การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์สำหรับสารเคลือบผิวอะคริลิก

นางสาวทรรศพร พิศรูป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4878-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I22467932

MODIFICATION OF MONTMORILLONITE FOR ACRYLIC COATING AGENT

Miss Thatsaporn Pissaroop

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-4878-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์สำหรับสารเคลือบผิวอะคริลิก
โดย	นางสาวทรรศพร พิศรูป
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ดุจฤทัย พงษ์เก่า คะชิมา)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. มัณฑนา โอภาประกาสิต)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวทรรศพร พิศรูป : การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์สำหรับสารเคลือบผิวอะคริลิก.
(MODIFICATION OF MONTMORILLONITE FOR ACRYLIC COATING AGENT)
อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล, 87 หน้า. ISBN 974-17-4878-7.

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างโซเดียมไอออน(Na^+) ของมอนต์มอริลโลไนต์ และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) บนโมเลกุลของเกลืออัลคิลแอมโมเนียม ของdodecylamine (C12), hexadecylamine (C16) และ octadecylamine (C18) และมีการแปรเปลี่ยนปริมาณของอัลคิลเอมีนปริมาณต่างๆคือ ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยนำหนัก จากนั้นนำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรศึกษาด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) และเทคนิคฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR) จากผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เตรียมได้มีโครงสร้างแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated) และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าช่องว่างระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงที่สุด จากนั้นนำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ไปใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่มีอะคริลิกเป็นสารยึด โดยแปรเปลี่ยนปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ไม่ดัดแปรในปริมาณต่างๆคือ ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบผิว จากผลการทดสอบพบว่าความทนทานต่อการขูดขีดของฟิล์มที่ได้จากมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะมีค่าสูงกว่าฟิล์มที่ได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ไม่ดัดแปร หรือว่าสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้สารยึดเพียงอย่างเดียว และเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มจากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะมีเสถียรภาพทางความร้อนดีกว่าฟิล์มที่ได้จากการใช้สารยึดเพียงอย่างเดียวและฟิล์มที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต...ทรรศพร พิศรูป...
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...นันทนา จิรธรรมนุกูล
ปีการศึกษา 2548

4772305023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: MONTMORILLONITE / ORGANOCLAY / ACRYLIC COATING

THATSAPORN PISSAROOP : MODIFICATION OF MONTMORILLONITE FOR ACRYLIC COATING AGENT. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NANTANA JIRATUMNUKUL, Ph.D, 87 pp. ISBN 974-17-4878-7.

In this research organophillic montmorillonite was prepared by a cationic exchange process between the Na^{+} ions of montmorillonite and ammonium ion of quaternary ammonium salt of dodecylamine(C12), hexadecylamine(C16), octadecylamine(C18) with various amounts of alkylamine of 1%, 2% and 3%by weight . The obtained organophillic montmorillonite studied by X-ray diffraction (XRD) technique and Fourier transform infrared (FT-IR). The XRD profile showed intercalated structure of modified montmorillonite. Octadecylamine 3% by weight modified montmorillonite gave highest d-spacing value. The octadecylamine modified clay was then used in acrylic coating formulations with various amounts of clay at 1%, 2% and 3% by weight. Physical properties of coating films with modified montmorillonite showed significant enhancement in hardness relative to those with unmodified montmorillonite. The thermal stability of the coating film with 3% by weight of modified montmorillonite was higher than that of pure acrylic film and coating film with 3% by weight of unmodified montmorillonite.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Materials Science | Student's signature Thatsaporn Pissaroop
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology | Advisor's signature
Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลหลายๆ ท่าน และหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายนามดังนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาต่างๆ และแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

2. รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข, อาจารย์ ดร. ดุจฤทัย พงษ์เก่า คะชิมา และ อาจารย์ ดร. มัณทนา โอภาประกาสิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. บริษัท สยามเคมิคอล อินดัสตรี จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ อะคริลิกเรซิน (ACRYDIC A-134-IM), อะคริลิกเรซิน (ACRYDIC SD-603) และ พอลิยูรีเทนเรซิน (BURNOCK DM-652-60)

5. บริษัทไทยนิปปอน เคมิคัล อินดัสทรี จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Mac-gel เกรด WN-02)

6. ศูนย์วิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ ครู-อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาการจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามมุ่งหวังอย่างสมบูรณ์ และขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อต่างๆ นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายซึ่งมิได้กล่าวถึง ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....................ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....................จ
กิตติกรรมประกาศ....................ฉ
สารบัญ....................ช
สารบัญตาราง....................ฎ
สารบัญรูป....................ฎ

บทที่

1 บทนำ....................1
2 วารสารปริทัศน์....................3
2.1 ประเภทของสารเคลือบผิว....................3
2.1.1 สี....................3
2.1.2 วาร์นิช....................3
2.1.3 แลกเกอร์....................3
2.2 การเกิดฟิล์ม....................3
2.3 การแห้งของสารเคลือบผิว....................4
2.4 ระยะเวลาการแห้งตัว....................5
2.5 อะคริลิกเรซิน....................6
2.6 แร่ธาตุดินเหนียว....................7
2.6.1 ดินเบนโตไนท์....................11
2.6.2 แร่มอนต์มอริลโลไนต์....................12
2.6.3 ประโยชน์ของแร่มอนต์มอริลโลไนต์....................15
2.7 การแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน....................16
2.7.1 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน....................16
2.7.2 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน....................18
2.8 สารลดแรงตึงผิว....................19
2.8.1 สารลดแรงตึงผิวประจุลบ....................19
2.8.2 สารลดแรงตึงผิวประจุบวก....................19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

2.8.3 สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ.....20

2.8.4 สารลดแรงตึงผิวประจุบวกและลบ.....20

2.9 วัสดุนาโนคอมพอสิต.....21

2.9.1 คอมพอสิตทั่วไป.....21

2.9.2 นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด.....21

2.9.3 นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน.....22

2.10 กระบวนการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต.....22

2.10.1 solution intercalation.....22

2.10.2 in-situ polymerization.....23

2.10.3 melt intercalation.....23

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....23

3 การทดลอง.....27

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....27

3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง.....29

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....29

3.4 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ 29

3.5 ขอบเขตการทดลอง.....30

3.6 การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร.....31

3.7 การเตรียมสูตรสารเคลือบผิว.....32

3.8 การปาดฟิล์ม.....34

3.9 การทดสอบสมบัติของมอนต์มอริลโลไนต์.....35

3.9.1 การศึกษาคุณลักษณะด้วยเทคนิค FTIR.....35

3.9.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD.....36

3.9.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง
Laser particle size distribution.....38

3.10 การทดสอบทางกายภาพของสารเคลือบผิวในภาวะของเหลว.....39

3.10.1 การทดสอบความหนืด.....39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.11 การทดสอบทางกายภาพของสารเคลือบผิวในภาวะฟิล์มแห้ง........................40
3.11.1 การทดสอบความแข็ง..40
3.11.2 การทดสอบความทนแรงกระแทก...41
3.11.3 การทดสอบความอ่อนตัว...42
3.11.4 การทดสอบความติดแน่น...43
3.12 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิต
ด้วยเทคนิค TGA..45
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง...46
4.1 การศึกษาคุณลักษณะของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเทคนิค FTIR...............46
4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร
ด้วยเทคนิค XRD..47
4.3 การวิเคราะห์ขนาดการกระจายตัวของอนุภาค
ด้วยเทคนิค laser particle size distribution......................................53
4.4 การสมบัติทางกายภาพ...54
4.4.1 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก A-134-IM 54
4.4.2 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก SD-603 59
4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิว
ด้วยเทคนิค XRD..63
4.6 การศึกษาความสามารถในการกระจายตัวของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิว............65
4.6.1 การกระจายตัวของเคลย์ในสารเคลือบผิวอะคริลิกA-134-IM..............65
4.6.2 การกระจายตัวของเคลย์ในสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603.................66
4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิว
นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิคTGA..67
4.7.1 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก A-134-IM.......68
4.7.2 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก SD-603.........69
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง..73
ภาคผนวก..76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของอนุภาคดินเหนียวซิลิเกต......11
ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองในการดัดแปรโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์......32
ตารางที่ 3.2 สูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด......33
ตารางที่ 3.3 สูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด......34
ตารางที่ 3.4 แสดงข้อพกพร่องการหลุดของฟิล์มสารเคลือบผิว......44
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต
ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร......51
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตจากการใช้
อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด......55
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตจากการใช้
อะคริลิกSD-603 เป็นสารยึด......59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ก) หน่วยแผ่นซิลิการูปสี่เหลี่ยม (Silica Tetrahedron)

ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า........8

รูปที่ 2.2 ก) อะลูมินารูปแปดเหลี่ยม (Alumina Octahedron)

ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า........8

รูปที่ 2.3 แร่มอนต์มอริลโลไนต์........9

รูปที่ 2.4 แร่เกาลินไนท์........10

รูปที่ 2.5 แร่อิลไลท์........11

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์........13

รูปที่ 2.7 การยึดติดกันระหว่างชั้นของเคลย์กับประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของเคลย์........13

รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวก........14

รูปที่ 2.9 ชนิดของออร์กาโนเคลย์........15

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวประจุลบ........19

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก........20

รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ........20

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและลบ........21

รูปที่ 2.14 แสดงการเกิดคอมพอสิตของเคลย์........22

รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของแอมโมเนียมไอออน........28

รูปที่ 3.2 เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง........33

รูปที่ 3.3 เครื่องลากฟิล์ม........34

รูปที่ 3.4 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์........35

รูปที่ 3.5 อธิบายสมการแบรกที่ใช้ในเทคนิค XRD........36

รูปที่ 3.6 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง XRD โดยสังเขป........37

รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน........38

รูปที่ 3.8 เครื่อง Laser particle size distribution analyzer........39

รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield........40

รูปที่ 3.10 เครื่องมือทดสอบการขูดขีด........41

รูปที่ 3.11 เครื่องมือทดสอบความทนแรงกระแทก........42

หน้า

รูปที่ 3.12 เครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus....43
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความติดแน่น ด้วยวิธี cross-cut tape....44
รูปที่ 4.1 สเปกตรัม FTIR ของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร....46
รูปที่ 4.2 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์
และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนปริมาณร้อยละ1 โดยน้ำหนัก....48
รูปที่ 4.3 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์
และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนปริมาณร้อยละ2 โดยน้ำหนัก....49
รูปที่ 4.4 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์
และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนปริมาณร้อยละ3 โดยน้ำหนัก....50
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต
ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร....52
รูปที่ 4.6 (A) ขนาดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์
(B) ขนาดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร....53
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM....56
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความหนืดของสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM....58
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603....60
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความหนืดของสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603....62
รูปที่ 4.11 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่มีการใช้
มอนต์มอริลโลไนต์ชนิดไม่ดัดแปรและชนิดดัดแปร....63
รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM....65
รูปที่ 4.13 การกระจายตัวของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603....66
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคTGA ของฟิล์ม
นาโนคอมพอสิตอะคริลิก A-134-IM....68
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคTGA ของฟิล์ม
นาโนคอมพอสิตอะคริลิก SD-603....69

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันสารเคลือบผิวได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราอย่างมากมาย เช่น สีที่ใช้ในการทาผนังบ้านและเครื่องมือเครื่องใช้ในบ้าน สีสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ และแลคเกอร์ที่ใช้ทาเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการใช้สารเคลือบผิวมีอยู่ด้วยกัน สองประการคือเพื่อตกแต่งให้พื้นผิวแลดูสวยงาม และป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่างๆ

อะคริลิกเรซิน จัดเป็นเรซินสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้กันมากในอุตสาหกรรมเคลือบผิว เนื่องจากมีคุณสมบัติดีเด่นได้แก่ ความคงทนต่อแสงอัลตราไวโอเลต และต่อการเกิดไฮโดรลิซิส มีความทนทานต่อเคมีภัณฑ์ที่กัดกร่อน ต่อการกระทบกระเทือนจากแรงภายนอกและมีความเงา ฟิล์มที่ได้จากอะคริลิกเรซินมีความเงาสูง เข้ากับผงสีได้ดี นอกจากนี้อะคริลิกเรซินจะมีแรงยึดผิวหน้าได้ดี มีความแข็งแรงและทนทาน

ปัจจุบันแร่มอนต์โมริลโลไนต์ กำลังได้รับความสนใจกันอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้เสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ ทำให้เป็นการปรับปรุงสมบัติบางประการให้กับพอลิเมอร์ เช่น สมบัติการทนความร้อน สมบัติความขึงแรง เป็นต้น แร่มอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) เช่น กลุ่มแร่สเมคไทต์ (Smectite) กลุ่มแร่อิลไลท์ (Illite) และ เกาลินไนท์ (Kaolinite) แร่มอนต์มอริลโลไนต์มีโครงสร้างพิเศษแตกต่างจากแร่อื่นๆ คือจะมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ ซ้อนกัน คือ ชั้นของแผ่นอะลูมินา 1 ชั้นและชั้นของแผ่นซิลิกา 2 ชั้น ซึ่งซ้อนทับกันคล้ายแซนวิชโดยชั้นที่อยู่ตรงกลางจะเป็นชั้นของอะลูมินาและประกบบนและล่างด้วยชั้นซิลิกา เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า 2:1 phylosilicate โดยแต่ละชั้นมีความบางมาก ซึ่งจะมีความหนา 1 นาโนเมตร แต่จะมีความยาว 1000 เท่าทำให้มี aspect ratioสูง เหมาะสมอย่างมากที่จะนำไปใช้เสริมแรงวัสดุพอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างชั้น เรียกว่าแกลเลอรี (gallery) ช่องว่างระหว่างชั้นนี้สามารถยึดเกาะกันได้ด้วยประจุบวก เช่น โซเดียมไอออน และแคลเซียมไอออน ประจุบวกเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนกับสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก เช่น อัลคิลแอมโมเนียม (alkylammonium) หรืออัลคิลฟอสโฟเนียม (alkylphosphonium) สารอินทรีย์ประจุบวกสามารถเข้าแทนที่ประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของเคลย์ทำให้ได้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเรียกว่าออร์กาโนเคลย์ (organoclay)

โครงสร้างของออร์กาโนเคลย์แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated clay) ซึ่งเกิดจากการสอดแทรกของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมทำให้ช่องแกลเลอรีขยายออก แต่ชั้นของอะลูมิโนซิลิเกต ยังไม่แยกออกจากกันอย่างชัดเจนจะยังคงมีบางชั้นที่ยังเกาะติดกันอยู่และ การแยกตัวออกจากกัน (exfoliated clay) ซึ่งเกิดการแยกของชั้นอะลูมิโนซิลิเกต

ออกจากกันอย่างชัดเจนทำให้ได้อนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ขนาดเล็กลงไประดับนาโนเมตรจนเข้ากันได้กับพอลิเมอร์

ในงานวิจัยนี้ได้นำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรมาใช้ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก โดยมอนต์มอริลโลไนต์เป็นเคลย์ที่มีโครงสร้างพิเศษที่สามารถเกิดการสอดแทรกสารอินทรีย์ชนิดประจุบวกเข้าไปในช่องแกลเลอรีของเคลย์ทำให้ได้เป็นออร์กาโนเคลย์ซึ่งช่วยทำให้เคลย์เข้ากับพอลิเมอร์ได้ดี ออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมได้จะนำไปผสมกับอะคริลิกเรซิน โดยใช้เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (high-speed mixer) จากนั้นนำสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ปาดฟิล์มลงบนแผ่นโลหะโดยใช้เครื่องลากฟิล์ม (film applicator) แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ประเภทของสารเคลือบผิว [1]

2.1.1 **สี** (paint) หมายถึงสารที่มีส่วนผสมของสี (pigment) สารยึด (binder) หรือสิ่งนำสี (vehicle) ตัวทำละลาย (solvent) และสารเติมแต่ง (additive)

ผงสี เป็นสารที่ให้สีและมีความสามารถในการปิดบังพื้นผิวหรือกำลังซ่อนแสง (hiding power) ผงสีอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้

สารยึดหรือสิ่งนำสี คือสารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสีเข้าไว้ด้วยกันให้เกิดเป็นฟิล์มของสีติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ ตัวอย่างของสารยึด ได้แก่ น้ำมันแห้งเร็ว (drying oil) เรซินธรรมชาติ เรซินสังเคราะห์

ตัวทำละลาย มีหน้าที่ช่วยปรับความหนืดของสี เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิต หรือสะดวกต่อการใช้ ตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์

สารเติมแต่ง เป็นสารที่เติมลงไปในสีเพียงเล็กน้อย เพื่อช่วยให้สีมีสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น ทำให้สีแห้งเร็วขึ้น ทำให้สีไม่ขึ้นรา เป็นต้น

2.1.2 **วาร์นิช** (Varnish) คือสารเคลือบผิวที่ประกอบด้วยสารยึดเพียงอย่างเดียว

2.1.3 **แลกเกอร์** (Lacqure) ได้แก่ สารละลายซึ่งได้จากการนำเรซินหรือสารยึดมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

2.2 การเกิดฟิล์ม (Film Formation)

การเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุไปเป็นฟิล์มที่ยึดติดแน่นกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้นคือ กระบวนการเกิดฟิล์ม ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. **แอพพลิเคชัน** (Application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้าหรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบางๆขึ้น การทำอาจใช้แปลง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่มก็ได้

2. **ฟิกเซชัน** (Fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่นไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบการเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย หรือถ้าสารเคลือบผิวเป็นแบบระบบลาเท็กซ์ (Latex system) ขั้นตอนฟิกเซชันจะเกิดโดยการระเหยของน้ำ เป็นต้น

3. **การบ่ม** (Curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนฟิกเซชันแล้วมีความทนทานที่ดีขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แสง ความร้อนหรืออากาศ เช่น สีน้ำมันทาบ้านจะเกิดการบ่ม โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีความทนทานเพิ่มขึ้น หรือการนำเคลือบ (enamel) ที่ทำจากพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตไปอบก็เป็นการบ่มอีกวิธี

2.3 การแห้งของสารเคลือบผิว

1. **แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์** (Physical Drying) การแห้งโดยวิธีการนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย กลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (secondary force) อย่างอ่อนๆ ดังนั้น ฟิล์มที่เกิดขึ้นยังคงละลายได้ในตัวทำละลาย ตัวอย่างของสารเคลือบผิวที่แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ได้แก่ แลกเกอร์ สีที่ทำจากยางคลอริเนตเตต (chlorinated rubber) เป็นต้น

2. **แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี** (Chemical Drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (primary bond) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนั้น ฟิล์มที่ได้จะแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย

การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้ อาจเกิดโดย

2.3.2.1 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดอณูของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้น จนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ เช่น สีน้ำมันทาบ้านที่ผลิตจากอัลคิดเรซิน (alkyd resin) เป็นต้น การแห้งโดยวิธีนี้ อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้โดยการใส่สารเร่งแห้ง (drier)

2.3.2.2 แห้งโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกัน ก่อนใช้จึงนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมแล้วจะเกิดปฏิกิริยาได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ดังนั้นเมื่อผสมแล้วจึงต้องใช้ให้หมดภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้

ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้อง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่าสารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (cold curing coating) ตัวอย่างเช่น ยูเรียเรซิน พอลิยูรีเทนเรซิน เป็นต้น แต่ถ้าเกิดปฏิกิริยาต้องใช้อุณหภูมิสูงเรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (stoving or baking coatings)

2.4 **ระยะเวลาการแห้งตัว** (Drying time)

วิธีที่ง่ายที่สุดในการหาระยะเวลาการแห้งของสารเคลือบผิวที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ คือ ใช้นิ้วแตะเบาๆ ที่ผิวของฟิล์ม

การแห้งของฟิล์มของสารเคลือบผิวซึ่งแห้งได้เองในอากาศแตกต่างกันตามระยะเวลาการแห้ง ตามลำดับดังนี้

1. **แห้งฝุ่นไม่ติด** (dust-free stage or dust dry) หมายถึง การแห้งขั้นที่ฝุ่นไม่ติดพื้นผิวที่เคลือบไว้แล้วอีกต่อไป การแห้งขั้นนี้เป็นระยะเวลาที่เมื่อใช้นิ้วปัดเบาๆ ที่ผิวของฟิล์มแล้ว สารเคลือบผิวจะไม่ติดนิ้วออกมา อาจใช้ใยฝ้ายปัดแทนนิ้วก็ได้

2. **แห้งที่ผิว** (surface dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่แห้งเฉพาะผิวหน้า แต่ข้างล่างยังนิ่มและเหนียว ทดสอบได้โดยใช้ลูกแก้วกลมใส(ballotin) เทลงบนแผ่นทดสอบที่เคลือบผลิตภัณฑ์แล้ว จากระยะสูง 15 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 10 วินาที ถือแผ่นทดสอบเอียงทำมุม 20 องศา กับแกนนอน แล้วใช้แปรงปัดลูกแก้วเบาๆ ถ้าสามารถปัดลูกแก้วออกโดยไม่ทำให้ผิวเสีย แสดงว่า ผิวเคลือบนั้นแห้งที่ผิว

3. **แห้งแตะได้** (touch dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่แตะเบาๆแล้ว ไม่มีรอยนิ้วมือติดอยู่

4. **แห้งแตะไม่ติด** (tack-free stage) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่ผิวไม่อยู่ในสภาพเหนียวติดแม้ว่าจะมีแรงกด การแห้งขั้นนี้ เป็นระยะเวลาที่เมื่อใช้นิ้วกดเบาๆที่ผิวของฟิล์มแล้วจะไม่มีรอยใดๆ เกิดขึ้นบนผิวของฟิล์มเลย อาจทดสอบโดยการใช้กระดาษกดลงบนผิวของฟิล์ม วางลูกตุ้มน้ำหนักบนกระดาษทิ้งไว้ในระยะเวลาที่กำหนด เอาลูกตุ้มน้ำหนักออกแล้วพลิกกระดาษ ถ้าปรากฏว่ากระดาษหล่นลงมา แสดงว่าแห้งถึงขั้นนี้แล้ว หรือทดสอบโดยการใช้ทรายโปรยที่ผิวของฟิล์ม แล้วบันทึกระยะเวลาที่เมื่อใช้แปรงขนอูฐปัดเบาๆที่ผิวแล้ว ทรายหลุดออกง่าย โดยไม่ทำให้ผิวของฟิล์มเกการเสียหาย

5. **แห้งแข็ง** (hard dry) หมายถึง การแห้งแล้วถึงขั้นที่สามารถเคลือบอีกชั้นหนึ่งทับได้ด้วยแปรงทดสอบไว้ โดยใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงผิวของฟิล์ม แล้วหมุนรอบๆ ถ้าผิวไม่แตกร้าวหรือเสียหาย แสดงว่าผิวเคลือบนั้นแห้งแข็งแล้วหรือทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบการแห้งแข็ง (hard dry apparatus) ซึ่งประกอบด้วยหัวกด (plunger) หนักประมาณ 1.8 กิโลกรัม ที่สามารถ

หมุนได้โดยใช้กลไกทางไฟฟ้า นำแผ่นทดสอบที่เคลือบผลิตภัณฑ์แล้ววางไว้ใต้หัวกดเริ่มทดสอบ โดยเปิดสวิตซ์ให้หัวกดหมุนเคลื่อนลงมาบนแผ่นทดสอบไปเป็นมุมประมาณ 270 องศา หัวกดจะเคลื่อนที่กลับไปที่เดิม นำแผ่นทดสอบมาตรวจดูพื้นผิวเคลือบด้วยตาเปล่า ผิวเคลือบจะแห้งแข็งถ้าผิวไม่หลุดจนเห็นพื้นแผ่นทดสอบ

2.5 **อะคริลิกเรซิน** (Acrylic Resins)

อะคริลิกเรซิน คือ พอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากกรดอะคริลิก และอนุพันธ์ของกรดอะคริลิก (เช่น กรดเมทาคริลิก) และเอสเตอร์ของกรดเหล่านี้

อะคริลิกเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวสามารถผลิตขึ้นได้ในลักษณะทางฟิสิกส์ต่างๆ กันเช่นเป็นของแข็ง สารละลาย และอิมัลชัน เป็นต้น

