



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนสังเคราะห์จากแหล่ง
แร่ธรรมชาติเพื่อการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาดแบบนาโนคอมพอสิต

Electrical property-investigation of porous clay heterostructures derived
from naturally-occurring clay minerals for smart packaging
nanocomposite applications

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หทัยกานต์ มั่นสปียะ

รองศาสตราจารย์ ดร. รัตน์วรรณ มกรพันธุ์

นางสาว กรกมล ศรีธรรมราช

30 มิถุนายน 2551

สัญญาเลขที่ MRG4980024

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนสังเคราะห์จากแหล่ง
แร่ธรรมชาติเพื่อการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาดแบบนาโนคอมพอสิต

Electrical property-investigation of porous clay heterostructures derived
from naturally-occurring clay minerals for smart packaging
nanocomposite applications

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หทัยกานต์ มนัสปิยะ
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยทุนอุดหนุนการวิจัย ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน สังเคราะห์จากแหล่งแร่ธรรมชาติเพื่อการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาดแบบนาโนคอมพอสิต” ของทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย รหัส MRG4980024

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG4980024

ชื่อโครงการ : การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนสังเคราะห์จากแหล่งแร่ธรรมชาติ เพื่อการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาดแบบนาโนคอมโพสิต

ชื่อนักวิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หทัยกานต์ มนัสปิยะ

E-mail Address : hathaikarn.m@chula.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 2 ปี

ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุนพร้อมทั้งการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์ถูกเตรียมขึ้นจากการแทรกตัวของสารลดแรงตึงผิว(CTAB) ระหว่างชั้นดินโซเดียมเบนโทไนต์ ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุนพร้อมทั้งการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์เป็นวัสดุที่น่าสนใจตัวหนึ่งในการใช้เป็นระบบดักจับ เช่น ตัวดักจับก๊าซเอธิลีน เนื่องจากพื้นที่ผิวสูงและรูพรุนที่มีขนาดเฉพาะ ในงานวิจัยนี้ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน(PCH) จะถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในชั้นดินเหนียวของโซเดียมเบนโทไนต์โดยจะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันของเตตระเอธอกซีไฮดรอกซีเลน(TEOS) รอบๆไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์(HPCH) สามารถสังเคราะห์ได้จากวิธีการควบแน่นของ TEOS และหมู่ฟังก์ชันไทออล (MPPCH) เพื่อปรับให้ดินเหนียวมีความสามารถในการนำไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับการตรวจสอบ ทั้งนี้ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างทั้ง 2 แบบได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวดักจับก๊าซเอธิลีนและนำมาผสมกับพอลิพรอพิลีนสำหรับใช้เป็นฟิล์มดักจับก๊าซเอธิลีนในบรรจุภัณฑ์อาหารและยังมีการประเมินผลด้านการนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มดินเหนียวนาโนคอมโพสิตเมื่อมีการดูดซับก๊าซเอธิลีนอีกด้วย จากการศึกษาการเกิดโครงสร้างรูพรุนด้วยเทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจนพบว่าดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างรูพรุนมีพื้นที่ผิว 421-551 เมตร²/กรัม, ขนาดรูพรุน 4.79-5.02 นาโนเมตร, และปริมาตรรูพรุน 0.57-0.66 ซีซี/กรัม ขณะที่ดินเหนียวที่มีรูพรุนและถูกดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 533-966 เมตร²/กรัม, 4.28-6.38 นาโนเมตร, และ0.42-0.77 ซีซี/กรัมตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีพื้นที่ผิวมากกว่าเบนโทไนต์ จากการวิเคราะห์การดูดซับก๊าซเอธิลีนพบว่าดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีมีการดักจับก๊าซเอธิลีนมากกว่าเบนโทไนต์เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ชอบน้ำในรูพรุน อีกทั้งเมื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าในนาโนคอมโพสิตฟิล์มพบว่าลดลงหลังจากเกิดปฏิกิริยากับก๊าซเอธิลีน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ฉลาดได้

คำหลัก : ดินเหนียวที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน, ตัวดักจับก๊าซเอธิลีน, ค่านำการไฟฟ้า, บรรจุภัณฑ์ฉลาด

Abstract

Project Code : MRG4980024

Project Title : Electrical property-investigation of porous clay heterostructures derived from naturally-occurring clay minerals for smart packaging nanocomposite applications

Investigator : Asst. Prof. Hathaikarn Manuspiya

E-mail Address : hathaikarn.m@chula.ac.th

Project Period : 2 yr

Porous Clay Heterostructures (PCHs) have been prepared by the surfactant-directed assembly of mesostructured silica within the two-dimensional interlayer galleries of clays. The PCH is an interesting material to use as entrapping system such as ethylene scavenger, owing to its high surface area with uniform and specific pore size. In the present work, the PCH was synthesized within the galleries of Na-bentonite clay by the polymerization of tetraethoxysilane (TEOS) in the presence of surfactant micelles. In addition, mesoporous clay with organic-inorganic hybrid (HPCH) is modified via co-condensation reaction of TEOS with candidate functional groups (thiol group), designated as MPPCH, to enhance surface conductivity of PCH material for sensor packaging. Furthermore, both PCH and HPCH were utilized as ethylene scavenger and blended with polypropylene for producing ethylene scavenging films in food packaging application and also evaluated conductivity of PCH and HPCH/PP nanocomposites. According to pore characterization, PCHs have surface areas of 421-551 m²/g, an average pore diameter in the supermicropore to small mesopore range of 4.79-5.02 nm, and a pore volume of 0.57-0.66 cc/g while HPCHs have surface areas of 533-966 m²/g, an average pore diameter of 4.28-6.38 nm, and a pore volume of 0.42-0.77cc/g. From ethylene adsorption results, PCH, HPCH and MPPCH have higher efficiency to adsorb ethylene gas than those of Bentonite due to the hydrophobic from the modified functional groups. Subsequently, the conductivity of the nanocomposites film decreases when they react with the ethylene gas. It can be said that PCH, HPCH and MPPCH nanocomposite films can be applied in smart packaging and also prolonging the shelf life of fresh fruit product.

Key words: porous clay heterostructure, ethylene scavenger, conductivity, smart packaging

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
หน้าปกรายงานการวิจัย	1
กิตติกรรมประกาศ	2
บทคัดย่อภาษาไทย	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	4
สารบัญเรื่อง	5
สารบัญตาราง	8
สารบัญภาพ	9
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	12
1. รหัสโครงการ	13
2. ชื่อโครงการ	13
3. ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail	13
4. สาขาวิชาที่ทำการวิจัย	13
5. งบประมาณทั้งโครงการ	13
6. ระยะเวลาดำเนินงาน	13
7. ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บางส่วนเพื่อขอทุน ต่อแหล่งอื่นใดบ้าง	14
8. ปัญหาที่ทำการวิจัย และความสำคัญของปัญหา	14

9. วัตถุประสงค์	15
10. ระเบียบวิธีวิจัย	16
11. แผนการดำเนินงาน	17
12. เนื้อหางานวิจัยที่ได้รับ	19-49
- ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อชั้นแร่ดินเหนียว	19
- คุณสมบัติทางด้านความร้อนของดินเหนียวและดินเหนียวที่มีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว	21
- การวิเคราะห์ลักษณะรูพรุน	24
- การศึกษาการกำจัดสารลดแรงตึงผิวออกจากโครงสร้างของดินเหนียว	26
- การศึกษาลักษณะผลึกของพอลิพรอฟิลีนหลังที่มีการผสมดินเหนียวที่มีรูพรุน	32
- การศึกษาปริมาณการซึมผ่านของออกซิเจนบนแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิต	36
- ผลการวิเคราะห์ลักษณะของดินที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้มีรูพรุนและปรับสภาพพื้นผิวด้วยหมู่ฟังก์ชัน	37
- การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของแร่ดินเหนียวที่มีรูพรุนและรูพรุนที่ปรับโครงสร้างแล้ว	39
- การวิเคราะห์การดักจับก๊าซเอธิลีนของแร่ดินเหนียวและดินเหนียวนาโน/พอลิพรอฟิลีน	40
- ลักษณะของผลึกและการเกิดรูปผลึกในดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต	43
- คุณสมบัติทางความร้อนของดินเหนียวนาโนคอมพอสิต	44
- การซึมผ่านของก๊าซเอธิลีนของดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิตฟิล์ม	49

- การตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิต	49
13. อภิปรายผลการทดลองและวิจารณ์ผล	50
14. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	
Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.	

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ตารางเปรียบเทียบระยะห่างของชั้นดินเหนียวของดินเหนียว Na-Montmorillonite (MMT) และ Na-Bentonite (BN) ที่ไม่ได้ถูกดัดแปลง โครงสร้าง และดินเหนียวที่มีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว	19
2	ตารางเปรียบเทียบระยะห่างของชั้นดินของดิน Na-Montmorillonite และ Na-Bentonite ที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน	19
3	แสดงผลข้อมูลเกี่ยวกับรูพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับ ก๊าซไนโตรเจนของ PMH และ PBH ที่ได้จากการกำจัดสารลดแรงตึงผิว ด้วยวิธีการเผา	28
4	แสดงผลข้อมูลเกี่ยวกับรูพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับ ก๊าซไนโตรเจนของ PMH และ PBH ที่ได้จากการกำจัดสารลดแรงตึงผิว ด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย	29
5	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่ของ PMH และ PBH ระหว่างการกำจัดด้วยวิธีการเผาและการสกัดด้วยตัวทำละลาย	32
6	แสดงการเปรียบเทียบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนบนแผ่นฟิล์ม	36
7	แสดงข้อมูลจากการดูดซับไนโตรเจน	40
8	แสดงปริมาณ % ของธาตุต่างๆ ที่อยู่ในดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต ฟิล์ม	41
9	แสดงผลการเกิดผลึกของ PP และ ดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต	45
10	คุณสมบัติทางความร้อน ของ PP และ สัดส่วนต่างๆของดินเหนียวที่มีรูพรุน	48
11	การส่งผ่านของปริมาณก๊าซเอธิลีน ของ PP and ดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิตฟิล์ม	49

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	แสดงสเปกตรัม XRD ของดินที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูพรุน (ก) PMH-C ₁₂ , (ข) PMH-C ₁₆ และ (ค) PMH-C ₁₈	20
2	แสดงสเปกตรัม XRD ของดินที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูพรุน (ก) PBH-C ₁₂ , (ข) PBH-C ₁₆	21
3	แสดงกราฟ TG-DTA ของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูพรุน PMH: (ก) กราฟอนุพันธ์ของมวลสารที่สูญเสีย (DTG) และ (ข) กราฟร้อยละโดยมวลสารที่สูญเสียของ PMH ที่ไม่ได้มีการเผากำจัดสารลดแรงดึงผิว	22
4	แสดงกราฟ TG-DTA ของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูพรุน PBH: (ก) กราฟอนุพันธ์ของมวลสารที่สูญเสีย (DTG) และ (ข) กราฟร้อยละมวลสารที่สูญเสียของ PBH ที่ไม่ได้มีการเผากำจัดสารลดแรงดึงผิว	23
5	ภาพถ่ายจากเทคนิคการส่องกวาดอิเล็กตรอน (ก) Na-Montmorillonite (ข) Na-Montmorillonite	24
6	แสดงภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM ของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน	25
7	แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ (ก) PMH และ (ข) PBH ที่มีการกำจัดสารลดแรงดึงผิวด้วยวิธีการเผา	27
8	แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ (ก) PMH และ (ข) PBH ที่มีการกำจัดสารลดแรงดึงผิวด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย	28
9	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงดึงผิวที่เหลืออยู่ใน PMH ที่ได้จากการเผาและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (ก) PMH-C ₁₂ (ข) PMH-C ₁₆ (ค) PMH-C ₁₈	29
10	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงดึงผิวที่เหลืออยู่ใน PBH ที่ได้จากการเผาและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (ก) PBH-C ₁₂ (ข) PBH-C ₁₆ (ค) PBH-C ₁₈	30
11	แสดง XRD สเปกตรัมของ PMH/PP นาโนคอมโพสิต: (ก) PP, (ข) PP-g-MA/PP, (ค) PMH-C ₁₂ /PP-g-MA/PP, (ง) PMH-C ₁₆ /PP-g-MA/PP, (จ) PMH-C ₁₈ /PP-g-MA/PP	33

12	แสดง XRD สเปกตรัมของ PMH/PP นาโนคอมโพสิต: (ก) PP, (ข) PP-g-MA/PP, (ค) PBH-C ₁₂ /PP-g-MA/PP, (ง) PBH-C ₁₆ /PP-g-MA/PP, (จ) PBH-C ₁₈ /PP-g-MA/PP, (ฉ) PBH-C ₁₆ /PP-g-MA/PP, (ฉ) PBH-C ₁₈ /PP-g-MA/PP	33
13	แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PMH-C ₁₂ /PP-g-MA/PP (ง) PMH-C ₁₆ /PP-g-MA/PP (ฉ) PMH-C ₁₈ /PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 50-250 องศาเซลเซียส	34
14	แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PMH-C ₁₂ /PP-g-MA/PP (ง) PMH-C ₁₆ /PP-g-MA/PP (ฉ) PMH-C ₁₈ /PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อลดอุณหภูมิจาก 250-50	35
15	แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PBH-C ₁₂ /PP-g-MA/PP (ง) PBH-C ₁₆ /PP-g-MA/PP (ฉ) PBH-C ₁₈ /PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 50-250	35
16	แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PBH-C ₁₂ /PP-g-MA/PP (ง) PBH-C ₁₆ /PP-g-MA/PP (ฉ) PBH-C ₁₈ /PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อลดอุณหภูมิจาก 250-50	36
17	ภาพ SEM ของ (ก) แร่ดินเหนียวเบนโทไนต์ (bentonite), (ข) ดินเหนียวที่มีโครงสร้างรูพรุน PCH-7 และ (ค) ดินเหนียวที่มีโครงสร้างรูพรุนและมีหมู่ฟังก์ชัน (HPCH-7)	37
18	ภาพ TEM จากการตัดขวางของดินเหนียวที่มีโครงสร้างรูพรุน	38
19	FTIR สเปกตรัมของ (ก) เบนโทไนต์, (ข) ออกาโนเคลย์, (ค) PCHs และ (ง) HPCHs	39
20	กราฟแสดงผลการดูดซับก๊าซเอธิลีนของดินเหนียวเบนโทไนต์, ดินเหนียวที่มีรูพรุนและดินเหนียวที่มีหมู่เมธิลและไทออล	41
21	รูป SEM และ consistent EDS micrographs ของ 1% PCH-9/Surlyn/PP (ก) SEM image, (ข) Si mapping, (ค) Al mapping, and (ง) O mapping	42
22	รูป SEM และ consistent EDX micrographs ของ 1% HPCH-9/Surlyn/PP (ก) SEM image, (ข) Si mapping, (ค) Al mapping, and (ง) O mapping	43
23	รูปผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่อง blown film extrusion (ก) PCH และ (ข) HPCH	43

24	รูปแบบ XRD ของ PP และ ดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุนและมีค่า pH แตกต่างกัน	44
25	DSC cooling scan thermograms ของ PP และ สัณฐานต่างๆของ ดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต	45
26	DSC heating scan thermograms ของ PP และ สัณฐานต่างๆของ ดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต	46
27	DSC heating scan thermograms ของ PP และ สัณฐานต่างๆของดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต	47
28	TG-DTA curves ของ PP และ ของ PCH nanocomposites	47
29	TG-DTA curves ของ PP และ ของ HPCH nanocomposite	48
30	กราฟแสดงผลค่าการลดลงของการนำไฟฟ้าหลังจากที่มีการดูดซับก๊าซเอทิลีน	50

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

PP	Polypropylene = พอลิพรอพิลีน
Na-BTN	Sodium-Bentonite = โซเดียมเบนโทไนต์
Organoclay	แร่ดินเหนียวที่มีการดัดแปรสภาพด้วยสารแลกเปลี่ยนประจุ
CTAB	Hexadecyltrimethylammonium bromide = สารลดแรงตึงผิว
TEOS	Tetraethylorthosilicate
MTS	Methytriethoxysilane
MPTMS	3-mercaptopropyltrimethoxysilane
Surlyn	Sodium-neutralized ethylene-co-methacrylic acid = ตัวเชื่อมประสาน

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)
ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่

1. รหัสโครงการ MRG 4980024

2. ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน สังเคราะห์จากแหล่งแร่ธรรมชาติเพื่อการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาดแบบนาโนคอมโพสิต

(ภาษาอังกฤษ) Electrical property-investigation of porous clay heterostructures derived from naturally-occurring clay minerals for smart packaging nanocomposite applications

3. ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

หัวหน้าโครงการวิจัย: ผศ.ดร. หทัยกานต์ มนัสปิยะ (Hathaikarn Manuspiya, Ph.D.)

ตำแหน่ง: ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สถานที่ทำงาน: วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซอยจุฬา 12 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์: 02-218 4134

โทรสาร: 02-215 4459

Email: hathaikarn.m@chula.ac.th

4. สาขาวิชาที่ทำการวิจัย.....วัสดุนาโน.....

5. งบประมาณทั้งโครงการ.....480,000.....

6. ระยะเวลาดำเนินงาน.....2 ปี.....

7. ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บางส่วนเพื่อขอทุนต่อแหล่งอื่นใดบ้าง

☒ ไม่ได้เสนอต่อแหล่งทุนอื่น

☐ เสนอต่อ.....

ชื่อโครงการที่เสนอ.....

.....

กำหนดทราบผล (หรือสถานภาพที่ทราบ).....

.....

