $d$  - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> สามารถยืนยันผลการตรวจสอบโครงสร้างได้จากเครื่อง TEM เพื่อยืนยันโครงสร้างที่แท้จริงได้ เนื่องจากเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง XRD ปริมาณของดินเหนียวในพอลิซัลโฟนอาจมีปริมาณน้อยเกินไป ทำให้การตรวจสอบจึงไม่แสดงค่า  $d$  – spacing เกิดขึ้น โครงสร้างของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> ในปริมาณ 3% เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง TEM โดยใช้กำลังขยายต่างกัน คือ 29,000 เท่า และ 100,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.29 พบว่า โครงสร้างของชั้นดินเหนียวในพอลิซัลโฟนเมื่อใช้กำลังขยายในการตรวจสอบเท่ากับ 29,000 เท่า ลักษณะของอนุภาคดินเหนียวมีโครงสร้างเป็นกลุ่มก้อนเกิดจากชั้นดินเหนียวหลายๆชั้นรวมตัวกันในพอลิซัลโฟน และเมื่อใช้กำลังขยายเพิ่มสูงขึ้นเป็น 100,000 เท่า ลักษณะของชั้นดินเหนียวไม่มีการเปลี่ยนแปลงขยาย  $d$  – spacing เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างจากเครื่อง XRD และ TEM พบว่า โครงสร้างที่ตรวจสอบได้สัมพันธ์กัน เนื่องจากการตรวจสอบจากเครื่อง XRD สามารถหาค่า  $d$  – spacing ได้ ระยะห่างระหว่างชั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อยืนยันโครงสร้างด้วยเครื่อง TEM สามารถสรุปโครงสร้างของชั้นดินเหนียวได้แบบไม่โครคอมโพสิต

ตารางที่ 4.27 ค่า  $d$  - spacing ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%

ตัวอย่าง	$d$ – spacing, Å		
	$d_{001}$	$d_{002}$	$d_{Avg}$
BA <sub>1.5</sub>	34.64	18.06	35.38
PSF+1%BA <sub>1.5</sub>	-	-	-
PSF+3%BA <sub>1.5</sub>	34.75	-	34.75
PSF+5%BA <sub>1.5</sub>	35.40	-	35.40



รูปที่ 4.28 สเปกตรัม XRD ของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> และพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> ในปริมาณ 1%, 3% และ 5%



รูปที่ 4.29 ภาพถ่าย TEM ของ PSF+3% BA<sub>1.5</sub> แสดงชั้นของดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub>  
(a) กำลังขยาย 29,000 เท่า (b) กำลังขยาย 100,000 เท่า

เมื่อศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึง และสมบัติความทนต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.28 และตารางที่ 4.29 พบว่า ค่ามอดุลัสมีค่าใกล้เคียงกับค่ามอดุลัสของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ การเติมดินเหนียวปรับสภาพ BA<sub>1.5</sub> ในปริมาณ 1% - 5% จะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลงน้อยกว่าค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์มีค่าลดลงประมาณ 11.77%, 24.11% และ 30.20% ตามลำดับ ส่วนค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมดินเหนียวในปริมาณมากขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 1% - 3% มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน

ตารางที่ 4.28 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1.5</sub>

ตัวอย่าง	มอดุลัส (GPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	ค่าความเครียด ณ จุดขาด (%)
PSF	1.57 ± 0.07	55.50 ± 6.77	6.47 ± 1.20
PSF+1%BA <sub>1.5</sub>	1.74 ± 0.18	48.97 ± 3.21	4.89 ± 1.24
PSF+3%BA <sub>1.5</sub>	1.64 ± 0.09	42.12 ± 4.45	3.74 ± 1.56
PSF+5%BA <sub>1.5</sub>	1.58 ± 0.17	38.74 ± 2.71	3.60 ± 2.01

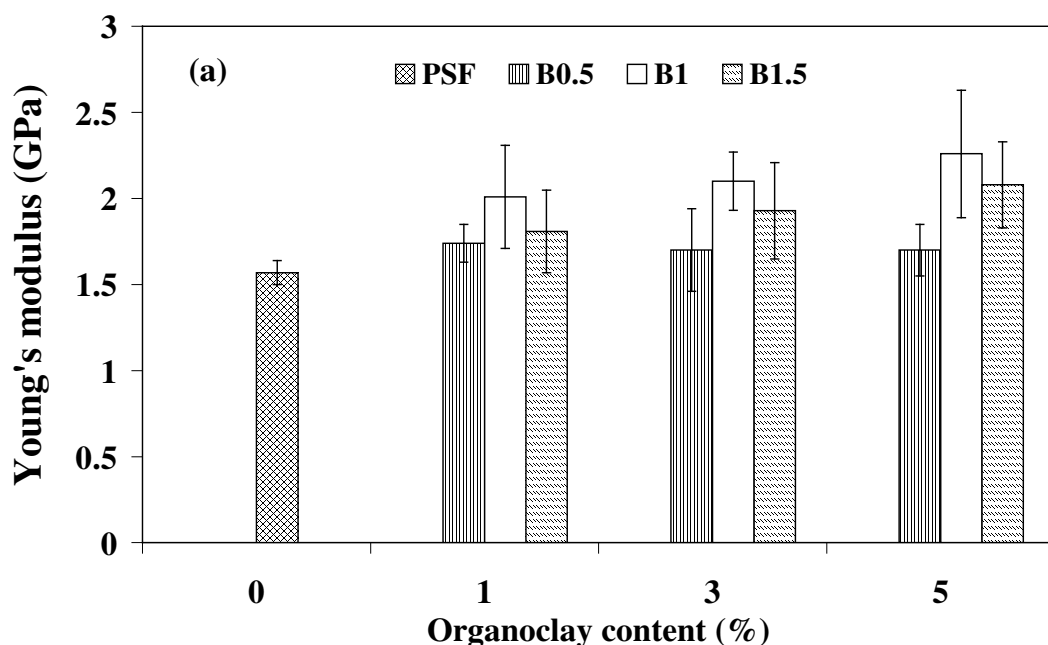
ตารางที่ 4.29 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1.5</sub>