อะคริลิกเรซินที่ใช้ในสารเคลือบผิวเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก จะอยู่ในลักษณะเป็นเม็ด (bead) เล็กๆ ซึ่งได้มาจากการบดบล็อกใหญ่ๆ ส่วนมากมักเป็นโฮโมพอลิเมอร์ของเมทาคริเลตเอสเตอร์ หรือเป็นโคพอลิเมอร์ของเมทาคริเลต ดังนี้

เมทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOCH$

เอทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOC_2H_5$

นอร์มอล – บิวทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COO\text{-}(n\text{-}C_4H_9)$

ไอโซบิวทิลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COO\text{-}(i\text{-}C_4H_9)$

ลอริลเมทาคริเลต, $CH_2=C(CH_3)COOC_{12}H_{25}$

เมทิลอะคริเลต, $CH_2=CHCOOCH_3$

นอร์มอล – บิวทิลอะคริเลต, $CH_2=CHCOOC_4H_9$

สำหรับอะคริลิกเรซินที่ผลิตขึ้นในลักษณะสารละลาย มักทำขึ้นโดยกรรมวิธีพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย และฟิล์มที่ได้หลังจากการแห้งตัวจะเป็นแบบเทอร์โมพลาสติก แต่ถ้าเรซินมีฟังก์ชันแนลโมโนเมอร์ที่เหมาะสมผสมอยู่ด้วย อาจจะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกลายเป็นเทอร์โมเซต

สมบัติดีเด่นของอะคริลิกเรซินได้แก่ ความคงทนต่อแสงอัลตราไวโอเลต และต่อการเกิดไฮโดรลิซิส มีความทนทานต่อเคมีภัณฑ์ที่กัดกร่อน ต่อการกระทบกระเทือนจากแรงภายนอกและมีความเงา ฟิล์มที่ได้จากอะคริลิกเรซินมีความเงาสูง เข้ากับผงสีได้ดี นอกจากนี้อะคริลิกเรซินจะมีแรงยึดผิวหน้าได้ดี มีความแข็งแรงและทนทาน จึงใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมเคลือบผิว สารละลายของอะคริลิกเรซินใช้ทำแลกเกอร์กันมาก สำหรับเคลือบผิวหน้าโลหะ ไม้ หนัง เซรามิกและพลาสติก ส่วนอะคริลิกอิมัลชัน ใช้ทำสีทาบ้านทั้งภายนอกและภายใน ซึ่งโดยปกติมักผลิตขึ้นในลักษณะลาเทกซ์

2.6 แร่ธาตุดินเหนียว (clay minerals) [2]

ดินเหนียว (Clay) มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน (*10^{-6} m) และมีคุณสมบัติทางด้านประจุไฟฟ้าเคมี (Electrochemically Very Active) ซึ่งจะมีปฏิกิริยามากขึ้นเมื่อมีขนาดเล็กลงตามลำดับ

แร่ธาตุดินเหนียวหลักประกอบด้วยไฮดรัสอลูมินัมซิลิเกท (Hydrous Aluminum Silicate) และหรือเหล็ก (Iron) และแมกนีเซียม (Magnesium) กับรูปแบบแร่ธาตุด่าง (Alkaline Minerals) เป็นส่วนประกอบหลัก แร่ธาตุเหล่านี้จะไม่ละลายในกรด (Acid) มีลักษณะซึมซับน้ำได้ดี ยืดหยุ่น (Elastic) เมื่อเปียก และยึดน้ำได้ดี (Water Retentive) มีความเชื่อแน่น (Coherent) เมื่อแห้ง รูปลักษณะแร่ธาตุส่วนใหญ่เป็นผลึก (Crystalline) เป็นแผ่น (Sheetlike) หรือเป็นโครงสร้างเรียงชั้น (Layer) ของแร่ 2 ชนิด : แผ่นซิลิกา (Silica Sheet) และแผ่นอลูมินา (Alumina Sheet)

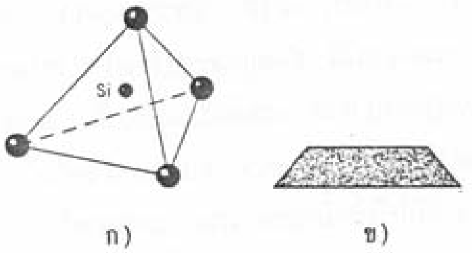
แผ่นซิลิกา (Silica Sheet) เป็นรูปสี่เหลี่ยม (Tetrahedron) ประกอบด้วยจากระนาบสามเหลี่ยม 4 ด้าน มีอะตอมออกซิเจน (Oxygen Atom) อยู่ที่จุดยอดระยะห่างเท่ากัน และอะตอมซิลิกา (Silica Atom) อยู่ภายในมีระยะห่างจากอะตอม ออกซิเจนเท่ากันหน่วยแผ่นซิลิกาแสดงในรูปที่2.1

แผ่นซิลิกาแต่ละหน่วยจะรวมซ้อนกันเป็นรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal Unit) และเป็นโครงผลึกของแร่ (Lattice of Mineral)

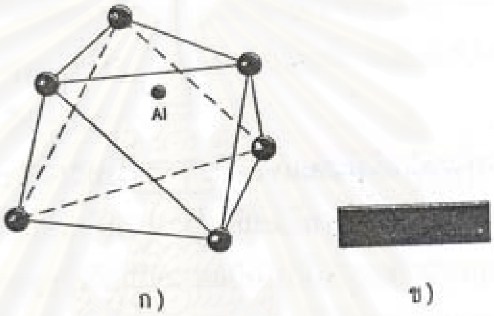
แผ่นอลูมินา (Alumina) เป็นแถวเรียงสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยมีอะตอมของอลูมินาอยู่ตรงกลางรูปแปดเหลี่ยม (Octahedron) ซึ่งมีอะตอมของออกซิเจนไฮดรอกซิล (Oxygen Atom Hydroxyl) (OH) ในแนวดิ่งในแถวสลับกันตามลำดับ

การศึกษาแร่ธาตุดินเหนียวในปัจจุบันใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน(Electron Microscope) ที่มีอัตราส่วนขยายสูง, การวิเคราะห์วิธีดีทีเอ (DTA, Differential Thermal Analysis) และวิเคราะห์ด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-Ray) ซึ่งด้วยเครื่องมืออุปกรณ์สมัยใหม่เหล่านี้ทำให้สามารถศึกษาแร่ธาตุดินเหนียวได้อย่างกว้างขวาง

แร่ธาตุดินเหนียว โดยปกติแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักซึ่งจะแยกตามลักษณะโครงสร้างการจับตัว (Lattice Structure) ของแร่ธาตุประกอบด้วย



รูปที่ 2.1 **ก) หน่วยแผ่นซิลิการูปสี่เหลี่ยม** (Silica Tetrahedron)
ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า



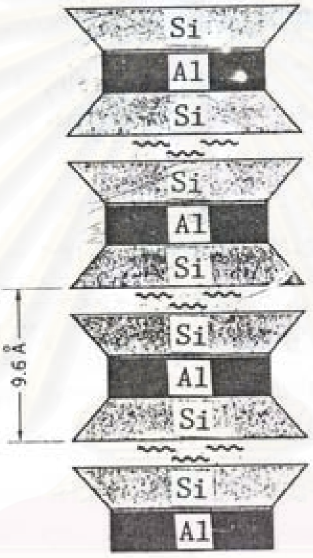
รูปที่ 2.2 ก) **อะลูมินารูปแปดเหลี่ยม** (Alumina Octahedron)
ข) สัญลักษณ์เทียบเท่า

1) **กลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์** (Montmorillonite)

มีสูตรเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์ คือ $(OH)_4Al_4Si_8Q_{20}*nH_2O$ เป็นส่วนประกอบของแผ่นอลูมินารูปแปดเหลี่ยม (Octahedron) ระหว่างแผ่นซิลิการูปแปดเหลี่ยม (Octahedron) 2 แผ่น ดังแสดงรูปที่ 2.3 การจับตัวกันระหว่างแผ่นแร่ธาตุที่ค่อนข้างหลวม ทำให้เป็นแร่ธาตุที่ไม่อยู่ตัว (Unstable) โดยเฉพาะเมื่อเปียกโดยมีลักษณะดูดซับน้ำได้มาก หลังจากนั้นจะบวมตัว (Swell) และขยายตัวสูง (Expansion) ในทางตรงกันข้ามเมื่อแห้งจะหดตัวมากซึ่งจะเห็นรอยแตกแยกอย่างชัดเจน

มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) เกิดจากการผุกร่อนของแร่ธาตุเฟอร์โรแมกนีเซียม (Ferromagmesium Minerals) หรือเรียกว่า เฟลเลอรส์เอิร์ธ (Fellers Earth) และจะมีแร่ธาตุย่อยอีก 2 ตัว คือ ไบบ์เดลไลท์ (Beidellite) และนอนไทรท์ (Nontrite) จะมีส่วนผสมอยู่ในดินเป็นส่วนใหญ่ที่รู้จักกันแพร่หลายคือดินเบนโตไนท์ (Bentonite) ที่มีส่วนผสมหลักของมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) มีคุณสมบัติพิเศษ จะบวมตัว (Swell) หลายเท่าตัว เมื่อนำมาผสมกับน้ำ มี

ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) สูงกว่า 500% ทำให้มีคุณสมบัติพิเศษที่นำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม เช่น ผสมน้ำนำไปอัด (Grout) ในชั้นดินใต้ฐานเขื่อนให้ทึบน้ำ นำมาผสมน้ำเป็นน้ำโคลนเจาะดิน (Mud Slurry) เจาะบ่อบาดาล เจาะบ่อน้ำมัน เจาะเสาเข็มเจาะ(Bore Pile) เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติพิเศษของน้ำโคลนเบนโตไนท์ (Bentonite) จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเล็กน้อย และจะเคลือบผนังบ่อดิน (ทราย) ไม่ให้น้ำซึมออกจากบ่อดินได้เร็วสามารถเวียนน้ำโคลนกลับขึ้นมาใช้ใหม่ได้และน้ำโคลนจะทำให้เกิดแรงดันทดแทนดินที่ขุดออกไปจากหลุมดันผนังไม่ให้ดินพังในขณะที่ใช้เครื่องมือขุดเจาะลงไปสามารถทำงานใต้ระดับน้ำโคลนได้ตามปกติ เทคอนกรีตได้ด้วยวิธีเทใต้น้ำ



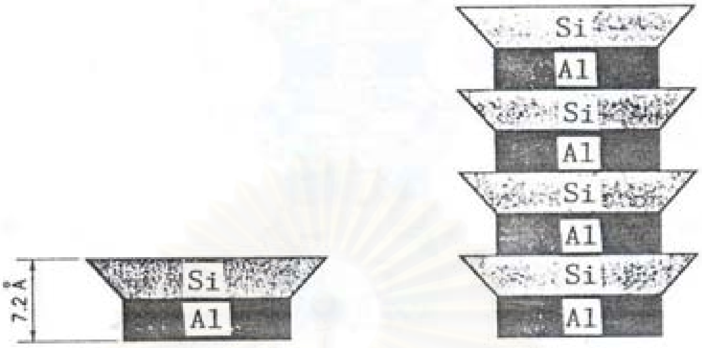
รูปที่ 2.3 แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)

2) **กลุ่มเกาลินไนท์** (Kaolinite)

เกิดจากแผ่นซิลิกาสี่เหลียมเดี่ยว (Single Tetrahedral Silica) และแผ่นอลูมินาแปดเหลี่ยมเดี่ยว (Single Tetrahedral Alumina) ซึ่งจะเกิดซ้อนกันหลายชั้นไม่มีสิ้นสุดเกิดเป็นโครงผลึก (Lattice) ของแร่ธาตุการจัดเรียงของแร่ธาตุดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนสูตรเคมีของเกาลิน-ไนท์เป็น $(OH)_4Al_4Si_8Q_{20}*nH_2O$

เกาลินไนท์เกิดจากการผุกร่อนของ เฟลส์ปาร์ (Felapar) สลับกับชั้นซิลิกอนอลูมิเนียม (Silico Aluminium) และยังมีแร่ย่อยอีก คือ ดิกไคท์ (Dickite) นาไคร้ (Nacrite) และ ฮาลอยไซท์ (Halloysite) รูปหลิดแบน เกิดโดยมีดินเหนียวที่เกิดในที่ (Residual Clay) เป็น

ส่วนประกอบหลัก เกาลินไนท์มีสภาวะคงตัวมาก มีคุณสมบัติเป็นโครงสร้างเชื่อมแน่น (Cohesive Structure) สูงทำให้น้ำซึมเข้าไปได้ยาก และไม่ขยายตัวเมื่ออิ่มด้วยน้ำ (Saturate) ใช้เป็นวัตถุดิบทำอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

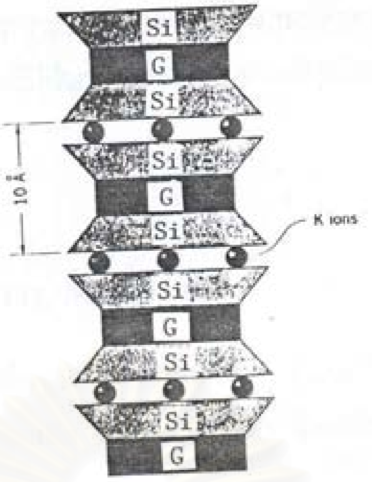


รูปที่ 2.4 **แร่เกาลินไนท์** (Kaolinite)

3) กลุ่มอิลไลท์ (Illite)

มีโครงสร้างคล้ายกลุ่มมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) แต่มีส่วนประกอบเคมีต่างกันซึ่งมีสูตร $(OH)_4K_y(Al_4Fe_4MG_4)(Si_{8-y}Al_y)\ O_{20}$ ซึ่งค่า y จะแปรเปลี่ยนจาก 1-1.5 รูปสัญลักษณ์ของอิลไลท์ แสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนประกอบพื้นฐานของอิลไลท์ประกอบด้วยแผ่นกิบไซท์รูปแปดเหลี่ยม (Gibbsite Octrahedron) ระหว่างแผ่นซิลิกาสี่เหลี่ยม (Silica Tetrahedron) 2 แผ่น มีคุณสมบัติไม่เหมือนมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ที่ซึมซับน้ำได้ดี และมีขนาดเล็ก แต่อิลไลท์จะรวมกันเป็นขนาดใหญ่จึงสามารถซึมซับน้ำได้น้อยกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ สามารถขยายตัวได้น้อยกว่าโดยปกติอิลไลท์เกิดในลักษณะอนุภาคเป็นแผ่นแบน (Flaky) เล็กๆ ปนกับแร่ธาตุดินเหนียว (Clay) และแร่ธาตุไม่ใช่ดินเหนียว (Non Clay)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แร่อิลไลท์ (Illite)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติต่าง ๆของอนุภาคดินเหนียวพวกซิลิเกต [3]

คุณสมบัติต่าง ๆ	**ชนิดของอนุภาคดินเหนียวพวกซิลิเกต**		
	Montmorillonite	Kaolinite	Illite
ขนาดผลึก (micron)	0.01-1.0	0.1-5.0	0.1-2.0
รูปร่าง	แผ่นบางมีขอบไม่สม่ำเสมอ	แผ่นบางรูปหกเหลี่ยม	แผ่นบางมีขอบไม่สม่ำเสมอ
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	700-800	5.0-20.0	
ความยืดหยุ่น,ความเหนียว	สูง	ต่ำ	ปานกลาง
ความสามารถในการยืดและหดตัว	สูง	ต่ำ	ปานกลาง
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (me/100g)	80-100	3.0-15.0	15.0-40.0

2.6.1 **ดินเบนโตไนท์** [4]

ดินเบนโตไนท์เป็นดินชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในงานหลายๆด้าน อาทิเช่น การใช้เป็นสารหล่อเย็นในการขุดเจาะสำหรับงานโยธา การใช้เป็นสารฟอกสี หรือใช้เป็นสารตัวเติมในการเพิ่มปริมาณเนื้อสาร ดินชนิดนี้ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์เป็นองค์ประกอบหลัก

และรองลงมาได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ เหล็กออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ มอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้ดินเบนโตไนท์มีสมบัติในการดูดซับที่ดี และสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ จากสมบัติของดินเบนโตไนท์นี้ ทำให้เราสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นออร์กาโนเคลย์ (Organoclay) ที่ใช้เป็นสารตัวเติมลงไปในสารประกอบพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามสมบัติของดินก็ยังแตกต่างกันไปในเรื่องของความสามารถในการดูดซับ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์

ดินเบนโตไนท์ ที่มีการใช้งานมากในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่

1) Natural Sodium Bentonite หรือ Sodium Montmorillonite เป็นการแลกเปลี่ยน Na^{+}

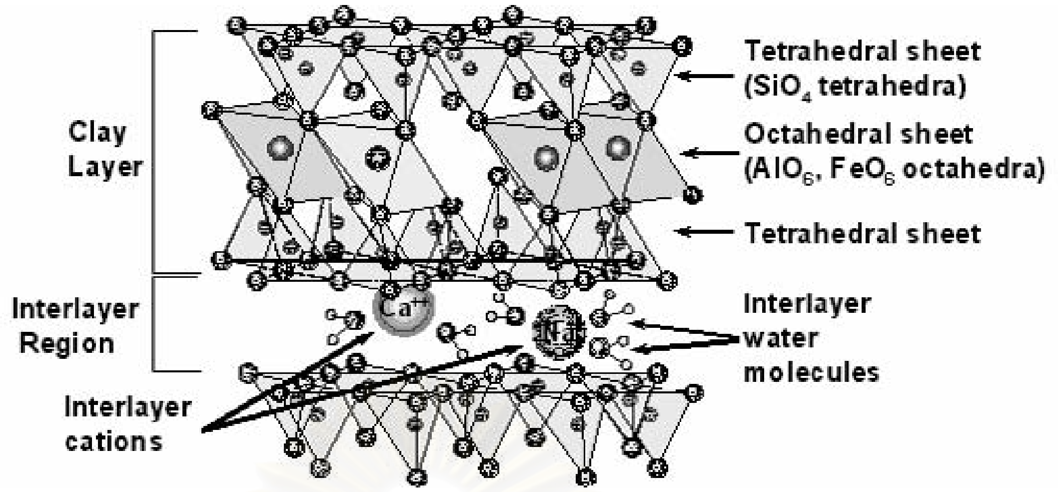
2) Natural Calcium Bentonite หรือ Calcium Montmorillonite เป็นการแลกเปลี่ยนCa^{+2}

3) Sodium Activated Bentonite หรือ Sodium Activated Montmorillonite เป็นการแลกเปลี่ยนประจุจาก Ca^{+2} กลายเป็น Na^{+}

โซเดียมเบนโตไนท์เมื่อดูดซับน้ำแล้วสามารถพองตัวได้มากถึง 15 – 20 เท่าจากปริมาตรเดิม มีสมบัติเป็นตัวหล่อลื่นและกันการแพร่ผ่าน โดยนิยมใช้เป็นหัวเจาะโคลนและใช้อุดยาหรือแนวของเขื่อนทำนบ สำหรับแคลเซียมและแคลเซียม-แมกนีเซียมเบนโตไนท์ มีความสามารถในการพองตัวได้น้อยกว่าโซเดียมเบนโตไนท์ ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นสารฟอกสีหรือเป็นสารดีเทอร์เจนต์ในการดูดซับน้ำมันจากพืชและสัตว์ นอกจากนี้ยังมีการนำไปดัดแปรโดยทำปฏิกิริยากับกรดได้เป็นแอคติเวดเตดเคลย์ (Activated Clays) สำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือทำปฏิกิริยากับโซดาไฟโดยเปลี่ยนจากแคลเซียมเป็นโซเดียมเบนโตไนท์

2.6.2 แร่มอนต์มอริลโลไนต์ [5]

มอนต์มอริลโลไนต์ เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างซ้อนทับกัน ซึ่งประกอบด้วยชั้นของแผ่นอะลูมิเนียม โดยชั้นที่อยู่ตรงกลางจะเป็นชั้นของอะลูมินา ที่ถูกประกบบนและล่างด้วยชั้นซิลิกา เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า 2:1 phylosilicate แต่ละชั้นจะมีความบางมาก ซึ่งจะมีความหนาน้อยกว่า 1 นาโนเมตร และมีความยาวประมาณ 1000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูงเหมาะสมอย่างมากที่จะนำไปใช้เสริมแรงวัสดุพอลิเมอร์ ระหว่างชั้นจะมีช่องว่างขนาดเล็กเรียกว่าแกลเลอรี (gallery) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์

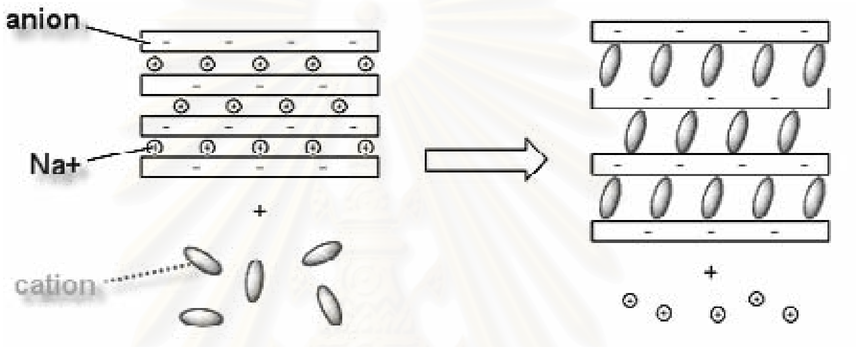
พื้นผิวของชั้นอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) จะมีประจุลบ แต่ชั้นเหล่านี้สามารถยึดเกาะกันได้ด้วยประจุบวก เช่น โซเดียมไอออน (Na^{+}) และ แคลเซียมไอออน (Ca^{+}) จะทำหน้าที่ยึดชั้นของดินที่มีประจุลบเอาไว้ด้วยกัน จึงทำให้ชั้นของดินยึดติดแน่น

รูปที่ 2.7 การยึดติดกันระหว่างชั้นของเคลย์กับประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของเคลย์

มอนต์มอริลไลไนต์ โดยธรรมชาติจะมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้ผสมและเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับพอลิเมอร์ได้ยากดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการดัดแปรมอนต์มอริลไลไนต์ (modified montmorillonite) ก่อนที่จะนำไปผสมเข้ากับพอลิเมอร์ เพื่อที่จะทำให้ชั้นแผ่นโครงสร้างของเคลย์เกิดการแยกชั้น สามารถเข้ารวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น โดยมอนต์มอริลโลไนต์จะช่วยเสริมแรงให้กับพลาสติกซึ่งจะทำให้สมบัติบางประการของพลาสติกดียิ่งขึ้น เช่น ความแข็งแรง (tensile strength) , ความทนทานต่อการดัดโค้ง (flexural strength) , ความทนทานต่อความร้อน (Heat resistance) เป็นต้น ซึ่งได้มีการเปิดเผยครั้งแรกโดยทีมงานวิจัยที่ห้องปฏิบัติการบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ในประเทศญี่ปุ่นคือ โตโยต้า(Toyota) [6]

โดยการนำเอามอนต์มอริลโลไนต์มาเสริมแรงให้กับไนลอน 6 แล้วพบว่าทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่าการใช้ไนลอนเพียงอย่างเดียว