8. ปัญหาที่ทำการวิจัย และความสำคัญของปัญหา

การยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหาร พืช ผัก ผลไม้ ตั้งแต่การบรรจุหีบห่อ การขนส่ง การขาย ก่อนที่จะถึงมือผู้บริโภคนั้น เราต้องการให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความสดเป็นระยะเวลานานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นทำให้อุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์ดังกล่าว มีความซับซ้อนและความหลากหลายเพื่อเร่งค้นคว้าพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่สามารถเก็บความสด คุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร พืช ผัก และผลไม้ มีความสามารถในการดูดซับก๊าซที่เป็นต้นเหตุของการเน่าเสียซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาจากตัวอาหาร พืช ผัก และผลไม้ เช่น ก๊าซเอทิลีน (ethylene scavengers) หรือปกป้องไม่ให้ก๊าซจากสภาพแวดล้อมภายนอกเช่น ก๊าซออกซิเจน แพร่เข้าสู่บรรจุภัณฑ์ (oxygen barriers) เราเรียกบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวว่า “Active Packaging” นอกจากนี้ยังต้องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่สามารถบ่งบอกอายุและความสดของผลิตภัณฑ์ได้ด้วยตัวบรรจุภัณฑ์เอง หรือที่เรียกว่า “Smart Packaging” ซึ่งในตัวฟิล์มบรรจุภัณฑ์นั้นๆ มีสารหรือเซนเซอร์ที่สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในบรรจุภัณฑ์ที่มาจากการปล่อยก๊าซต่างๆ เมื่ออาหารหรือผักและผลไม้เริ่มเกิดการสุก การเน่า หรือการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์แล้วทำให้ตัวฟิล์มมีการเปลี่ยนสี ซึ่งบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้ให้ประโยชน์ต่อผู้ขายและผู้บริโภคในการพิจารณาอายุของผลิตภัณฑ์

การที่ฟิล์มบรรจุภัณฑ์สามารถมีคุณสมบัติเป็น Active Packaging หรือ Smart Packaging ได้นั้นหนึ่งในเทคโนโลยีที่กำลังมีการค้นคว้าพัฒนาคือการนำวัสดุนาโนคอมโพสิตมาใช้ผลิตเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีการนำวัสดุดินเหนียวนาโน (nanoclay) มาเติมแต่งในบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีอยู่เดิม หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับบรรจุภัณฑ์พลาสติก มีรายงานการวิจัยมากมายได้กล่าวถึงคุณสมบัติที่ยอดเยี่ยมของดินเหนียวนาโนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเหนือพลาสติกฟิล์มที่ผลิตจากพอลิเมอร์เพียงอย่างเดียว นั่นคือดินเหนียวนาโนช่วยทำให้พลาสติกเบาขึ้น เพิ่มความแข็งแรง ความทนทานความร้อนและการติดไฟได้ดีขึ้น รวมถึงการไม่ทำให้ความใสของฟิล์มพลาสติกเปลี่ยนไปเนื่องจากขนาดที่เล็กมากของอนุภาคนาโน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหนือกว่าสารเติมแต่งประเภทอื่น อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่สำคัญของสารเติมแต่งที่จะนำมาใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาดหรือ Smart Packaging นั้น สารเติมแต่งควรมีลักษณะที่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ (indicator) ได้ ซึ่งอาจจะแสดงออกมาในรูปของการเปลี่ยนสี หรือการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า

โครงการวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนในนาโนคอมโพสิตฟิล์ม ซึ่งผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ฉลาด โดยการทดสอบการดักจับก๊าซเอธิลีนและวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป เพื่อเป็นองค์ความรู้ใหม่ เป็นรากฐานในการผลิตวัสดุนาโนประเภทนี้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ต่อไป การวิจัยในขณะนี้ของดินเหนียวนาโน ได้มีการรายงานการเพิ่มประสิทธิภาพสมบัติทางกลและทางความร้อนในนาโนคอมโพสิต แต่คุณสมบัติทางไฟฟ้ายังไม่มีการวิจัยอย่างจริงจังหรือแทบไม่มีรายงานเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนเลย นอกจากนี้โครงการวิจัยนี้ยังมุ่งศึกษาการสังเคราะห์แร่ดินเหนียวนาโนให้มีโครงสร้างใหม่ นั่นคือโครงสร้างแบบรูพรุน เนื่องจากทางคณะผู้วิจัยคาดหวังว่าโครงสร้างแบบรูพรุนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซ และเมื่อปริมาณที่จับมีมากขึ้น จะช่วยให้การวัดความเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น

นอกเหนือจากนี้โครงการนี้เป็นการพัฒนาและสร้างฐานการผลิตวัสดุนาโนจากทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ โดยการนำวัสดุแร่ดินนาโนที่มีอยู่ในประเทศมาสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยการประยุกต์เข้ากับเทคโนโลยีปัจจุบันเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ที่มีอยู่มากมายในประเทศ จากการสำรวจโดย Business Communication Company, Inc ทราบว่าวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถพิเศษ เช่น สามารถสกัดกันออกซิเจนและความชื้น และดูดซับก๊าซเอธิลีนกำลังเป็นที่สนใจและต้องการอย่างมากในขณะนี้ ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าขนาดตลาดทั่วโลกของวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถพิเศษ หรือบรรจุภัณฑ์ฉลาด จะโตถึง 134.18 พันล้านเหรียญสหรัฐ (5.3 ล้านๆ บาท) ในปี 2008 และส่วนแบ่งของนาโนคอมโพสิตจะอยู่ที่ 250 ล้านเหรียญสหรัฐ (<http://www.packagingdigest.com/articles/200510/50.php>) ดังนั้นประเทศไทยจึงควรมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุดังกล่าวอย่างเร่งด่วนเพื่อนำไปสู่การพัฒนาศักยภาพของอุตสาหกรรมวัสดุบรรจุภัณฑ์เพื่อที่จะเพิ่มความสามารถการแข่งขันของอุตสาหกรรมในประเทศกับต่างประเทศ สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งของโครงการนี้คือสามารถตอบสนองและสนับสนุนนโยบายของรัฐบาลที่เน้นการเพิ่มผลผลิตและการส่งออกสินค้าเกษตรไปสู่ตลาดโลก

9. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์แร่ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน จากแหล่งแร่ในประเทศ
2. เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง หาขนาดและพื้นที่ผิวสัมผัสของรูพรุน รวมถึงการเปรียบเทียบกับสภาวะต่างๆ ในการเตรียมรูพรุนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการดักจับก๊าซเอธิลีน
4. เพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในนาโนคอมโพสิตฟิล์มและประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาด

10. ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนการเตรียมงาน

- 1.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.2 ศึกษาขั้นตอนการล้างและเตรียมแร่ดินเหนียว
- 1.3 ศึกษาการสังเคราะห์สารที่มีรูพรุนจากแร่ดินเหนียวด้วยสภาวะและตัวแปรต่างๆของการสังเคราะห์ที่มีผลต่อรูพรุน
- 1.4 ศึกษาการเตรียมนาโนคอมพอสิตดินเหนียวนาโน/พอลิพรอพิลีน
- 1.5 ศึกษาสมบัติการดักจับก๊าซเอธิลีน
- 1.6 ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของนาโนคอมพอสิตที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดการดักจับก๊าซเอธิลีน

2. การทดลอง

- 2.1 เตรียมแร่ดินเหนียวมาแช่กรดแล้วล้างด้วยน้ำจนหมดฤทธิ์กรด จากนั้นนำมาอบแห้งและบดให้ละเอียด
- 2.2 เตรียมแร่ดินเหนียวปรับสภาพอินทรีย์ โดยการแลกเปลี่ยนประจุกับสารอินทรีย์ปรับสภาพ เช่น สารลดแรงตึงผิว โดยจะทดลองใช้สารอินทรีย์ ปรับสภาพไม่ต่ำกว่า 3 ชนิด และดัดแปลงแร่ดินเหนียวให้มีรูพรุน โดยผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (neutral amine) แล้วจึงผสมกับสารอนินทรีย์ประเภทซิลิเกต (tetraethyl orthosilicate) เพื่อให้เป็นโครงสร้างต้นแบบ ทำการทดลองเหล่านี้ที่ค่า pH แตกต่างกันคือ 3,5,7 และ 9 จากนั้นนำแร่ดินเหนียวที่ทำการสังเคราะห์ได้ไปกำจัดต้นแบบออกเพื่อให้เหลือแต่โครงสร้างรูพรุนของดินเหนียวนาโนโดยวิธีการเผา(calcinations) และการสกัดด้วยสารละลาย (solvent extraction) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของรูพรุน
- 2.3 ทำการสังเคราะห์ดินเหนียวโครงสร้างที่มีรูพรุนให้มีหมู่ฟังก์ชันโดยการทำปฏิกิริยากับเมธิลไตรเอธอกซีไซเลน (MTS) และ 3-เมอร์แคปโตพรอพิลไตรเมธอกซีไซเลน (MPTMS) หมู่ที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า ทำการทดลองเหล่านี้ที่ค่า pH แตกต่างกันคือ 3,5,7 และ 9 จากนั้นนำแร่ดินเหนียวที่ทำการสังเคราะห์ได้ไปกำจัดต้นแบบออกเพื่อให้เหลือแต่โครงสร้างรูพรุนของดินเหนียวนาโน โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลาย (solvent extraction) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของรูพรุน
- 2.4 เตรียมนาโนคอมพอสิตดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุน/พอลิพรอพิลีน โดยอาศัยเครื่องอัดรีดเกลียวคู่และขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง blow film เพื่อนำฟิล์มไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ

3. การทดสอบ

- 3.1 ทดสอบตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของแร่ดินเหนียวและแร่ดินเหนียวที่ปรับสภาพอินทรีย์ด้วยเทคนิค XRD (X-ray diffraction) และ FT-IR
- 3.2 ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของสารที่มีรูพรุนด้วยเทคนิค N₂ adsorption-desorption และการกระจายของดินเหนียวนาโนด้วยเทคนิค TEM (Transmission electron microscopy)
- 3.3 ทดสอบการดักจับก๊าซเฮลิซีนด้วยเครื่อง Gas Chromatography
- 3.4 ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านการนำไฟฟ้าของสารที่มีรูพรุนและแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า

4. การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

- 4.1 วิเคราะห์และสรุปหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแร่ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน
- 4.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติของนาโนคอมพอสิตดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน/พอลิพรอพิลีนที่เตรียมได้จากสภาวะต่างๆ
- 4.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนนาโนคอมพอสิตฟิล์มเมื่อมีการดักจับก๊าซเฮลิซีน และประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานในบรรจุภัณฑ์ฉลาด
- 4.4 ประมวลผลและสรุปผลการวิจัย
- 4.5 เขียนรายงานการวิจัย

11. แผนการดำเนินงาน

ปีที่ 1	กิจกรรม
เดือน 1-6	1.1 จัดซื้อสารเคมีและอุปกรณ์วิจัย รวมถึงการเก็บตัวอย่างแร่จากแหล่งในประเทศไทย
	1.2 ล้างแร่ดินเหนียว นำมาบดและอบแห้ง
	1.3 นำแร่ดินเหนียวปรับสภาพอินทรีย์เพื่อเป็นดินเหนียวนาโน โดยการแลกเปลี่ยนประจุกับสารอินทรีย์ปรับสภาพ เช่น สารลดแรงตึงผิว โดยจะทดลองใช้สารอินทรีย์ปรับสภาพไม่ต่ำกว่า 3 ชนิด และทดลองกับแร่ดินเหนียว 2 ชนิด จากนั้นปรับโครงสร้างของชั้นแร่ให้ก่อตัวเป็นรูพรุนแบบเฮเทอโร (heterostructure) โดยใช้ต้นแบบจากสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารร่วมเอมีนแบบเป็นกลาง (co-surfactant neutral amine) ซึ่งจะถูกล้อมรอบด้วยสารประกอบประเภทซิลิกา (silica source) กระบวนการเหล่านี้จะทำให้ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ตั้งแต่ 3, 5, 7 และ 9
	1.4 ศึกษาการกำจัดต้นแบบออกเพื่อให้เหลือแต่โครงสร้างรูพรุนของดินเหนียวนาโน โดยวิธีการเผา (calcination) และการสกัดด้วยสารละลาย (solvent extraction) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของรูพรุน

ปีที่ 1	กิจกรรม
เดือน 7-12	1.5 ตรวจวิเคราะห์ทางเคมีและโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD (x-ray diffraction) และ FTIR ถ่ายภาพลักษณะของรูพรุนด้วยเทคนิค SEM และ TEM ตรวจหาขนาดของรูพรุนและหาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption
	1.6 สรุปผลการสังเคราะห์ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนและสภาวะที่เหมาะสม รวมถึงการเก็บข้อมูลซ้ำในส่วนที่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องสูง
	1.7 เขียนรายงานการวิจัย เตรียมการเสนอผลงานและส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ
ปีที่ 2	กิจกรรม
เดือน 1-6	2.1 ทดลองผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนกับพอลิพรอพิลีนด้วยเครื่องผสมแบบภายใน เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ค่าแรงและเวลาการผสม
	2.2 ทดลองผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนกับพอลิพรอพิลีนในเครื่องอัดรีดกวนเกลียวคู่ (twin screw extruder) ด้วยการปรับสภาวะการผสมตามที่ได้จากข้อ 2.1 และขึ้นรูปแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิตด้วยเครื่อง blown film extrusion
	2.3 ตรวจวิเคราะห์ทางเคมีและโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD (x-ray diffraction) และ FTIR ถ่ายภาพลักษณะแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค SEM และ TEM เพื่อสังเกตการกระจายตัวของดินเหนียวนาโนในเนื้อพอลิเมอร์
เดือน 7-12	2.4 ทดสอบความทนทานทางกลและความร้อน ทดสอบการดักจับเอริลีนของแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิต
	2.5 ทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดการดักจับก๊าซเอริลีน
	2.6 สรุปโครงการวิจัย รวมถึงการเก็บข้อมูลในส่วนที่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องสูง
	2.7 เขียนรายงานการวิจัย เตรียมการนำเสนอผลงานและส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

12. เนื้อหางานวิจัยที่ได้รับ

ผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อชั้นแร่ดินเหนียว

การดัดแปลงโครงสร้างของแร่ดินเหนียวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน โดยในขั้นแรกจะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนโซเดียมระหว่างชั้นแร่ดินเหนียวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก โดยได้แก่สารแอลคิลไทรเมทิลแอมโมเนียมไอออนที่มีความยาวสายโซ่แอลคิลขนาดต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นดินเหนียวขยายออกทำให้สามารถสร้างรูพรุนระหว่างชั้นดินเหนียวได้ง่ายขึ้น ส่วนในขั้นที่สองจะเป็นการสร้างรูพรุนระหว่างชั้นดินเหนียว

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบระยะห่างของชั้นดินเหนียวของดินเหนียว Na-Montmorillonite (MMT) และ Na-Bentonite (BN) ที่ไม่ได้ถูกดัดแปลงโครงสร้าง และดินเหนียวที่มีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว

ตัวอย่าง	2θ	ระยะห่างของชั้นดิน (นาโนเมตร)	ตัวอย่าง	2θ	ระยะห่างของชั้นดิน (นาโนเมตร)
MMTcal600*	9.110	0.97	BN cal600*	9.00	0.98
MMT	6.940	1.27	BN	5.760	1.53
MMT-C ₁₂	5.050	1.75	BN-C ₁₂	4.480	1.97
MMT-C ₁₆	4.450	1.98	BN-C ₁₆	4.380	2.02
MMT-C ₁₈	4.240	2.08	BN-C ₁₈	4.300	2.05

* หมายถึงดินที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 600 °C โดยยังไม่ได้มีการดัดแปลงโครงสร้าง

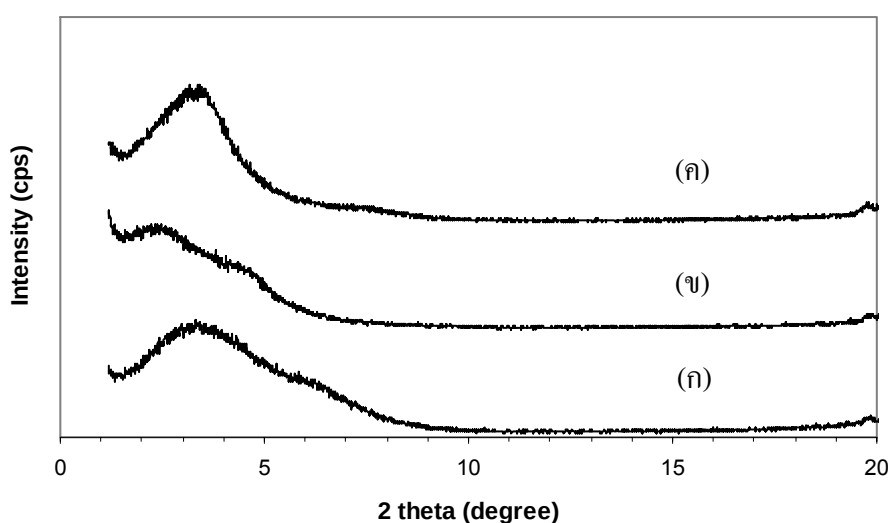
ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบระยะห่างของชั้นดินของดิน Na-Montmorillonite และ Na-Bentonite ที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน

ตัวอย่าง	2θ	ระยะห่างของชั้นดิน (นาโนเมตร)	ตัวอย่าง	2θ	ระยะห่างของชั้นดิน (นาโนเมตร)
PMH-C ₁₂	3.400	2.60	PBH-C ₁₂	1.980	4.46
PMH-C ₁₆	2.380	3.71	PBH-C ₁₆	2.350	3.76
PMH-C ₁₈	3.300	2.68	PBH-C ₁₈	2.200	4.01

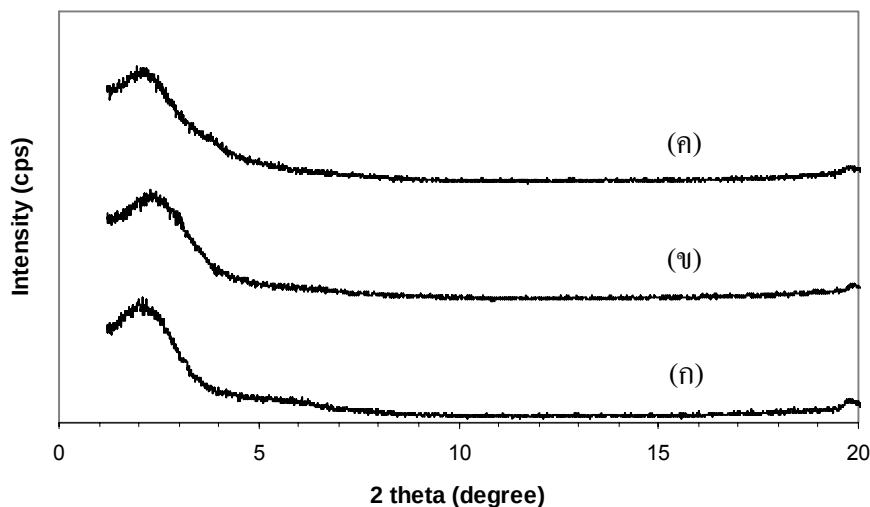
* PMH-C_x: PMH คือ ดินเหนียว Montmorillonite ที่มีรูพรุน, C_x คือ จำนวนคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิว

* PBH-C_x: PMH คือ ดินเหนียว Bentonite ที่มีรูพรุน, C_x คือ จำนวนคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิว

จากตารางที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าระยะห่างของชั้นดินเหนียวเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว และเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ซึ่งพบว่าระยะห่างของชั้นดินเหนียวที่ได้มีการดัดแปลงโครงสร้างชนิด PMH-C₁₂, PMH-C₁₆ และ PMH-C₁₈ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.60, 3.71 และ 2.68 นาโนเมตร ตามลำดับ ส่วนดินเหนียวที่ได้มีการดัดแปลงโครงสร้างชนิด PBH-C₁₂, PBH-C₁₆ และ PBH-C₁₈ ระยะห่างของชั้นดินเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.46, 3.76 และ 4.01 นาโนเมตร ตามลำดับ



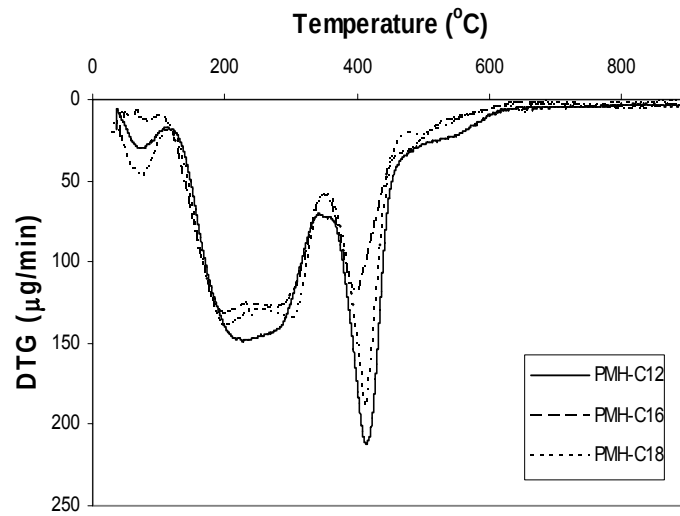
รูปที่ 1 แสดงสเปกตรัม XRD ของดินที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูพรุน (ก) PMH-C₁₂, (ข) PMH-C₁₆ และ (ค) PMH-C₁₈



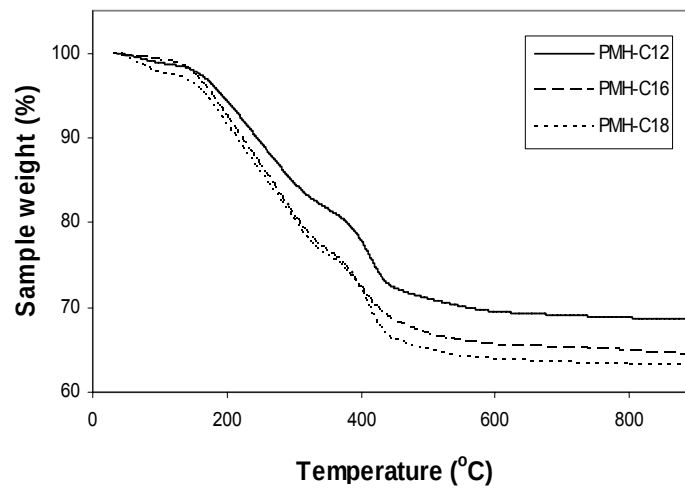
รูปที่ 2 แสดงสเปกตรัม XRD ของดินที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูปพรุน (ก) PBH-C₁₂, (ข) PBH-C₁₆ และ (ค) PBH-C₁₈

คุณสมบัติทางด้านความร้อนของดินเหนียวและดินเหนียวที่มีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าดินเหนียว Na-Montmorillonite และ Na-Bentonite ที่ได้มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูปพรุนจะมีการสูญเสียมวลสารแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนนี้คือ ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C เป็นการสูญเสียมวลสารเนื่องจากการระเหยของน้ำคิดเป็นน้ำหนัก 5% ช่วงอุณหภูมิ 150-350°C เป็นการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว โดยพบว่าจะมีการสูญเสียมวลสารเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอนอะตอมของสายโซ่ตรงในสารลดแรงตึงผิว โดยคิดเป็น 27%, 31% และ 32% สำหรับ PMH-C₁₂, PMH-C₁₄ และ PMH-C₁₆ ตามลำดับ และคิดเป็น 27%, 29% และ 30% สำหรับ PBH-C₁₂, PBH-C₁₄ และ PBH-C₁₆ ตามลำดับ ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 350-600°C เป็นการสลายตัวของสารอินทรีย์ในส่วนที่เหลือ

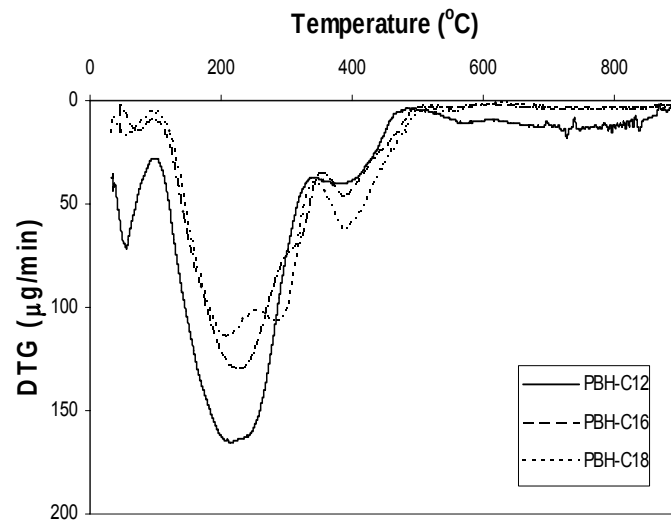


(ก)

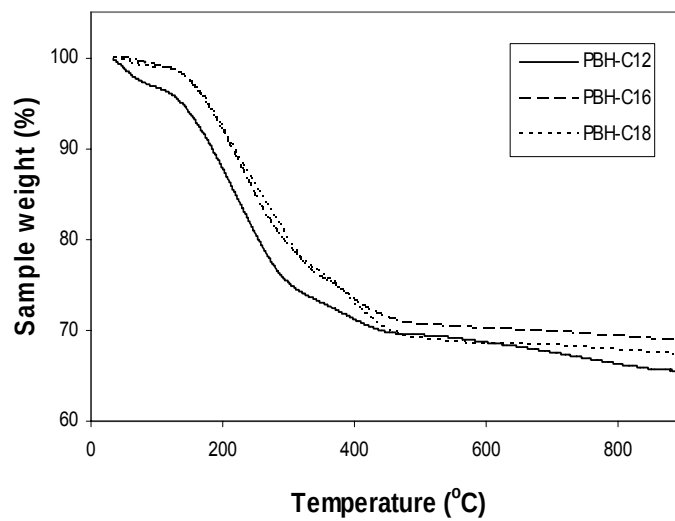


(ข)

รูปที่ 3 แสดงกราฟ TG-DTA ของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูพรุน PMH: (ก) กราฟอนุพันธ์ของมวลสารที่สูญเสีย (DTG) และ (ข) กราฟร้อยละโดยมวลสารที่สูญเสียของ PMH ที่ไม่ได้มีการเผาทำจัดสารลดแรงตึงผิว



(ก)

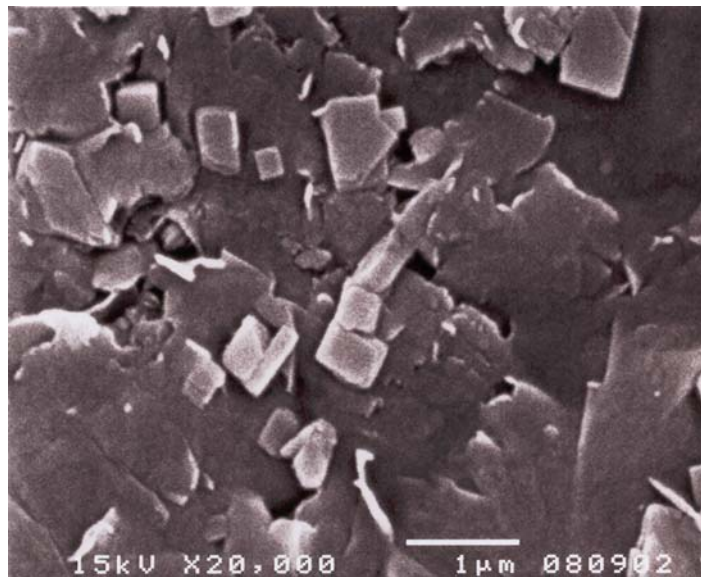


(ข)

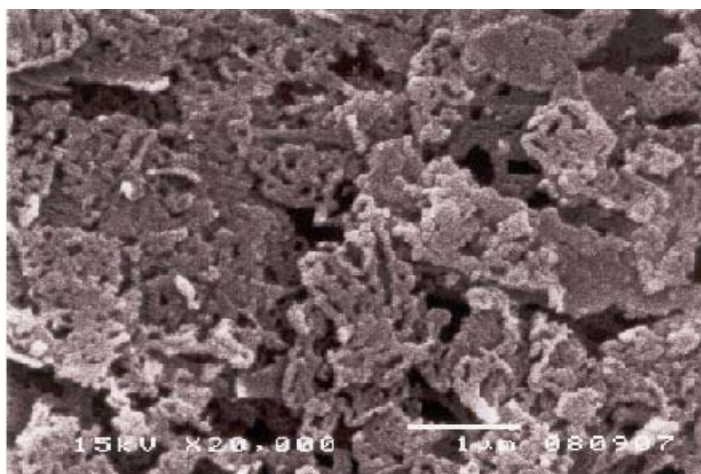
รูปที่ 4 แสดงกราฟ TG-DTA ของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างเป็นรูพรุน PBH: (ก) กราฟอนุพันธ์ของมวลสารที่สูญเสีย (DTG) และ (ข) กราฟร้อยละมวลสารที่สูญเสียของ PBH ที่ไม่ได้มีการเผาทำจัดสารลดแรงตึงผิว

การวิเคราะห์ลักษณะรูพรุน

จากนั้นแร่ดินเหนียวที่ดัดแปลงโครงสร้างแล้วนี้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการส่องกวาดอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างของดินเหนียวที่ยังไม่ได้ถูกดัดแปลงและหลังจากที่มีการดัดแปลงให้มีรูพรุนแล้ว



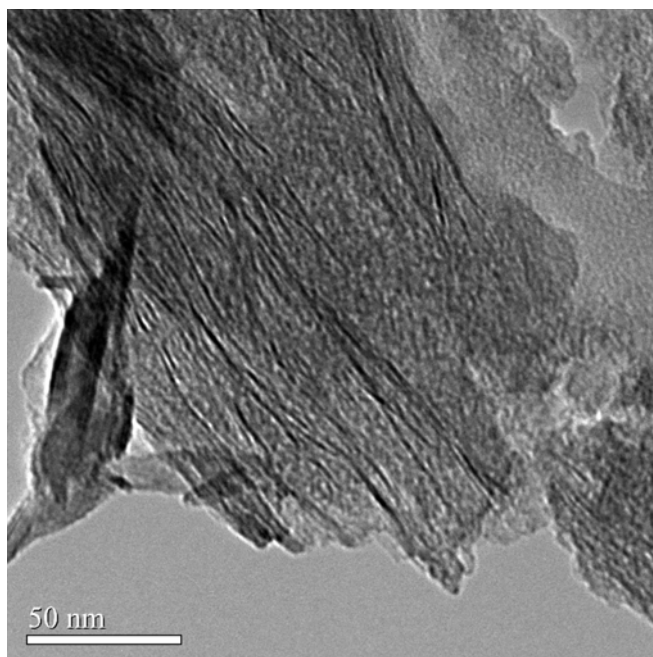
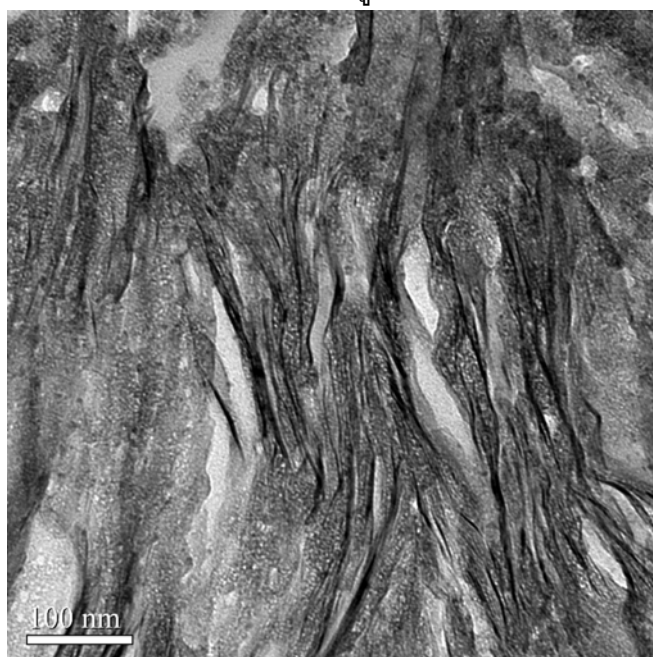
(ก)



(ข)

รูปที่ 5 ภาพถ่ายจากเทคนิคการส่องกวาดอิเล็กตรอน (ก) Na-Montmorillonite (ข) Na-Montmorillonite ที่ดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน

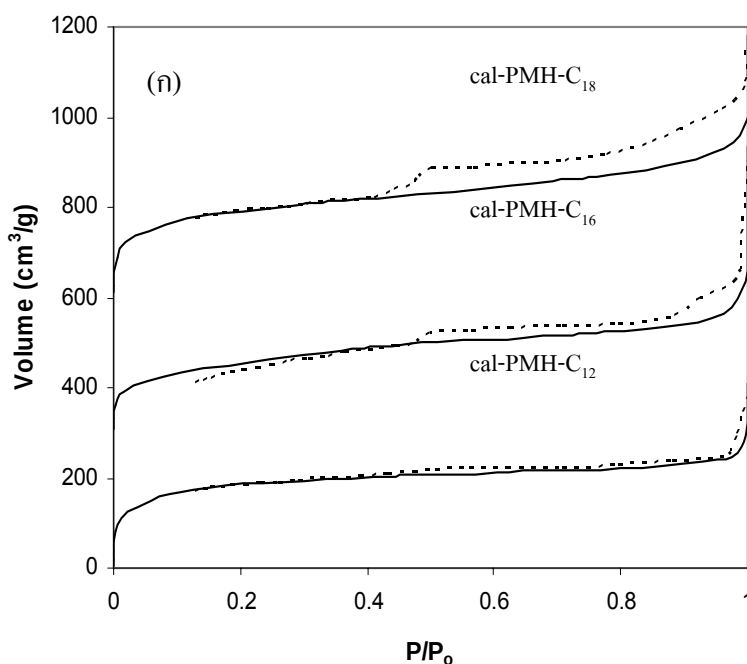
จากรูปที่ 5 (ก) แสดงให้เห็นพื้นผิวของแร่ดินเหนียว Na-Montmorillonite ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบเรียงตัวเป็นชั้นๆ และเมื่อได้ทำการดัดแปลงโครงสร้างจะพบว่าพื้นผิวของแร่ดินเหนียวมีรูพรุนเกิดขึ้นแต่ยังคงมีลักษณะเป็นชั้นๆ อยู่ ดังรูป 5 (ข) และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM พบว่ามีการสร้างรูพรุนเกิดขึ้นระหว่างชั้นดินเหนียวดังแสดงให้เห็นเป็นส่วนสีขาวและเส้นสีดำบนภาพ TEM ตามลำดับ แต่จะเห็นได้ว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นดินเหนียวยังคงไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 6

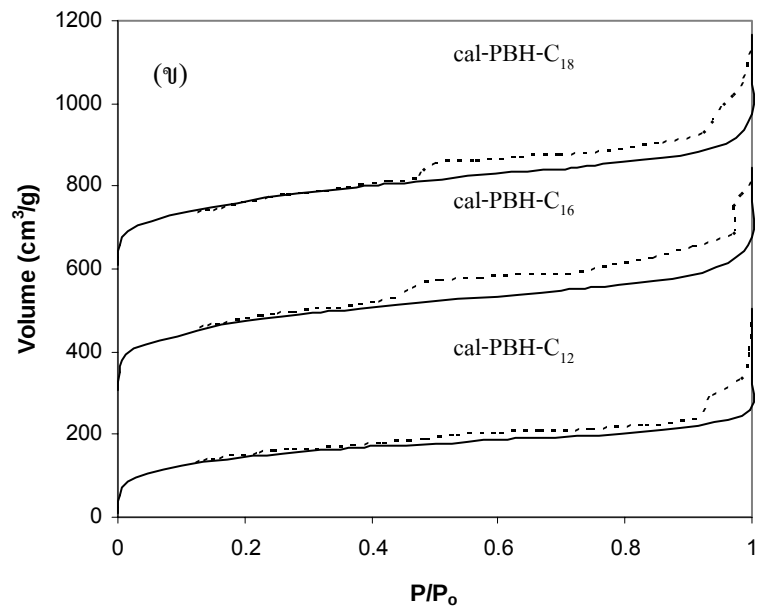


รูปที่ 6 แสดงภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM ของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน

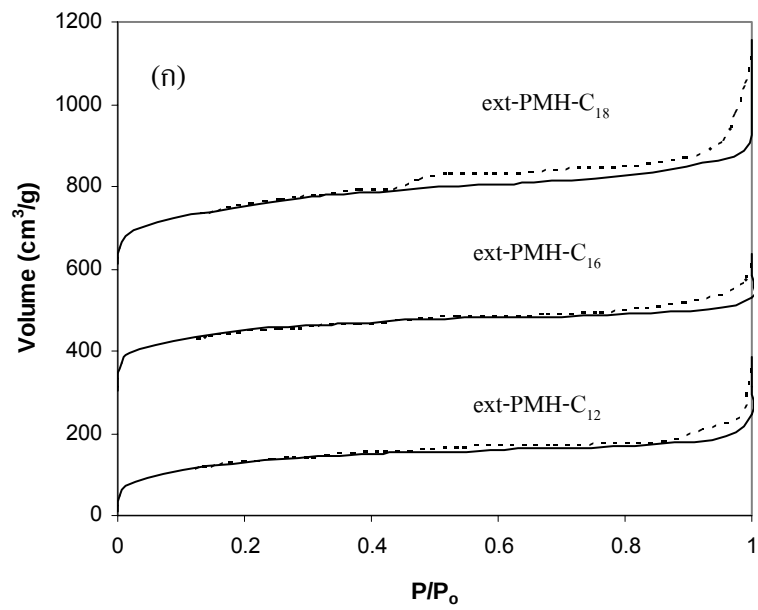
การศึกษาการกำจัดสารลดแรงตึงผิวออกจากโครงสร้างของดินเหนียว

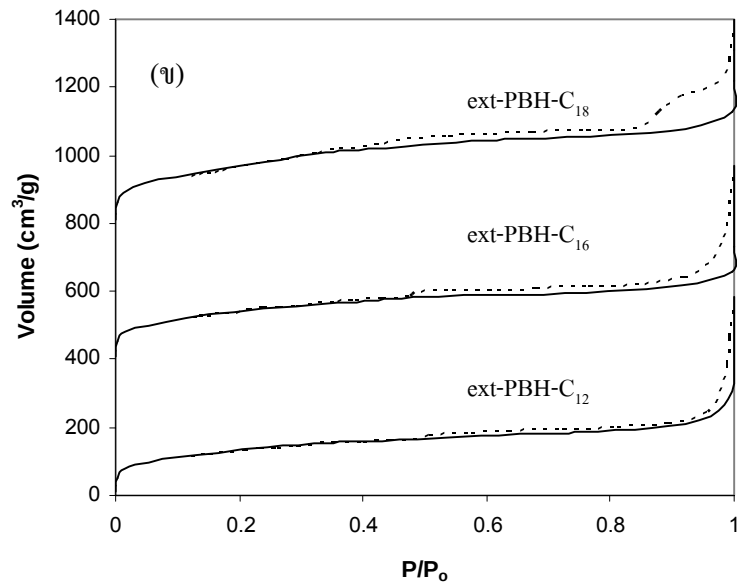
การกำจัดสารลดแรงตึงผิวออกจากโครงสร้างของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างแล้วสามารถทำได้ 2 วิธี ในการศึกษานี้ได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างการกำจัดโดยวิธีการเผา และวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจน (N_2 adsorption) พบว่าไอโซเทอมของ PMH และ PBH ที่กำจัดสารลดแรงตึงผิวโดยวิธีการเผามีลักษณะคล้ายกันโดยมีการดูดซับของก๊าซไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกแล้วจึงค่อนข้างคงที่ในช่วงความดัน P/P_0 0.05-0.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นดินเหนียวมีขนาดอยู่ในช่วง 1.5-3.5 นาโนเมตร ดังไอโซเทอมแสดงในรูปที่ 7 และผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจนในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าดินเหนียวที่มีการปรับปรุงโครงสร้างให้มีรูพรุนแล้วจะมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 600-750 m^2/g , ปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง 0.4-0.5 cm^3/g และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 1.7-3.8 นาโนเมตร เมื่อศึกษาการกำจัดสารลดแรงตึงผิวด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายพบว่า ไอโซเทอมของ PMH และ PBH ที่มีการกำจัดสารลดแรงตึงผิวโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายมีลักษณะคล้ายกับไอโซเทอมที่ได้จากการกำจัดด้วยวิธีการเผาดังแสดงในรูปที่ 8 และผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจนดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ดินเหนียวที่มีการปรับปรุงโครงสร้างให้มีรูพรุนแล้วจะมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 400-650 m^2/g , ปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง 0.3-0.6 cm^3/g และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 1.7-3.8 นาโนเมตร จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าพื้นที่ผิวของดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามขนาดของความยาวสายโซ่อินทรีย์ที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว





รูปที่ 7 แสดงไอโซเทอมการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ (ก) PMH และ (ข) PBH ที่มีการกำจัดสารลดแรงตึงผิวด้วยวิธีการเผา





รูปที่ 8 แสดงไอโซเทอมการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ (ก) PMH และ (ข) PBH ที่มีการกำจัดสารลดแรงตึงผิวด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย

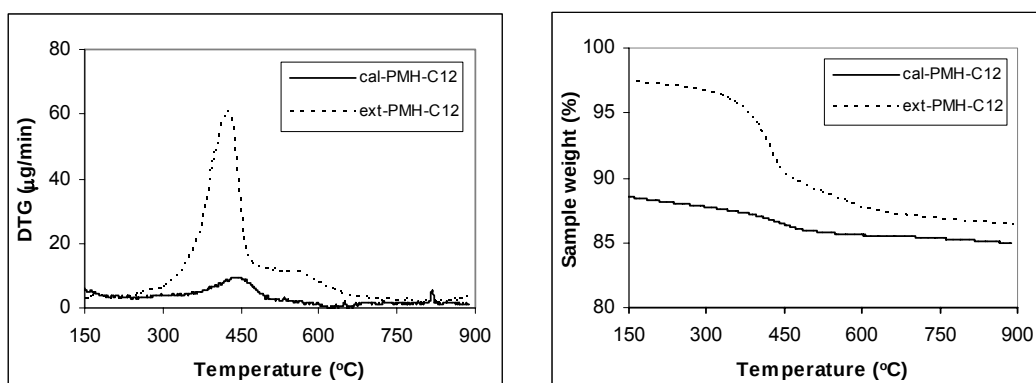
ตารางที่ 3 แสดงผลข้อมูลเกี่ยวกับรูพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ PMH และ PBH ที่ได้จากการกำจัดสารลดแรงตึงผิวด้วยวิธีการเผา (calcination)

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิว (ม ² /กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ซม ³ /กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลาง รูพรุน (นาโนเมตร)
cal-PMH-C ₁₂	606.57	0.45	1.75
cal-PMH-C ₁₆	689.38	0.52	3.88
cal-PMH-C ₁₈	746.80	0.51	3.78
cal-PBH-C ₁₂	652.90	0.40	2.36
cal-PBH-C ₁₆	731.57	0.49	3.71
cal-PBH-C ₁₈	729.80	0.47	3.80

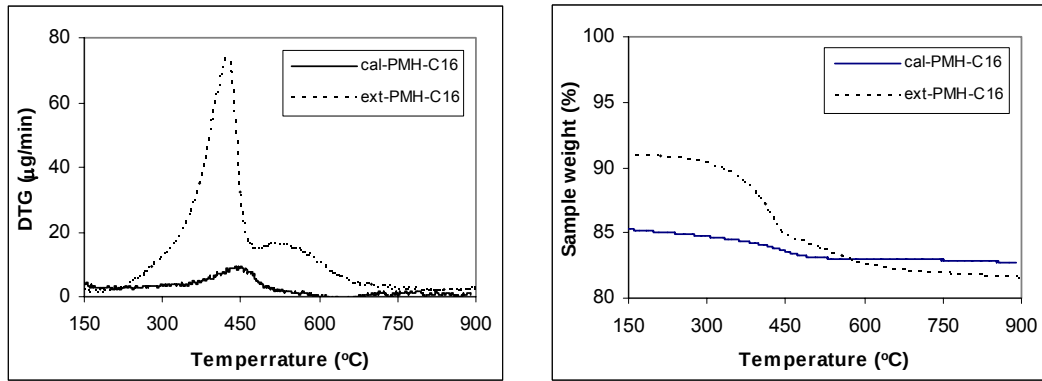
ตารางที่ 4 แสดงผลข้อมูลเกี่ยวกับรูปพรุนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของ PMH และ PBH ที่ได้จากการกำจัดสารลดแรงตึงผิวด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิว (ม ² /กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ซม ³ /กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลาง รูพรุน (นาโนเมตร)
ext-PMH-C ₁₂	439.58	0.38	2.00
ext-PMH-C ₁₆	540.85	0.31	1.74
ext-PMH-C ₁₈	576.75	0.45	3.74
ext-PBH-C ₁₂	476.23	0.47	1.81
ext-PBH-C ₁₆	500.76	0.39	3.82
ext-PBH-C ₁₈	629.99	0.64	1.85

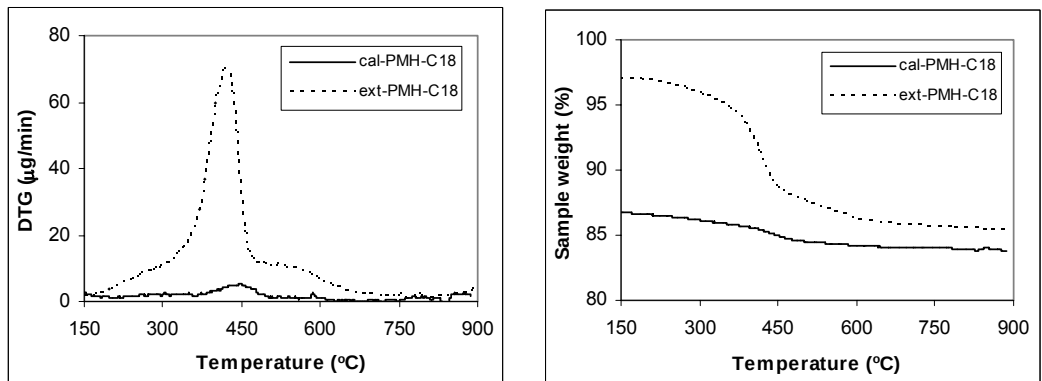
ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ยังเหลือจากการกำจัดด้วยวิธีการเผาและการสกัดด้วยตัวทำละลายของ PMH และ PBH สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค TG-DTA ดังรูป 9 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการเผาจะทำให้เหลือสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่า 3% ส่วนการกำจัดด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายจะทำให้เหลือสารลดแรงตึงผิว 8-12 % ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนั้นวิธีการกำจัดสารลดแรงตึงผิวด้วยการเผาจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากทำให้มีสารลดแรงตึงผิวเหลือน้อยกว่าวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย



(ก)

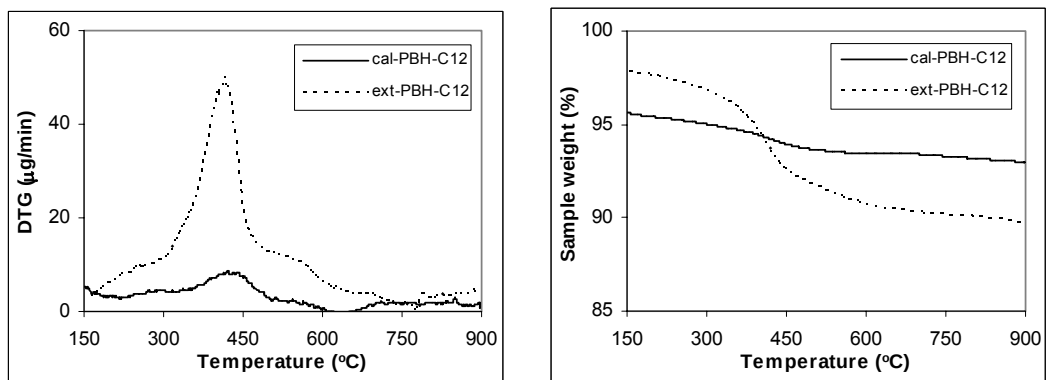


(ข)

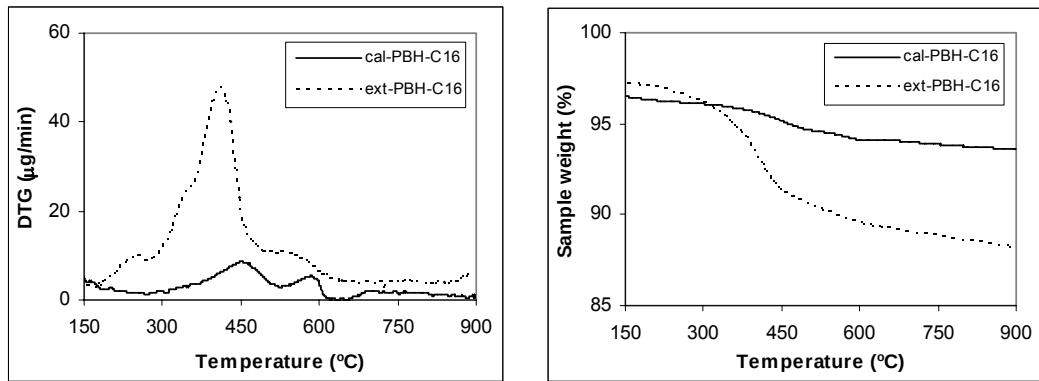


(ค)

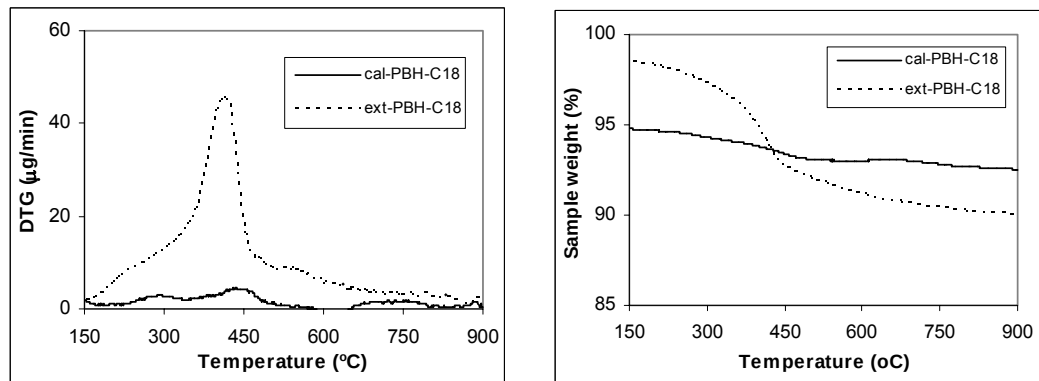
รูปที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่ใน PMH ที่ได้จากการเผาและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (ก) PMH-C₁₂ (ข) PMH-C₁₆ (ค) PMH-C₁₈



(ก)



(ข)



(ค)

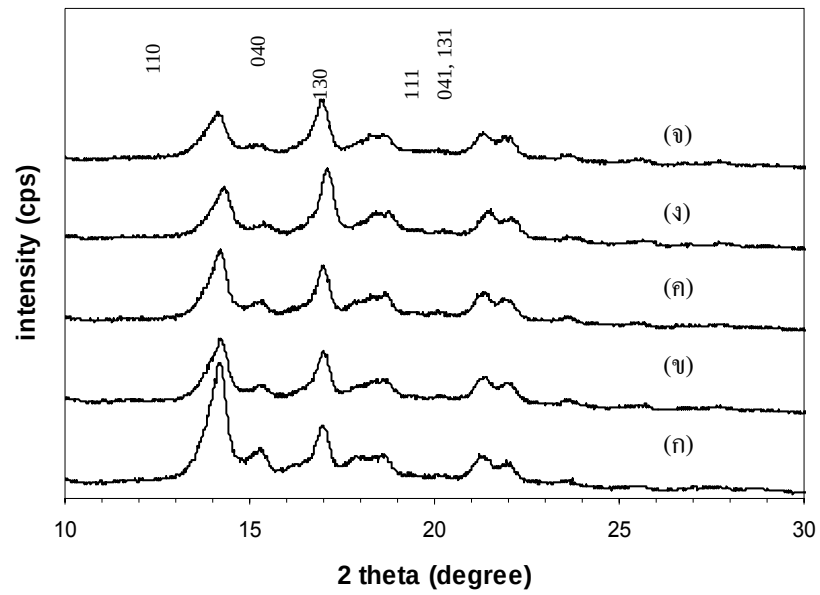
รูปที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่ใน PBH ที่ได้จากการเผาและการสกัดด้วยตัวทำละลาย (ก) PBH-C₁₂ (ข) PBH-C₁₆ (ค) PBH-C₁₈

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่ของ PMH และ PBH ระหว่างการกำจัดด้วยวิธีการเผาและการสกัดด้วยตัวทำละลาย

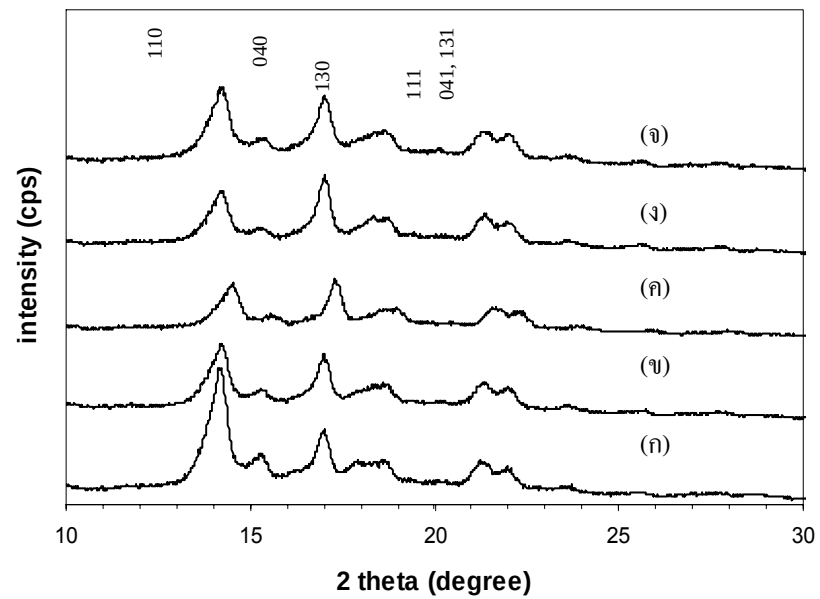
ตัวอย่าง	% สารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่	
	การเผา	การสกัดด้วยตัวทำละลาย
PMH-C ₁₂	2.4	10.1
PMH-C ₁₆	1.9	9.0
PMH-C ₁₈	2.4	11.3
PBH-C ₁₂	1.9	7.7
PBH-C ₁₆	2.2	8.2
PBH-C ₁₈	1.6	8.1