ตัวอย่าง	ความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง(kJ/m <sup>2</sup> )
PSF	452.89
PSF+1%BA <sub>1.5</sub>	415.11
PSF+3%BA <sub>1.5</sub>	396.21
PSF+5%BA <sub>1.5</sub>	250.78

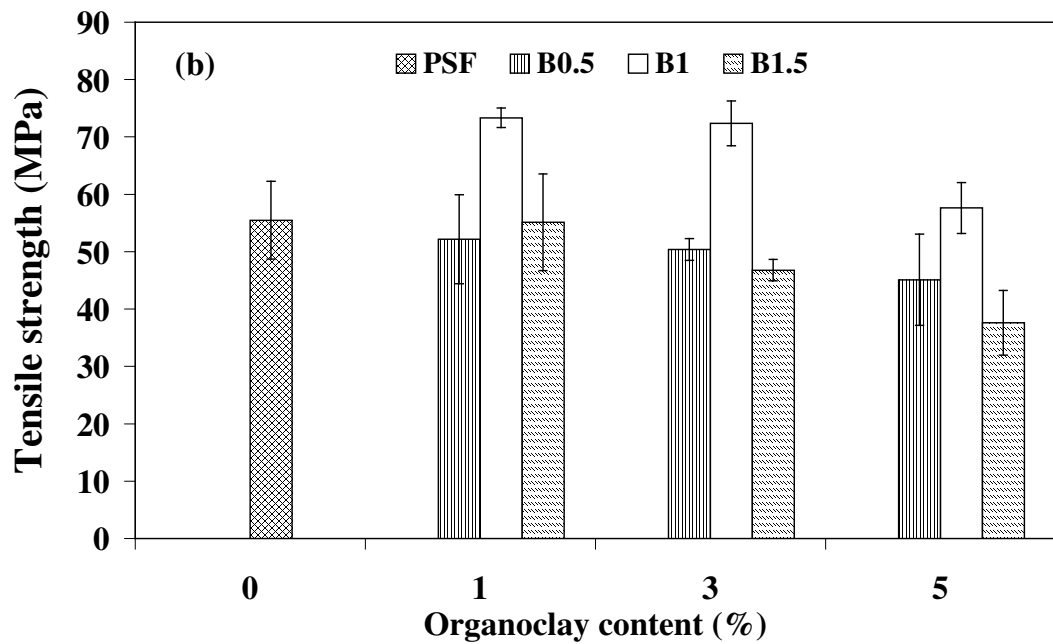
#### 4.5 เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต

##### 4.5.1 เปรียบเทียบความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B

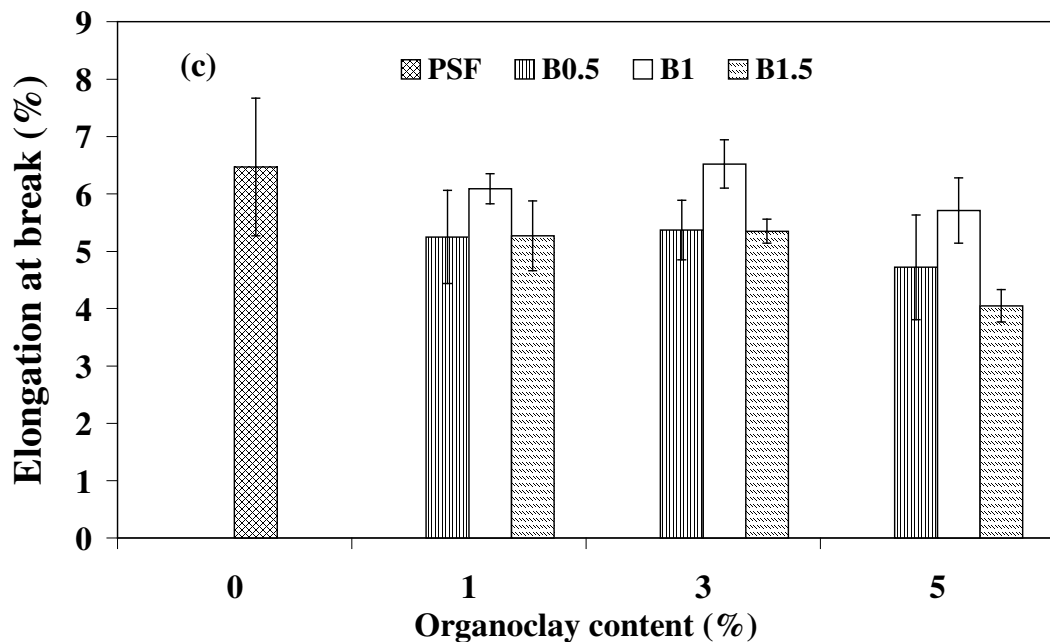
เปรียบเทียบค่ามอดูลัส ค่าความทนต่อแรงดึง และค่าความเครียด ณ จุดขาด ของพอลิซัลโฟน- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% แสดงในรูปที่ 4.30 - 4.32 พบว่า ค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวกลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีเติมปริมาณดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณมากขึ้น ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวทั้ง 3 ชนิด พบว่าพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 1 – 3% จะมีค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มสูงสุด ส่วนพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>0.5</sub> และ B<sub>1.5</sub> มีค่าความทนต่อแรงดึงลดต่ำลงเมื่อมีปริมาณดินเหนียวเพิ่มสูงขึ้น และค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิด มีค่าลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ สาเหตุเนื่องจากอนุภาคดินเหนียวขัดขวางการยึดของพอลิซัลโฟนเมื่อถูกแรงดึง



รูปที่ 4.30 ค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 4.31 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียว  
ปรับสภาพกลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิด

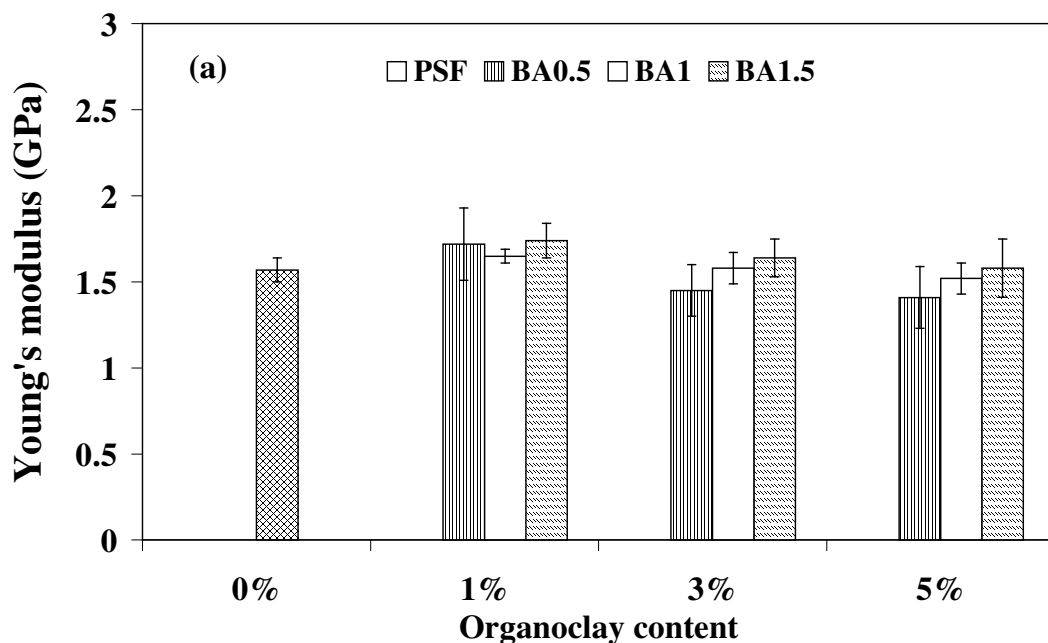


รูปที่ 4.32 ค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียว  
ปรับสภาพกลุ่ม B ทั้ง 3 ชนิด

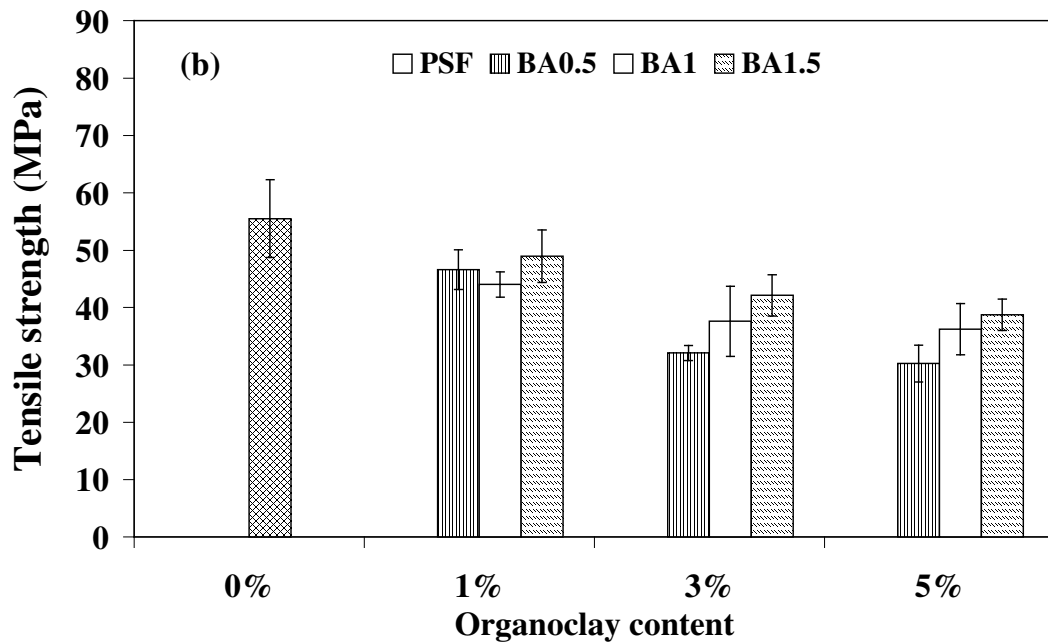


#### 4.5.2 เปรียบเทียบความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA

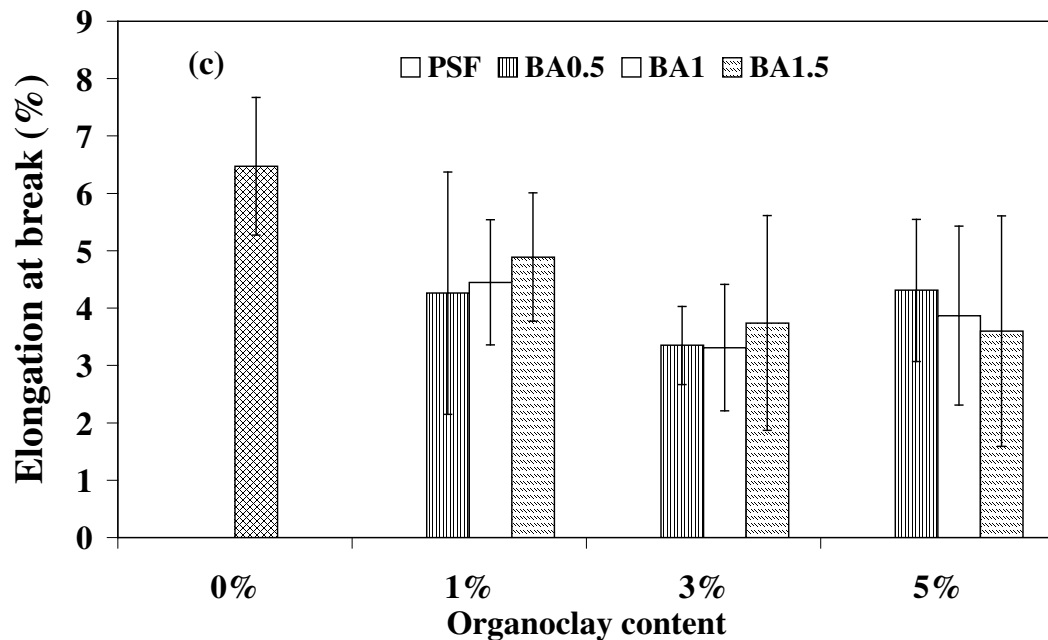
เปรียบเทียบค่ามอดูลัส ค่าความทนต่อแรงดึง และค่าความเครียด ณ จุดขาด ของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ในปริมาณ 1%, 3% และ 5% แสดงในรูปที่ 4.33 - 4.35 พบว่า ค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกับค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวทั้ง 3 ชนิด มีค่าความทนต่อแรงดึงลดลง และค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ สาเหตุเนื่องจากอนุภาคดินเหนียวขัดขวางการยึดของพอลิซัลโฟนเมื่อถูกแรงดึง