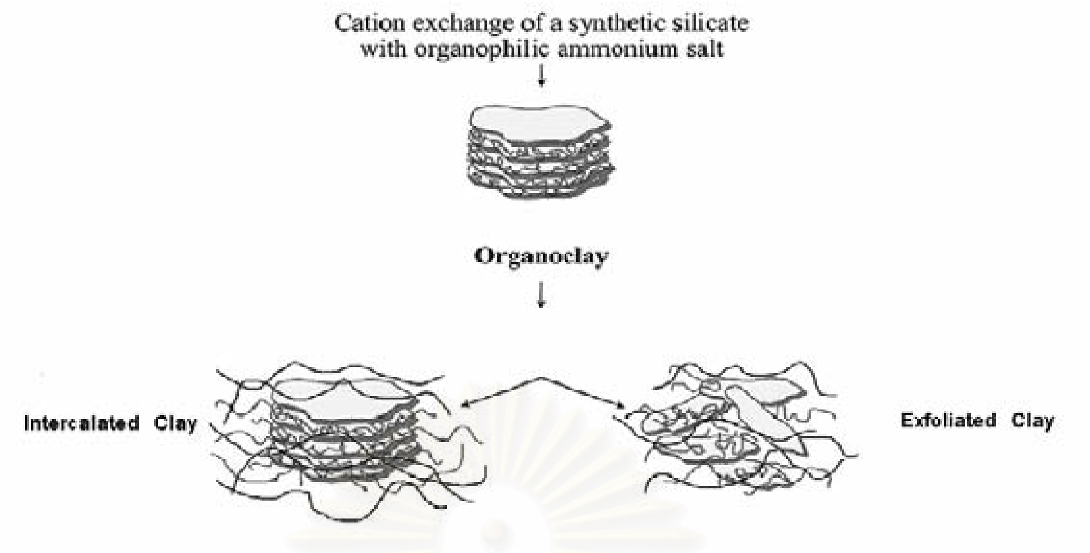
วิธีการที่ง่ายที่สุดในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ [7] คือการทำปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) โดยสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก (organic cation) เช่น เกลือควอเทอร์นารีของอัลคิลแอมโมเนียม (quaternary ammonium salt) หรือเกลือฟอสโฟเนียม (phosphonium salt) จะสามารถเข้าแทนที่ประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของดิน ทำให้ได้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เรียกว่าออร์กาโนเคลย์ (organoclay) แสดงดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างแคทไอออนที่อยู่ระหว่างชั้นของดินกับควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไอออน

ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไอออน (quaternary ammonium ion) ซึ่งมีสายโซ่อัลคิลที่ยาว (long alkyl chain) ซึ่งเป็นส่วนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เมื่อเข้าไปแทนที่ Na^+ ที่อยู่ระหว่างชั้นของดินจะทำให้ได้ออร์กาโนเคลย์ ที่มีสมบัติเข้ารวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ได้ดี

ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุด้วยสารอินทรีย์ที่มีประจุบวกทำให้ช่องแกลเลอรี (gallery) ขยายออก นั่นคือระยะห่างระหว่างชั้นของดินจะเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะทำให้ดินเกิดการบวมตัว เรียกออร์กาโนเคลย์ที่มีโครงสร้างแบบนี้ว่าการแยกตัวแบบแทรกสอด (Intercalated clay) แต่ถ้าชั้นของดินเกิดการบวมตัวมากจนทำให้เกิดการแยกชั้นของดินออกจากกันอย่างชัดเจน ซึ่งจะเรียกว่าการแยกตัวออกจากกัน (Exfoliated clay) ซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ขนาดเล็กมากระดับนาโนเมตร สามารถนำไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆโดยจะก่อให้เกิดการเสริมแรงในระดับโมเลกุล ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ชนิดของออร์กาโนเคลย์

2.6.3 ประโยชน์ของแร่มอนต์มอริลโลไนต์ [8,9]

จากการที่ กลุ่มนักวิจัยของโตโยตา (Toyota) ได้ค้นพบการทำนาโนคอมพอสิตระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์และ ไนลอน 6 แล้วนำไปใช้ผลิตเป็นอุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ จึงทำให้การเตรียมนาโนคอมพอสิตระหว่างเคลย์และพอลิเมอร์ได้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย และวัสดุที่นิยมนำมาใช้เสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ที่นิยมคือมอนต์มอริลโลไนต์ เนื่องจากมอนต์มอริลโลไนต์มีสมบัติพิเศษที่สามารถดัดแปรจนมีขนาดอนุภาคเล็กจนสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ และมอนต์มอริลโลไนต์ยังช่วยปรับปรุงสมบัติด้านต่างๆดังนี้คือ สมบัติเชิงกล, สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติด้านการสกัดกั้น นอกจากนั้นที่สำคัญยังช่วยลดการติดไฟ, รักษาเสถียรภาพทางรูปร่าง และ ยังคงรักษาความโปร่งใสไว้ให้กับพอลิเมอร์ ในการเตรียมนาโนคอมพอสิตระหว่างเคลย์และพอลิเมอร์ พบว่าเมื่อทำการเติมปริมาณเคลย์ระหว่าง 2-5 % จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลที่ดีเท่ากับการเตรียมคอมพอสิตแบบทั่วไปที่เติมสารเสริมแรงปริมาณถึง 30-40%

การใช้งานของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตในอุตสาหกรรมได้หลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์, การก่อสร้าง, ยานอวกาศ, อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร และอุปกรณ์ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์

2.7 การแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (cation exchange) [10]

ดินเหนียวเมื่ออยู่ในดินตามธรรมชาติจะดูดยึดไอออนที่มีประจุบวกไว้เต็มไปหมด ส่วนชนิดของแคตไอออนที่ดูดยึดอยู่นั้นสำหรับดินในแถบร้อนและชุ่มชื้น จะมีมากน้อยลดหลั่นกันลงไปดังนี้ คือ H^+ (Al^{3+}) > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+ แคตไอออนต่าง ๆ เหล่านี้จะไม่ดูดยึดติดแน่นอยู่กับพื้นผิวของดินเหนียวแต่จะโคจรอยู่ในระยะใกล้ชิดกับผิวภายใต้อำนาจการดึงดูดซึ่งกันและกัน ดังนั้นการชะล้างด้วยน้ำจึงไม่อาจที่จะชะเอาแคตไอออนพวกนี้ออกไปได้ เราเรียกแคตไอออนพวกนี้ว่าเป็น แคตไอออนดูดซับ (adsorbed cation) แต่อย่างไรก็ตามแคตไอออนพวกนี้สามารถที่จะถูกไล่ออกไปโดยแคตไอออนอื่น ๆ ได้โดยง่าย

การที่แคตไอออนดูดซับ (absorbed cations) สามารถถูกไล่ที่หรือแทนที่โดยแคตไอออนอื่นๆ ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวก บางครั้งเราสามารถเรียกแคตไอออนดูดซับนี้อีกอย่างหนึ่งว่า แคตไอออนแลกเปลี่ยน (exchangeable cation) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการแลกเปลี่ยนประจุ คือ

$$X.clay + Y^+ \rightleftharpoons Y.clay + X^+$$

X^+ : ประจุของดิน

Y^+ : ประจุที่ทำการเติมลงในสารละลาย

ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นจากซ้ายไปขวา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของประจุของ X^+ และ Y^+ ปฏิกิริยาจะเคลื่อนที่ไปด้านขวาโดยการเติมประจุ Y

2.7.1 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน

การแลกเปลี่ยนระหว่างแคตไอออนที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียวและแคตไอออนที่อยู่ภายนอกนั้น เกิดขึ้นได้ง่ายและยากแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายอย่าง ปัจจัยที่สำคัญที่จะกล่าวไว้ที่นี้คือ

1. ชนิดของแคตไอออนดูดซับและแคตไอออนเข้าแทนที่ (adsorbed cation and replacing cation)

แคตไอออนต่างชนิดกันจะดูดซับอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียวและถูกไล่ที่ออกจากดินเหนียวโดยแคตไอออนอื่นๆ ได้ยากและง่ายแตกต่างกันออกไป บางชนิดดูดยึดอยู่ที่ผิวดินเหนียวได้เพียงหลวมๆ และถูกแทนที่ได้ง่าย บางชนิดดูดยึดอยู่ที่ผิวดินเหนียวค่อนข้างเหนียวแน่นและถูกแทนที่ได้ยาก ได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับอำนาจในการไล่ที่และความเหนียวแน่นในการดูดยึดของแคตไอออน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ผิวดินเหนียวนั้น ปรากฏว่าแคตไอออนต่างๆ มีอำนาจการเข้าแทนที่ (replacing power) แตกต่างลดหลั่นกันลงไปดังนี้ คือ $Li^+ < Na^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < NH^{4+} < Al^{3+}(H^+)$ นั่นคือ Na^+ สามารถไล่ที่ Li^+ ได้ง่ายกว่าที่ Li^+ จะไล่ที่ Na+ หรืออาจจะกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งก็คือ Na^+ จะดูดยึดอยู่ที่ผิวดินเหนียวได้แน่นกว่า Li^+ แต่จะเหนียวแน่นน้อยกว่า K^+, Ca^{2+} ฯลฯ ตามลำดับ

2. ความเข้มข้นของแคตไอออนเข้าแทนที่ (replacing cation)

โดยปกติถ้าปริมาณของประจุบวกที่เข้าแทนที่ (replacing cation) มีมากก็ทำให้การไล่ที่แคตไอออนที่อยู่ที่ผิวดินเหนียวง่ายขึ้น ซึ่งเป็นหลักของ mass action ถึงแม้ว่า Na^+ จะมีอำนาจการไล่ที่ Ca^{2+} น้อยกว่าที่ Ca^{2+} จะไล่ที่ Na^+ แต่ถ้ามี Na^+ เป็นจำนวนมากๆ ก็สามารถที่จะไล่ที่ Ca^{2+} ออกไปให้หมดจากผิวของดินได้

3. ปริมาณการอิ่มตัว (degree of saturation)

ปริมาณของการอิ่มตัวของแคตไอออนบางชนิดที่ดูดซับอยู่ที่ผิวดินเหนียวจะมีอิทธิพลต่อความยากง่ายที่แคตไอออนนั้นจะถูกไล่ที่ออกมาเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่นแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable calcium) ที่ผิวของดินเหนียวยิ่งเหลือน้อยเท่าใดความยากที่จะไล่ที่ Ca^{2+} ออกไปจากผิวดินเหนียวให้หมดก็ยิ่งยากขึ้นเท่านั้น แต่ในทางตรงกันข้ามโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium) ยิ่งเหลือน้อยอยู่บนผิวดินเหนียวเท่าใดก็ยิ่งง่ายต่อการที่จะถูกไล่ที่ออกไปมากขึ้นเท่านั้น ส่วนแคตไอออนบางชนิด เช่น K^+ และ Mg^{2+} นั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับ degree of saturation เป็นต้น

4. แคตไอออนอื่นที่อยู่ร่วมด้วยบนผิวของดินเหนียว (complementary exchangeable cations)

บางครั้งแคตไอออนอื่นๆ ที่ดูดยึดอยู่บนผิวดินเหนียวร่วมกับแคตไอออนที่ต้องการจะไล่ที่นั้นก็มีบทบาทสำคัญเหมือนกัน เช่น โพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K^+) จะถูกไล่ที่ออกมาได้ง่ายขึ้น เมื่ออยู่ร่วมกับอะลูมิเนียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al^{3+}) หรือ H^+ แต่จะถูกไล่ที่ได้ยากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกับแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้

2.7.2 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity **หรือ** C.E.C.)

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินหรือคอลลอยด์นั้นหมายถึง "ปริมาณแคตไอออนทั้งหมดที่ดินหรือคอลลอยด์นั้นสามารถจะดูดยึดไว้ได้" โดยการบอกเป็นจำนวน milliequivalents ต่อดินเหนียว 100 กรัม ดังนั้นค่า C.E.C ของดินเหนียวหรือดินจึงบอกกันเป็นค่าของ Me/100 กรัมของดินเหนียวนั้นๆ C.E.C. จะมากหรือน้อยและจะแตกต่างไปจาก C.E.C ของดินอื่นๆ นั้นขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ชนิดของคอลลอยด์ดิน (soil colloid)

ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของคอลลอยด์ดินที่ต่างชนิดกันจะแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น ฮิวมัส , มอนต์มอริลโลไนต์ , อิลไลต์ , เกาลินไนท์ และ ไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าแตกต่างกันตามลำดับดังนี้ 200 , 100 , 30 , 8 และ 4 meq/100 g ดังนั้นดินที่มีฮิวมัสมากหรือมีพวกมอนต์มอริลโลไนต์เป็นองค์ประกอบอยู่มากก็จะทำให้ CEC ของดินนั้นสูงขึ้นกว่าดินอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีปริมาณดินเหนียวทั้งหมดเท่ากัน แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเกาลินไนท์ และไฮดรัสออกไซด์ของ Fe และ Al

2. ปริมาณของดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน

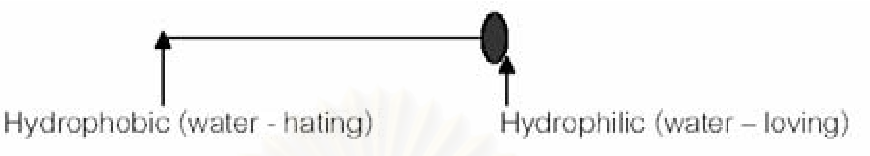
ดินที่มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวสูงย่อมจะมี CEC สูงกว่าดินที่มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้ความสังเกตจากเนื้อดิน เป็นหลักเกณฑ์บอกได้อย่างคร่าว ๆ ว่าดินไหนมี CEC มากน้อยกว่ากัน ถ้าดินนั้นมีเนื้อละเอียดโอกาสที่จะมี CEC สูงกว่าดินที่มีเนื้อหยาบกว่าก็จะมีมาก ดังนั้นจึงสามารถที่จะประเมิน CEC ของดินโดยคร่าว ๆ ได้จากปริมาณดินเหนียว นั่นคือ ทุกๆ หนึ่งเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียวจะให้ CEC แก่ดินประมาณ 0.5 meq/100g เช่นถ้าดินมีดินเหนียว 30% CEC ของดินนั้นจะประมาณเท่ากับ 15 meq/100 g

3.ปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน

เนื่องจากฮิวมัสมี CEC สูงมาก ดังนั้นดินที่มีเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุสูงก็จะมี CEC สูงไปด้วย โดยทั่วไปก็อาจประเมิน C.E.C. ที่เนื่องมาจากอินทรียวัตถุได้โดยทุกๆ หนึ่งเปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดิน (well humified organic matter) จะให้ C.E.C.แก่ดินเป็นจำนวน 2 Me/100 กรัม

2.8 **สารลดแรงตึงผิว** (Surfactant) [11]

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ คำว่า Surfactant มาจากคำว่า Surface active agent มีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วนได้แก่ ส่วนหัวที่เป็นไฮโดรฟิลิก(Hydrophilic) และส่วนหางที่เป็นไฮโดรฟอบิก(Hydrophobic)



สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.8.1 **สารลดแรงตึงผิวประจุลบ** (Anionic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในรูป คาร์บอกซิเลต (carboxylate), ซัลเฟต (sulfate), ซัลโฟเนต (sulfonate) หรือ ฟอสเฟต (phosphate) แสดงดังรูปที่ 2.10

$R\text{-}CH_2OSO_3^-\ Na^+$

Sodium alkyl sulfate(AS)

$R\text{-}OPO_3^{2-}\ 2Na^+$

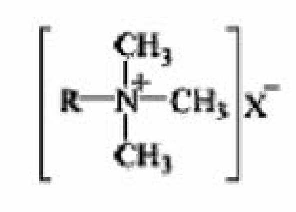
Sodium alkyl phosphate

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวประจุลบ

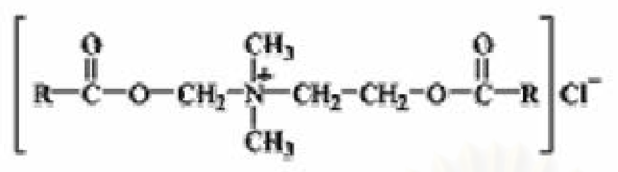
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8.2 **สารลดแรงตึงผิวประจุบวก** (Cationic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิกให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium) แสดงดังรูป 2.11 สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH10-11) เนื่องจากเกลือแอมโมเนียมจะมีการสูญเสียประจุบวก



Alklytrimethylammonium salts



Alkyl ester ammonium salts

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

2.8.3 สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ(Nonionic surfactant)

สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ และประจุบวก ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวกพอลิอีเทอร์ (polyether) หรือพอลิไฮดรอกซิล (polyhydroxyl) เป็นกลุ่มที่แสดงความมีขั้วของโมเลกุลที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.12

$H\text{-}(CH_2)_{12}\text{--}O\text{-}(CH_2\text{-}CH_2\text{-}O)_7H$ Alcohol ethoxylate (AE)

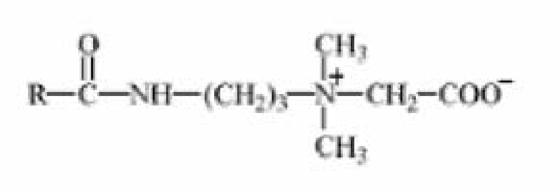
$CH_3\text{-}(CH_2)_{12}\text{ -}O\text{-})_{10}\text{-}(CH_2)_4\text{-}OH$ Alcohol athoxylate (AA)

รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ

2.8.4 สารลดแรงตึงผิวประจุบวกและลบ (Amphoteric surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก สามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่างประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก จะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรดประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก จะให้ประจุบวก ถ้าสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบนไฮโดรฟิลิก แสดงดังรูป 2.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Alkylamidopropyl betain

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและลบ

2.9 วัสดุนาโนคอมพอสิต [5]

วัสดุนาโนคอมพอสิตคือวัสดุที่เตรียมขึ้นได้จากการนำสารตั้งแต่สองชนิดมาผสมกัน โดยมีสารอย่างน้อยหนึ่งชนิดที่มีขนาดนาโนเมตร (1-20 nm) วัสดุนาโนคอมพอสิตจัดว่าเป็นวัสดุชนิดใหม่ ซึ่งจะปรับปรุงสมบัติทางความร้อน , สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านการสกัดกั้น

วัสดุที่นำมาใช้เสริมแรงในวัสดุนาโนคอมพอสิตที่กำลังได้รับความสนใจคือมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งการเตรียมคอมพอสิตของเคลย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดดังแสดงในรูปที่ 2.14

2.9.1 คอมพอสิตทั่วไป(Conventional composite)

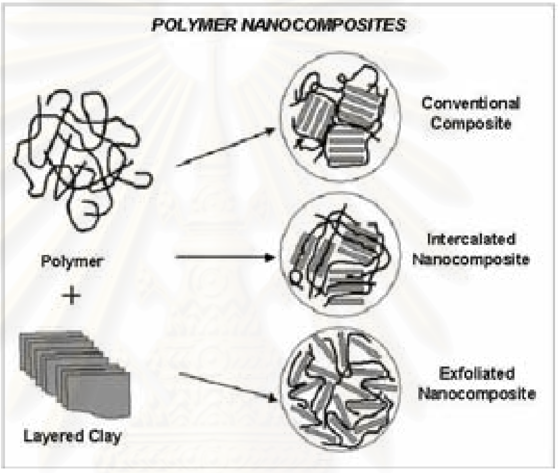
คอมพอสิตชนิดนี้เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์จะไม่แทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นของซิลิเกต โดยที่แต่ละชั้นของเคลย์จะยังรวมกันอยู่เฟสของพอลิเมอร์และเฟสของชั้นซิลิเกตจะมีการแยกออกจากกันอย่างชัดเจน

2.9.2 นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด(Intercalated nanocomposite)

คอมพอสิตชนิดนี้ประกอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นของซิลิเกตตั้งแต่ 1 สายโซ่ขึ้นไปทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นของเคลย์ขยายออก แต่ชั้นของเคลย์จะยังไม่แยกออกจากกันอย่างชัดเจน ชั้นของเคลย์ยังคงรักษาความเป็นระเบียบได้ดี แต่เมื่อนำมาตรวจสอบโดยใช้การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray scattering) จะพบว่าระยะห่างระหว่างชั้นดินจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วนาโนคอมพอสิตชนิดนี้จะมีค่าระยะห่างของชั้นดินน้อยกว่า 20-30 อังสตอม

2.9.3 นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน(Exfoliated nanocomposite)

โครงสร้างที่เป็นแบบแยกจากกัน จัดว่าเป็นโครงสร้างที่เป็นแบบอุดมคติ เพราะชั้นของเคลย์จะมีการแยกชั้นกันอย่างชัดเจนทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สามารถแทรกสอดเข้าไประหว่างชั้นของดินได้ และเมื่อได้ทำการศึกษาด้วยการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray scattering) โดยทั่วไปแล้วนาโนคอมพอสิตแบบนี้จะมีค่าระยะห่างระหว่างชั้นดินมากกว่า 80-100 อังสตอม แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะทำให้เคลย์เกิดการแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ในเนื้อพอลิเมอร์ เนื่องจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตที่แข็งแรงระหว่างชั้นซิลิเกตและประจุบวกระหว่างแกลเลอรี



รูปที่ 2.14 แสดงการเกิดคอมพอสิตของเคลย์

2.10 กระบวนการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต [12]

การเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตในปัจจุบันมี 3 วิธี ซึ่งการเลือกกระบวนการเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตขึ้นกับความเหมาะสมและชนิดของพอลิเมอร์

2.10.1 solution intercalation

วิธีนี้ทั้งออร์กาโนเคลย์และพอลิเมอร์จะละลายในตัวทำละลาย สายโซ่พอลิเมอร์จะแทรกเข้าไประหว่างชั้นของออร์กาโนเคลย์ และเมื่อหลังจากการระเหยของตัวทำละลายก็จะได้นาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด

2.10.2 in-situ polymerization

วิธีนี้เป็นวิธีที่คล้ายกับวิธีของ solution intercalation แต่จะต่างกันตรงที่เปลี่ยนจากตัวทำละลายเป็นมอนอเมอร์ มอนอเมอร์จะแทรกตัวเข้าไปประหว่างชั้นในโครงสร้างแร่ดิน แล้วทำให้เกิดปฏิกริยาพอลิเมอร์ไรซ์ วิธีนี้จะทำให้ได้นาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกัน

2.10.3 melt intercalation

กระบวนการนี้เริ่มจากการผสมเทอร์โมพลาสติกหลอมเหลวแทรกเข้าไปประหว่างชั้นออร์กาโนเคลย์ กระบวนการนี้จะต้องมีความเร็วอย่างเพียงพอในขณะที่ผสมอยู่ในเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jiawen Xiong และคณะ [13] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมนาโนคอมพอสิตจากพอลิยูรีเทน และมอนต์มอริลโลไนต์ เพื่อที่ให้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดัดแปรโครงสร้าง มอนต์มอริลโลไนต์ด้วยอะโรมาติกเอมีนที่มีหมู่ว่องไว methylene-bis-ortho-chloroaniline (MOCA) และ Cetyltrimthylammonium-bromide (CTAB) ซึ่งพบว่านาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากการดัดแปร MMT ด้วย MOCA (PU/MO-MMT) จะมีเสถียรภาพทางความร้อนและสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียว โดยค่ามอดุลัสและอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของพอลิยูรีเทนจะเพิ่มอย่างเห็นได้ชัดเมื่อผสมกับ MMT ที่ดัดแปรด้วย MOCA (MO-MMT) และค่าความแข็งแรงเชิงกลจะเพิ่มประมาณ600%ในPU/MO-MMT

Wei'an Zhang และคณะ [14] ได้ศึกษาและเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตจากเอทิลไวนิลอะซิเตต (EVA) และเคลย์ ด้วยวิธี melt intercalation โดยใช้ EVA ที่มีไวนิลอะซีเตตปริมาณ 28 40 50 และ 80% ผสมกับเคลย์ 4 ชนิด ซึ่งเป็น organophilic clay (OMMT) 3 ชนิด และอีกชนิดเป็น Na-MMT ด้วยอัตราส่วน 3, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งสารที่ใช้ดัดแปรโครงสร้างเคลย์ ได้แก่ octadecyltrimethyl ammonium bromide (SIAB) dioctadecyldimethyl ammonium bromide (DIAB) และ tricetadecylmethyl ammonium bromide (TRIAB) สำหรับงานวิจัยนี้ได้เสนอโครงสร้างระดับนาโนแบบใหม่ คือ แบบ wedged จากผลการวิเคราะห์ XRD บอกได้ว่าสารดัดแปรเคลย์ยิ่งมีหมู่แทนที่ที่เป็นสายโซ่คาร์บอนยาว จะทำให้ชั้นเคลย์ขยายมากขึ้น และผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMTA พบว่า ค่า storage modulus ของโครงสร้างแบบ intercalated และ exfoliated บางส่วนมีค่าสูงกว่าโครงสร้างแบบ wedged