การศึกษาลักษณะผลึกของพอลิพรอพิลีนนาโนคอมพอสิตหลังจากที่มีการผสมดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุน

หลังจากที่ได้ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุนแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากดินเหนียวที่มีรูพรุนโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์กวนเกลียวคู่ โดยได้มีการผสมตัวประสาน (compatibilizer) คือ PP-g-MA เข้าไปด้วยเนื่องจากพอลิพรอพิลีน(PP)เป็นพวกไม่ชอบน้ำจึงต้องมีตัวช่วยให้ดินเหนียวที่มีรูพรุนสามารถผสมเข้ากับพอลิพรอพิลีนได้ดีขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ดังรูป 11 และ 12 พบว่าลักษณะผลึกของพอลิพรอพิลีนและพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ดินที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุนไม่มีผลต่อลักษณะผลึกของพอลิเมอร์

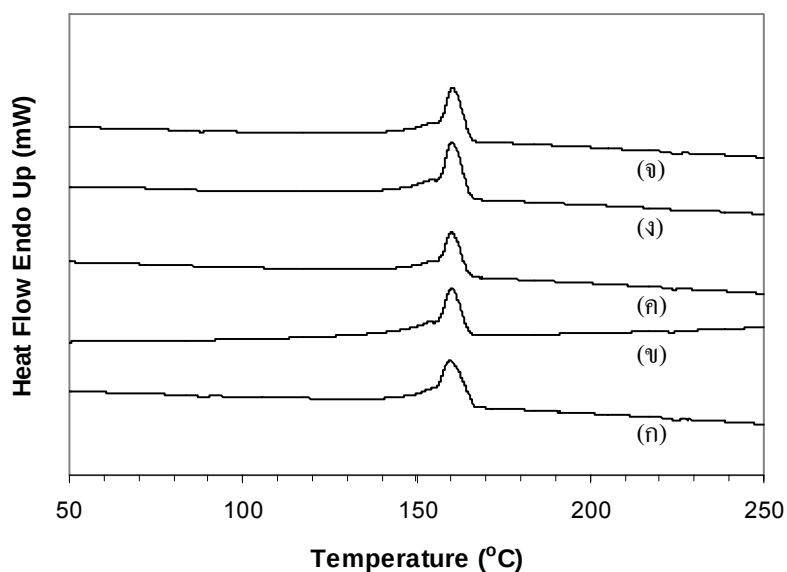


รูปที่ 11 แสดง XRD สเปกตรัมของ PMH/PP นาโนคอมโพสิต: (ก) PP, (ข) PP-g-MA/PP, (ค) PMH-C₁₂/PP-g-MA/PP, (ง) PMH-C₁₆/PP-g-MA/PP, (จ) PMH-C₁₈/PP-g-MA/PP

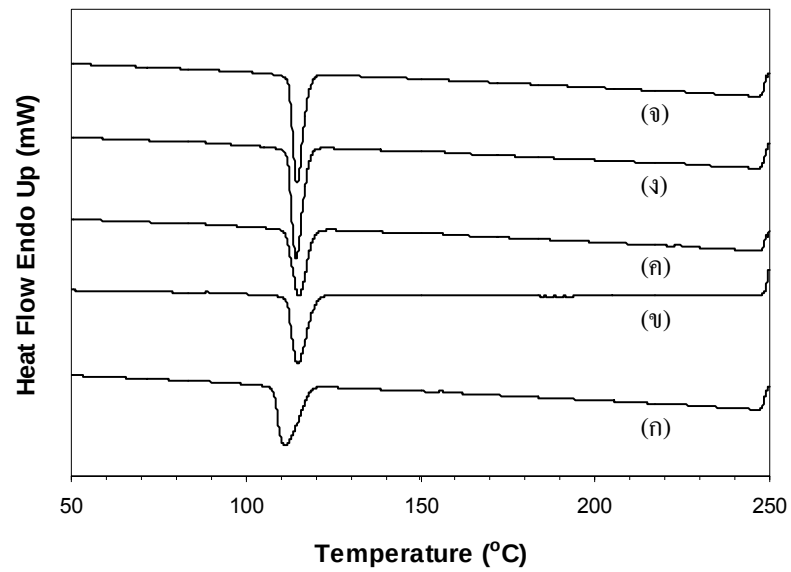


รูปที่ 12 แสดง XRD สเปกตรัมของ PBH/PP นาโนคอมโพสิต: (ก) PP, (ข) PP-g-MA/PP, (ค) PBH-C₁₂/PP-g-MA/PP, (ง) PBH-C₁₆/PP-g-MA/PP, (จ) PBH-C₁₈/PP-g-MA/PP

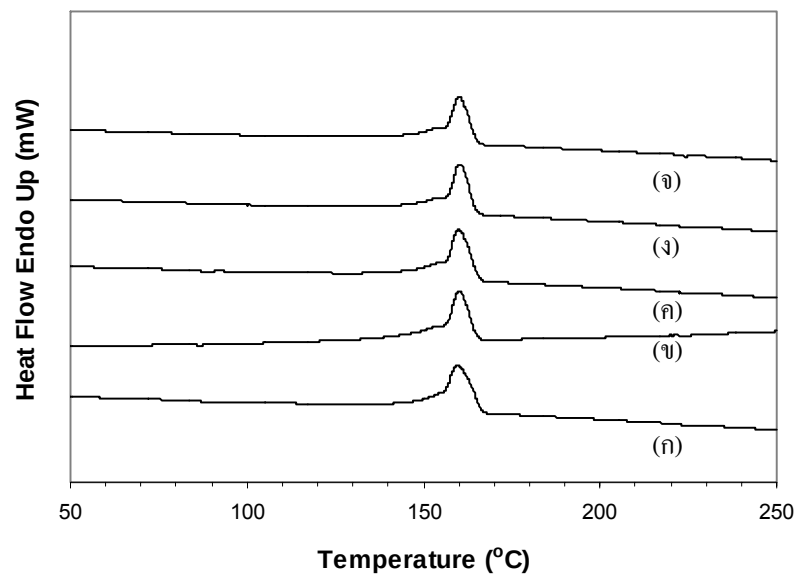
เมื่อพบว่าการเติมดินเหนียวที่มีรูพรุนนี้ไม่มีผลทำให้ลักษณะผลึกของพอลิพรอพิลีนเปลี่ยนแปลงไป และอุณหภูมิการเกิดผลึกพอลิพรอพิลีนนาโนคอมโพสิตที่เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยนั้นเป็นผลมาจากการใช้ PP-g-MA จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ดังรูป 13-16 พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกของ PP คือ 111.11 องศาเซลเซียส ขณะที่การเติม PP-g-MA 3% โดยน้ำหนักจะทำให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเป็น 114.96 องศาเซลเซียส ต่อมาเมื่อมีการเติมดินที่มีการดัดแปลงให้มีรูพรุน PMH และ PBH 1% โดยน้ำหนักพบว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกยังคงอยู่ในช่วง 115 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการเติมดินที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุนไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึก



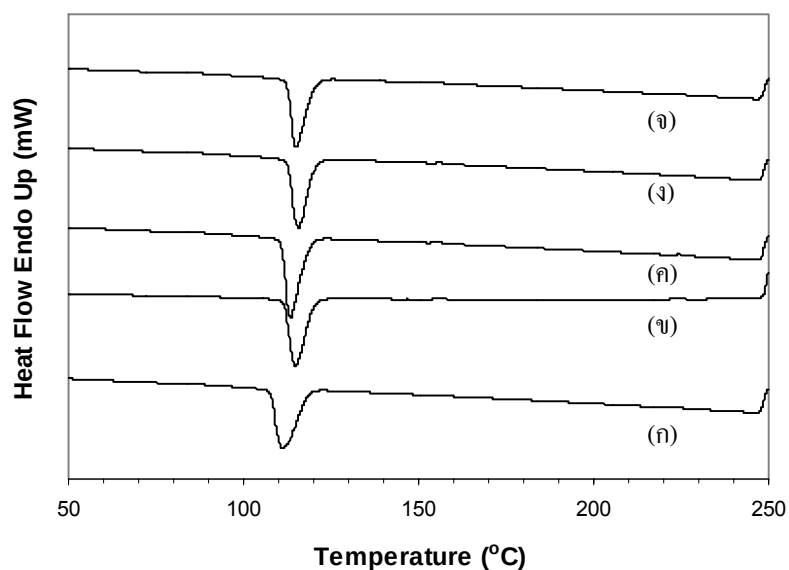
รูปที่ 13 แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PMH-C₁₂/PP-g-MA/PP (ง) PMH-C₁₆/PP-g-MA/PP (จ) PMH-C₁₈/PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 50-250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 14 แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PMH-C₁₂/PP-g-MA/PP (ง) PMH-C₁₆/PP-g-MA/PP (จ) PMH-C₁₈/PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อลดอุณหภูมิจาก 250-50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 15 แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PBH-C₁₂/PP-g-MA/PP (ง) PBH-C₁₆/PP-g-MA/PP (จ) PBH-C₁₈/PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 50-250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 16 แสดงผลจากการวิเคราะห์ (ก) PP (ข) PP-g-MA/PP (ค) PBH-C₁₂/PP-g-MA/PP (ง) PBH-C₁₆/PP-g-MA/PP (จ) PBH-C₁₈/PP-g-MA/PP ด้วยเทคนิค DSC เมื่อลดอุณหภูมิจาก 250-50 องศาเซลเซียส

การศึกษาปริมาณการซึมผ่านของออกซิเจนบนแผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิต

การศึกษาปริมาณการซึมผ่านของออกซิเจนบนแผ่นฟิล์มดังตารางที่ 6 พบว่า ฟิล์มนาโนคอมโพสิต มีปริมาณการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนน้อยกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีน เนื่องจากดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างนี้ยังคงมีชั้นดินเหนียวที่สามารถกีดขวางการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้จึงทำให้แผ่นฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีปริมาณการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีนถึงร้อยละ 20

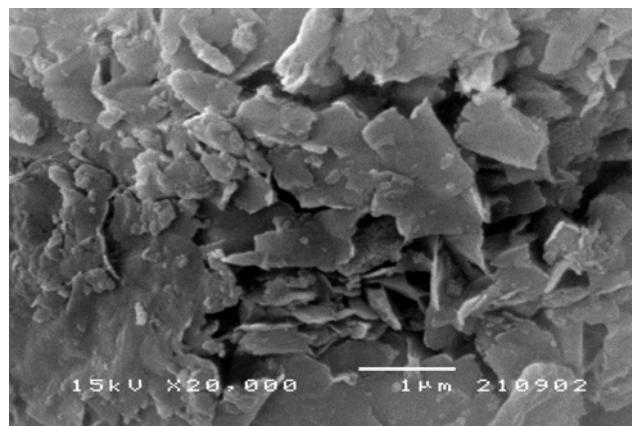
ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนบนแผ่นฟิล์ม

ตัวอย่าง	ปริมาณการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ($\text{cm}^3/\text{m}^2\cdot\text{วัน}\cdot\text{บรรยากาศ}$)
PP	402.97
PBH/PP	356.28

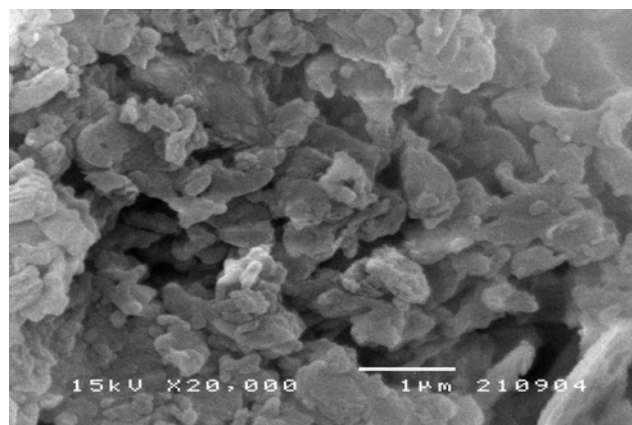
ผลการวิเคราะห์ลักษณะของดินที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้มีรูพรุนและปรับสภาพพื้นผิวด้วยหมูฟังกัสชันเมิร์ล

การวิเคราะห์ลักษณะรูพรุน

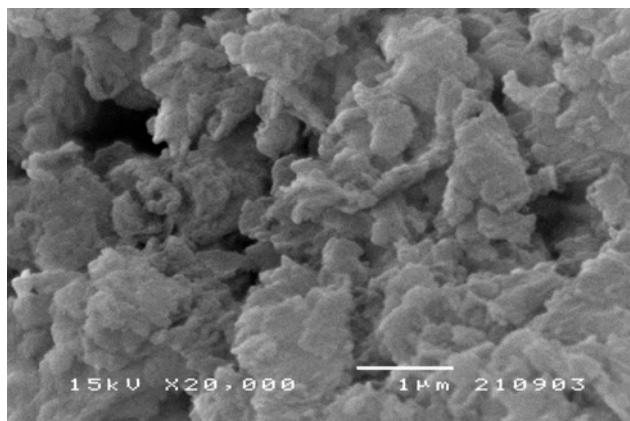
เบนโทไนต์จะแสดงรูปร่างแบบเป็นแผ่นแบนๆซ้อนกันเป็นชั้นๆดังที่แสดงในรูปที่ 17 (ก) หลังจากมีการปรับปรุงโครงสร้างแล้ว จากผลของการส่องกราดของอิเล็กตรอน (SEM) (รูปที่ 17 (ข)-(ค)) พบว่า พื้นผิวของดินเหนียวที่มีการปรับโครงสร้างให้มีรูพรุนจะมีความขรุขระมากกว่าดินเหนียวเบนโทไนต์ธรรมดา



(ก)



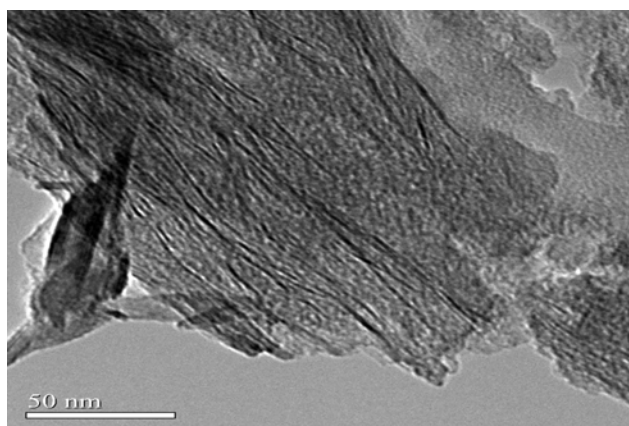
(ข)



(ก)

รูปที่ 17 ภาพ SEM ของ (ก) แร่ดินเหนียวเบนโทไนต์ (bentonite), (ข) ดินเหนียวที่มีโครงสร้างรูพรุน PCH-7 และ (ค) ดินเหนียวที่มีโครงสร้างรูพรุนและมีหมู่ฟังก์ชัน (HPCH-7)

สำหรับภาพที่ได้จากการส่องผ่านของอิเล็กตรอน(TEM) ในรูปที่ 18 เส้นสีดำจะบ่งบอกถึงชั้นดินเหนียว ส่วนรูพรุนที่อยู่ระหว่างชั้นดินเหนียวจะเป็นรูปเส้นสีขาว

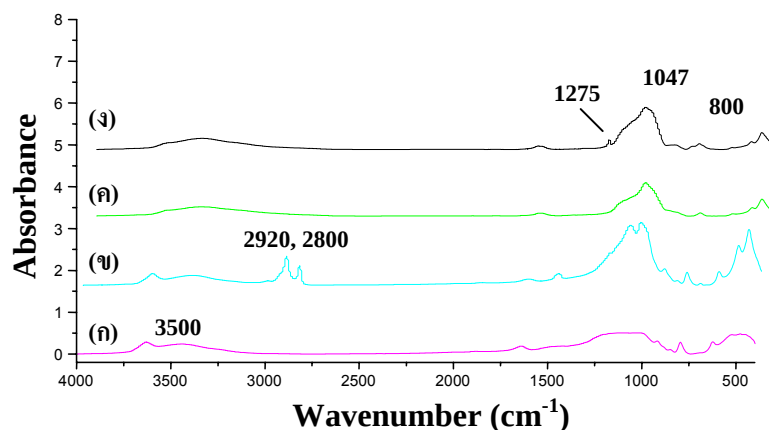


รูปที่ 18 ภาพ TEM จากการตัดขวางของดินเหนียวที่มีโครงสร้างรูพรุน

การวิเคราะห์ทางเคมี

จากสเปกตรัม FTIR ของเบนโทไนต์ ในรูปที่ 19 (ก) พีกขนาดกว้างที่ความถี่ 3500 cm^{-1} แสดงถึง หมู่ silanol ที่มีอยู่ในโครงสร้าง silica และพีกที่ 1100 , 1000 และ 800 cm^{-1} บ่งบอกถึงหน่วยของ SiO_4 และ Si-O-Si ตามลำดับ สารลดแรงตึงผิวจะแสดงสเปกตรัมที่ 2920 และ 2800 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการสั่นแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของหมู่เมทิลและเมทิลีนใน hexadecyltrimethyl ammonium ion ในรูปที่ 19 (ข)

หลังจากสกัดเอาสารลดแรงตึงผิวออกจากโครงสร้าง พีคทั้งสองจะหายไปดังรูปที่ 19 (ค) และ (ง) ซึ่งเป็นของดินที่มีโครงสร้างรูพรุน(PCH) และดินที่มีโครงสร้างรูพรุนและหมู่ฟังก์ชัน(HPCH) จากพีคทั้ง 2 จะพบว่าแตกต่างจากเบนโทไนต์ที่พีคที่ 1000 cm^{-1} หายไป จึงสามารถบอกได้ว่าโครงสร้างของแร่ดินเหนียวมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากได้รับการดัดแปลงด้วยสารอินทรีย์ นอกจากนี้สเปกตรัมของ HPCH ยังแสดงผลการเชื่อมต่อนระหว่างสารอินทรีย์และโครงข่ายซิลิกาที่พีค 1275 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะระหว่าง Si-C