รูปที่ 4.33 ค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด



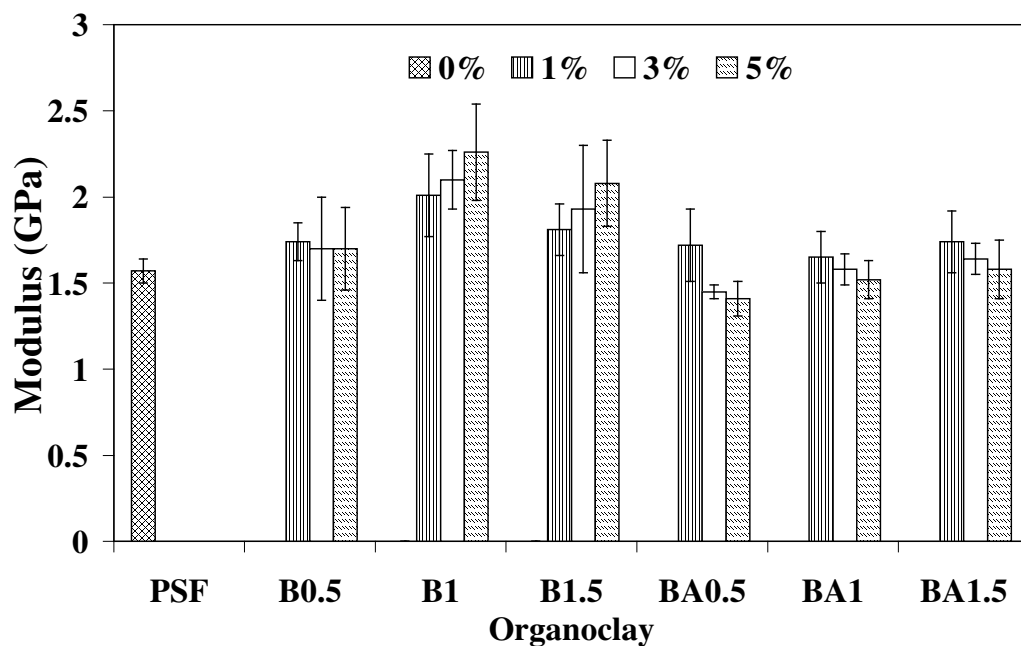
รูปที่ 4.34 ค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด



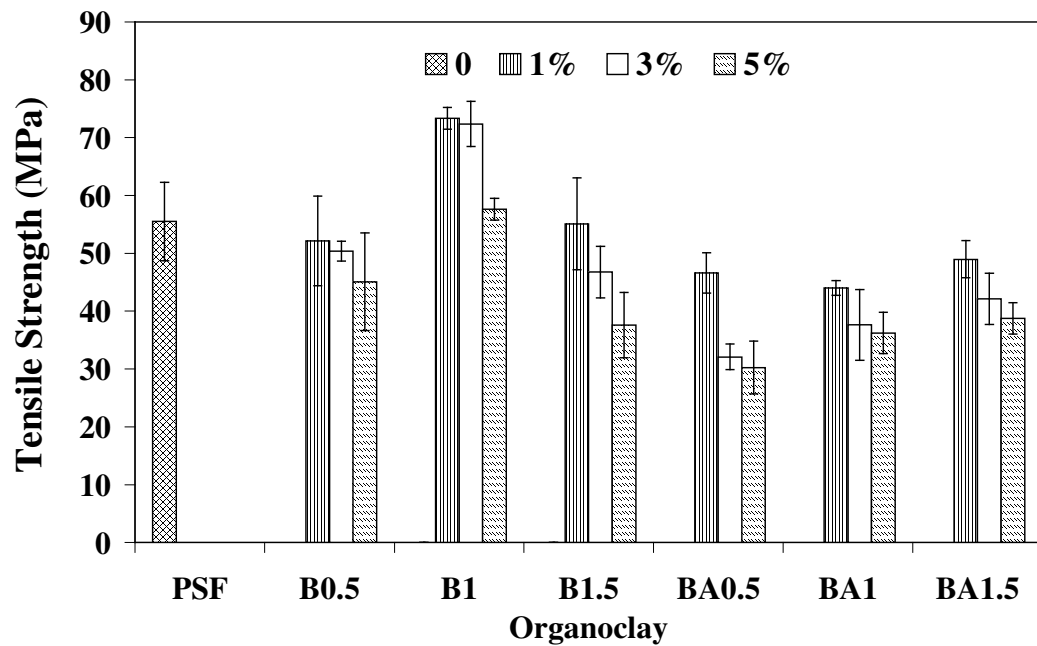
รูปที่ 4.35 ค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ทั้ง 3 ชนิด