Chaoying Wan และคณะ [15] ได้ศึกษาและเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตจากการใช้พอลิไวนิลคลอไรด์และเคลย์ ด้วยวิธี melt blending โดยใช้เคลย์ 3 ชนิด คือ โซเดียมมอนต์อริลโลไนต์และออร์กาโนฟิลิกมอนต์อริลโลไนต์ทั้งหมด 2 ชนิด และสารที่ใช้ดัดแปรโครงสร้างของเคลย์ ได้แก่ trimethyloctadecyl ammonium , dimethyldioctadecyl ammonium งานวิจัยนี้ได้ศึกษาโครงสร้างของนาโนคอมพอสิตโดยใช้เทคนิค XRD, TEM และ DMTA จากผล XRD ค่า d-spacing ของ Na-MMT มีค่า 1.2 นาโนเมตร, MMT-C_{18}มีค่า 2.0 นาโนเมตร, MMT-2C_{18} มีค่า 3.2 นาโนเมตร จากค่าความแข็งตึงและความทนแรงกระแทกของนาโนคอมพอสิตทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณเคลย์ 0.5-3% โดยน้ำหนัก และที่ปริมาณเคลย์ต่ำกว่า 5% โดยน้ำหนัก นาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จะยังคงมีความใสที่ดี

Fawn M Uhl และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาการเสริมแรงฟิล์มของยูรีเทนอะคริเลต ด้วยออร์กาโนเคลย์ในระบบการบ่มด้วยรังสียูวี โดยเตรียมออร์กาโนเคลย์จากการนำมอนต์โมริลโลไนต์มาดัดแปรด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยแทนที่โซเดียมไอออนด้วยอัลคิลแอมโมเนียมไอออนซึ่งใช้ Cetyltrimethylammonium bromide (CTMA) และ [(2-acryloyloxy)ethyl] (4-benzoyl-benzyl)dimethylammonium bromide (AEBBDMA) มาดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งพบว่าการใช้ CTMA ดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์จะให้โครงสร้างที่ดีกว่า ค่าระยะห่างระหว่างชั้นดิน (d-spacing) ของมอนต์มอริลโลไนต์ คือ 1.4 นาโนเมตร ส่วนมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย CTMA มีค่า1.9 nm ในขณะที่มอนต์มอริลโลไนต์ ที่ดัดแปรด้วย AEBBDMA มีค่า 1.8 นาโนเมตร ในการศึกษาโครงสร้างของออร์กาโนเคลย์จะใช้เทคนิค XRD และ TEM และศึกษาสมบัติทางกายภาพโดย RTIR, DSC, Photo-DSC และ DMTA จากผลการทดสอบพบว่าสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลจะดีขึ้นเมื่อมีการเสริมแรงด้วยออร์กาโนเคลย์

M.Kozak และคณะ [17] ศึกษาการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ จากนั้นนำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรศึกษาด้วยเทคนิค XRD, FT-IR และ SEM และศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่าค่าระยะห่างระหว่างชั้นดิน (d-spacing)ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปรมีค่า 1.227 nm และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรมีค่าระยะห่างระหว่างชั้นดินมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 1.557 นาโนเมตร และจากเทคนิค FT-IR จะพบข้อแตกต่างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปร คือมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะแสดงพีคของ C-C stretching ที่ช่วง 1468 cm^{-1} และ C-H streching ในช่วง 2930 และ 2856 cm^{-1} ตามลำดับ

Junfeng Xiao และคณะ [18] ศึกษาการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิบิวทิลลีนทเลฟทาเลต (poly(butylene terephtalate))และเคลย์ โดยการนำมอนต์มอริลโลไนต์มาดัดแปรด้วย cetyl pyridium chloride(CPC) และ hexadecyl trimetyl ammonium chloride จากการศึกษาด้วยเทคนิค TGA พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย CPC จะมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี ดังนั้นจึงเลือกมาใช้ดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์เพื่อเตรียมนาโนคอมพอสิต และจากการทดสอบด้วยเทคนิค XRD และ TEM พบว่าโครงสร้างของนาโนคอมพอสิตเป็นแบบแยกออก (exfoliated)

Muserref Onalและคณะ [19] ศึกษาการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิเมทาคริลาไมด์ (polymethacrylamide (PMAA)) และโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ ด้วยกระบวนการฟรีแรดดิคัลพอลิเมอร์ไรเซชัน จากนั้นนำนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR, XRD, SEM และวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA โดยเทคนิค XRD และ TGA ใช้ยืนยันว่าวัสดุที่ได้มีโครงสร้างนาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด และพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของนาโนคอมพอสิตสูงกว่าพอลิเมทาคริลาไมด์เพียงอย่างเดียว

Chungui Zhao และคณะ [20] เตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิเอทิลีนและเคลย์ด้วยวิธี melt intercalation โดยทำการเตรียมออร์กาโนเคลย์จากการใช้สารดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ต่างกัน คือ เกลือควอเทอร์นารีอัลคิลแอมโมเนียมที่มีหมู่ว่องไว และ เกลือควอเทอร์นารีอัลคิลแอมโมเนียมที่ไม่มีหมู่ว่องไว พบว่าการดัดแปรเคลย์ด้วยควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่ไม่มีหมู่ว่องไวจะให้โครงสร้างแบบ ไมโครคอมพอสิต ส่วนการดัดแปรเคลย์ด้วยควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่มีหมู่ว่องไวจะให้โครงสร้างแบบนาโนคอมพอสิต และนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี

Tianxi Liu และคณะ [21] พบว่าในการเตรียมนาโนคอมพอสิตของไนลอน 11 และออร์กาโนเคลย์ที่มีการใช้ออร์กาโนเคลย์ปริมาณ 0,1,2,4 และ 8 %wt โครงสร้างของนาโนคอมพอสิตแบบแยกจากกันจะเกิดเมื่อมีการใช้ออร์กาโนเคลย์น้อยกว่า 4 wt% และโครงสร้างนาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอดปนกับนาโนคอมพอสิตแบบแยกออก จะเกิดเมื่อใช้ปริมาณออร์กาโนเคลย์มากกว่า 4%wt เสถียรภาพทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของนาโนคอมพอสิตแบบแยกออกจะดีกว่านาโนคอมพอสิตแบบแทรกสอด

K.J.Yao และคณะ [22] ศึกษาการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิยูรีเทนและโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ โดยทำการเตรียมจาก 4,4-di-phynymethylate diisocyanate ดัดแปร (M-MDI) ,polyether polyol ดัดแปร (MPP) และโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ จากการศึกษาพบว่าถ้าเพิ่มปริมาณเคลย์จะทำให้ค่าความแข็งแรงและความเครียด ณจุดขาดเพิ่มขึ้น และค่ามอดูลัสที่ต่ำกว่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นมากกว่า 350% แต่การเพิ่มปริมาณเคลย์จะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงเล็กน้อย

Fangling Gong และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาโครงสร้าง, ขนาดอนุภาค และสมบัติเชิงกลของนาโนคอมพอสิตระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และมอนต์มอริลโลไนต์ ที่เตรียมจากกระบวนการ in-situ polymerization มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรจะมีขนาดอนุภาคนาโนเมตร และสามารถเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับพอลิไวนิลคลอไรด์ และพบว่าขนาดอนุภาคของนาโนคอมพอสิตมีค่าลดลงเมื่อใส่มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรร้อยละ 1-5 โดยน้ำหนัก และนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จะมีค่าความทนแรงดึงและมอดูลัสสูงกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์

X.Fu และคณะ [24] ได้เตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิสไตรีนและออร์กาโนเคลย์ด้วยกระบวนการ free radical polymerization ในการเตรียมออร์กาโนเคลย์จะเตรียมด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์และแอมโมเนียมแคตไอออน จากการทดสอบพบว่านาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ จะมีค่ามอดูลัส และอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าพอลิสไตรีน และเมื่อศึกษาด้วยเทคนิค XRD และ TEM พบว่าโครงสร้างที่เตรียมได้เป็นแบบนาโนคอมพอสิตแยกออก

T.-K.Chen และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิยูรีเทนและออร์กาโนเคลย์ โดยเตรียมออร์กาโนเคลย์จากการดัดแปรโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย 12 amino lauric acid (12COOH-mont) และ benzidine (BZD-mont) ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ ออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคนาโนเมตร และเกิดเป็นนาโนคอมพอสิตแบบแยกออกเมื่อใช้ปริมาณเคลย์ 1,3 และ5 %wt ในกรณีของการเตรียมนาโนคอมพอสิตจากการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย (12COOH-mont) แต่การเตรียมนาโนคอมพอสิตจากการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย(BZD-mont) จะเกิดเมื่อใช้ปริมาณเคลย์ 1 และ 3%wt ซึ่งยืนยันผลการทดสอบด้วยเทคนิค XRD และ TEM

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. อะคริลิกเรซิน ชื่อทางการค้า ACRYDIC A-134-IM ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมิคัล อินดัสทรี จำกัด โดยมีสมบัติดังนี้

- อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) 49^0C
- ความถ่วงจำเพาะ(d_4^{25}) 0.97-0.98
- ตัวทำละลายคือ โทลูอีน(Toluene), บิวทิลอะซีเตต(Butyl acetate)
- ความทนแรงขูดขีด (pencil, 1Kg., broken) เมื่อเวลาผ่านไป 1 วันคือ F-H
- ความทนทานต่อการดัดโค้ง (Ø mm) คือ Ø 8 mm

2. อะคริลิกเรซิน ชื่อทางการค้า ACRYDIC SD-603 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมิคัล อินดัสทรี จำกัด โดยมีสมบัติดังนี้

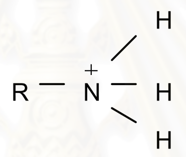
- อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) 67^0C
- ความถ่วงจำเพาะ(d_4^{25}) 0.97-0.99
- ตัวทำละลายคือ โทลูอีน(Toluene)
- ความทนแรงขูดขีด (pencil, 1Kg., broken) คือ 2H
- ความทนทานต่อการดัดโค้ง (Ø mm) คือ มากกว่า Ø 10 mm

3. แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ชื่อทางการค้า Mac-gel เกรด WN-02 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทไทยนิปปอน เคมิคัล อินดัสทรี จำกัด โดยส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพมีดังนี้

- ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 55-60
- อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 14-18
- โซเดียม (Na_2O_3) ร้อยละ 2.4-3.2
- แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ2.0-2.6

- แคลเซียม (CaO) ร้อยละ 2.0-2.5
- เหล็ก (Fe_2O_3) ร้อยละ1-3
- โพแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.4-0.6
- ไททาเนียมไดออกไซด์ (Ti_2O) ร้อยละ 0.2-0.3
- น้ำหนักที่สูญหายหลังการเผา (LOI) ร้อยละ 10-12

4. สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ในงานวิจัยนี้จะใช้เกลือแอมโมเนียมของอัลคิลเอมีน ในการดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งจะมีความยาวของสายโซ่ต่างๆกัน คือ Dodecylamine ($C_{12}H_{27}N$) , Hexadecylamine ($C_{16}H_{35}N$) และ Octadecylamine ($C_{18}H_{39}N$) ซึ่งแสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างง่ายดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของแอมโมเนียมไอออน

5. TEXANOL ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทไวท์ กรุ๊ป จำกัด

6. ไดบิวทิลฟทาเลต (DBP) จาก Merk, Analytical Reagent grade

7. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) จาก Lab-scan, Hydrochloric acid 37%, Analytical Reagent grade

9. โทลูอีน (Toluene) จาก Lab-scan, Analytical Reagent grade

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส

3.2.2 บิกเกอร์ 150 มิลลิลิตร

3.2.3 บิกเกอร์ 250 มิลลิลิตร

3.2.4 จานเพาะเชื้อ

3.2.5 แท่งแก้ว

3.2.6 กรวยบุชเนอร์

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (multimixing)

3.3.2 อุปกรณ์ให้ความร้อน (heater)

3.3.3 เครื่องกรองสุญญากาศ (suction)

3.3.4 ตะแกรงร่อนดิน 200 เมช

3.3.5 ตู้อบให้ความร้อน

3.3.6 เครื่องลากฟิล์ม (Film applicator)

3.4 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

3.4.1 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)
รุ่น Perkin Elmer System 2000

3.4.2 เอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรกชัน (XRD)
รุ่น D/MAX-2000

3.4.3 เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกแอนาไลเซอร์ (TGA)
รุ่น NETZSCH STA 409 C/CD

3.4.4 เลเซอร์พาร์ทิเคิลไซด์ดิสไทรบิวชัน แอนาไลเซอร์
รุ่น Mastersizer S long bed Ver. 2.11

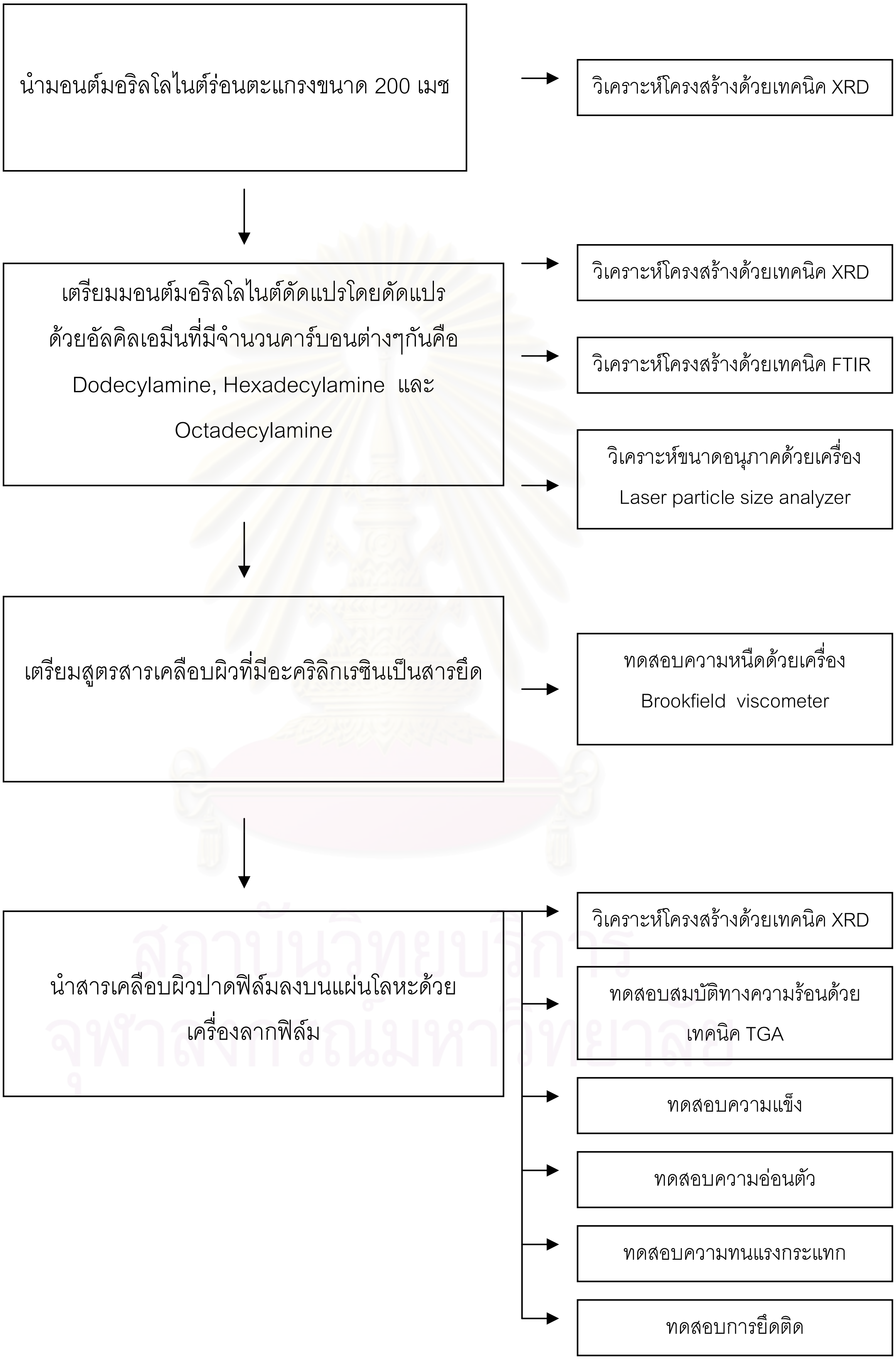
3.4.5 เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield

3.4.6 เครื่อง Scratch Tester

3.4.7 เครื่อง Impact Tester

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 ขอบเขตการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์โมริลโลไนต์ เมื่อผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนที่มีจำนวนคาร์บอนต่างๆกัน และศึกษาถึงผลของการใช้อัลคิลเอมีนปริมาณต่างๆกันคือ ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ในการดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งการเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรสามารถเตรียมได้เป็นขั้นตอนดังนี้

1) นำอัลคิลเอมีนปริมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย พร้อมให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส และการกวนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 20 นาที

2) นำโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณ 2.5 กรัมใส่ลงในน้ำกลั่น 74 มิลลิลิตร และกวนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 20 นาที

3) นำสารละลายที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 ใส่ลงในขั้นตอนที่ 2 พร้อมทั้งกวนด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ด้วยความเร็ว 400 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อจากนั้นกรองมอนต์มอริลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง เพื่อกำจัดคลอไรด์ไอออน จนกระทั่งไม่พบตะกอนสีขาวเมื่อทดสอบด้วยซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) นำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร อบแห้งที่อุณหภูมิ 70^0C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด จากนั้นนำไปร่อนตะแกรงขนาด 200 เมช แล้วนำไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 50^0C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก็จะได้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

สำหรับการเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณอัลคิลเอมีนร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สามารถทำการเตรียมได้เช่นเดียวกับวิธีการเตรียมออร์กาโนเคลย์ที่ปริมาณอัลคิลเอมีนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยทำการเปลี่ยนปริมาณอัลคิลเอมีนเป็นร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

สำหรับอัลคิลเอมีนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้อัลคิลเอมีนชนิดต่างๆกันคือ Dodecylamine ($C_{12}H_{27}N$), Hexadecylamine ($C_{16}H_{35}N$) และ Octadecylamine ($C_{18}H_{39}N$)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะประกอบไปด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนชนิดต่างๆ และที่ปริมาณอัลคิลเอมีนต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองในการดัดแปรโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์

ชนิดของอัลคิลเอมีนที่ใช้ดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์	ปริมาณของอัลคิลเอมีนที่ใช้ดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์
Dodecylamine	1 % โดยน้ำหนัก
	2 % โดยน้ำหนัก
	3 % โดยน้ำหนัก
Hexadecylamine	1 % โดยน้ำหนัก
	2 % โดยน้ำหนัก
	3 % โดยน้ำหนัก
Octadecylamine	1 % โดยน้ำหนัก
	2 % โดยน้ำหนัก
	3 % โดยน้ำหนัก

4) จากนั้นนำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโครปี (FTIR) และเทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

3.7 เตรียมสูตรสารเคลือบผิว

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของปริมาณการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ไม่ดัดแปร ที่ระดับต่างๆในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก โดยการใช้ปริมาณเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวเป็นร้อยละ1,ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

นำมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เตรียมได้จากการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยอัลคิลเอมีนไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD เพื่อหาขนาดช่องว่างหรือแกลเลอรีระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิโนซิลิเกต (d-spacing) และนำมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่มีค่าช่องว่างระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงที่สุด มาใส่ในสูตรสารเคลือบผิวที่มีอะคริลิกเป็นสารยึด ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเพื่อให้เคลย์มีการกระจายตัวที่ดีในสูตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารเคลือบผิว ดังแสดงในรูป 3.2 โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสมคือ 400 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร ในสูตรสารเคลือบผิวเป็นร้อยละ1,ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ซึ่งตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 เป็นตารางแสดงส่วนผสมของสารเคลือบผิวสูตรที่มีอะคริลิกเป็นสารยึดที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 3.2 เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง

ตารางที่ 3.2 สูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด

Formulation \ Clay	control	1 wt%	2 wt%	3 wt%
Acrydic A-134-IM	64.0	63.0	62.0	61.0
Dibutyl phthalate (DBP)	4.0	4.0	4.0	4.0
Toluene	27.2	27.2	27.2	27.2
Texanol	4.8	4.8	4.8	4.8

ตารางที่ 3.3 สูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด

Clay / Formulation	control	1 wt%	2 wt%	3 wt%
Acrydic SD-603	70.2	69.2	68.2	67.2
Dibutyl phthalate (DBP)	4.0	4.0	4.0	4.0
Toluene	22.0	22.0	22.0	22.0
Texanol	3.8	3.8	3.8	3.8

3.8 การปาดฟิล์ม

นำสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิกสูตร A-134-IM และ อะคริลิกสูตร SD-603 เป็นสารยึดมาปาดฟิล์มลงบนแผ่นโลหะด้วยเครื่องลากฟิล์ม ดังแสดงในรูป 3.3 โดยให้ฟิล์มมีความหนา 60 ไมครอน จากนั้นทิ้งไว้ให้ฟิล์มแห้งเป็นเวลา 7 วัน และจากนั้นนำไปทดสอบสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิว

รูปที่ 3.3 เครื่องลากฟิล์ม (Film applicator)

3.9 การทดสอบสมบัติของมอนต์มอริลโลไนต์

3.9.1 การศึกษาคุณลักษณะของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิคฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโครปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร ด้วยเครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโครปี รุ่น Perkin Elmer System 2000 ดังแสดงรูปที่ 3.4 โดยกำหนดความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่ได้ระหว่าง 4000 – 400 cm^{-1} ใช้ scan time เท่ากับ 32 และ resolution เท่ากับ 8 ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบสามารถทำได้โดย นำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรไปบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วไปอัดเป็นฟิล์ม

ฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโครปี (FTIR) เป็นหนึ่งในเทคนิคทางด้านอินฟาเรดสเปกโทรสโครปี (Infrared Spectroscopic) ที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด เทคนิค FTIR นี้มีความไว ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบน้อย ซึ่งหลักการที่ใช้คือ การดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงแสงอินฟราเรด (IR Absorption)

ในการเกิดการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงแสงอินฟราเรด (IR Absorption) โมเลกุลจะต้องเกิด net-change ใน dipole moment ซึ่งเกิดจากการสั่น (vibrational) หรือ การหมุน (rotational motion) ของโมเลกุล และ homonuclear species จะไม่เกิด net change ใน dipole moment เมื่อมีการสั่นหรือหมุน จึงไม่เกิด IR absorption

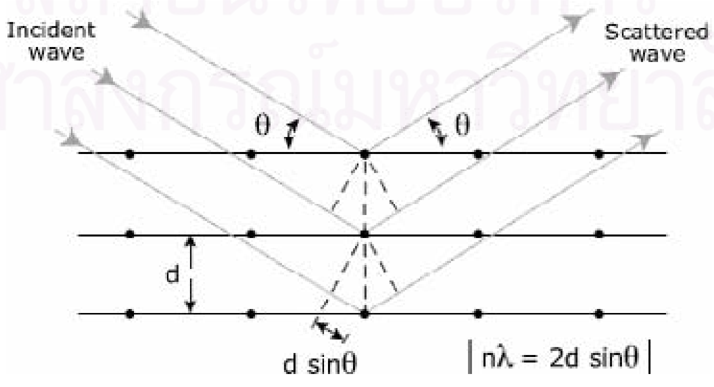
รูปที่ 3.4 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.9.2 **การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน** (X-ray diffraction, XRD)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีน และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรภายในฟิล์มนาโนคอมพอสิต สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของโครงสร้างด้วยเทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง โดยรังสีเอ็กซ์จะเลี้ยวเบนไปตามช่องว่างระหว่างอะตอมภายในผลึกและจะถูกบันทึกค่า แล้วทำการวิเคราะห์ธรรมชาติของโครงสร้างผลึกนั้นๆ โดยระยะห่างระหว่างอะตอมนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของแบรกก์