รูปที่ 19 FTIR สเปกตรัมของ (ก) เบนโทไนต์, (ข) ออกาโนเคลย์, (ค) PCHs และ (ง) HPCHs

ในการยืนยันผลของการเข้าทำปฏิกิริยาของหมู่ไทออล (thoil) เทคนิค XRF จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์แทนเทคนิค FTIR เนื่องจากพีคของหมู่ไทออลมีขนาดเล็กมากไม่สามารถตรวจสอบได้ จากผลของ XRF พบว่า ดินที่มีการปรับโครงสร้างมีปริมาณซิลเฟอร์(S) เพิ่มขึ้นเป็น 4.32 ในขณะที่แร่ดินเหนียวเบนโทไนต์ไม่ปรากฏผล

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของแร่ดินเหนียวที่มีรูพรุนและรูพรุนที่ปรับโครงสร้างแล้ว

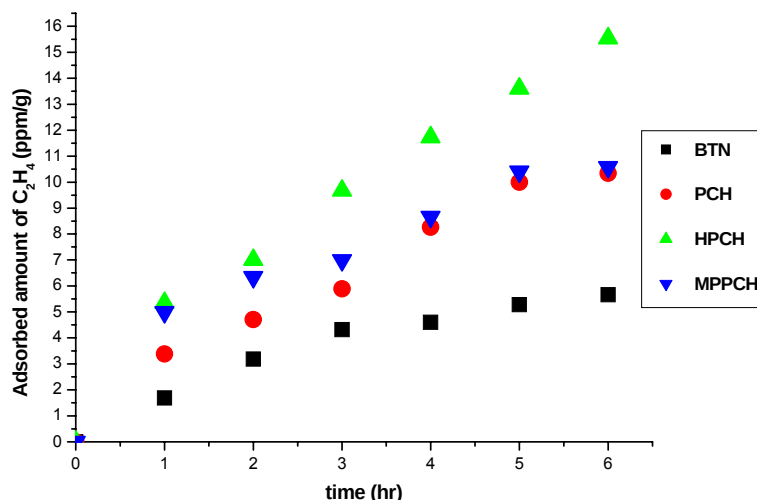
จากข้อมูลการดูดซับไนโตรเจน พื้นที่ผิวของเบนโทไนต์คือ 31 ตร.ม./กรัม หลังจากปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีแล้วพบว่า พื้นที่ผิวของPCH, HPCH และ MPPCH คือ 507.7, 500.3 และ 488.7 ตร.ม./กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนก็อยู่ในช่วง supermicropore ถึง small mesopore คือ 5.07, 4.28 และ 3.28 nm และปริมาตรในรูพรุน คือ 0.64, 0.77 และ 0.48 ซีซี/กรัม

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลจากการดูดซับไนโตรเจน

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (nm)	ปริมาตรรูพรุน (ซีซี/กรัม)
เบนโทไนต์	31.0	16.45	0.15
PCH	507.7	5.07	0.64
HPCH	500.3	4.28	0.77
MPPCH	488.7	3.28	0.48

การวิเคราะห์การดักจับก๊าซเอธิลีนของแร่ดินเหนียวและดินเหนียวนาโน/พอลิพรอพิลีน

การเคลื่อนที่ผ่านของก๊าซในผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยสำคัญของบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์ เอธิลีนเป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งในพืชที่สามารถเร่งอัตราการหายใจซึ่งทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตและการสุกเร็วขึ้น โดยทั่วไปแล้วการผสมดินเหนียวนาโนเข้าไปในนาโนคอมพอสิตจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการให้ก๊าซผ่านยากขึ้น การดักจับก๊าซเอธิลีนของดินเหนียวนาโนดังรูปที่ 20 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุนมีการดูดซับปริมาณก๊าซเอธิลีนได้มากกว่าแร่ดินเหนียวเบนโทไนต์ ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะว่าดินเหนียวที่มีรูพรุนมีพื้นที่ผิวมากกว่าจึงทำให้สามารถดักจับก๊าซได้มาก อีกทั้งยังมีหมู่ฟังก์ชันที่ทำให้ดินเหนียวที่มีรูพรุนมีความไม่ชอบน้ำมากกว่าจึงทำให้ดูดซับสารที่ไม่ชอบน้ำเช่น พวกไฮโดรคาร์บอนได้ดี จากรูปที่ 20 สามารถบอกได้ว่า ปริมาณการดูดจับเอธิลีนเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้นและหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในดินเหนียวที่มีรูพรุนมีบทบาทสำคัญในการดูดจับก๊าซเอธิลีนด้วย



รูปที่ 20 กราฟแสดงผลการดูดซับก๊าซเอทิลีนของดินเหนียวเบนโทไนต์ (BTN),ดินเหนียวที่มีรูพรุน (PCH) และดินเหนียวที่มีหมู่เมธิล (HPCH) และไทออล (MPPCH)

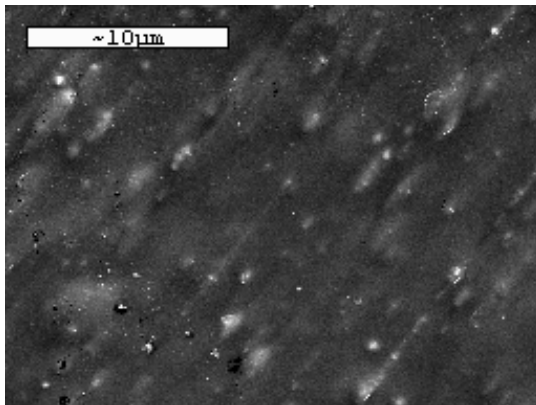
หลังจากที่ได้ทำการสังเคราะห์ดินเหนียวที่มีโครงสร้างรูพรุนทางเคมีแล้ว ก็จะนำดินเหนียว โครงสร้างรูพรุนมาผสมกับเม็ดพลาสติก(พอลิพรอพิลีน) ในเครื่องอัดรีดกวนเกลียวคู่ ซึ่งมีค่า L/D เท่ากับ 30 และ D เท่ากับ 25 มิลลิเมตร ในสภาวะอุณหภูมิที่ 80, 160, 180, 195, 205 และ 215 องศาเซลเซียส จาก hopper ถึง die และความเร็วการหมุนของสกรู คือ 50 rpm จากนั้นนำเม็ดนาโนคอมโพสิตมาขึ้นรูป แผ่นฟิล์มนาโนด้วยเครื่อง blown film extrusion ที่มีค่า L/D เท่ากับ 26 และ D เท่ากับ 45 มิลลิเมตร ใน สภาวะอุณหภูมิที่ 210 องศาเซลเซียส จาก hopper ถึง die และความเร็วการหมุนของสกรู คือ 50 rpm ปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ใน ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตฟิล์ม ได้แสดงไว้ในตาราง 8 ปริมาณคาร์บอน พบ มากที่สุดเนื่องจาก PP ซึ่งเป็น matrix ของระบบ ภาพจากเครื่อง SEM-EDS ถูกแสดงไว้ในรูป 21-22

จากผลการทดลอง EDS ปรากฏว่า Si, Al, O กระจายตัวอยู่ใน film ได้ดี อันเนื่องมาจากดินเหนียว ที่มีรูพรุนนั้นสามารถกระจายตัวอยู่ใน matrix PP ได้ดี ถึงแม้ว่าภาพใน SEM จะแสดงให้เห็นถึง cluster ที่ ยึดเป็น fiber ก็ตาม

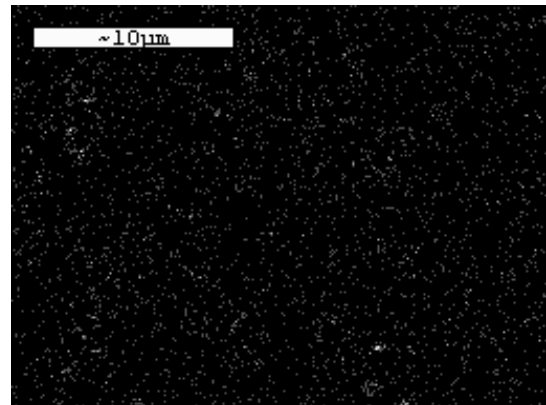
ตารางที่ 8 แสดงปริมาณ % ของธาตุต่างๆ ที่อยู่ในดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมโพสิตฟิล์ม

Sample	Selected Chemical Element			
	C	Si	Al	O
1% PCH-9/Surlyn/PP	93.57	0.51	0.00*	5.92
1% HPCH-9/Surlyn/PP	95.07	0.60	0.12	4.20

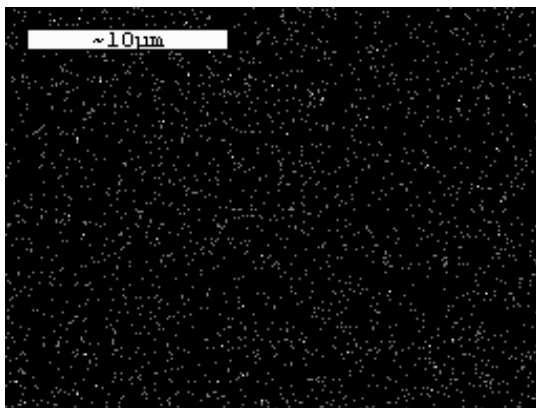
* ค่าของ Al เป็น 0.00 เพราะปริมาณนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณ C ใน polymer matrix



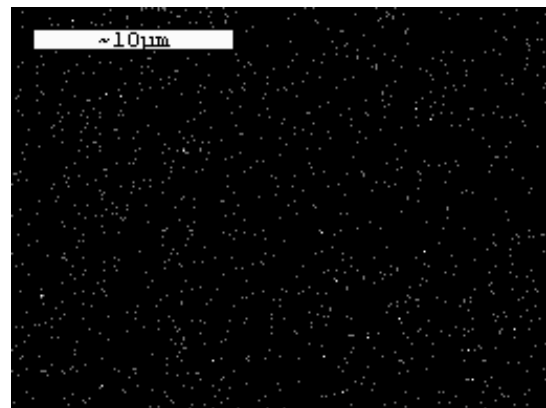
(ก)



(ข)

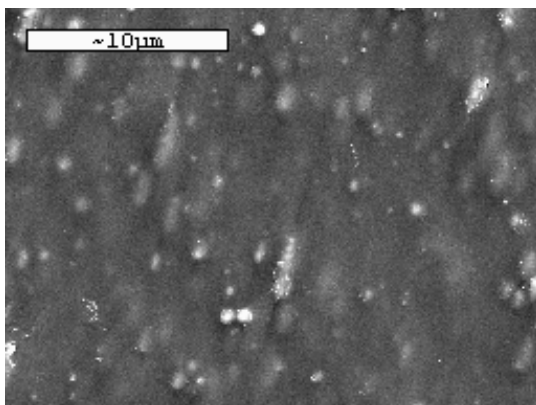


(ค)

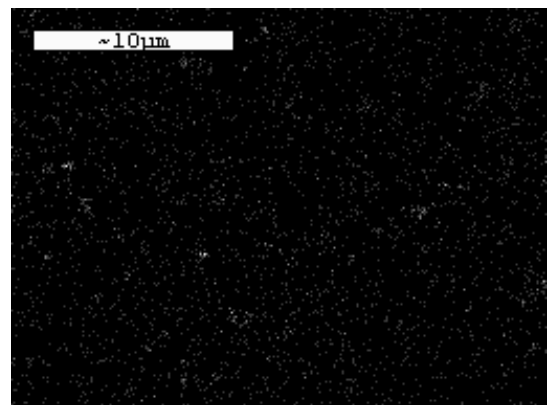


(ง)

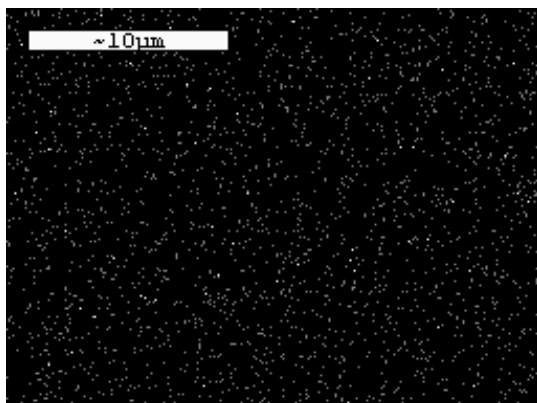
รูปที่ 21 รูป SEM และ consistent EDS micrographs ของ 1% PCH-9/Surlyn/PP (ก) SEM image, (ข) Si mapping, (ค) Al mapping, and (ง) O mapping



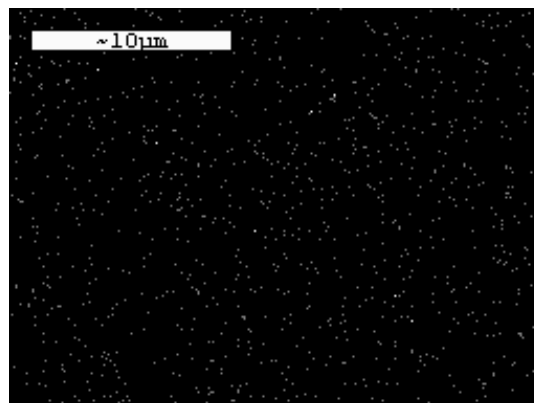
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 22 รูป SEM และ consistent EDX micrographs ของ 1% HPCH-9/Surlyn/PP (ก) SEM image, (ข) Si mapping, (ค) Al mapping, and (ง) O mapping



(ก)



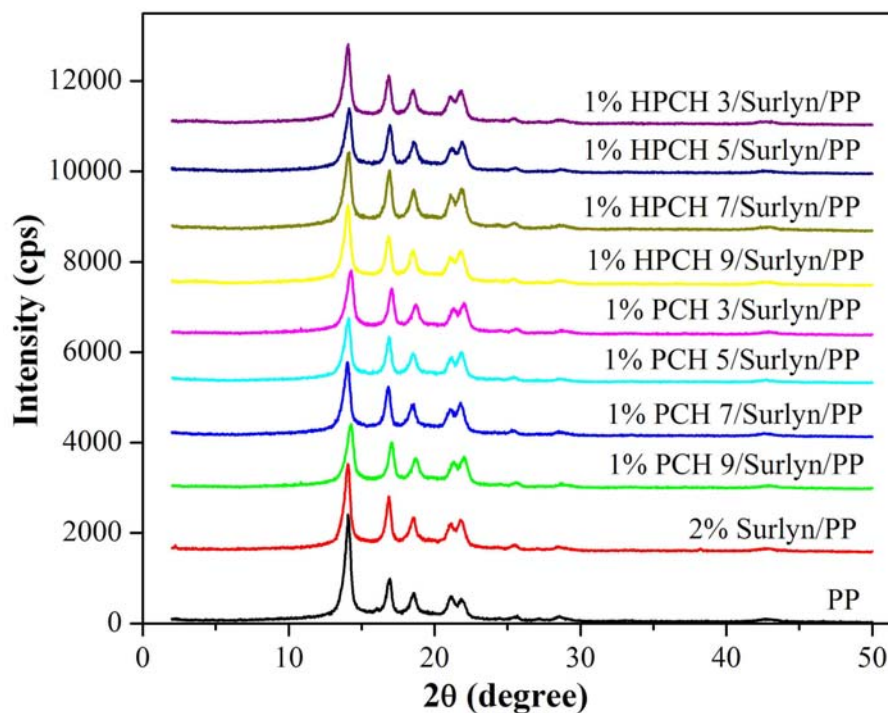
(ข)

รูปที่ 23 รูปผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่อง blown film extrusion (ก) PCH และ (ข) HPCH

ลักษณะของผลึกและการเกิดรูปผลึกในดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต

โครงสร้างผลึกของ PP และ ดินเหนียวนาโนคอมพอสิต ถูกวิเคราะห์โดยเครื่อง XRD มุมที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 2θ เท่ากับ $2-40^\circ$ รูปแบบของ PP ประกอบไปด้วย 5 peaks α -phase 14.1, 16.9, 18.5, 21.0 และ 21.7° จากระนาบ $(110)_\alpha$, $(040)_\alpha$, $(130)_\alpha$, $(111)_\alpha$, $(131)_\alpha$ แสดงไว้ในรูป 24 โดยตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะเป็นเม็ดพลาสติกที่ได้จากการผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและดินเหนียวนาโน

ที่มีรูพรุนและมีหมู่ฟังก์ชันเมธิล (PCH, HPCH) ตามลำดับ โดยมี surlyn เป็น ตัวประสาน (compatibilizer) จากรูปพบว่ารูปแบบของ XRD ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากผสมดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุน เมื่อเทียบกับ PP สรุปได้ว่า ดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุน ไม่มีผลต่อโครงสร้างผลึกของ PP



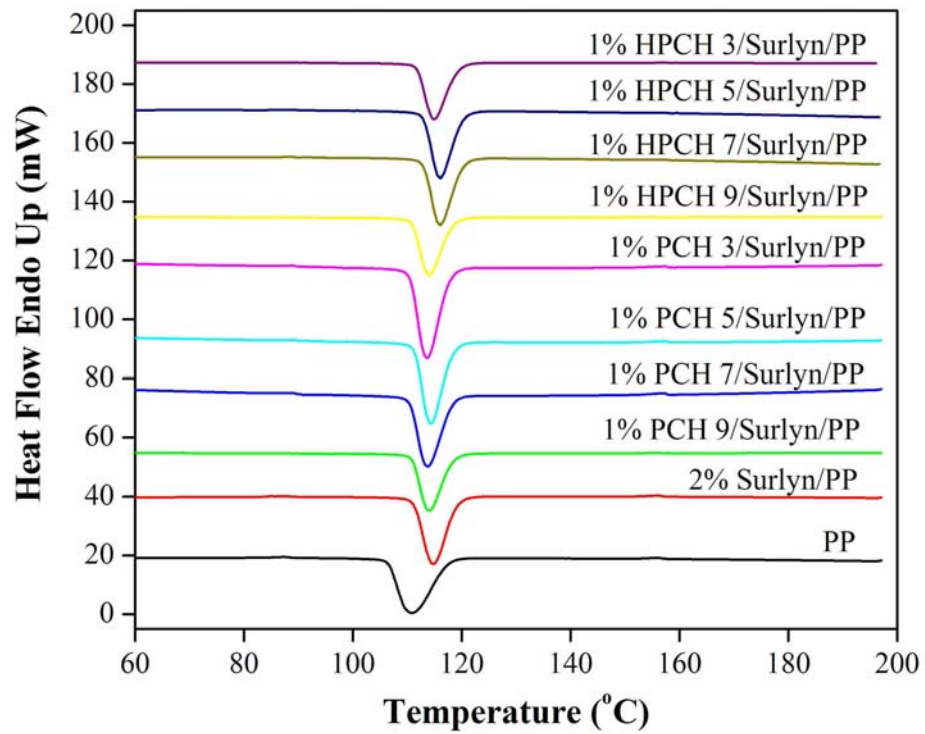
รูปที่ 24 รูปแบบ XRD ของ PP และ ดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุนและมีค่า pH ต่างกัน