#### 4.5.3 เปรียบเทียบสมบัติความทนต่อแรงดึงระหว่างพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และกลุ่ม BA

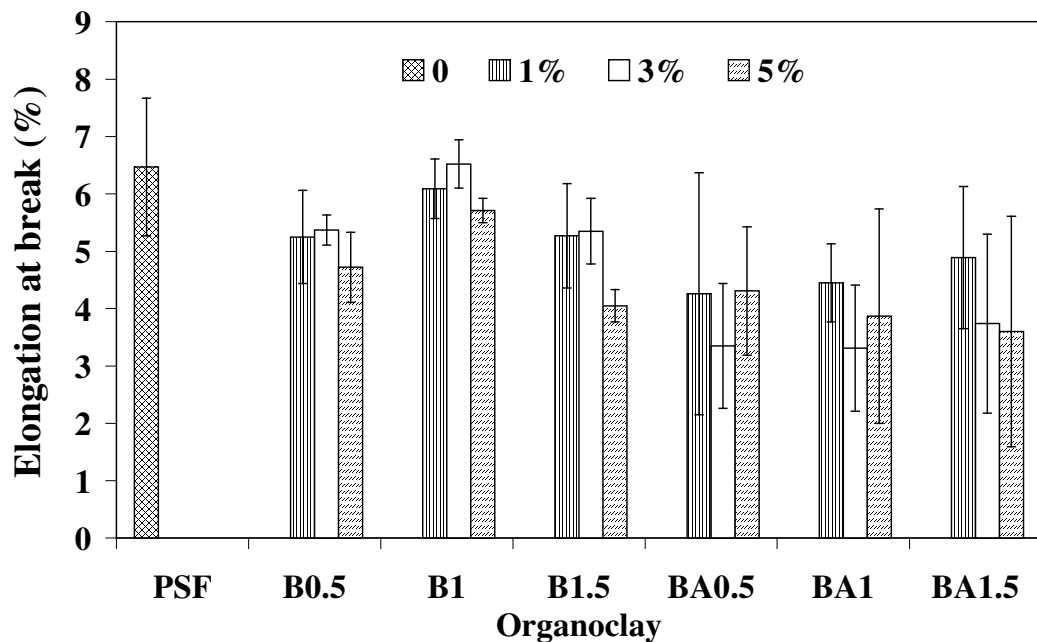
ค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต เปรียบเทียบระหว่างที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ในทุกปริมาณ (1% - 5%) แสดงในรูปที่ 4.36 พบว่า การเติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B จะมีค่ามอดูลัสสูงกว่าค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA ในทุกปริมาณการเติม และมีค่าสูงกว่าค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟนบริสุทธิ์ ส่วนค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA แสดงในรูปที่ 4.37 พบว่า พอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B ในปริมาณ 1% - 3% จะให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ในปริมาณอื่นๆ แสดงว่าการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณต่ำๆ (1% - 3%) ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความเครียด ณ จุดขาด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA แสดงในรูปที่ 4.38 พบว่า ค่าความเครียด ณ จุดขาดลดลง เมื่อมีการเติมดินเหนียวปรับสภาพทั้งสองชนิดลงไปในพอลิซัลโฟน



รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA



รูปที่ 4.37 เปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA

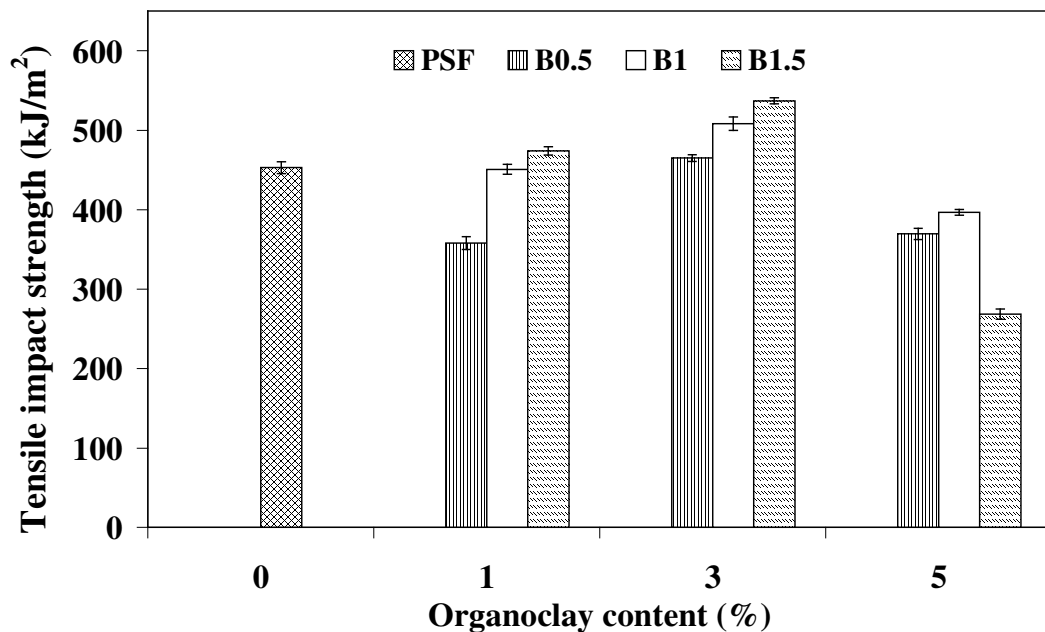


รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบค่าความเครียด ณ จุดขาดของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA

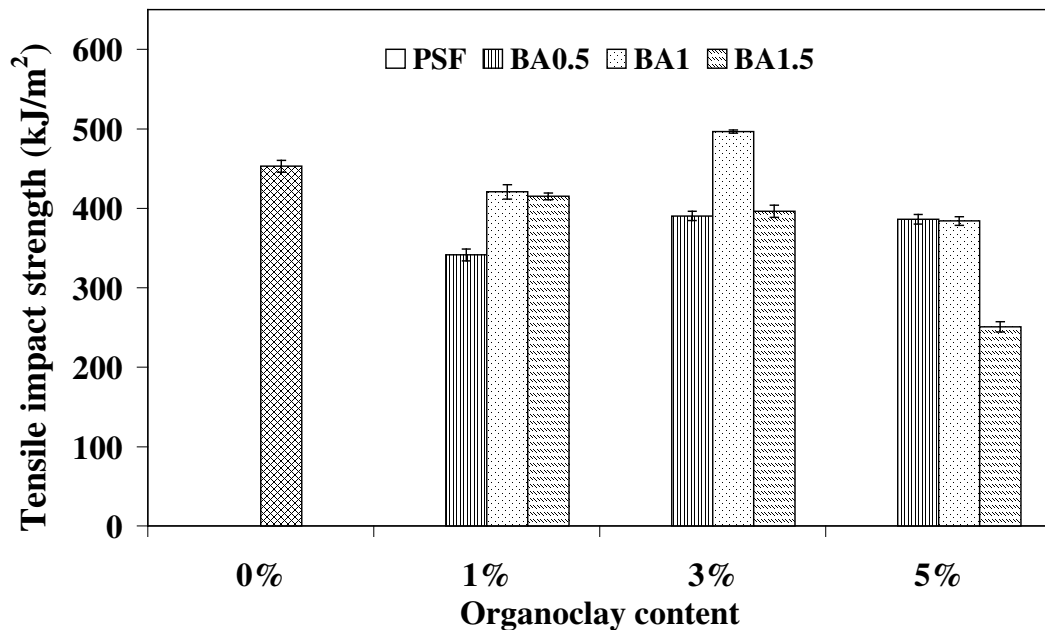
#### 4.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่ง

เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B แสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.39 พบว่า การเติมดินเหนียวปรับสภาพทั้งสามชนิดในปริมาณ 1% และ 5% จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งลดลง แต่การเติมดินเหนียวปรับสภาพในปริมาณ 3% ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1.5</sub> ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA แสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.40 พบว่า พอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งลดต่ำลง ยกเว้นพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งระหว่างพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวชนิด B และ BA แสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.39 – 4.40 พบว่า พอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด BA ในทุกปริมาณ



รูปที่ 4.39 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดิ่งของพอลิซัลโฟน- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B



รูปที่ 4.40 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิซัลโฟน- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม BA

#### 4.7 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราฟิมेटริก

ผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนเกี่ยวกับน้ำหนักที่หายไปของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตเมื่อให้ความร้อนในปริมาณสูงภายใต้การไหลเวียนของก๊าซ N<sub>2</sub> แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.41 พบว่า อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้เมื่อน้ำหนักของพอลิซัลโฟนหายไป 5%, 10% และ 50% เท่ากับ 245°C, 529°C และ 561°C ตามลำดับ เมื่อมีการเติมดินเหนียวปรับสภาพชนิด B<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% T<sub>5</sub> มีค่าสูงสุดเท่ากับ 523°C ซึ่งตรงกับรายงานการวิจัยของนักวิจัยท่านอื่นๆ พบว่า การเติมดินเหนียวปรับสภาพจะช่วยทำให้สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตเพิ่มสูงขึ้น (Yang *et al.*, 1999; Zhang *et al.*, 2004; Qin *et al.*, 2003) โดยอนุภาคดินเหนียวจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้ช้าลง เพราะชั้นของดินเหนียวจะขัดขวางการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน (Sur *et al.*, 2001) ส่วนอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้เมื่อน้ำหนักของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตหายไป 10% และ 50% พบว่า ค่าอุณหภูมิที่ตรวจสอบได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิพอลิซัลโฟน สาเหตุเนื่องจากพอลิซัลโฟนมีสมบัติเฉพาะตัวทางความร้อนสูง ดังนั้นจึงไม่ทำให้ค่าความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟน- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักหายไป 10% และ 50%

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเถ้าที่เหลือของพอลิซัลโฟนและพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 800°C พบว่า ปริมาณเถ้าที่เหลือของพอลิซัลโฟน- ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 1% 3% และ 5% จะมีปริมาณเถ้ามากกว่าของพอลิซัลโฟน เพราะมีดินเหนียวปรับสภาพเป็นองค์ประกอบใน โครงสร้าง ทำให้มีปริมาณเถ้าสูงกว่าปริมาณเถ้าของพอลิซัลโฟน