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกจำเป็นต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงหรือน้อยกว่าขนาดของอะตอม แสงที่มีความยาวคลื่นขนาดดังกล่าวได้แก่ รังสีเอ็กซ์ ซึ่งได้จากการยิงอะตอมของธาตุ (เช่น โครเมียม หรือ โมลิบดินัม) ด้วยลำอิเล็กตรอน นอกจากรังสีเอ็กซ์แล้ว รังสีอื่นๆ ที่ใช้ก็ได้แก่ รังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู รังสีซินโครตรอนซึ่งเป็นรังสีที่เปล่งออกมาโดยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบอะตอมหรือไอออนภายในโครงสร้างของสารที่นำมาตรวจสอบ จะเกิดการกระเจิงประพฤติตัวคล้ายกับการสะท้อนออกจากระนาบของแลตทิส ผลึก ดังนั้นจึงสามารถใช้กฏการสะท้อนเช่นเดียวกับการสะท้อนจากกระจกเงา นั่นคือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนของแสง คลื่นแสงที่จะเกิดการรวมตัวแบบเสริมกันจะต้องเป็นคลื่นที่มีเฟสเหมือนกัน นั่น คือ ความแตกต่างของระยะทางที่คลื่นเหล่านั้นเคลื่อนที่ต้องเท่ากับเลขจำนวนเต็มคูณด้วยความยาวคลื่น ดังแสดงในสมการแบรก (Bragg Equation) ข้อควรสังเกต คือ สมการแบรกก์จะระบุถึงเงื่อนไขการเกิดรังสีสะท้อนแต่มิได้กล่าวถึงความเข้มแสง



รูปที่ 3.5 อธิบายสมการแบรกก์ที่ใช้ในเทคนิค XRD

สมการของแบรก $n\lambda = 2d \sin\theta$ (3-1)

โดยที่ λ = ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

n = เลขจำนวนเต็ม

d = ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก

θ = มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์

จากสมการที่ 3.1 สามารถอธิบายการสะท้อนรังสีเอ็กซ์จากระนาบของผลึก ซึ่งระยะทางที่แสงเดินทางจากระนาบทั้งสองหรือ $2d\sin\theta$ ต้องเท่ากับ $n\lambda$

เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบผลึกซึ่งประกอบด้วยอะตอมที่เรียงตัวอย่างระเบียบ รังสีเอ็กซ์จะเกิดการสะท้อนจากอิเล็กตรอนด้วยมุมต่างๆ กัน เข้าเครื่องตรวจวัด เครื่องตรวจวัดจะวัดความเข้มแสงที่มุมสะท้อนต่างๆ (ซึ่งมีค่าเท่ากับมุมตกกระทบ) และให้ผลออกมาเป็นแพทเทิร์นระหว่างมุมตกกระทบกับความเข้มแสง ดังแผนภาพในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง XRD โดยสังเขป

จากรูปที่ 3.6 สามารถสรุปหน้าที่การทำงานของเครื่องมือแต่ละส่วนได้ดังนี้

X-ray source เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ภายในประกอบด้วยเป้าโลหะคอปเปอร์ (K_α เท่ากับ 1.5406 อังสตรอม)

Sample เป็นสารที่นำมาใช้ตรวจสอบประเภทวัสดุที่มีผลึก (crystalline material) โดยอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์

Detector ใช้ตรวจวัดการหักเหของรังสีเมื่อตกกระทบสาร

ดังนั้นสิ่งที่ได้จากการทดลองประกอบด้วย

1) <u>มุมหรือทิศทางของแสงสะท้อน</u> (2θ) สำหรับคำนวณหาขนาดหน่วยเซลล์ได้

2) <u>ความกว้างของพีค</u> (B) สำหรับคำนวณหาความเป็นผลึกของสารตัวอย่าง

3) <u>ความเข้มแสงสะท้อน</u> (I) สำหรับคำนวณหาตำแหน่งของอะตอมภายในหน่วยเซลล์

นอกจากนี้ยังมีค่าอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น พารามิเตอร์การสั่น การกระจายของอิเล็กตรอน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร และฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ ถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเครื่อง Rigaku D/MAX-2000 แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยทำการวิเคราะห์ที่ 2θ เท่ากับ 1.2 ถึง 40 และผลการวิเคราะห์แสดงเป็นกราฟ

รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน

3.9.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเครื่อง Laser particle size distribution

การวิเคราะห์หาค่าขนาดการกระจายตัวของอนุภาคของ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปร สามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser particle size distribution รุ่น Mastersizer S long bed Ver. 2.11 ดังแสดงรูปที่ 3.8

เครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer เป็นการวัดขนาดอนุภาคโดยใช้หลัก Laser Diffraction ซึ่งมีข้อดีกว่าระบบอื่น ๆ คือ สามารถวัดขนาดอนุภาค ได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.05 - 3500 ไมโครเมตร เครื่อง Laser particle size distribution รุ่น Mastersizer-S ใช้หาขนาดการกระตัวของอนุภาค โดยช่วงที่วิเคราะห์ได้

- 0.05-880 ไมโครเมตร
- 0.50-880 ไมโครเมตร
- 4.2-3480 ไมโครเมตร

รูปที่ 3.8 **เครื่อง** Laser particle size distribution analyzer

3.10 การทดสอบทางกายภาพของสารเคลือบผิวในภาวะของเหลว

3.10.1 การทดสอบความหนืด

ทดสอบความหนืดสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้ทำการทดสอบความหนืดโดยใช้ เข็มเบอร์ 2 และความเร็วในการหมุนเข็ม 20 R.P.M.

การวัดความหนืดของสารเคลือบผิวด้วยวิธีนี้เป็นการวัด การต้านทานการไหลของสารเคลือบผิว เครื่องวัดความหนืดสามารถวัดค่าความหนืดได้โดยอาศัยการวัดค่าทอร์กที่ต้องการใช้ในการหมุนเข็มที่จุ่มอยู่ในของเหลว ซึ่งเข็มจะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ผ่านสปริงที่ผ่านการปรับตั้งตำแหน่ง แล้วการม้วนตัวของสปริงจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการหมุนเข็มและมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปทรงของเข็ม โดยแรงต้านจะเพิ่มขึ้นถ้าใช้เข็มขนาดใหญ่ และใช้ความเร็วในการหมุนสูงขึ้น สำหรับเครื่องวัดความหนืดรุ่นหนึ่งๆ ช่วงความหนืดที่ต่ำที่สุดจะเกิดจากการใช้เข็มขนาดใหญ่ที่สุดและใช้ความเร็วในการหมุนสูงที่สุด และถ้าต้องการเลือกใช้ช่วงความหนืดที่สูงที่สุดจะต้องใช้เข็มขนาดเล็กที่สุดและความเร็วต่ำที่สุด การวัดค่าความหนืดของสารตัวอย่างโดยใช้เข็มที่เหมาะสม แล้วทำการวัดที่ความเร็วต่างๆนั้นจะมีประโยชน์ต่อการศึกษาสมบัติทางด้าน พฤติกรรมการไหลของของเหลวชนิดนั้น โดยค่าความหนืดที่วัดได้มีหน่วยเป็นเซนติพอยส์

รูปที่ 3.9 **เครื่องวัดความหนืดแบบ** Brookfield

3.11 การทดสอบทางกายภาพของสารเคลือบผิวในภาวะฟิล์มแห้ง

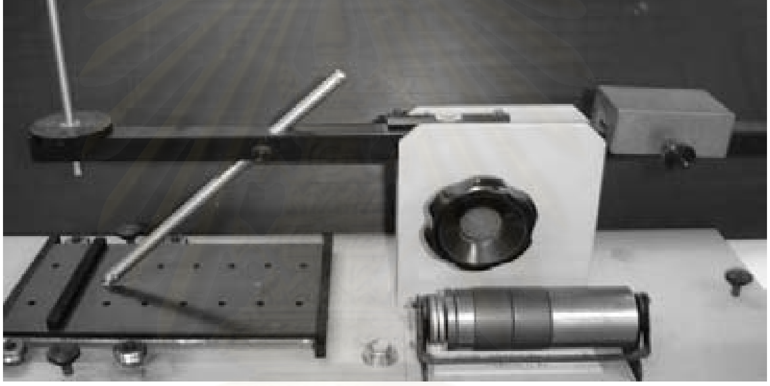
3.11.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ทนต่อการเกิดรอยจากการกด หรือ ขูดขีดด้วยของแข็ง วิธีการหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ใช้กันทั่วๆไป คือ การทดสอบการขูดขีด (scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแทงทะลุของฟิล์มของสารเคลือบผิวโดยการขีดด้วยเข็ม

การทดสอบการขูดขีดทำได้โดยการใช้เครื่องมือทดสอบการขูดขีด (Mechanized scratch test apparatus) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเลื่อนได้ในแนวนอน แผ่นเลื่อนนี้วางไว้ใต้เข็มซึ่งตั้งฉากกับฟิล์ม เข็มยึดติดกับที่จับ เหนือที่จับเข็มขึ้นไปเป็นที่วางน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 3.10

เมื่อจะทำการทดสอบ ก็ทำได้โดยนำแผ่นทดสอบซึ่งเคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้ว (แผ่นทดสอบควรเป็นแผ่นโลหะ) มายึดให้ติดแน่นกับแผ่นเลื่อนได้ของเครื่องมือ โดยให้ด้านยาวของแผ่นทดสอบขนานกับทิศทางของการขีด วางน้ำหนักบนที่วางเหนือเข็ม โดยเริ่มจากน้ำหนักที่น้อยกว่าน้ำหนักที่คาดว่าจะทำให้เกิดการแทงทะลุผิวเคลือบ ทดสอบต่อไปโดยเพิ่มน้ำหนักให้เหมาะสม จนกระทั่งเข็มแทงทะลุผิวเคลือบถึงแผ่นทดสอบ ทดสอบซ้ำโดยใช้น้ำหนักนี้บนแผ่นทดสอบเดิมและแผ่นทดสอบใหม่ ความแข็งของฟิล์มของตัวอย่างทดสอบก็คือ น้ำหนักน้อยที่สุดที่ทำให้เข็มแทงทะลุผิวเคลือบ

วิธีการทดสอบหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิววิธีอื่นๆ ได้แก่ การทดสอบความแข็งโดยการใช้ดินสอ (pencil hardness test) วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและสามารถใช้ประโยชน์ได้ดี การทดสอบทำได้โดยการนำดินสอที่มีความแข็งต่างๆกัน (ความแข็งของดินสอจะลดลงจากเบอร์ 6H ถึง 4B) กดลงบนฟิล์ม ถ้าปลายดินสอเบอร์ใดแตกในระหว่างที่แทงทะลุผิวฟิล์มไป ก็ถือว่า ฟิล์มดังกล่าว มีความแข็งเท่ากับความแข็งของดินสอนั้น เช่น ถ้าฟิล์มมีความแข็งมากจนทำให้ดินสอเบอร์ 6H ซึ่งแข็งที่สุดแตก แสดงว่าฟิล์มนั้นมีความแข็งมาก คือ เท่ากับดินสอเบอร์ 6H แต่ถ้าดินสอสามารถแทงทะลุผ่านผิวของฟิล์มได้โดยที่ดินสอไม่แตกเลย แม้กระทั่งดินสอเบอร์ 4B ที่มีความแข็งน้อยที่สุด ก็แสดงว่าฟิล์มนั้นมีผิวเคลือบที่อ่อน (soft coating)



รูปที่ 3.10 เครื่องมือทดสอบการขูดขีด

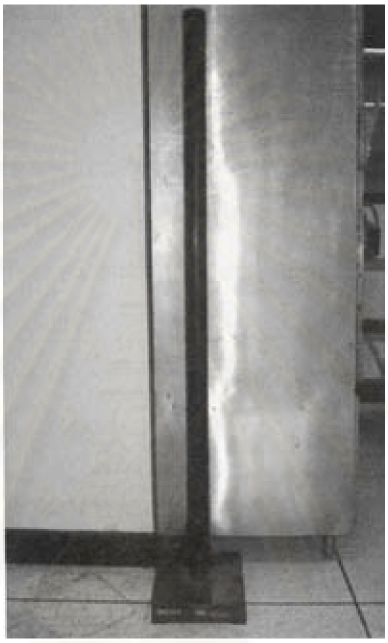
3.11.2 การทดสอบความทนแรงกระแทก (Impact Test)

การทดสอบความทนแรงกระแทกของฟิล์มสารเคลือบผิวสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง Impact Strength Tester ตามมาตรฐาน ASTM D 5628 แสดงดังรูปที่ 3.11

โดยแรงกระทบที่รวดเร็ว สามารถทำให้ผิวของฟิล์มของสารเคลือบผิวเกิดความเสียหายได้ การทดสอบการกระทบก็คือ การวัดความคงทนของฟิล์มของสารเคลือบผิวเมื่อมีแรงกระทบ

เครื่องมือทดสอบความทนทานต่อการกระทบ ประกอบด้วยลูกตุ้มหนัก 2.25 ปอนด์ (1 กิโลกรัม) หรือ 4 ปอนด์ (1.8 กิโลกรัม) และสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ในระยะทาง 25 หรือ 40 นิ้ว เมื่อจะทดสอบ ก็นำแผ่นทดสอบที่เคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้วยึดที่ฐานของเครื่องมือ จากนั้นตั้งระยะทางที่ปล่อยให้ลูกตุ้มลงมากระทบกับแผ่นทดสอบที่ระยะต่างๆกัน ทำการทดสอบโดยปล่อย

ลูกตุ้มลงมาให้กระทบกับแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว จากนั้นตรวจผิวแผ่นทดสอบ ความทนทานต่อการกระทบ มีหน่วยเป็นนิ้ว-ปอนด์(inch-pounds) เช่น ใช้ลูกตุ้มหนัก 4 ปอนด์ ปล่อยลงมาให้กระทบกับแผ่นทดสอบจากระยะทาง 40 นิ้ว ปรากฏว่าเป็นระยะทางสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มไม่เกิดข้อบกพร่อง เช่นการแตก หรือ การหลุดล่อน แสดงว่าฟิล์มดังกล่าวมีความทนทานต่อการกระทบเท่ากับ 160 นิ้วปอนด์



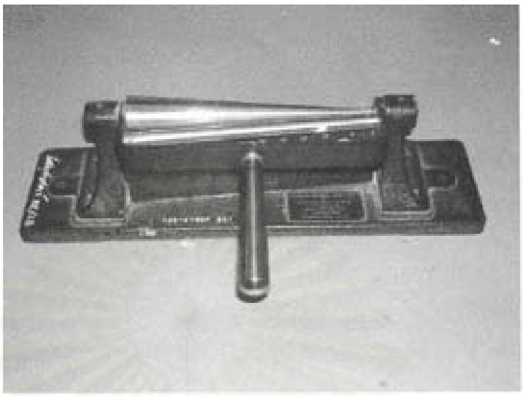
รูปที่ 3.11 เครื่องมือทดสอบความทนแรงกระแทก

3.11.3 **การทดสอบความอ่อนตัว** (Flexibility)

การหาความอ่อนตัวไม่เปราะของฟิล์มของสารเคลือบผิว ทำได้โดยการทดสอบความทนทานต่อการแตกร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ ด้วยเครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus ตามมาตรฐาน ASTM D 522 แสดงดังรูปที่ 3.12

เครื่องทดสอบความทนทานต่อการดัดโค้ง ประกอบด้วยแผ่นบานพับพร้อมกับแกนทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกัน เมื่อจะทดสอบ ก็นำแผ่นทดสอบที่เคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้ว (แผ่นทดสอบต้องเป็นโลหะ) มาดัดโค้งรอบแกนทรงกระบอก โดยการสอดแผ่นทดสอบภายในเครื่องทดสอบ และพับเครื่องทดสอบให้สนิท จากนั้นตรวจผิวแผ่นทดสอบทันทีตรวจดูรอยร้าวหรือการหลุดล่อนที่เกิดขึ้น การรายงานผลการทดสอบให้ระบุเส้นผ่านศูนย์กลาง

แกนทรงกระบอกอันแรกที่ทำให้ผิวร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ ในกรณีที่ไม่พบข้อบกพร่อง เมื่อใช้แกนทรงกระบอกอันเล็กที่สุด ให้ระบุขนาดแกนทรงกระบอกดังกล่าว



รูปที่ 3.12 **เครื่อง** Conical Mandrel Test Apparatus

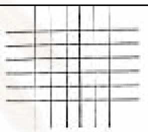
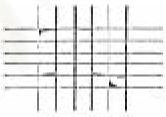
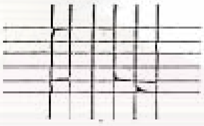
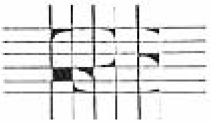
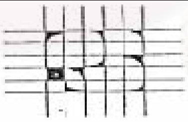
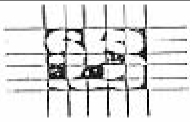
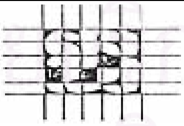
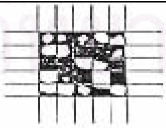
3.11.4 **การทดสอบความติดแน่น** (Adhesion)

ทดสอบความติดแน่น (Adhesion) ด้วยวิธี cross-cut tape ตามมาตรฐาน ASTM D 3359-95 Method B ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และตารางแสดงข้อบกพร่องของฟิล์มสารเคลือบผิว ดังแสดงตารางที่ 3.4

ความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นตัวบอกถึงระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ การหาความติดแน่นวิธีที่ง่ายที่สุด คือ ใช้ของมีคมขูดที่ผิวฟิล์ม ถ้าฟิล์มเปราะหรือมีแรงยึดเกาะกับพื้นผิวไม่ดี ฟิล์มก็จะเกิดการแตก ในการทดสอบให้ใช้ของมีคมปาดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ บนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ ใช้เทปติดที่บริเวณรอยขูดให้สนิท แล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็ว ตรวจดูข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์ม ถ้าไม่พบข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์มเลย แสดงว่า ฟิล์มดังกล่าว มีความติดแน่นดีมาก

รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความติดแน่น ด้วยวิธี cross-cut tape

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อพกพร่องการหลุดของฟิล์มสารเคลือบผิว

การยึดติด	การหลุดของฟิล์มสารเคลือบผิว	ภาพแสดงการหลุดของฟิล์ม
5B	0%	
4B	น้อยกว่า 5%	
3B	5-15%	 
2B	15-35%	 
1B	35-65%	
0B	มากกว่า 65%	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.12 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมทริกแอนาไลซิส (Thermogravimetric analysis, TGA)

เทอร์โมกราวิเมทริกแอนาไลซิส (Thermogravimetric analysis,TGA) เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิใน scanning mode หรือ กับเวลาใน isothermal mode เช่น ในการเกิด desorption, absorption, sublimation, vaporization, oxidation และ decomposition เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ทางความร้อนที่เกิดขึ้นในบางกรณี อาจไม่มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลเสมอไป เช่น melting, crystallization หรือ glass transition โดยการใช้งานส่วนใหญ่มักใช้ในการวิเคราะห์การสลายตัว (decomposition) และเสถียรภาพทางความร้อน (thermal stability) ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน และใช้ในการตรวจสอบ kinetic ของ physicochemical ที่เกิดขึ้นในตัวอย่าง

การแสดงผลการวิเคราะห์มักแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนแปลงของมวล(mass change; Δm) ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ กับ อุณหภูมิ(temperature; T) หรือ เวลา (time;t) ในscanning mode โดยที่อุณหภูมิที่ T_1 หรือ ที่เรียกว่า procedural decomposition temperature จะแสดงอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็น onset ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลที่สามารถวัดได้ และ T_f หรือ final temperature เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนของมวลได้อย่างสมบูรณ์ reaction interval ที่ได้จะไม่ใช่ค่าจำเพาะตัวของวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

ฟิล์มของสารเคลือบผิวนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้ ถูกนำมาทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง NETZSCH STA 409 C/CD โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 0 ถึง 800 องศาเซลเซียส ใช้ heating rate 20 องศาเซลเซียสต่อนาที และผลการวิเคราะห์แสดงเป็นกราฟ

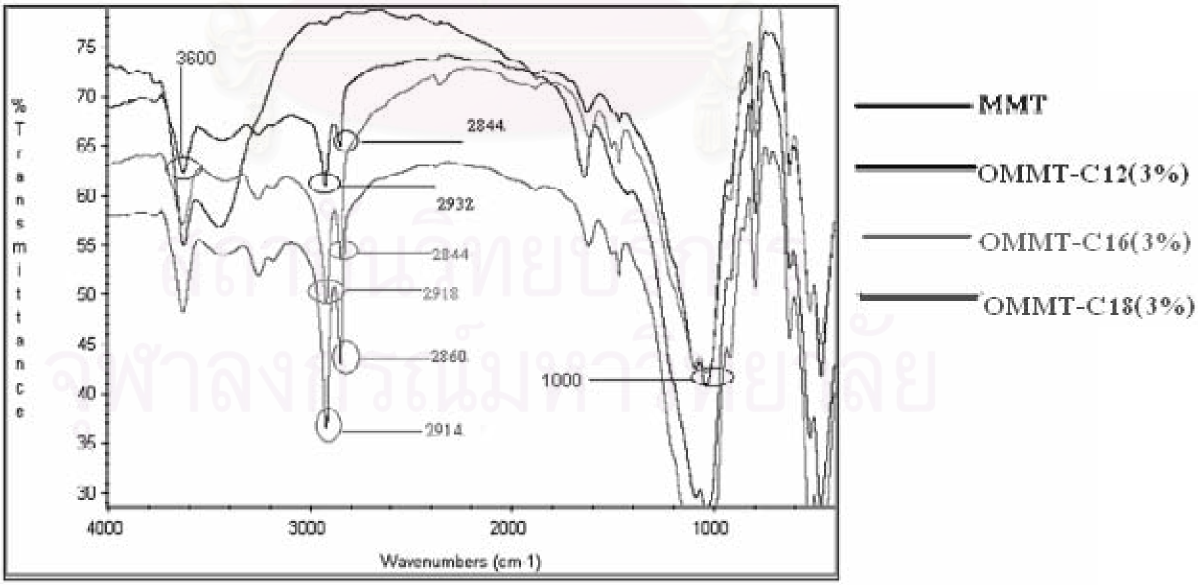
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณลักษณะของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเทคนิคฟูเรียทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)

ศึกษาคุณลักษณะของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนชนิดต่างๆด้วยเทคนิค FTIR ได้ผลสเปกตรัมแสดงดังรูปที่4.1 เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร พบว่าสเปกตรัมที่ความถี่ 3600 และ 1000 cm^{-1} นั้นเป็นสเปกตรัมที่พบได้โดยทั่วไปของมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งสเปกตรัมที่ความถี่นี้จะพบได้ทั้งในมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ในขณะที่สเปกตรัมที่ความถี่ที่ประมาณ 2800 และ 2900 cm^{-1} นั้นเป็นสเปกตรัมการยืดหดของพันธะ C-H ของหมู่เมทิลลีนที่มาจากสายโซ่อัลคิลเอมีน ซึ่งสเปกตรัมที่ความถี่นี้จะพบเฉพาะในมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรเท่านั้น ซึ่งจากการที่พบสเปกตรัมที่ความถี่นี้จะเป็นการยืนยันว่า ประจุของอัลคิลแอมโมเนียมได้เข้าไปแทนที่ ประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของดินแล้ว ด้วยปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange)



รูปที่ 4.1 สเปกตรัม FTIR ของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