* PCH X : PCH คือ ดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุน, X คือ ค่า pH

HPCH X : HPCH คือ ดินเหนียวนาโนที่มีรูพรุนและมีหมู่ฟังก์ชันเมธิล, X คือ ค่า pH

คุณสมบัติทางความร้อนของดินเหนียวนาโนคอมพอสิต

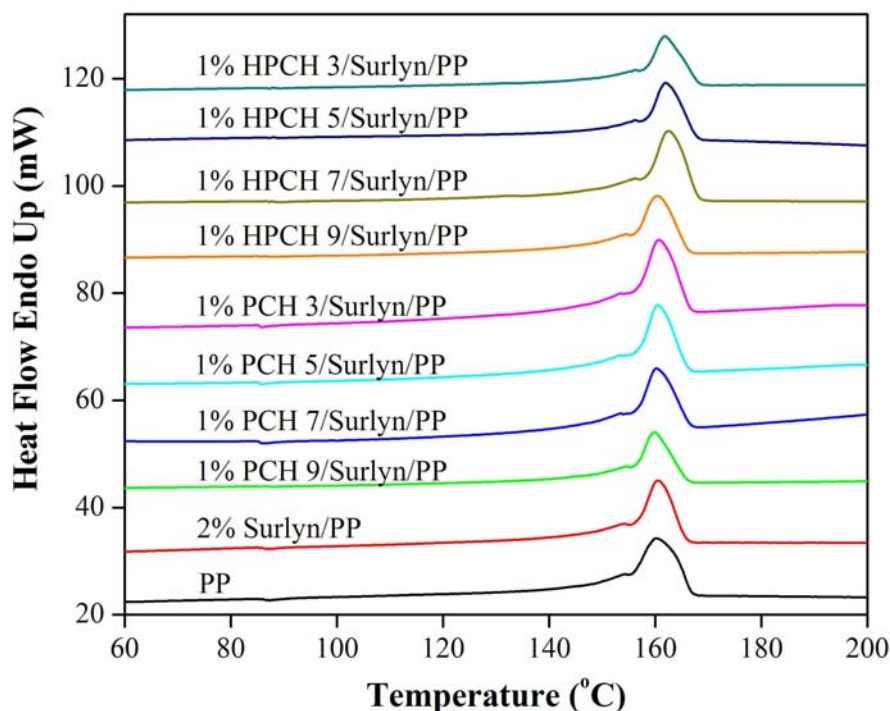
พฤติกรรมการเกิดผลึกของ PP และ ดินเหนียวนาโนคอมพอสิต ถูกวิเคราะห์โดยเครื่อง DSC cooling scan แสดงในรูป 25 และ ตาราง 9 ปรากฏว่า surlyn ionomer และ ดินเหนียวที่มีรูพรุน มีผลกระทบต่อการเกิดผลึกของ PP รูป 26 แสดงให้เห็นว่า การเกิดผลึกของ PP ในตอนแรกที่อุณหภูมิ 110.8°C แต่เมื่อผสม ดินเหนียวนาโนคอมพอสิต หรือ 2% surlyn/PP อุณหภูมิในการเกิดผลึกเปลี่ยนเป็น 115°C และมากกว่านั้นทุกๆ ความเข้มข้นของ ดินเหนียวที่มีรูพรุน มี %การเกิดผลึกสูงกว่า PP



รูปที่ 25 DSC cooling scan thermograms ของ PP และ สัดส่วนต่างๆของ ดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต

ตาราง 9 แสดงผลการเกิดผลึกของ PP และ ดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต

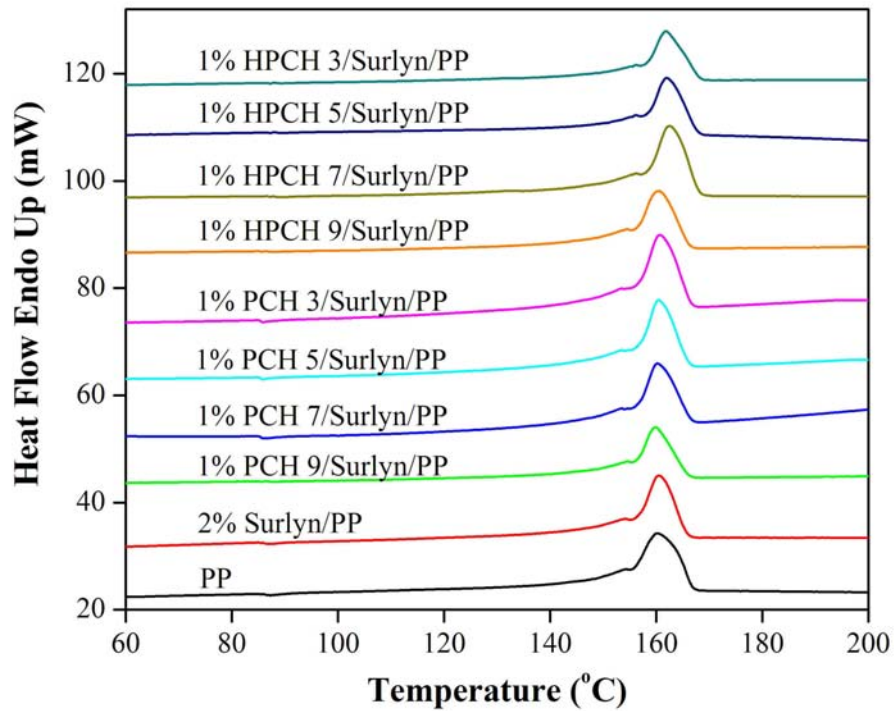
Sample	T _c peak (°C)	% Crystallinity
PP	110.8	37.3
2% Surlyn/PP	114.8	35.6
1% PCH 9/Surlyn/PP	114.0	46.7
1% PCH 7/Surlyn/PP	113.6	41.9
1% PCH 5/Surlyn/PP	114.3	47.7
1% PCH 3/Surlyn/PP	113.6	45.8
1% HPCH 9/Surlyn/PP	114.0	44.2
1% HPCH 7/Surlyn/PP	115.1	41.5
1% HPCH 5/Surlyn/PP	115.7	42.5
1% HPCH 3/Surlyn/PP	115.0	42.2



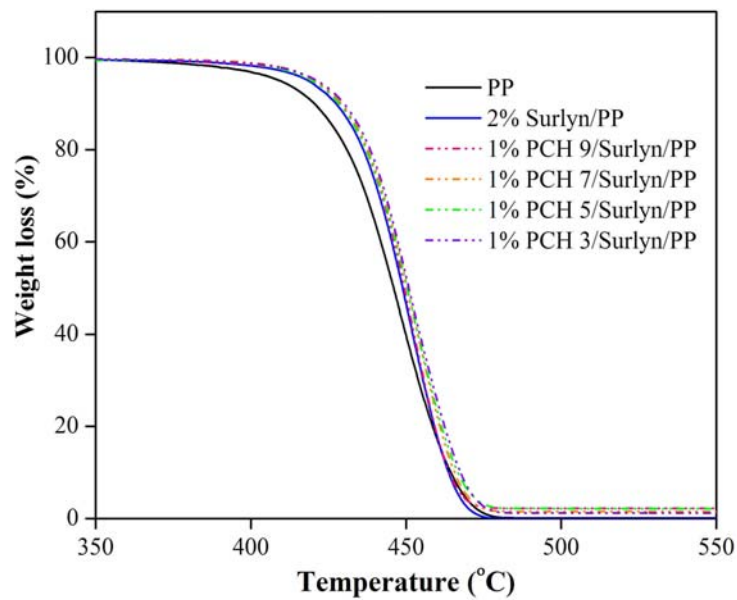
รูปที่ 26 DSC heating scan thermograms ของ PP และ สัดส่วนต่างๆของ ดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต

จุดหลอมเหลวของ PP และ ดินเหนียวนาโนคอมพอสิต ถูกวิเคราะห์โดยเครื่อง DSC heating scan ผลแสดงในรูป 27 จุดหลอมเหลวของ PP มีค่า 160.2°C ส่วนของ ดินเหนียวนาโนคอมพอสิต ประมาณ 162 °C

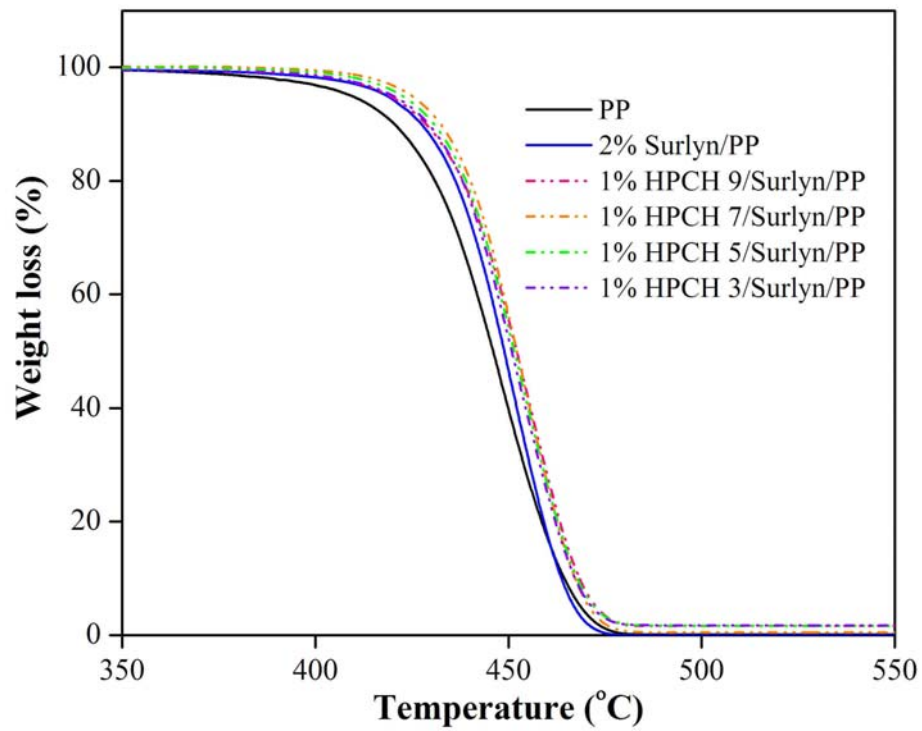
จากผลการทดลองพบว่า การเติม surlyn ionomer และ ดินเหนียวชนิดต่างๆ มีผลกระทบเล็กน้อยต่อ จุดหลอมเหลว ผลการทดลองจากเครื่อง TG-DTA แสดงในรูป 28 และ 29 และตาราง 10 อุณหภูมิที่ทำให้ PP และ นาโนคอมพอสิต เป็นระบบ single stage ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่า ความเสถียรต่ออุณหภูมิของนาโนคอมพอสิตนั้นมีค่ามากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ PP โดยการเพิ่มของอุณหภูมินั้นอาจเกิดจากโครงสร้างของคาร์บอนที่อยู่ในชั้นซิลิเกตช่วยทำให้มีการทนทานมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 27 DSC heating scan thermograms ของ PP และ สัตส่วนต่างๆของดินเหนียวรูพรุนนาโนคอมพอสิต



รูปที่ 28 TG-DTA curves ของ PP และ ของ PCH nanocomposites



รูปที่ 29 TG-DTA curves ของ PP และ ของ HPCH nanocomposite

ตาราง 10 คุณสมบัติทางความร้อน ของ PP และ สัดส่วนต่างๆของดินเหนียวที่มีรูพรุน

Sample	T _m peak (°C)	T _d onset (°C)	Char residue at 600 °C
PP	160.2	426.4	0.1
2% Surlyn/PP	160.5	432.4	0.1
1% PCH 9/Surlyn/PP	161.4	434.4	2.3
1% PCH 7/Surlyn/PP	161.7	433.1	1.6
1% PCH 5/Surlyn/PP	162.9	432.2	2.1
1% PCH 3/Surlyn/PP	161.9	433.9	1.2
1% HPCH 9/Surlyn/PP	162.4	434.1	1.6
1% HPCH 7/Surlyn/PP	162.5	435.1	1.5
1% HPCH 5/Surlyn/PP	162.0	433.2	1.7
1% HPCH 3/Surlyn/PP	161.9	432.8	1.7

การซึมผ่านของก๊าซเอธิลีนของดินเหนียวรูปพูนนาโนคอมพอสิตฟิล์ม

จากตาราง 11 ทั้ง PCHs และ HPCHs ที่สัดส่วนมาก มีผลกระทบต่อการซึมผ่านของก๊าซเอธิลีนของแผ่นฟิล์ม การซึมผ่านของก๊าซเอธิลีนมีค่าลดลง เนื่องจากการเติม PCHs และ HPCHs ซึ่งสารทั้งสองประกอบไปด้วย micro & mesoporosity ซึ่งช่วยในการดักและจับก๊าซเอธิลีนไว้ในโครงสร้างพูน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพการดักจับก๊าซเอธิลีนของ PCHs และ HPCHs จากผลการทดลองพบว่า HPCHs มีประสิทธิภาพดีกว่า PCHs เนื่องจาก HPCHs มีหมู่เมธิล ซึ่งมีความไม่ชอบน้ำมากกว่า ใน PCHs และอีกประการหนึ่ง HPCHs มีขนาดรูพูนที่เล็กกว่า PCHs

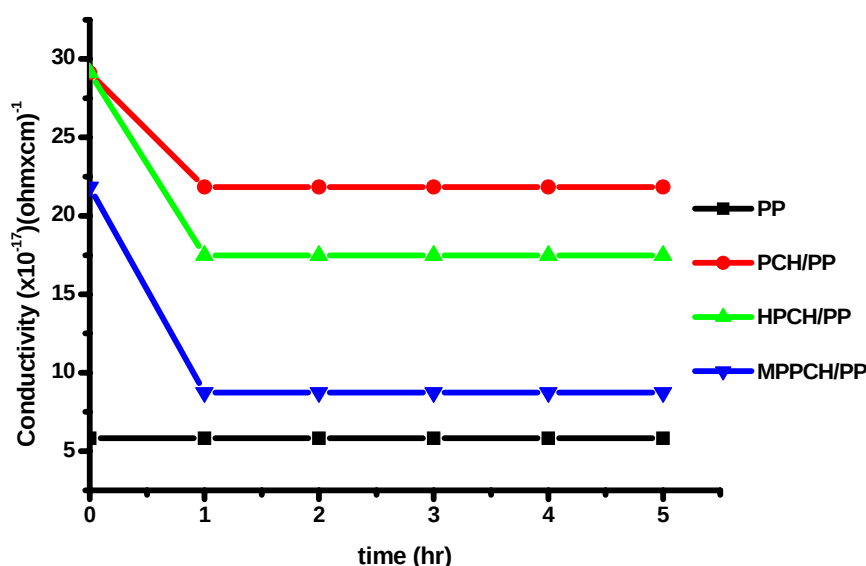
ตาราง 11 การส่งผ่านของปริมาณก๊าซเอธิลีน ของ PP and ดินเหนียวรูปพูนนาโนคอมพอสิตฟิล์ม

Sample	Ethylene permeability (ml(STP).mil/m ² .d.atm)
PP	630.60 ± 19.13
1% PCH 9/Surlyn/PP	564.39 ± 10.91
1% PCH 7/Surlyn/PP	588.81 ± 27.23
1% PCH 5/Surlyn/PP	558.85 ± 10.41
1% PCH 3/Surlyn/PP	573.21 ± 55.87
1% HPCH 9/Surlyn/PP	497.34 ± 49.73
1% HPCH 7/Surlyn/PP	530.44 ± 28.83
1% HPCH 5/Surlyn/PP	484.42 ± 65.77
1% HPCH 3/Surlyn/PP	524.67 ± 33.75

การตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิต

หลังจากที่นำแผ่นฟิล์มนาโนคอมพอสิตมาตรวจสอบการดักจับก๊าซเอธิลีนแล้ว ก็จะนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าว่ามีการเปลี่ยนแปลงด้านการนำไฟฟ้าอย่างไรเมื่อมีการทำปฏิกิริยากับก๊าซเอธิลีน จากการทดลองได้นำ PP, PCH 9, HPCH9 และ MPPCH มาทำการทดสอบ ที่ค่า pH 9 มาทดลองนั้นเนื่องจากที่ pH 9 ตัวอย่างเหล่านี้สามารถดูดจับเอธิลีนได้ดีที่สุด หลังจากทดสอบแล้วได้ผลดังรูปที่ 30 ผลปรากฏว่า การนำไฟฟ้าของพอลิพรอพิลีนคงที่หรือแปลได้ว่าไม่มีการนำไฟฟ้าเกิดขึ้นในพอลิพรอพิลีน แต่เมื่อมาดูผลของดินเหนียวที่มีรูพูน/พอลิพรอพิลีนทั้ง 3 ชนิด พบว่า หลังจากที่มีการดูดซับก๊าซเอธิลีน

ล้นแล้วค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 3 ลดลง ที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่า พันธะคู่ของเอธิลีนดึงอิเล็กตรอนของหมู่ฟังก์ชันบริเวณผิวของดินเหนียวรูปพรุน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนขึ้น ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า นอกจากนี้ MPPCH ที่มีหมู่ฟังก์ชันไทออลซึ่งเป็นหมู่ที่ไวต่อการนำไฟฟ้าก็มีการลดลงของการนำไฟฟ้าอย่างเห็นได้ชัดเจนนกว่า PCH และ HPCH เมื่อมีการดูดซับก๊าซเอธิลีน