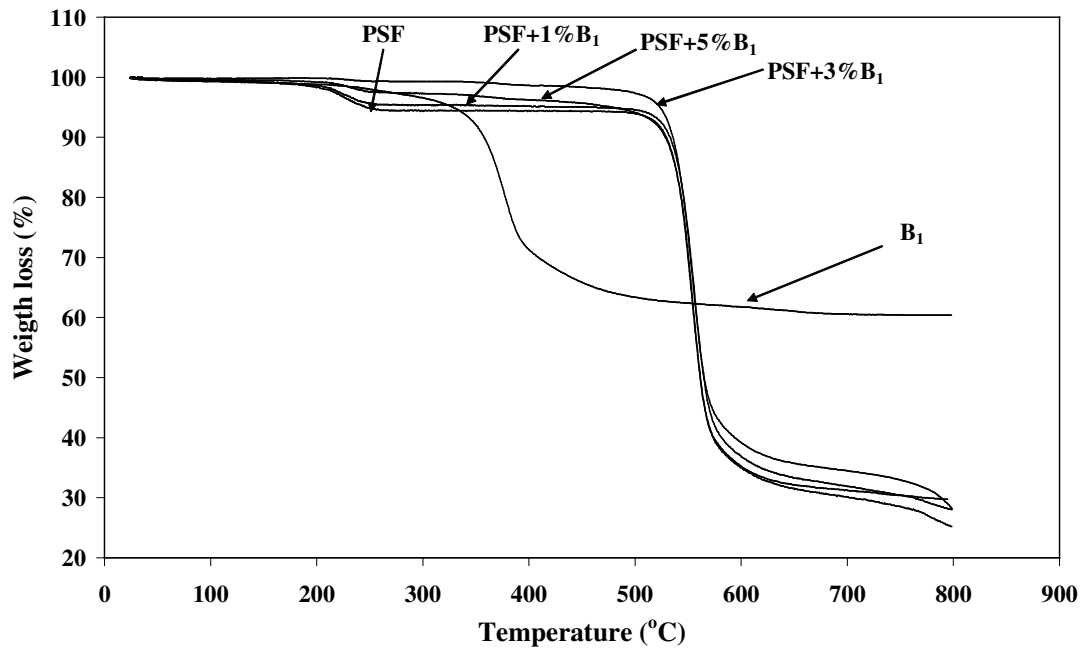
เมื่อเปรียบเทียบพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวชนิด B<sub>1</sub> และ BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% ในตารางที่ 4.31 และรูปที่ 4.42 พบว่า การเติมดินเหนียวชนิด B<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% จะมีค่าความเสถียรทางความร้อนสูงกว่าการเติมดินเหนียวชนิด BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 3% อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้เมื่อน้ำหนักของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตหายไป 5% ของการเติมดินเหนียวชนิด B<sub>1</sub> มีค่าเท่ากับ 523°C ในขณะที่อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้เมื่อน้ำหนักของพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตหายไป 5% ของการเติมดินเหนียวชนิด BA<sub>1</sub> มีค่าเท่ากับ 439°C ดังนั้นการเติมดินเหนียวชนิดปรับสภาพชนิด B<sub>1</sub> จะทำให้พอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตมีความเสถียรทางความร้อนสูงกว่าดินเหนียวชนิด BA<sub>1</sub>

ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> ในปริมาณ 0%, 1%, 3% และ 5%

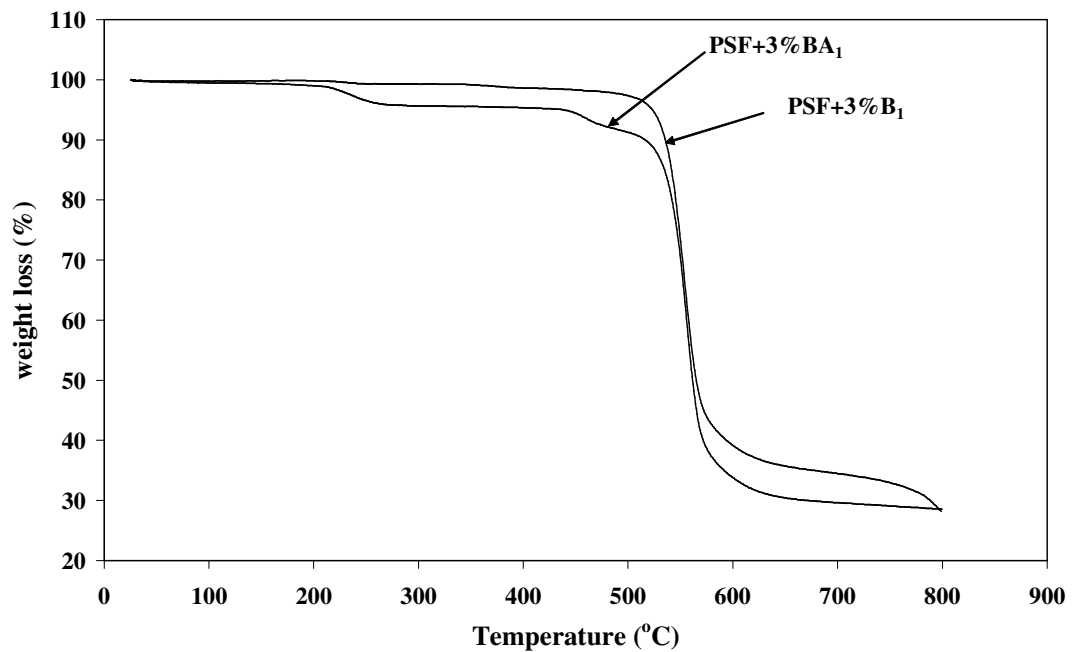
ปริมาณ B <sub>1</sub> (%)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>10</sub> (°C)	T <sub>50</sub> (°C)	ปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิ 800°C (%)
0	245	529	561	25
1	464	533	564	28
3	523	535	564	28
5	478	528	561	29

ตารางที่ 4.31 ผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ B<sub>1</sub> และ BA<sub>1</sub> ในปริมาณ 3%

ตัวอย่าง	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>10</sub> (°C)	T <sub>50</sub> (°C)	ปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิ 800°C (%)
PSF+3%B <sub>1</sub>	523	535	564	28
PSF+3%BA <sub>1</sub>	439	515	561	28



รูปที่ 4.41 เทอร์โมแกรมความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟนที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  ในปริมาณ 0%, 1%, 3% และ 5%



รูปที่ 4.42 เทอร์โมแกรมความเสถียรทางความร้อนของพอลิซัลโฟนที่มีการเติมดินเหนียวปรับสภาพ  $B_1$  และ  $BA_1$  ในปริมาณ 3%