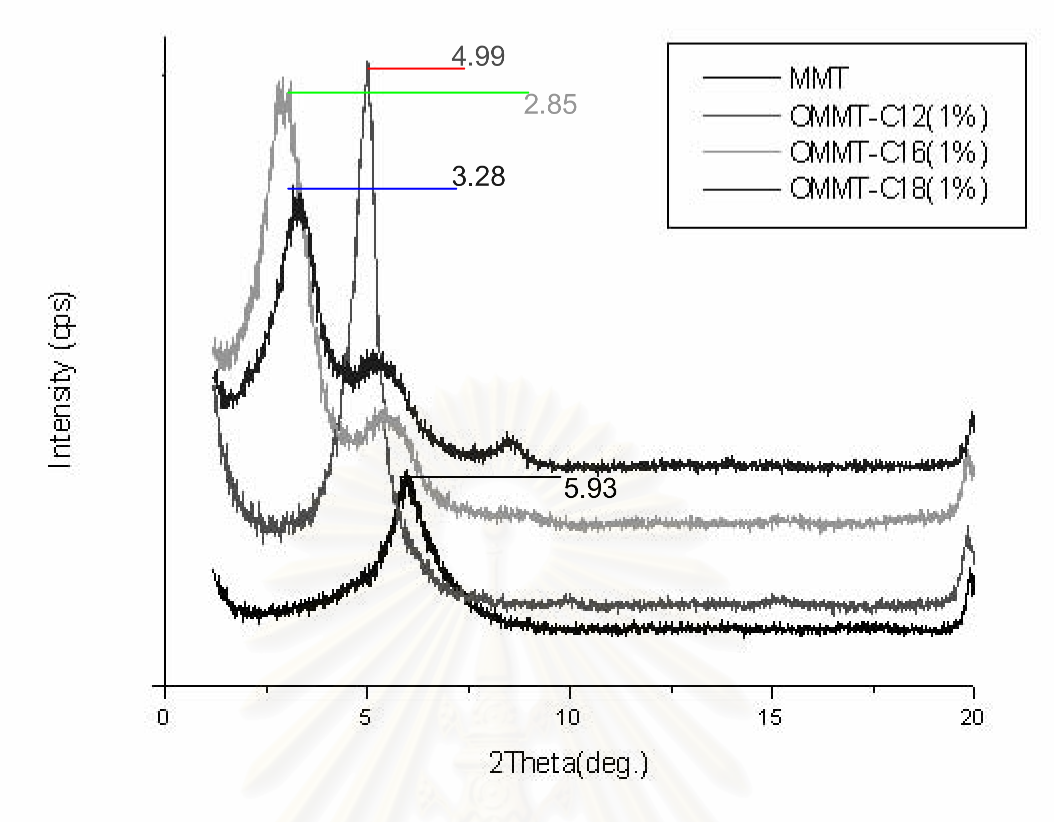
หมายเหตุ:

1. MMT คือมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร
2. OMMT-C12(3%) คือมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย Dodecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
3. OMMT-C16(3%) คือมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย Hexadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
4. OMMT-C18(3%) คือมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย Octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction)

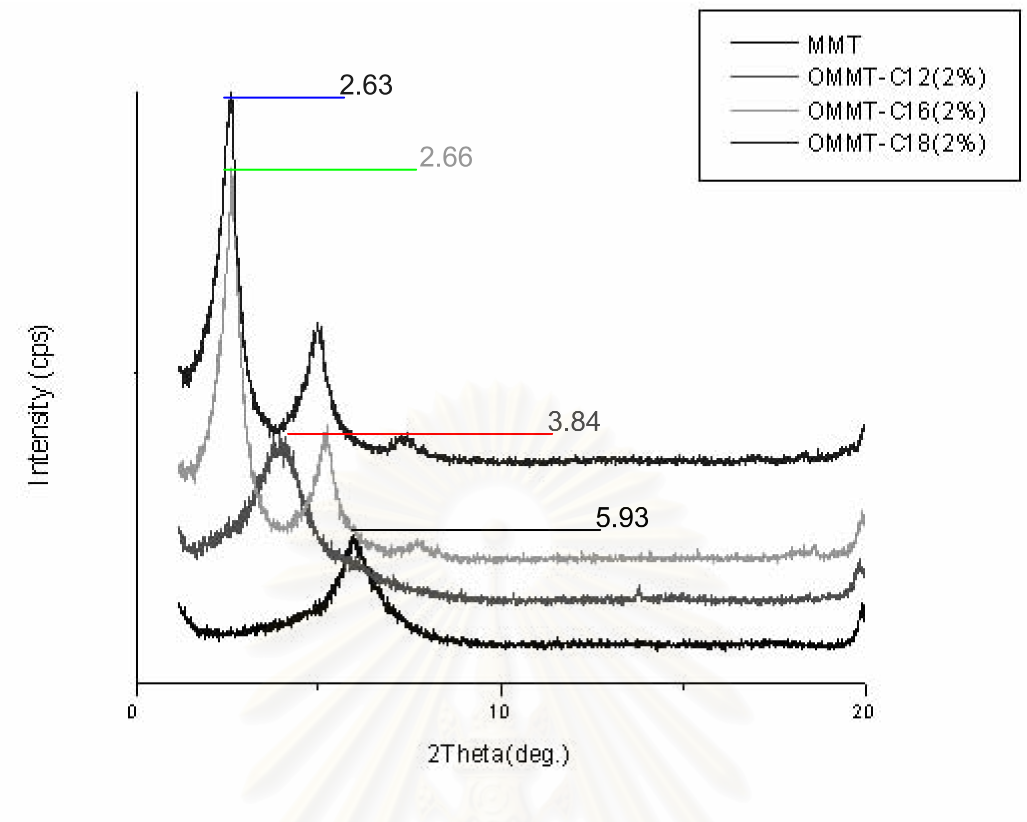
ในขั้นตอนแรกได้ทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยเทคนิค XRD ซึ่งเทคนิคนี้จะใช้ในการวิเคราะห์หาขนาดช่องว่างหรือแกลเลอรีระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกต (d-spacing) ซึ่งคำนวณจากองศาการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยองศาการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ จะวัดที่มุม 2θ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD แสดงดังรูปที่ 4.2, รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นพีคการเบี่ยงเบนของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนชนิดต่างๆ ที่ปริมาณร้อยละ 1, ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทำการวัดที่ 2θ เท่ากับ 1.2 องศา ถึง 40 องศา โดยค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (d-spacing) ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนชนิดต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.1และกราฟรูปที่ 4.5 และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรจะปรากฏพีค 2θ เท่ากับ 5.93 และคำนวณค่าช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตเท่ากับ 14.89 อังสตรอม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



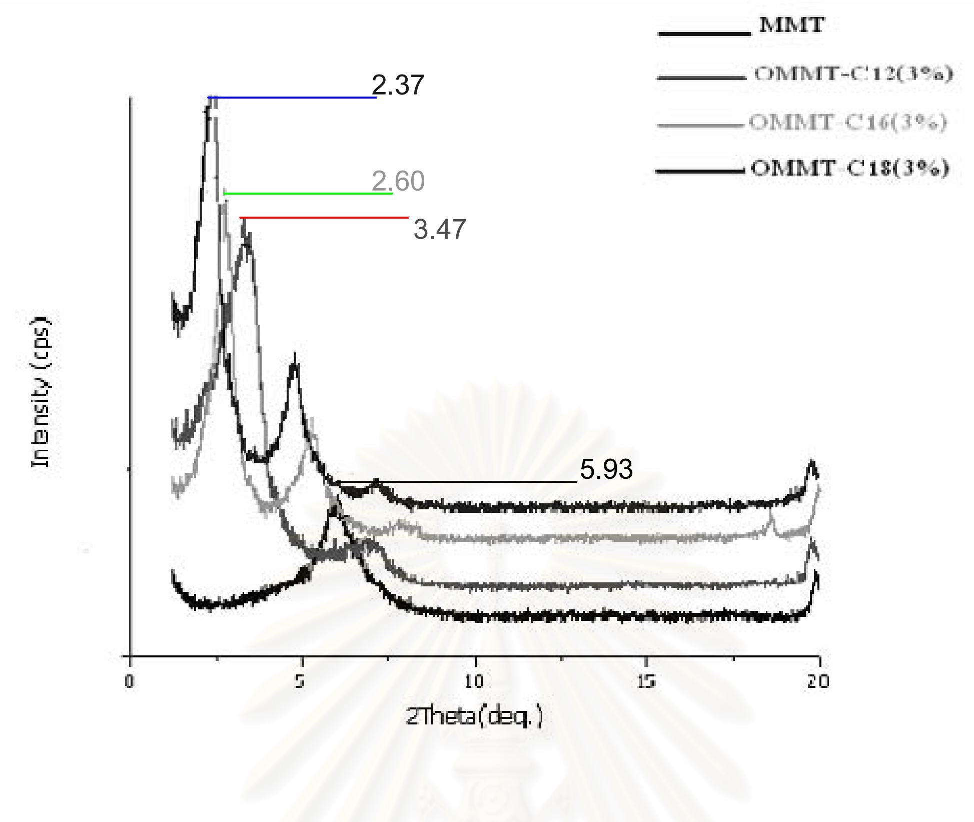
รูปที่ 4.2 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนปริมาณร้อยละ1 โดยน้ำหนัก

จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนชนิดต่างๆ จากกราฟรูปที่ 4.2 เป็นกราฟที่แสดงถึงพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยแสดงผลพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ 2θ เท่ากับ 1.2 องศา ถึง 20 องศา พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย dodecylamine, hexadecylamine และ octadecylamine ปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 4.99, 2.85 และ3.28 ตามลำดับ และมีค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตเท่ากับ 17.9, 30.97 และ26.91 อังสตรอม ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

จากกราฟรูปที่ 4.3 เป็นกราฟที่แสดงถึงพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนที่ปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก โดยแสดงผลพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ 2θ เท่ากับ 1.2 องศา ถึง 20 องศา พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย dodecylamine, hexadecylamine และ octadecylamine ปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 3.84, 2.66 และ2.63 ตามลำดับ และมีค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตเท่ากับ 22.99, 33.18 และ33.56 อังสตรอม ตามลำดับ



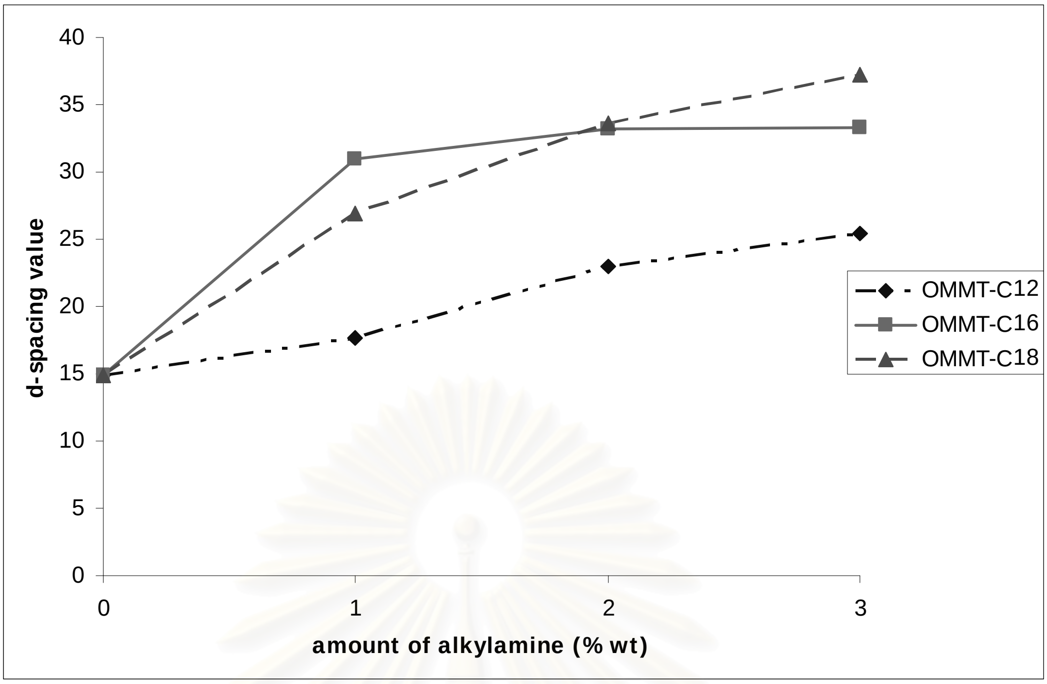
รูปที่ 4.4 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์ และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนปริมาณร้อยละ3 โดยน้ำหนัก

จากกราฟรูปที่ 4.4 เป็นกราฟที่แสดงถึงพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยแสดงผลพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ 2θ เท่ากับ 1.2 องศา ถึง 20 องศา พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย dodecylamine, hexadecylamine และ octadecylamine ปรากฏพีคที่ 2θเท่ากับ 3.47, 2.60 และ2.37 ตามลำดับ และมีค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตเท่ากับ 25.44, 33.31 และ37.24 อังสตรอม ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 4.2, รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 จะเห็นการเคลื่อนที่เข้าของพีคที่ระนาบ(001) มีผลทำให้ที่ค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น แสดงว่าโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีนเกิดการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated) ซึ่งในขั้นนี้จะได้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรซึ่งมีสมบัติที่เข้ากันได้กับสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (d-spacing) **ของมอนต์มอริลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยอัลคิลเอมีน**

สูตร	**ค่า** d-spacing **(อังสตรอม)**
MMT	14.98
OMMT-C12 (1%)	17.69
OMMT-C12 (2%)	22.99
OMMT-C12 (3%)	25.44
OMMT-C16 (1%)	30.97
OMMT-C16 (2%)	33.18
OMMT-C16 (3%)	33.31
OMMT-C18 (1%)	26.91
OMMT-C18 (2%)	33.56
OMMT-C18 (3%)	37.24

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (d-spacing) ของมอนต์มอริลโลไนต์ไม่ดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร มาแสดงกับปริมาณอัลคิลเอมีนชนิดต่างๆที่ใช้ในการดัดแปรที่ปริมาณต่างๆกัน โดยแสดงผลดังกราฟรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณอัลคิลเอมีนในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ เพิ่มขึ้นจากร้อยละ1 ถึงร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรมีค่าสูงขึ้น ทั้งมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย dodecylamine, hexadecylamine และ octadecylamine แต่ในการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก พบว่าค่า ขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตต่ำกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย hexadecylamine ที่ ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเท่ากัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้ octadecylamine เป็นร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก พบว่าจะให้ค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงกว่าการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย dodecylamine และ hexadecylamine ซึ่งมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 จะทำให้ค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงที่สุด

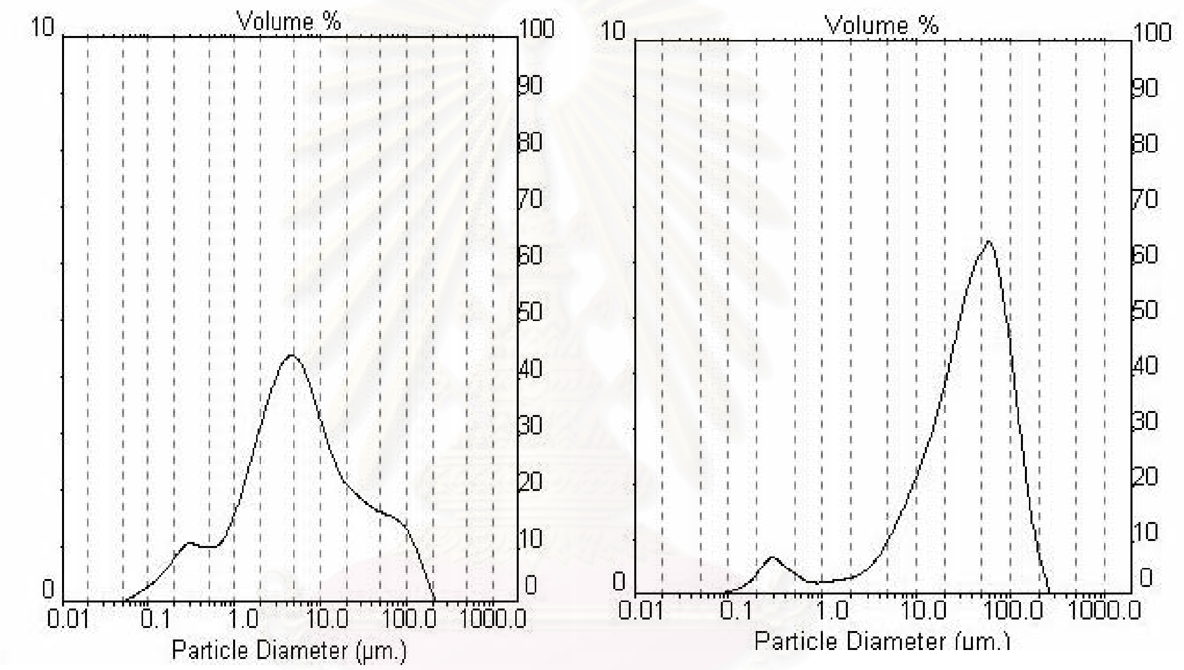


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

จากการที่ดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย octadecylamine แล้วทำให้ค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงที่สุด (d-spacing) เนื่องมาจากอัลคิลเอมีนที่เข้าไปแทรกสอดระหว่างชั้นของเคลย์ ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนแคตไอออนระหว่างอัลคิลแอมโมเนียมไอออนและโซเดียมไอออน จะมีผลทำให้ขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลกับค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต ได้แก่ ความหนาแน่นของประจุ, อัตราการแลกเปลี่ยนประจุ และความยาวของสายโซ่อัลคิลเอมีนที่เข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของเคลย์ ดังนั้นในการดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย octadecylamine ซึ่งเป็นอัลคิลเอมีนชนิดที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า dodecylamine และhexadecylamine จึงมีค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงกว่าการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย dodecylamine และ hexadecylamine [26]

4.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเครื่อง laser particle size analyzer

มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่มีค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกต (d-spacing) สูงที่สุด ถูกนำมาทดสอบหาการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร ได้ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.6



(A) (B)

รูปที่ 4.6 (A) ขนาดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์
(B) ขนาดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย Octadecylamine ปริมาณร้อยละ3 โดยน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์ขนาดการกระจายตัวของอนุภาคของเคลย์ด้วยเครื่อง laser particle size analyzer พบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปรมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ที่ 5.23 ไมครอน แต่จะพบว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine มีค่ามีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ที่ 37.14 ไมครอน ซึ่งมีค่าสูงกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร ทั้งนี้เนื่องจากการดัดแปรโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย octadecylamine ทำให้ขนาดช่องว่างระว่างชั้น

อะลูมิเนียมซิลิเกตสูงขึ้น แต่โครงสร้างที่ได้ยังคงเป็นแบบการแยกตัวแบบแทรกสอดเท่านั้น (intercalated) ซึ่งแต่ละแกลเลอรี่จะยังไม่แยกตัวออกจากกันอย่างชัดเจน จึงทำให้ขนาดอนุภาคของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปร [19]

4.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ฟิล์มนาโนคอมพอสิตถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เช่นความแข็ง, ความทนแรงกระแทก และความอ่อนตัว เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยจะทำการศึกษาผลของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิต

4.4.1 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิกA-134-IM

อะคริลิก A-134-IM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกเรซิน ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ คือ สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งได้เร็ว และมีความสามารถทนต่อการขูดขีดได้สูง อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 49^{0}C เหมาะกับการใช้งานเคลือบผิวประเภทสีซ่อมรถยนต์ ซึ่งสามารถใช้เป็นสารยึดทั้งในส่วนที่เป็นสีพื้นและสีทับหน้า

สมบัติทางกายภาพของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด ทั้งที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ชนิดไม่ดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดดัดแปรในสูตร ถูกนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักซึ่งเป็นมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ให้ขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงที่สุด (d-spacing) มาใช้ในสูตรสารเคลือบผิว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตจากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด

การทดสอบ/	MMT				OMMT-C18(3%)		
ปริมาณเคลย์ที่ใช้ในสูตร	0%	1%	2%	3%	1%	2%	3%
ความทนแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)	160	160	160	160	160	160	160
ความอ่อนตัว (มม.)	3	3	3	3	3	3	3
การยึดติดบนโลหะ	5B	5B	5B	4B	5B	5B	4B
ความแข็ง(กรัม)	50	50	50	100	100	200	300
ความหนืด (เซนติพอยส์)	200	270	280	290	280	310	400

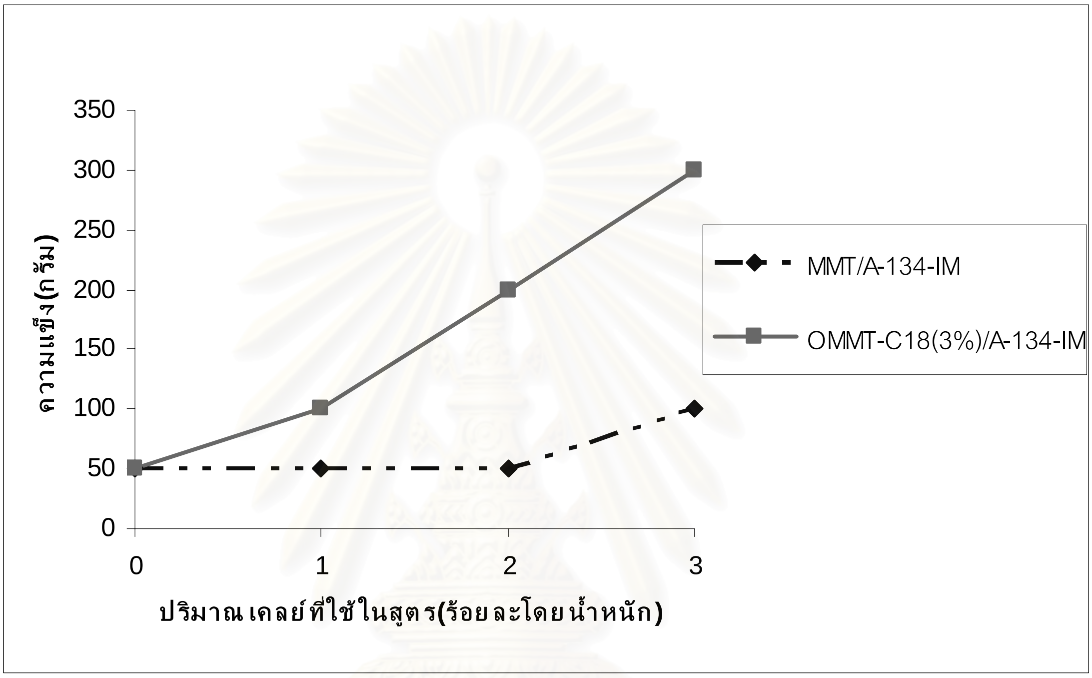
จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดพบว่า

การทดสอบความทนแรงกระแทก

ฟิล์มสารเคลือบผิวที่ได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด และไม่มีการใช้เคลย์ในสูตร จะมีความทนแรงกระแทกเท่ากับ 160 นิ้ว-ปอนด์ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากระยะทางสูงสุดคือ 40 นิ้ว ที่ปล่อยตุ้มน้ำหนักลงมาแล้วทำให้ฟิล์มไม่เกิดการแตกหรือหลุดล่อน แสดงว่า สารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้สารยึดเพียงอย่างเดียว จะมีความทนแรงกระแทกสูงอยู่แล้ว และเมื่อเติมมอนต์มอริลโลไนต์ ทั้งชนิดที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรลงไปในสูตรสารเคลือบผิวในปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก พบว่า ฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ได้มีค่าความทนแรงกระแทกสูงสุดเช่นเดียวกับฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ทดสอบมีค่าสูงสุดเพียง 160 นิ้ว-ปอนด์ จึงทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรลงในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM จะมีความแข็งแรงทนแรงกระแทกได้ดีกว่าสารเคลือบผิวที่ไม่มีการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร

ความแข็ง (Hardness)

การทดสอบความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมจากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด สามารถทดสอบได้โดยการใช้เครื่องมือทดสอบการขูดขีด (Mechanized scratch test apparatus) ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 **กราฟแสดงค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก** A-134-IM

จากผลการทดสอบดังกราฟรูปที่ 4.7 จะพบว่าค่าความแข็งของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร จะมีค่าความแข็งสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว ส่วนฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรค่าความแข็งของฟิล์มจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อเปรียบระหว่างฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรที่มีการใช้ปริมาณเคลย์เท่าๆกัน พบว่าการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะให้ค่าความแข็งของฟิล์มที่สูงกว่า โดยฟิล์มที่ได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่า ส่วนฟิล์มที่ได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านดัดแปรที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

เพียง 2 เท่า เทียบกับค่าความแข็งแรงของฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เพียงอย่างเดียวไม่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ในสูตร

จากการที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM แล้วทำให้ค่าความแข็งของฟิล์มสูงขึ้นถึง 6 เท่าเนื่องมาจากการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิว จะทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (reinforcing filler) ให้กับฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM จึงมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของฟิล์มมีค่าสูงขึ้น

ความอ่อนตัวไม่เปราะ (Flexibility)