รูปที่ 30 กราฟแสดงผลค่าการลดลงของการนำไฟฟ้าหลังจากที่มีการดูดซับก๊าซเอธิลีน

จากผลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ดินเหนียวที่มีรูพรุนและมีการปรับสภาพด้วยหมู่เมธิลและหมู่ไทออลสามารถนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถดูดซับก๊าซเอธิลีนเพื่อช่วยยืดอายุและสามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ฉลาดในการบ่งบอกถึงปริมาณก๊าซเอธิลีนในบรรจุภัณฑ์ได้ โดยการแสดงผลทางด้านการเปลี่ยนแปลงทางค่านำไฟฟ้า

13. อภิปรายผลการทดลองและวิจารณ์ผล

13.1 ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อชั้นแร่ดินเหนียว

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อแร่ดินเหนียวได้รับการปรับปรุงโครงสร้างด้วยสารลดแรงตึงผิวหรือที่ใช้กันคือ CTAB ระยะห่างระหว่างชั้นดินเพิ่มขึ้นจากเดิม ที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่า ขณะเกิดปฏิกิริยาได้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกขึ้นระหว่าง โซเดียมและสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิว ทำให้สารลดแรงตึงผิวที่มีสายโซ่นานนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นดินทำให้ชั้นดินมีการถ่างตัวหรือขยายตัวขึ้น ซึ่งสามารถ

วิเคราะห์ผลนี้ได้จากการที่มุม 2θ เคลื่อนตัวไปทางซ้ายมีมุมที่ลดลง การเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ทำให้ง่ายต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ในการสังเคราะห์รูพรุน นอกจากนี้ความยาวของสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิวยังเป็นปัจจัยสำคัญในการขยายช่องว่างระหว่างชั้นอีกด้วย ยิ่งความยาวของสายโซ่มากก็ยิ่งขยายช่องว่างได้มาก จากการศึกษาวิธีการสกัดสารลดแรงตึงผิวออกจากดินเหนียวนาโนพบว่า การเผาสามารถสกัดสารลดแรงตึงผิวออกมาได้มากกว่าการสกัดด้วยสารละลาย เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกว่าแต่หมู่ฟังก์ชันบางตัวหายไป ดังนั้นเราจึงเลือกที่จะสกัดสารลดแรงตึงผิวด้วยสารละลาย

13.2 ผลของดินเหนียวที่มีการปรับโครงสร้างให้มีรูพรุนและมีการเติมหมู่ฟังก์ชัน

จากผลการทดลองสำหรับทางกายภาพ ภาพที่ได้จาก SEM จะมองไม่ค่อยเห็นรูพรุนเนื่องจากเป็นแค่พื้นผิวด้านบนเท่านั้น ดังนั้นจึงทำการส่องด้วย TEM อีกทีจึงเห็นว่า ชั้นของรูพรุนจะกระจายอยู่ระหว่างชั้นดิน แต่ภาพที่ได้ยังไม่ค่อยชัด ควรปรับโฟกัสให้ดีกว่านี้

สำหรับผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR เป็นผลที่สามารถบอกได้ชัดเจนเนื่องจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน จากผลพบว่า สามารถทำการสังเคราะห์ดินเหนียวที่มีโครงสร้างที่มีรูพรุนและมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอินทรีย์ตัวอื่นๆและมีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่มาจากหมู่ไทออล ซึ่งวิเคราะห์ได้จากเทคนิค XRF ที่ใช้ในการยืนยันผล หลังจากการสังเคราะห์เสร็จแล้ว โครงสร้างหลักพวกซิลิกาของดินเหนียวยังคงอยู่ซึ่งดูได้จากพีคช่วงประมาณ 3500 cm^{-1} เป็นของหมู่ silanol ซึ่ง OH อยู่ และพีคของหน่วย SiO_4 และ Si-O-Si และพีคที่ 1275 cm^{-1} สามารถยืนยันได้ว่า MTS ซึ่งมีหมู่เมธิลเป็นองค์ประกอบสามารถเข้าไปเชื่อมต่อกับ Si ในรูพรุนประกอบเป็นพันธะ Si-C

13.3 ผลการศึกษาด้านคุณสมบัติทางกายภาพของพอลิพรอพิลีนเมื่อมีการผสมดินเหนียวนาโน

จากผล TG-DTA พบว่า การเติมดินเหนียวนาโนลงไปในพอลิพรอพิลีนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความร้อนเนื่องจากโมเลกุลของดินเหนียวนาโนมีขนาดเล็กมาก และลักษณะโครงสร้างผลึกของพอลิพรอพิลีนก็ยังคงเดิมเมื่อดูจากผล XRD ถ้าคุณสมบัติของพอลิพรอพิลีนมีการเปลี่ยนแปลงน่าจะมาจากสารตัวอื่น เช่น compatibilizer

13.4 ผลของพื้นที่ผิวต่อการดูดซับก๊าซไนโตรเจนและการดูดซับก๊าซเอธิลีน

จากผลการดูดซับไนโตรเจน พื้นที่ผิวของ PCH, HPCH และ MPPCH มีปริมาณมากกว่าเบนโทไนต์ เนื่องจาก PCH มีโครงสร้างรูพรุนที่สามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับสารต่างๆ สำหรับ HPCH และ MPPCH นอกจากจะมีรูพรุนที่ช่วยในการดูดซับแล้วยังมีหมู่เมธิลและหมู่ไทออลที่สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซเอธิลีนได้ดีอีกด้วย จึงทำให้ PCH, HPCH และ MPPCH มีการดูดซับก๊าซเอธิลีนได้มากกว่าเบนโทไนต์ และเมื่อดูคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า พบว่าพอลิพรอพิลีนไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ แต่ MPPCH เห็นได้

ชัดเจนว่าค่าการนำไฟฟ้าลดลงหลังจากที่มีการดูดซับก๊าซเอธิลีน เนื่องจากหมู่ไทออล(thiol) ที่อยู่ในดินเหนียวนาโน

14. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

14.1 สรุปผลการทดลอง

ดินเหนียวนาโนรูปพรุนที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าสามารถสังเคราะห์จากวิธีการใช้สารลดแรงตึงผิวเข้าไปขยายชั้นดิน ต่อจากนั้นก็ทำการปรับปรุงโครงสร้างของดินให้มีรูปพรุนโดยใช้ TEOS และ MTS ผ่านกระบวนการของการควบแน่น การเข้าไประหว่างชั้นดินของ TEOS และ MTS จะทำให้เกิดการเกิดไมเซลล์ระหว่างชั้นเคลย์ และหลังจากที่กำจัดสารลดแรงตึงผิวออก ก็จะทำให้เกิดรูปพรุนขึ้นในระหว่างชั้นเคลย์ นอกจากนี้การเติม 3-เมอร์แคปโตพโรพิลไตรเมธอกซีไซเลนยังเป็นการทำให้ดินเหนียวที่มีรูปพรุนมีความสามารถในการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย

จากผลการทดลอง หลังจากที่ดินเหนียวทำปฏิกิริยากับสารลดแรงตึงผิว ช่องว่างระหว่างชั้นดินเพิ่มขึ้นทำให้ง่ายต่อการสร้างโครงสร้างรูปพรุนภายในดินเหนียว การกำจัดสารลดแรงตึงผิวออกจากแร่ดินเหนียวที่มีรูปพรุนที่ดีที่สุดคือ การเผา แต่ข้อเสียจะมีการสูญเสียองค์ประกอบบางตัวไป และจากผลการดูดซับไนโตรเจนปรากฏว่า พื้นที่ผิวของดินที่มีโครงสร้างรูปพรุนที่มีหมู่ฟังก์ชันและไม่มีหมู่ฟังก์ชันต่างก็มีพื้นที่ผิวมากกว่าแร่ดินเหนียวเบนโทไนต์ ทำให้ความสามารถในการดูดซับสารต่างๆดีขึ้นโดยเฉพาะก๊าซเอธิลีนที่ดินเหนียวที่มีรูปพรุนสามารถดักจับก๊าซเอธิลีนได้มากกว่าเบนโทไนต์ อีกทั้งยังเกิดการลดลงของค่าการนำไฟฟ้าอีกด้วย

เราสามารถบอกได้ว่าดินเหนียวนาโนที่มีรูปพรุนเหล่านี้ สามารถเป็นตัวดักจับก๊าซเอธิลีนจากผักผลไม้ได้อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้ให้เป็นบรรจุภัณฑ์ฉลาดในการเป็นเซนเซอร์บ่งบอกปริมาณก๊าซเอธิลีนในบรรจุภัณฑ์ได้อีกด้วย

14.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

ควรมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินเหนียวลงไปในพอลิพรอพิลีนเพื่อดูว่าปริมาณดินเหนียวมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของบรรจุภัณฑ์มากน้อยแค่ไหนเมื่อมีการทำปฏิกิริยากับก๊าซเอธิลีน และปรับเปลี่ยนปริมาณของหมู่ไทออลหรือใช้หมู่ฟังก์ชันอื่นที่มีความไวต่อการนำไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

1. Altin, O., Özbelge, Ö., and Dogu, T. (1999). Effect of pH in an aqueous medium on the surface area, pore size distribution, density, and porosity of montmorillonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 217, 19-27.
2. Araújo, E.M., Melo, T.J.A., Santana, L.N.L., Neves, G.A., Ferreira, H.C., Lira, H.L., Carvalho, L.H., A'vila Jr., M.M., Pontes, M.K.G., and Araújo, I.S. (2004). The influence of organo-bentonite clay on the processing and mechanical properties of nylon 6 and polystyrene composites. *Materials Science and Engineering B*, 112, 175–178.
3. Benjelloun, M., Cool, P., Linssen, T., and Vansant, E.F. (2001). Acidic porous clay heterostructures: study of their cationic exchange capacity. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 49, 83-94.
4. Danumah, C., Bousmina, M., and Kaliaguine, S. (2003). Novel polymer nano- composites from templated mesostructured inorganic materials. *Macromolecules*, 36, 8208-8209.
5. Ding, C., Jia, D., He, H., Guo, B., Hong, H. (2005). How organo-montmorillonite truly affects the structure and properties of polypropylene, *Polymer Testing*, 24, 94–100.
6. Galarneau, A., Barodawalla, A., and Pinnavaia, T.J. (1995). Porous clay hetero-
7. structures formed by gallery-templated synthesis. *Nature*, 374, 529-531.
8. Galagali, G., Ramesh, C., and Lek, A. (2001). A rheological study on the kinetics of hybrid formation in polypropylene nanocomposites. *Macromolecules*, 34, 852-858.
9. Ishii, R., Nakatsuji, M., and Ooi, K. (2005). Preparation of highly porous silica nanocomposites from clay mineral: a new approach using pillaring method combined with selective leaching. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 79, 111-119.
10. Klopogge, J.T. (1998) Synthesis of smectite and porous pillared clay catalyst: a review. *Journal of Porous Materials*, 5, 5-41.
11. Kruijf, N.D., Beest, M.V., Rijk, R., Sipilainen-Malm, T., Losada, P.P. and Meulenaer, B.D. (2002). Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Additives and Contaminants*, 19, 144-162.

12. Kim, S.-I., Aida, T., and N, H. (2005). Binary adsorption of very low concentration ethylene and water vapor on mordenites and desorption by microwave heating. *Separation Purification Technology*, 45, 174-182.
13. Lertwimolnum, W., and Vergnes, B. (2005). Influence of compatibilizer and processing conditions on the dispersion of nanoclay in a polypropylene matrix. *Polymer*, 46, 3462-3471.
14. Manias, E., Touny, A., Wu, L., Strawhecker, K., Lu, B., and Chung, T.C. (2001). Polypropylene/montmorillonite nanocomposites: review of the synthetic routes and materials properties. *Chem. Mater.*, 13, 3516-3523.
15. Meneghetti, P. and Qutubuddin, S., (2006). Synthesis, thermal properties and application of polymer-clay nanocomposites. *Thermochimica Acta*, In Press.
16. Mercier, L., and Pinnavaia, T.J. (1998). A functionalized porous clay heterostructures for Hg²⁺ heavy metal ion trapping. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 20, 101-106.
17. Morlat, S., Mailhot, B., Gonzalez, D., and Gardette, J.L. (2004). Photo-oxidation of
18. polypropylene/montmorillonite nanocomposites 1: influence of nanoclay and compatibilizing agent. *Chem. Mater.*, 16, 377-383.
19. Nakatsuji, M., Ishii, R., Wang, M.Z., and Ooi, K. (2004). Preparation of porous clay minerals with organic-inorganic hybrid pillars using solvent-extraction route. *Journal of Colloid and Interface Science*, 272, 158-166.
20. Newalkar, B.L., Choudary, N.V., Turaga, U.T., Vijayalakshmi, R.P., Kumar, P., Komarneni, S., and Bhat, T.S.G. (2003). Adsorption of light hydrocarbons on HMS type mesoporous silica. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 65, 267-276.
21. Paz, H.M., Guillard, V., Reynes, M., and Gontard, N. (2005). Ethylene permeability of wheat gluten film as a function of temperature and relative humidity. *Journal of Membrane Science*, 253, 108-115.
22. Pinto, M.L., Pires, J., Carvalho, A.P., Carvalho, M.B., and Bordado, J.C. (2005). Characterization of adsorbent materials supported on polyurethane foams by nitrogen and toluene adsorption. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 80, 253-262.
23. Pinto, M.L., Pires, J., Carvalho, A.P., Carvalho, M.B., and Bordado, J.C. (2006). Synthesis and regeneration of polyurethane/adsorbent composites and their characterization by adsorption methods. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 89, 260-269.

24. Pires, J., Araujo, A.C., Carvalho, A.P., Pinto, M.L., Gonzalez-Calbet, J.M., and Ramirez-Castellanos, J. (2004). Porous materials from clays by the gallery template approach: synthesis, characterization and adsorption properties. *Micropor. Mesopor. Mater.*, 73, 175-180.
25. Polverejan, M., Pauly, T.R., and Pinnavaia, T.J. (2000) Acidic porous clay heterostructures (PCH): intragallery assembly of mesoporous silica in synthetic saponite clay. *Chem. Mater.*, 12, 2698-2704.
26. Polverejan, M., Liu, Y. and Pinnavaia, T.J. (2002) Aluminated derivatives of porous clay heterostructures (PCH) assembled from synthetic saponite clay: properties as supermicroporous to small mesoporous acid catalysts. *Chem. Mater.*, 14, 2283-2288.
27. Ton-That, M.T., Perrin-Sarazin, F., Cole, K.C., Bureau, M.N., and Denault, J. (2004) Polyolefin nanocomposites: formation and development. *Polymer Engineering and Science*, 44, 1212-1219.
28. Sayari, A. and, Hamoudi, S. (2001) Periodic mesoporous silica-based organic-inorganic nanocomposite materials. *Chem. Mater.*, 13, 3151-3168.
29. Shah, R.K., Hunter, D.L. and Paul, D.R. (2005). Nanocomposites from poly (ethylene-co-methacrylic acid) ionomers: effect of surfactant structure on morphology and properties. *Polymer*, 46, 2646-2662.
30. Sinha Ray, S., and Okamoto, M. (2003). Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Prog. Polym. Sci.*, 28, 1539-1641.
31. Vermeiren, L., Devlieghere, F., Beest, M., Kruijf, N., and Debevere, J. (1999). Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food & Technology*, 10, 77-86.
32. Wei, L., Tang, T., and Huang, B. (2004). Novel acidic porous clay heterostructure with highly ordered organic-inorganic hybrid structure: one-pot synthesis of mesoporous organosilica in the galleries of clay. *Microporous and Mesoporous Materials.*, 67, 175-179.
33. Zhu, H.Y., Ding, Z., Lu, C.Q., and Lu, G.Q. (2002). Molecular engineered porous clays using surfactants. *Applied Clay Science*, 20, 165-175.

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ
K. Srithammaraj, R. Magaraphan and **H. Manuspiya***, Surfactant-Templated Synthesis of Modified Porous Clay Heterostructure (PCH), *Advanced Materials Research*, (accepted).
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - **เชิงสาธารณะ** (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสความสนใจในวงกว้าง)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หทัยกานต์ มนัสปิยะ ได้ให้สัมภาษณ์เผยแพร่ความรู้เรื่องการพัฒนาดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน ออกอากาศรายการจุฬาวิจัย วันอาทิตย์ที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2551 เวลา 8.30-8.55 สถานีวิทยุจุฬาฯ 101.5 MHz
 - **เชิงวิชาการ** (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)
ได้พัฒนาความรู้ในการวิจัยมาเผยแพร่ความรู้ให้กับนิสิตระดับปริญญาโทเกี่ยวกับวัสดุนาโนและวัสดุนาโนในรายวิชาคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทางแม่เหล็กและทางแสงของวัสดุ อีกทั้งได้สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่คือนางสาวกรกมล ศรีธรรมราชซึ่งกำลังศึกษาปริญญาเอกที่วิทยาลัยฯ ได้ทำวิจัยต่อยอดจากงานวิจัยนี้
3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือการจดสิทธิบัตร)
การนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ
 1. K. Srithammaraj, R. Magaraphan and **H. Manuspiya*** "Surfactant-Templated Synthesis of Modified Porous Clay Heterostructure (PCH)" การเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายในงาน "SmartMat-'08 & IWOFFM-2" 22-25 เมษายน 2551, เชียงใหม่, ประเทศไทย.
 2. K. Srithammaraj, R. Magaraphan, and **H. Manuspiya*** "Mesoporous Heterostructure Derived Conductive Functional Group for Sensor Packaging" การนำเสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์ในงาน "Polymer Processing Society 24th Annual Meeting" 15-19 June 2008, Salerno, Italy.
 3. **H. Manuspiya***, R. Magaraphan, K. Srithammaraj, "Modified Porous Clay Heterostructure by Conductive Functional Group for Sensor Packaging", การเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยาย (**Invited oral presentation**) ในงาน The 12th APCCChE Congress, 3-6 August 2008, Dalian, China