#### 4.8 ผลการทดสอบความต้านทานต่อสารเคมี

ผลการทดสอบความต้านทานสารเคมี ทดสอบเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพอลิซัลโฟนที่มีการเติมดินเหนียวก่อนและหลังการเติมดินเหนียว เพื่อตรวจสอบว่าการเติมดินเหนียวมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของพอลิซัลโฟนหรือไม่ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.32 พบว่า แผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนนาโนคอมโพสิตที่เติมดินเหนียวปรับสภาพทั้งสองชนิด เมื่อตรวจสอบความต้านทานสารเคมีของพอลิซัลโฟนและพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตกับตัวทำละลายต่างๆ ประกอบด้วยตัวทำละลาย คือ เอทานอล กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20% และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ตัวทำละลายที่มีขี้จะทำให้พอลิซัลโฟนและพอลิซัลโฟนนาโนคอมโพสิตสามารถเกิดการบวมตัวและละลายได้ แต่ตัวทำละลายที่มีขี้้น้อยลงพอลิซัลโฟนและพอลิซัลโฟน - ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตไม่สามารถเกิดการบวมตัวและละลายได้ สามารถสรุปได้ว่าดินเหนียวปรับสภาพไม่ได้ส่งผลให้สมบัติความต้านทานสารเคมีของพอลิซัลโฟนเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4.32 ความต้านทานสารเคมีของพอลิซัลโฟน – ดินเหนียวนาโนคอมโพสิต

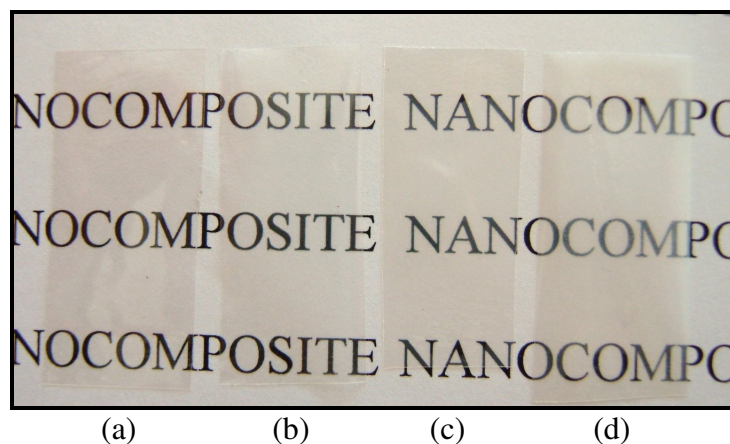
ตัวอย่าง	สารเคมี		
	NaOH	Ethanol	Sulfuric acid (20%)
PSF	A	E	E
PSF+1%B <sub>0.5</sub>	A	E	E
PSF+3%B <sub>0.5</sub>	A	E	E
PSF+5%B <sub>0.5</sub>	A	E	E
PSF+1%B <sub>1</sub>	A	E	E
PSF+3%B <sub>1</sub>	A	E	E
PSF+5%B <sub>1</sub>	A	E	E
PSF+1%B <sub>1.5</sub>	A	E	E
PSF+3%B <sub>1.5</sub>	A	E	E
PSF+5%B <sub>1.5</sub>	A	E	E

หมายเหตุ : E = ไม่มีการเปลี่ยนแปลง, A = ละลาย

#### 4.9 การตรวจสอบลักษณะความโปร่งใส

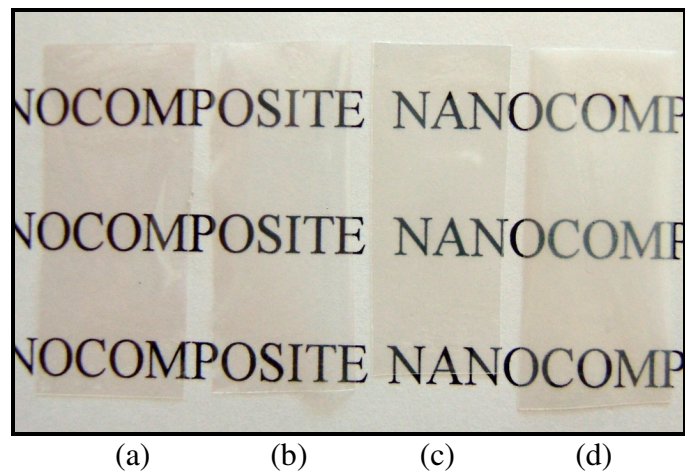
โครงสร้างของพอลิซัลโฟนเป็นแบบอสัณฐานจะมีความโปร่งใสสูง เมื่อนำมาเตรียมพอลิเมอร์ – ดินเหนียวคอมโพสิต สมบัติความโปร่งใสไม่ควรเปลี่ยนแปลงไป เพราะดินเหนียวอนโทโมริตไลต์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากในระดับนาโน ดังนั้นเมื่อผสมเข้าไปภายในเนื้อพอลิซัลโฟนแบบอสัณฐาน ถ้าโครงสร้างมีการจัดเรียงตัวแบบอินเทอร์คัลเลชันและไมโครคอมโพสิตชั้นดินเหนียวยังคงจัดเรียงโครงสร้างเป็นชั้นๆซ้อนทับกัน เมื่อแสงส่องผ่านตัวอย่างจะมีการกระเจิงของแสงเกิดขึ้นทำให้ความโปร่งใสของวัสดุลดต่ำลง วัสดุประเภทนี้ยังคงมองเห็นได้แต่ความโปร่งใสไม่เหมือนเดิม เรียกการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ว่า โปร่งแสง (translucent)

การเติมดินเหนียวปรับสภาพกลุ่ม B และ BA ทุกชนิด ในพอลิซัลโฟน พบว่า จะมีลักษณะแบบโปร่งแสง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิซัลโฟนที่ไม่มีการเติมดินเหนียว ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนและแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนที่เติมดิน

เหนียวปรับสภาพชนิด B<sub>1</sub> (a) PSF, (b) PSF+1%B<sub>1</sub>, (c) PSF+3%B<sub>1</sub> และ (d) PSF+5%B<sub>1</sub>



รูปที่ 4.44 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพอลิซัลโฟนและแผ่นฟิล์มโพลิซัลโฟนที่เติมดินเหนียวปรับสภาพ (a) PSF, (b) PSF+3%B<sub>0.5</sub>, (c) PSF+3%B<sub>1</sub> และ (d) PSF+5%B<sub>1.5</sub>