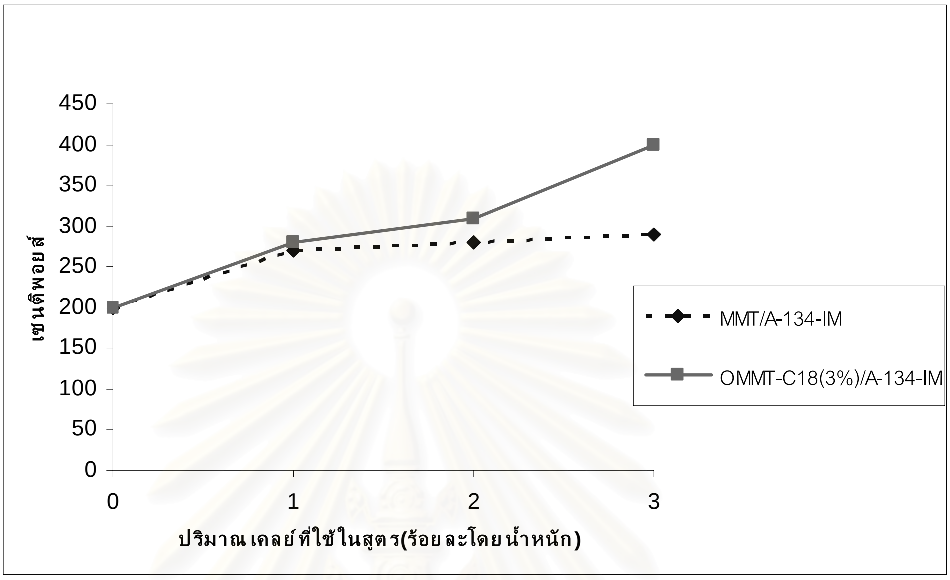
ฟิล์มที่ได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด และไม่มีการใช้เคลย์ในสูตร จะมีค่าความทนแรงดัดโค้งของสารเคลือบผิวสูงสุด คือ ฟิล์มไม่เกิดการแตกร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ เมื่อนำไปดัดโค้งรอบแกนทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และเมื่อเติมมอนต์มอริลโลไนต์ ทั้งชนิดที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรลงไปในสูตรสารเคลือบผิวในปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความทนแรงดัดโค้งของฟิล์มสารเคลือบผิวมีค่าไม่ต่างกัน และมีค่าเท่ากับสูตรสารเคลือบผิวที่ไม่มีการใช้เคลย์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าฟิล์มสารเคลือบผิวที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ชิดที่ผ่านการดัดแปรไม่ทำให้ค่าความอ่อนตัวเปลี่ยนแปลงไปแม้ว่าค่าความแข็งของฟิล์มที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะเพิ่มขึ้น

การยึดติดบนโลหะ (Adhesion)

เมื่อทดสอบการยึดติดของฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้การใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว และฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรที่ปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าความสามารถในการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ อยู่ในระดับ 5B เท่ากัน ซึ่งหมายถึงพื้นผิวของฟิล์มไม่มีความบกพร่องเมื่อผ่านการทดสอบ แต่เมื่อใช้ปริมาณเคลย์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ฟิล์มนาโนคอมสิตที่เตรียมได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ไม่ผ่านการดัดแปรจะมีความสามารถในการยึดเกาะที่ลดลงคือจัดอยู่ในระดับ 4B ซึ่งหมายถึง ผิวของฟิล์มมีความบกพร่องน้อยกว่า 5 % ของพื้นผิวทั้งหมดที่ทำการทดสอบสาเหตุที่ความสามารถในการยึดติดลดลงอาจเนื่องมาจากเมื่อปริมาณของเคลย์ที่ใส่ในสูตรอะคริลิก A-134-IM เพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องใช้สารยึดไปล้อมรอบให้สารตัวเติมหรือเคลย์มากขึ้น ทำให้เหลือสารยึดที่จะไปยึดเกาะกับพื้นที่ผิวน้อยลงทำให้การยึดเกาะของฟิล์มกับพื้นผิวลดลง

ความหนืด (Viscosity)

ทดสอบความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมจากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 **กราฟแสดงค่าความหนืดของสารเคลือบผิวอะคริลิก** A-134-IM

จากรูปที่ 4.8 ค่าความหนืดของสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM ที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรจะมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว ในการเพิ่มปริมาณของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM จะไม่ทำให้ค่าความหนืดของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้นมากนัก ยกเว้นเมื่อมีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

4.4.2 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก SD-603

อะคริลิก SD-603 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกเรซิน ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ คือ สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งได้เร็ว, ฟิล์มมีความเงา และมีความสามารถทนต่อการขูดขีดได้สูง อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 67^{0}C ซึ่งอะคริลิก SD-603 จะมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วสูงกว่าอะคริลิก A-134-IM

สมบัติทางกายภาพของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด ทั้งที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ไม่ผ่านการดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ถูกนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตจากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด

การทดสอบ/	MMT				OMMT-C18(3%)		
ปริมาณเคลย์ที่ใช้ในสูตร	0%	1%	2%	3%	1%	2%	3%
ความทนแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)	120	120	120	120	120	120	120
ความอ่อนตัว (มม.)	3	3	3	3	3	3	3
การยึดติดบนโลหะ	5B	5B	5B	3B	5B	5B	4B
ความแข็ง(กรัม)	100	100	150	200	200	350	600
ความหนืด (เซนติพอยส์)	100	130	130	135	135	140	230

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึดพบว่า

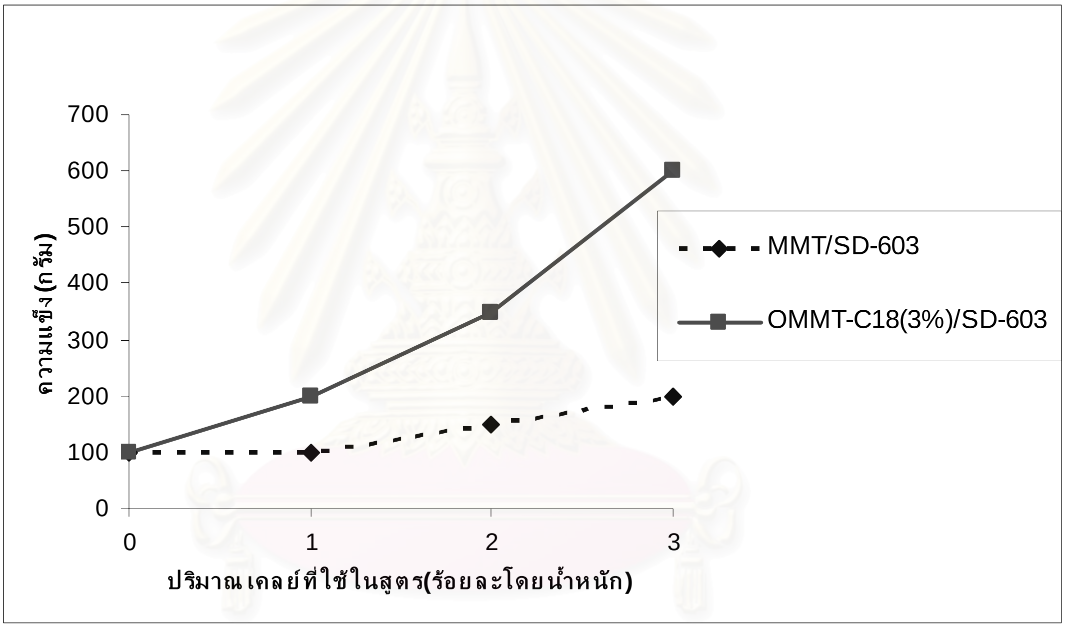
การทดสอบความทนแรงกระแทก

ฟิล์มสารเคลือบผิวที่ได้จากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด และไม่มีการใช้เคลย์ในสูตร จะมีความทนแรงกระแทกเท่ากับ 120 นิ้ว-ปอนด์ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากระยะทาง 30 นิ้ว ที่ปล่อยตุ้มน้ำหนักลงมาแล้วทำให้ฟิล์มไม่เกิดการแตกหรือหลุดล่อน และเมื่อเติมมอนต์มอริลโลไนต์

ทั้งชนิดที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรลงไปในสูตรสารเคลือบผิวในปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก พบว่า ฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ได้มีค่าความทนแรงกระแทกเท่ากับ 120 นิ้ว-ปอนด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับฟิล์มที่ได้จากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว แสดงว่าการใช้เคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603 ไม่มีผลต่อสมบัติด้านความทนแรงกระแทก

ความแข็ง (Hardness)

การทดสอบความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมจากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด สามารถทดสอบได้โดยใช้เครื่องมือทดสอบการขูดขีด (Mechanized scratch test apparatus) ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603

จากผลการทดสอบดังกราฟรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่าความแข็งของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่มีใช้มอนต์มอริลโลไนต์ชนิดที่ผ่านการดัดแปร จะมีค่าสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว ส่วนฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรค่าความแข็งของฟิล์มจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อเปรียบระหว่างฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรที่มีการใช้ปริมาณเคลย์เท่าๆกัน พบว่าการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะให้ค่าความแข็งของฟิล์มที่สูงกว่า โดยฟิล์มที่ได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณร้อยละ

3 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่า ส่วนฟิล์มที่ได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเพียง 2 เท่า เทียบกับค่าความแข็งของฟิล์มอะคริลิก SD-603 เพียงอย่างเดียวไม่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ในสูตร

จากการที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603 แล้วทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นเนื่องมาจาก การเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิว จะทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (reinforcing filler) ให้กับฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603 จึงมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของฟิล์มมีค่าสูงขึ้น

ความอ่อนตัวไม่เปราะ (Flexibility)

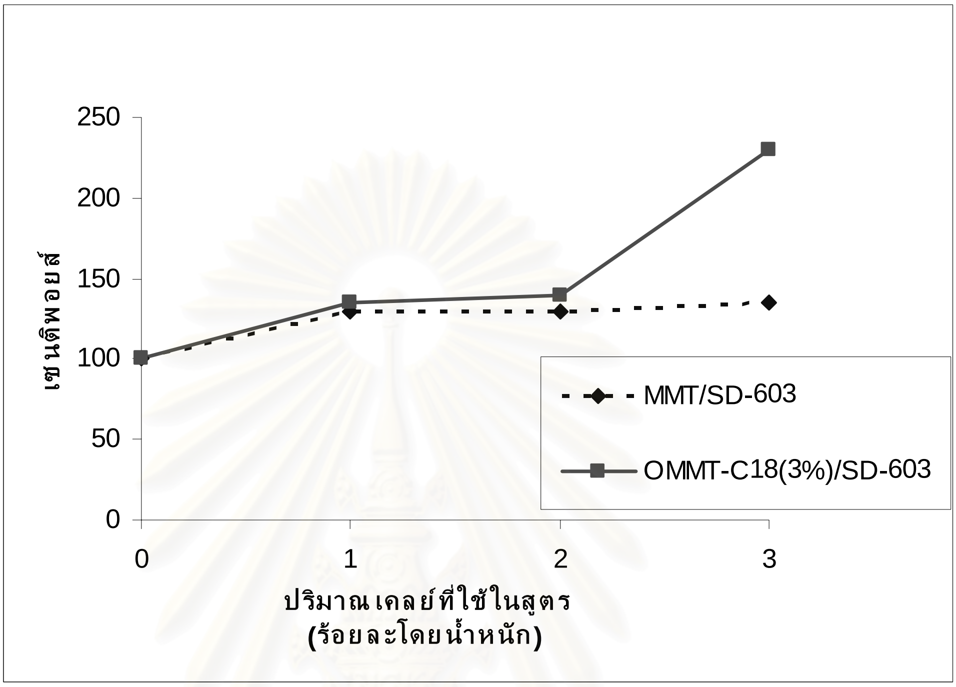
ฟิล์มที่ได้จากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด และไม่มีการใช้เคลย์ในสูตร จะมีค่าความทนแรงดัดโค้งของสารเคลือบผิวสูงสุด คือ ฟิล์มไม่เกิดการแตกร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ เมื่อนำไปดัดโค้งรอบแกนทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และเมื่อเติมมอนต์มอริลโลไนต์ ทั้งชนิดที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรลงไปในสูตรสารเคลือบผิวในปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความทนแรงดัดโค้งของฟิล์มสารเคลือบผิวมีค่าเท่ากันและ มีค่าเท่ากับสูตรสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้สารยึดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสรุปได้ว่าฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603 ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรจะไม่ทำให้ค่าความอ่อนตัวเปลี่ยนแปลงไป แม้ว่าค่าความแข็งของฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้น

การยึดติดบนโลหะ (Adhesion)

เมื่อทดสอบการยึดติดของฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้สารยึดเพียงอย่างเดียว และฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ไม่ผ่านการดัดแปรที่ปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าความสามารถในการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ อยู่ในระดับ 5B เท่ากัน ซึ่งหมายถึง ผิวของฟิล์มไม่มีความบกพร่องเมื่อผ่านการทดสอบ แต่เมื่อใช้ปริมาณเคลย์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ฟิล์มนาโนคอมสิตที่เตรียมได้จะมีความสามารถในการยึดเกาะที่ลดลงคือจัดอยู่ในระดับ 3B และ 4B สำหรับฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรในสูตร ตามลำดับสาเหตุที่ความสามารถในการยึดติดลดลงอาจเนื่องมาจากเมื่อปริมาณของเคลย์ที่ใส่ในสูตรอะคริลิก SD-603 เพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องใช้สารยึดไปล้อมรอบให้สารตัวเติมหรือเคลย์มากขึ้น ทำให้เหลือสารยึดที่จะไปยึดเกาะกับพื้นที่ผิวน้อยลงทำให้การยึดเกาะของฟิล์มกับพื้นผิวลดลง

ความหนืด (Viscosity)

ทดสอบความหนืดของสารเคลือบผิวที่เตรียมจากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.10

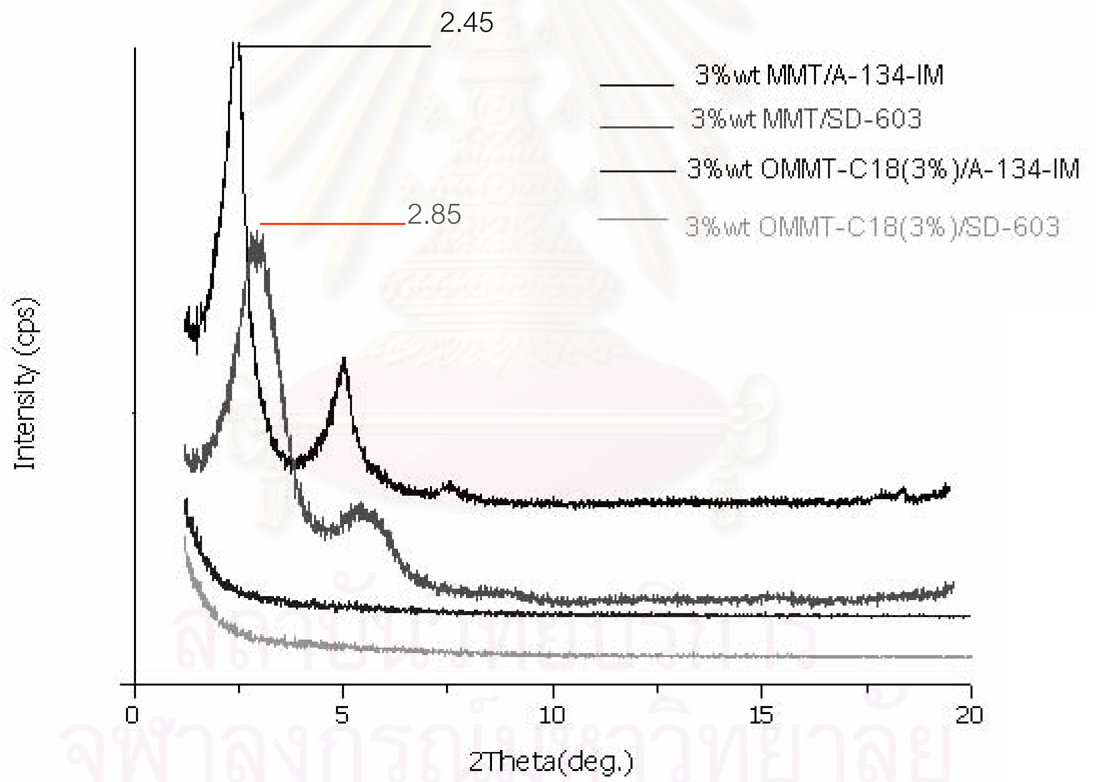


รูปที่ 4.10 **กราฟแสดงค่าความหนืดของสารเคลือบผิวอะคริลิก** SD-603

จากรูปที่ 4.10 ค่าความหนืดของสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603 ที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรดัดแปรจะมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสารเคลือบผิวที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว การเพิ่มปริมาณของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603 จะไม่ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นมากนัก ยกเว้นเมื่อมีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

ฟิล์มสารเคลือบผิวถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรภายในฟิล์มนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) โดยแสดงแพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 1.2 องศา ถึง 20 องศา ซึ่งเทคนิค XRD นี้เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารที่ต้องการทดสอบ ในงานวิจัยได้นำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย dodecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และมีโครงสร้างที่เป็นแบบการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated) มาใช้ในสูตรสารเคลือบผิว ซึ่งตัวอย่างผลการวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรภายในฟิล์มสารเคลือบผิวด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ได้แสดงผลดังกราฟรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แพทเทิร์นพีคการเบี่ยงเบนรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ชนิดไม่ดัดแปรและชนิดดัดแปร

หมายเหตุ

1. 3%wt OMMT-C18(3%)/A-134-IM คือสารเคลือบผิวอะคริลิกสูตร A-134-IM มีการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ร้อยละ 3%โดยน้ำหนัก

2. 3%wt OMMT-C18 (3%)/SD-603 คือสารเคลือบผิวอะคริลิกสูตร SD-603 มีการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ร้อยละ 3%โดยน้ำหนัก
3. 3%wt MMT/A-134-IM คือสารเคลือบผิวอะคริลิกสูตร A-134-IM มีการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร ร้อยละ 3%โดยน้ำหนัก
4. 3%wt MMT/SD603 คือสารเคลือบผิวอะคริลิกสูตร SD-603 มีการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ดัดแปร ร้อยละ 3%โดยน้ำหนัก

จากกราฟรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine โดยทำการใส่มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ลงในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก จะไม่พบพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 1.2 องศา ถึง 20 องศา ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรแล้วที่มีโครงสร้างเป็นแบบการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated) เมื่อถูกนำมาใช้ในสูตรสารเคลือบผิว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นแบบการแยกตัวออกจากกัน (exfoliated) เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารยึดในสูตรซึ่งในที่นี้คือพอลิอะคริลิกจะแพร่เข้าไปในชั้นของเคลย์ที่มีโครงสร้างแบบแทรกสอด และช่วยทำให้ชั้นของเคลย์แยกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อนำฟิล์มสารเคลือบผิวไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค XRD จึงไม่พบพีคใดๆ จึงสรุปได้ว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นนาโนคอมพอสิตแบบแยกออกเนื่องจากชั้นของเคลย์เกิดแยกตัวออกจากกันอย่างสมบูรณ์

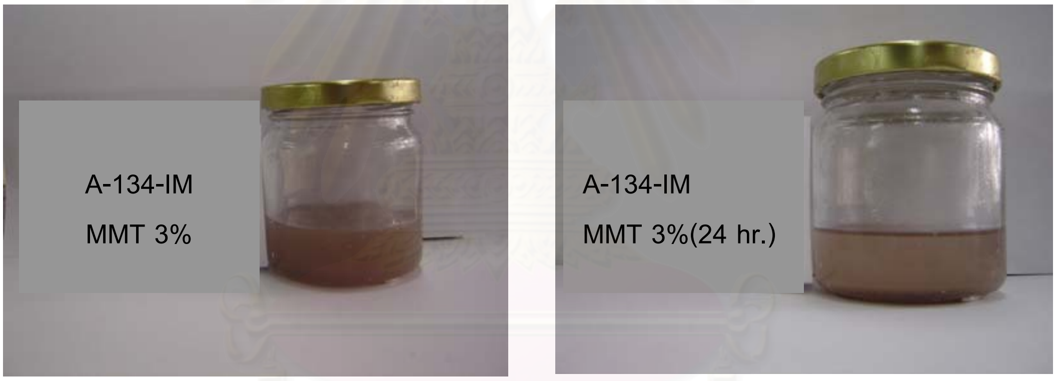
สำหรับการนำมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรมาใช้ในสูตรสารเคลือบผิวจะพบพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 2.45 องศาและ 2.85 องศา เมื่อคำนวณค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิโนซิลิเกตจะมีค่าเท่ากับ 36.03 และ30.97 อังสตรอม สำหรับสูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิก A-134-IM และสูตรอะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด ตามลำดับ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรแล้วนำมาใช้ในสูตรสารเคลือบผิวจะเกิดโครงสร้างแบบการแยกตัวแบบแทรกสอดเท่านั้น (intercalated) ซึ่งโครงสร้างที่เป็นแบบการแยกตัวออกจากกัน (exfoliated) จะเป็นโครงสร้างแบบที่ต้องการมากที่สุด เพราะจะทำให้ฟิล์มสารเคลือบผิวที่เตรียมได้มีความแข็งแรงที่ดี และจากการที่ไม่ปรากฏพีคการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 1.2 ถึง 20 นั้นเนื่องมาจากโครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์ได้ถูกทำลายเกิดการแยกตัวของชั้นดินออกจากกันอย่างชัดเจน จึงทำให้รังสีเอ็กซ์ไม่สามารถตกกระทบอนุภาคดินได้จึงไม่เกิดการเลี้ยวเบน จึงยืนยันได้ว่ามอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรแล้วนำมาใช้ในสูตรสารเคลือบผิว จะมีโครงสร้างที่เป็นแบบแยกตัวออกจากกัน(exfoliated)

4.6 การศึกษาความสามารถในการกระจายตัวของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิว

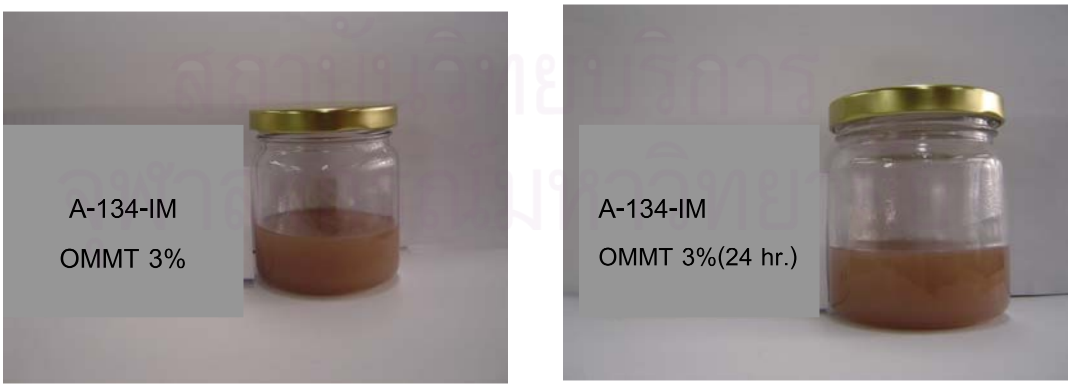
ความสามารถในการกระจายตัวของเคลย์ศึกษาโดยหลังจากที่ทำการเตรียมสูตรสารเคลือบผิว จะนำสารสารเคลือบผิวที่เตรียมได้มาสังเกตความสามารถในการกระจายตัวและความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเคลย์กับสารเคลือบผิว โดยจะสังเกตจากการที่เคลย์ที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวเกิดการตกตะกอนและแยกชั้นออกจากสารเคลือบผิว

4.6.1 การศึกษาการกระจายตัวของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิกA-134-IM

การศึกษาถึงการกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรและ มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ในสูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึด ซึ่งตัวอย่างการศึกษาโดยการใช้เคลย์ในสูตรปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สามารถแสดงดังรูปที่ 4.12



(A)



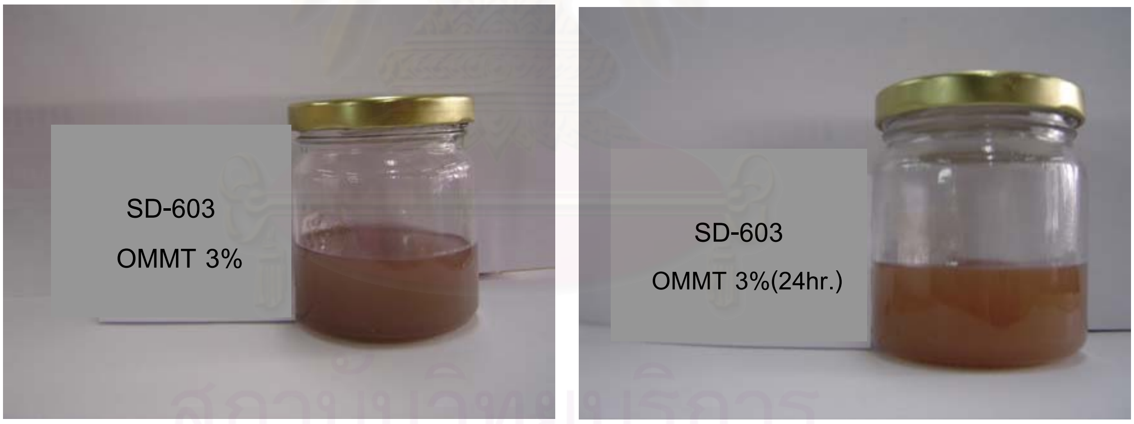
(B)

รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์(A) และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร(B) ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM

4.6.2 การศึกษาการกระจายตัวของเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603

การศึกษาถึงการกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ในสูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิกSD-603 เป็นสารยึด ซึ่งตัวอย่างการศึกษาโดยการใช้เคลย์ในสูตรปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13

(A)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(B)

รูปที่ 4.13 การกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์(A) และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร(B) ในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก SD-603

ตัวอย่างผลการทดสอบการกระจายตัวของเคลย์ในสารเคลือบผิวอะคริลิกโดยการใช้ปริมาณเคลย์ในสูตรร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 จะสังเกตเห็นว่าการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรจะมีความสามารถกระจายตัวเข้ากันได้ดีและมีเสถียรภาพการกระจายตัวที่ดีในสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิกกว่าการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ไม่ผ่านการดัดแปร โดยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง สูตรสารเคลือบผิวที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ไม่ดัดแปร จะเห็นว่าเกิดการแยกชั้นของเคลย์เกิดขึ้น ส่วนสูตรสารเคลือบผิวที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรจะยังคงกระจายตัวเข้ากันได้ดีเป็นเนื้อเดียวกันไม่แยกชั้นหรือตกตะกอน แต่เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน พบว่าสูตรสารเคลือบผิวที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะเกิดการแยกชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเกิดขึ้นเช่นกัน และสำหรับสูตรสารเคลือบผิวที่มีการใช้เคลย์ในสูตรปริมาณร้อยละ 1 และร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จะให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกับการใช้เคลย์ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

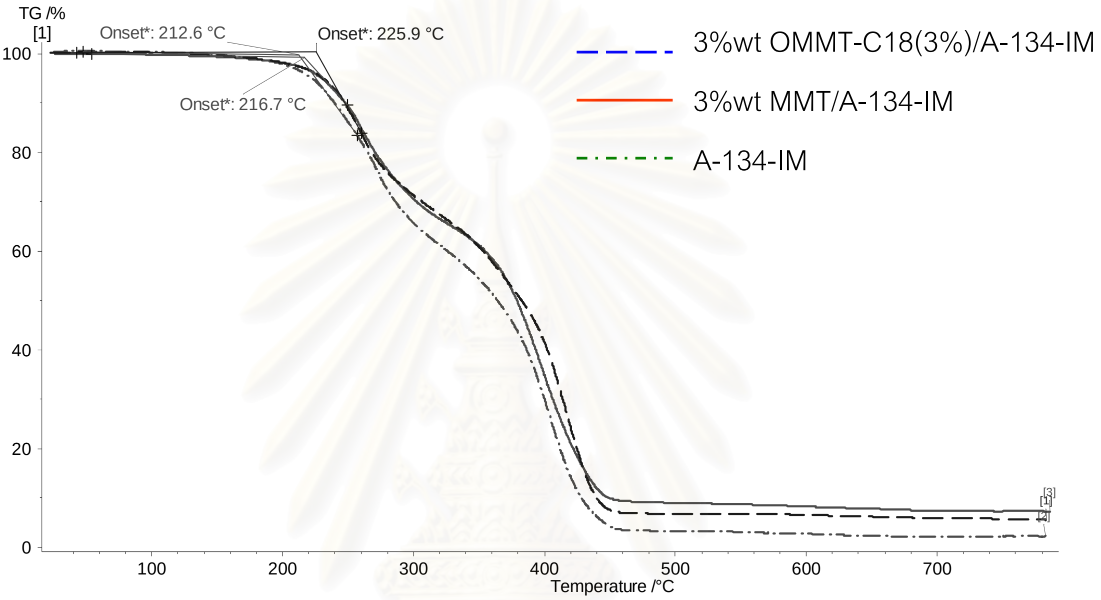
การที่มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรมีความสามารถเข้ากันได้กับสารเคลือบผิวอะคริลิกได้ดีกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรนั้น เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนมากจะมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ และเมื่อนำมอนต์มอริลโลไนต์มาดัดแปรโครงสร้างด้วยอัลคิลเอมีน มอนต์มอริลโลไนต์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสมบัติที่ชอบน้ำไปเป็นสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ โดยแอมโมเนียมไอออนซึ่งมีสายโซ่อัลคิลที่ยาวซึ่งเป็นส่วนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำเมื่อเข้าไปแทนที่โซเดียมไอออนที่อยู่ระหว่างชั้นของเคลย์จะทำให้ได้ออร์กาโนเคลย์ที่มีสมบัติเข้ารวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ได้ดี

4.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มสารเคลือบผิวนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมทริกแอนาไลซิส (TGA)

ฟิล์มนาโนคอมพอสิตถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA เพื่อศึกษาถึงเสถียรภาพทางความร้อน (thermal stability) โดยทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรต่อเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิต

4.7.1 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก A-134-IM **ด้วยเทคนิค** TGA

สมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดแสดงดังรูปที่ 4.14



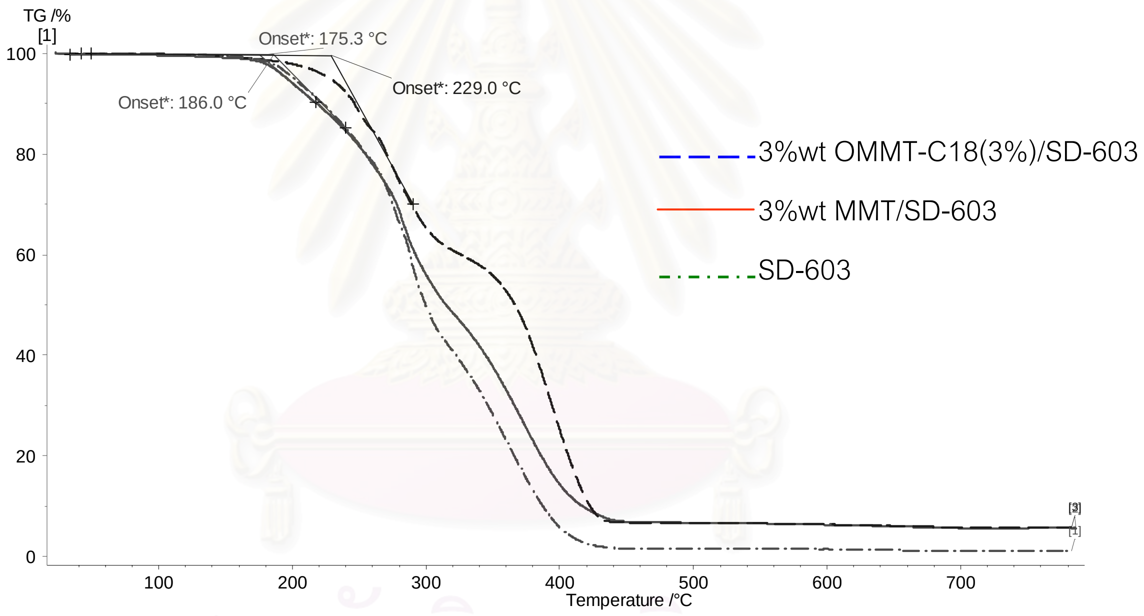
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคTGA **ของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก** A-134-IM

จากผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของฟิล์มสารเคลือบผิวอะคริลิก A-134-IM จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว และฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก A-134-IM ที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร จะมีน้ำหนักที่สูญหายร้อยละ (% weight loss) 50 อยู่ที่อุณหภูมิ 385 องศาเซลเซียส ส่วนฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรจะมีน้ำหนักที่สูญหายร้อยละ 50 อยู่ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ในขณะที่ฟิล์มที่ได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียวจะอยู่ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าเคลย์ในสูตรสารเคลือบผิวมีผลช่วยให้ฟิล์มนาโนคอมพอสิตมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงขึ้น โดยฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรจะมีเสถียรภาพ

ทางความร้อนที่ดีกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้อะคริลิก A-134-IM เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว และฟิล์มที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร ทั้งนี้เนื่องจากการมีหมู่ซิลิเกตในแร่อนินทรีย์มอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้มอนต์มอริลโลไนต์มีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูง [27] ดังนั้นการมีมอนต์มอริลโลไนต์จึงเป็นการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก A-134-IM

4.7.2 **สมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก** SD-603 **ด้วยเทคนิค** TGA

สมบัติทางความร้อนของฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากการอะคริลิก SD-603 เป็นสารยึด แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคTGA ของฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก SD-603

จากผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของฟิล์มสารเคลือบผิวระหว่างการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียว และฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้จากการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรและมอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก SD-603 ที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร จะมีน้ำหนักที่สูญหายร้อยละ (% weight loss) 50 อยู่ที่อุณหภูมิ 365

องศาเซลเซียส ส่วนฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรจะมีน้ำหนักที่สูญหายร้อยละ 50 อยู่ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ในขณะที่ฟิล์มที่ได้จากการใช้อะคริลิก SD-603 เป็นสารยึดเพียงอย่างเดียวจะอยู่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่ามอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรมีผลช่วยให้ฟิล์มสารเคลือบผิวมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการมีหมู่ซิลิเกตในแร่อนินทรีย์มอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้มอนต์มอริลโลไนต์มีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูง ดังนั้นการมีมอนต์มอริลโลไนต์จึงเป็นการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับฟิล์มนาโนคอมพอสิตอะคริลิก SD-603

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมนาโนคอมพอสิตระหว่างมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรกับสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก โดยทำการเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรหรือออร์กาโนเคลย์จากกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างโซเดียมไอออน (Na^+) ของมอนต์มอริลโลไนต์และเกลือแอมโมเนียมของอัลคิลเอมีน ทำให้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรมีความสามารถเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสูตรสารเคลือบผิวอะคริลิก การผสมจะอาศัยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง หลังจากนั้นจึงนำสารเคลือบผิวที่เตรียมได้ไปปาดฟิล์มลงบนแผ่นโลหะด้วยเครื่องลากฟิล์มจากนั้นนำฟิล์มนาโนคอมพอสิตมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในฟิล์มนาโนคอมพอสิต ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทดสอบสมบัติทางความร้อน

จากผลการทดลองและวิจารณ์การทดลองที่แสดงในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ดังนี้

1) มอนต์มอริลโลไนต์บริสุทธิ์มีขนาดช่องว่างระหว่างชั้นของแผ่นอะลูมิเนียมซิลิเกตเท่ากับ 14.89 อังสตรอม

2) มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรสามารถเตรียมได้จากกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิโนซิลิเกตสูงที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 37.24 อังสตรอม ซึ่งสูงกว่าการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วย dodecylamine และ hexadecylamine และโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรจะเป็นแบบการแยกตัวแบบแทรกสอด (intercalated)

3) มอนต์มอริลโลไนต์บริสุทธิ์มีค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเท่ากับ 5.23 ไมครอน และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย octadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 37.14 ไมครอน

4) สมบัติความทนแรงกระแทก, ความอ่อนตัว, การยึดบนโลหะและความหนืดของสารเคลือบผิวที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปร จะมีสมบัติดีพอๆกับสูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อะคริลิกเป็นสารยึดเพียงอย่างเดียวและสูตรที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร

5) เมื่อเพิ่มปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ทั้งชนิดที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรจะทำให้ฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ได้มีความแข็งสามารถทนต่อการขูดขีดได้ดีกว่าฟิล์มที่ใช้

สารยึดเพียงอย่างเดียว โดยการเพิ่มมอนต์มอริลโลไนต์ที่ดัดแปรจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร

6) โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในฟิล์มนาโนคอมพอสิตจะเป็นแบบการแยกตัวออกจากกัน (exfoliated)

7) การกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรในสูตรสารเคลือบผิวจะสามารถเข้ากันได้กับสารเคลือบผิวและมีเสถียรภาพการกระจายตัวที่ดีกว่าการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ไม่ผ่านการดัดแปร

8) การทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่าฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ใช้อะคริลิกเป็นสารยึดและมีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ผ่านการดัดแปรจะมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากการใช้สารยึดเพียงอย่างเดียวและฟิล์มที่มีการใช้มอนต์มอริลโลไนต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร

ข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรควรศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อขนาดช่องว่างระหว่างชั้นอะลูมิเนียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นอีก เช่นความเร็วรอบที่ใช้ในการเตรียม การเพิ่มระยะเวลาในการเตรียมให้มอนต์มอริลโลไนต์เกิดการบวมตัวให้มากขึ้น และผลของอัลคิลเอมีนที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ โดยอาจใช้อัลคิลเอมีนชนิดที่เป็นควอเทอร์นารีอัลคิลเอมีนหรืออัลคิลเอมีนที่มีหมู่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสารอ้างอิง

1. อรอุษา สรวารี. สารเคลือบผิว(สี วาร์นิช และแลกเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
2. สถาพร คูวิจิตรจารุ. ปฐพีคลศาสตร์. ไลบรารี่ นาย พับลิชชิ่ง, 2542.
3. เกษมศรี ซับซ้อน. ปฐพีวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์นานาสิ่งพิมพ์, 2541.
4. อัญชลี สุทธิประการ. แร่ในดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร, 2534.
5. วลัยกร นิตยพัฒน์. การเตรียมฟิล์มนาโนคอมโพสิตออร์กาโนเคลย์/พอลิพรอพิลีนที่ย้อมสีได้. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
6. Kojima, Yoshitsugu; Usuki, Arimitsu; Kawasumi, Masaya; Okada, Akane; Fukushima, Yoshiaki; Kurauchi, Toshio; Kamigaito, Osami. Mechanical properties of nylon 6-clay hybrid. Journal of Materials 8(1993) : 1185-1189.
7. Gilman, W.Jeffrey. Nanocomposite: A Revollutionary New Flam Retardant Approach] [online]. Availble from: http://www.psrc.usm.edu/macrog/mpm/composit/nano/nylon_clay.html [2005,Junly 23]
8. Chaoying Wan, Yong Zhang, Yinxi Zhang. Effect of alkyl quaternary ammonium on processing discoloration of melt-intercalated PVC-montmorillonite composite. Polymer Testing 23(2004) : 299-306.
9. Woo Jin Choi, Se Hoon Kim, Sung, Sung Chol Kim. Synthesis of chain-extended organifier and property of polyurethane/clay nanocomposite. Polymer 45(2004) : 6045-6057.
10. คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541.
11. Available from: http://www.dss.go.th/dssweb/st_article/files/CP_7_2548_surfactant.pdf. [2006,January 31]
12. ปิยะพร คามภีรภาพพันธ์. การเตรียมฟิล์มนาโนคอมพอสิตของแป้งมันสัมปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์.วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

13. Jiawen Xiong, Yunhang Liu, Xiaohui Yang, Xinling Wang. Thermal and mechanical properties of polyurethane/montmorillonite nanocomposite base on novel reactive modifier. Polymer Degradation and Stability 86(2004) : 549-555.

14. Wei'an Zhang, Dazhu Chen, Quanbao Zhao, Yue'e Fang. Effects of different kinds of clay and different vinyl acetate content on the morphology and properties of EVA/clay nanocomposites. Polymer 44(2003) : 7953–7961.

15. Chaoying Wan, Xiuying Qiao, Yong Zhang , Yinxi Zhang. Effect of different clay treatment on morphology and mechanical properties of PVC-clay nanocomposites. Polymer Testing 22(2003) : 453–461.

16. Fawn M. Uhl, Siva Prashanth Davuluri, Shing-Chung Wong, Dean C. Webster. Organically modified montmorillonite in UV curable urethane acrylate films. Polymer 45(2004) : 6175-6187.

17. M.Kozak, L. Domka. Adsorption of the quaternary ammonium sails on montmorillonite . Journal of Physics and Chemistry Solid 65(2004) : 441-445.

18. Zhengzhou Wang, Yong Tang, Zuyao Chen, Weicheng Fan. Preparation and characterization of poly(butylenes terephtalate) nanocomposites from thermally stable organic-modified montmorillonite. European Polymer Journal 41(2005) : 1030-1035.

19. Muserref Onal, Meltem Celik. Polymethacrylamide/Na montmorillonite nanocomposite synthesize by free-radical polymerization. Material Letters 60(2006) : 48-52.

20. Chungui Zhao, Huaili Qin, Fangling Gong, Meng Feng, Shimin Zhang, Mingshu Yang. Mechanical, thermal and flammability property of polyethylene/clay nanocomposites. Polymer degradation and Stability 87(2005) : 183-189.

21. Tianxi Lui, Kian Ping Lim, Wuiwui Chauhari Tjiu, K.p.Pramoda, Zhi-kuan Chen. Preparation and characterization of nylon11/organoclay nanocomposite. Polymer 44(2003) : 3529-3535.

22. K.J. Yao, M. Song, D.J. Hourston, D.Z. Luo. Polymer/layerd lay nanocomposites:2 polyurethane nanocomposites. Polymer 43(2002) : 1017-1020

23. Fangling Gong, Meng Feng, Chungui Zhao, Shimin Zhang, Mingshu Yang. Particle onfigulation and mechanical property of PVC/MMT nanocomposites via in situ suspension polymerization. Polymer Testing 23(2004) : 847-853.

24. X. Fu, S. Qutubuddin. Polymer-clay nanocomposites:exfoliation of organophillic montmorillonite nanolayers in polystylene. Polymer 42(2001) : 807-813.

25. T.-K. Chen, Y.-I. Tien, K.-H. wei. Synthesis and charaterization of novel segmented polyurethane/clay nanoomposites. Polymer 41(2000) : 1345-1353.

26. M. Pospisil, P. Capkova, Z. Weiss, Z. Malac, J. Simonnik. Intercalation of octadecylamine into montmorillonite: molecular simulations and XRD analysis. Journal of colloid and interface science 245(2002) : 126-132.

27. ไพจิตร ยิ่งศิริวัฒน์. เนื้อดินเซรามิก. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์, 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I
1	5.930	0.459	14.8916	1277	100
2	19.900	0.282	4.4579	620	50
3	22.080	0.305	4.0225	1160	92
4	26.750	0.259	3.3299	424	34
5	28.180	0.212	3.1641	524	42
6	29.620	0.247	3.0134	544	44
7	35.070	0.298	2.5566	314	26
8	36.200	0.388	2.4794	377	30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย dodecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	4.990	0.435	17.9645	4600	100
2	19.830	0.306	4.4735	814	18
3	22.000	0.306	4.0369	1657	38
4	25.150	0.212	3.5366	400	10
5	25.470	0.318	3.4943	340	8
6	26.660	0.247	3.3409	560	14
7	27.800	0.224	3.265	410	10
8	36.140	0.353	2.4833	424	10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย dodecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	3.840	0.341	22.9907	1894	100
2	4.280	0.212	20.6281	1830	98
3	13.780	0.235	6.4210	277	16
4	19.820	0.259	4.4757	514	28
5	21.990	0.329	4.0387	1540	82
6	23.720	0.282	3.7479	344	20
7	25.690	0.235	3.4648	97	28
8	26.660	0.259	3.3409	770	42
9	28.040	0.224	3.1796	774	42
10	30.260	0.212	2.9512	337	18
11	36.130	0.259	2.4840	397	22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย dodecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	3.470	0.624	25.4413	3810	100
2	7.100	0.294	12.4400	624	18
3	19.770	0.306	4.4870	680	18
4	21.950	0.365	4.0460	1404	38
5	26.600	0.247	3.3483	647	18
6	27.650	0.329	3.2235	320	10
7	29.460	0.259	3.0294	304	8
8	34.920	0.318	2.5673	300	8
9	36.080	0.215	2.4873	387	12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย hexadecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	2.850	0.835	30.9743	3704	100
2	5.310	0.265	16.6289	1097	30
3	5.820	0.235	15.1728	894	26
4	19.830	0.282	4.4735	677	20
5	22.000	0.306	4.0369	1567	44
6	26.670	0.247	3.3397	550	16
7	27.810	0.212	3.2053	307	10
8	30.900	0.224	2.8915	257	8
9	34.900	0.329	2.5687	324	10
10	36.140	0.282	2.4833	430	12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย hexdecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	2.660	0.388	33.1863	4320	100
2	5.210	0.329	16.9478	1547	36
3	7.770	0.306	11.3688	334	8
4	8.300	0.212	10.6440	270	8
5	18.560	0.224	4.7767	284	8
6	19.920	0.329	4.4535	680	16
7	22.050	0.318	4.0279	1130	28
8	23.330	0.271	3.8097	617	16
9	26.690	0.282	3.3372	360	10
10	27.850	0.235	3.2008	594	14
11	31.480	0.224	2.8395	190	6
12	36.160	0.271	2.4820	307	8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย hexdecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	2.601	0.365	33.3123	3724	100
2	5.160	0.106	17.119	1280	36
3	5.270	0.106	16.7550	1250	34
4	5.350	0.129	16.5046	1247	34
5	8.340	0.153	10.5930	264	8
6	18.610	0.200	4.7639	354	10
7	19.980	0.176	4.4403	670	18
8	20.770	0.118	4.2731	570	16
9	21.670	0.129	4.0976	787	22
10	22.120	0.176	4.0153	1074	30
11	22.380	0.141	3.9692	790	22
12	23.360	0.165	3.8049	934	26
13	23.570	0.106	3.7715	760	22
14	24.060	0.200	3.6957	437	12
15	26.740	0.141	3.3311	397	12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย octaxdecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	3.28	0.429	26.9146	2367	100
2	5.180	0.269	17.0459	1054	46
3	8.450	0.388	10.4554	304	14
4	20.000	0.318	4.4359	417	18
5	22.120	0.412	4.0153	1110	48
6	26.790	0.271	3.3250	370	16
7	30.590	0.224	2.9201	317	14
8	31.77	0.224	2.8142	227	10
9	33.970	0.224	2.6369	207	10
10	36.240	0.256	2.4767	354	16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย octaxdecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	2.630	0.306	33.5648	4357	100
2	4.800	0.118	18.3945	1434	34
3	4.980	0.129	17.7300	1777	42
4	5.080	0.106	17.3812	1454	34
5	7.190	0.176	12.2845	350	10
6	7.380	0.106	11.9687	387	10
7	7.600	0.129	11.6227	39	10
8	19.930	0.153	4.4513	560	14
9	22.130	0.212	4.0135	1124	26
10	26.790	0.153	3.3250	410	10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วย octaxdecylamine ที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

Peak NO.	2Theta	FWHM	d-value	Intensity	I/I_0
1	2.370	0.341	37.2464	4904	100
2	4.770	0.400	18.5101	1657	34
3	7.170	0.306	12.3187	440	10
4	19.760	0.294	4.4892	600	14
5	21.910	0.341	4.0533	1354	28
6	26.570	0.271	3.3520	520	12
7	31.420	0.318	2.8448	194	4
8	36.090	0.286	2.4867	354	8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวทรรศพร พิศรูป เกิดวันที่ 30 มิถุนายน 2524 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสิงห์บุรี ในปีการศึกษา 2542 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพอลิเมอร์และสิ่งทอ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นปีการศึกษา 2547 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลาย ปีการศึกษา 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย