

แผ่นนำแสงโปร่งใสที่มีการฝังตัวจากโลหะออกไซด์ระดับอนุภาคนาโน

TRANSPARENT LIGHT-GUIDE PLATE BASED ON EMBEDDED METAL OXIDE
NANOPARTICLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRANSPARENT LIGHT-GUIDE PLATE BASED ON EMBEDDED METAL
OXIDE NANOPARTICLES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING
IN NANOMATERIAL ENGINEERING
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

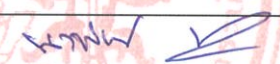


COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ แผ่นนำแสงโปร่งใสที่มีการฝังตัวจากโลหะออกไซด์ระดับอนุภาคนาโน
Special Project Title TRANSPARENT LIGHT-GUIDE PLATE BASED ON EMBEDDED METAL OXIDE
NANOPARTICLES
นักศึกษา เบญญาภา กวีพันธ์สกุล
รหัสประจำตัว 58110030
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา 2561
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นพพันธ์ ชัยนิกิจ	
รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา	
ดร.กนกทิพย์ บุญยรัตกลิน	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารินี พรหมโยธิน)

หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

วันที่..... เดือน.....พ.ศ. 2562

๒ ก.ค 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	แผ่นนำแสงโปร่งใสที่มีการฝังตัวจากโลหะออกไซด์ระดับอนุภาคนาโน
นักศึกษา	เบญญาภา กวีพันธ์สกุล
รหัสประจำตัว	58110030
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วิษณุ เพชรภา

บทคัดย่อ

เมื่อดูดความชื้นเป็นวัสดุที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากเมื่อดูดความชื้นมีองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นสารประกอบของซิลิกอนที่มีราคาแพงเมื่ออยู่ในระดับนาโนเมตรและมีสมบัติทางแสงที่ดี มีสมบัติการกระเจิงของแสงที่ดี มีความโปร่งใส โดยโครงการพิเศษนี้ได้สนใจที่จะนำเมื่อดูดความชื้นที่เหลือทิ้งจากการใช้งาน มาสังเคราะห์ให้ได้ผลิตภัณฑ์ในระดับนาโนเมตร ด้วยกระบวนการสังเคราะห์เชิงกล ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้แรงเชิงกลกระทำต่อสารตั้งต้นเพื่อให้มีขนาดที่เล็กลง เป็นผงละเอียด สามารถพัฒนาเป็นระบบการสังเคราะห์ที่ใหญ่ขึ้นตามจำนวนของวัตถุดิบหรือสารตั้งต้น โดยจะทำการศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการบดสารได้แก่ เวลาที่ใช้ในการหมุนบดที่เวลา 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที ที่ความเร็วรอบในการหมุนบดที่ 600 rpm จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ขนาดอนุภาค และองค์ประกอบของธาตุ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และการวิเคราะห์สมบัติทางแสง เพื่อให้ได้เงื่อนไขการบดที่ดีที่สุด จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ขนาดอนุภาค และองค์ประกอบของธาตุ รวมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางแสง จากนั้นนำไปขึ้นรูปโดยกำหนดเงื่อนไขปริมาณสารที่ทำการเติมเป็น 0.5% 0.1% 0.05% และ 0.01% เมื่อวัดค่าความสว่างของแผ่นนำแสงพบว่า เวลาในการหมุนบด 30-60 นาทีและการเติม 0.5% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการนำแสงได้ถึง 60-70% เนื่องจากขนาดอนุภาคอยู่ในระดับที่ต้องการ เป็นตัวกระเจิงแสงที่ดีและมีการกระจายตัวที่ดีในแผ่นนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project	Transparent Light-guide plate based on embedded metal oxide nanoparticles
Student	Benyapa Kavepunsakul
Student ID	58110030
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2018
Advisor	Associate Professor Dr. Wisanu Pecharapa

ABSTRACT

Desiccant is an interesting material because it is a silicon dioxide compound which is extremely expensive when it is in a nanometers level. Silicon dioxide has a strong light scattering property with good transparency. This project aims to prepare silicon dioxide particle with nanosize from the waste desiccant by using least complicated method which is mechanical synthesis based on ball milling process. This method uses mechanical force to shatter desiccants to extremely fine powder and this process can be developed to a larger scale depends on types of raw materials. The process parameter in this study includes milling time of 15 min, 30 min, 45 min and 60 min at fixed milling speed 600 rpm. Morphologies, particle size, element composition and optical properties were investigated for optimization. The prepared samples of were dispersively loaded into the light-guide plate with different loading contents of 0.5% 0.1% 0.05% and 0.01%. The light-guide efficiency was measured in term of light illuminance and the corresponding results exhibited that the plate embedded with the particles milled for 30-60 min with 0.5% loading content provided the highest increasing efficiency of 60-70% due to proper particle size suitable for good light scatter and good size distribution and dispersion.

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ รองศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ เพชรภา สำหรับแนวทางในการทำงานวิจัยและคำปรึกษาที่มีส่วนสำคัญในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้ ตลอดจนความกรุณา และความดูแลเอาใจใส่ สนับสนุนการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบคุณอาจารย์ในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำ การทดลองตลอดจนการอบรมสั่งสอน ปลุกฝังวิชาความรู้ให้ข้าพเจ้า ขอขอบคุณห้องทดลองที่เอื้อเฟื้อ สถานที่ อำนวยความสะดวก อุปกรณ์และสารเคมีในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ทุกคนสำหรับคำปรึกษาต่างๆ พร้อมทั้งคอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีให้กันตลอดมา และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดา และมารดา ที่ข้าพเจ้าเคารพ ยิ่ง ที่ให้การอุปการะทุนในการศึกษาเล่าเรียนและกำลังใจที่สำคัญแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ตลอดจน อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้การอบรมสั่งสอนวิชาแก่ข้าพเจ้า

เบญญาภา กวีพันธ์สกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	i
ABSTRACT.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 นาโนเทคโนโลยี [1].....	5
2.2 สมบัติพื้นฐานของสารที่ใช้.....	6
2.2.1 ซิลิกา (Silica; SiO ₂) [3].....	6
2.2.2 สมบัติทั่วไปของซิลิกอนไดออกไซด์ [4].....	7
2.2.3 สมบัติทางเคมีของซิลิกา [5].....	8
2.2.4 รูปแบบซิลิกา.....	8
2.3 กระบวนการเตรียมซิลิกา.....	9
2.4 แผ่นนำแสง (Light guide plate) [6].....	10
2.5 หลักการของ High Energy Ball Milling.....	11
2.6 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การวิเคราะห์จำแนกประเภทและพันธะเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FT-IR).....	13
2.6.2 เครื่องมือวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) [11].....	14
2.6.3 เครื่องวิเคราะห์หาธาตุต่างๆ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDX).....	15
2.6.4 เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค (Particle Analyzer) [14].....	16
2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงย่านการมองเห็น (UV-Visible spectroscopy).....	17
2.7 ทบทวนวรรณกรรม	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	28
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	28
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	30
3.3.1 การเตรียมอนุภาคระดับนาโนจากเม็ดดูดความชื้น	30
3.3.2 การขึ้นรูปแผ่นนำแสง.....	30
3.4 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอนุภาค	33
3.4.1 การวิเคราะห์จำแนกประเภทและพันธะเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared ; (FT-IR).....	33
3.4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	34
3.4.3 ตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ด้วยเครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและคุณภาพ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy ; EDX).....	34
3.4.4 การวัดขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง Particle Analyzer	35
3.4.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงในย่านการมองเห็น (UV-Visible spectrometer).....	36
3.4.6 การวัดระดับความสว่างของแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter)	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	37
4.1 การวิเคราะห์ผลของเวลาในการหมუნบดของซิลิกาเจลที่เวลาในการหมუნบดต่างๆ.....	37
4.1.1 การวิเคราะห์จำแนกประเภทและพันธะเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform.....	37
Infared ; (FT-IR).....	37
4.1.2 การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ด้วยเครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและคุณภาพ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy ; EDX)	38
4.2 การวิเคราะห์ผลของเวลาในการหมუნบดของซิลิกาเจลต่อขนาดของอนุภาคซิลิกา	43
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	43
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดของขนาดอนุภาค.....	45
4.3 ผลของเวลาในการหมუნบดและปริมาณของอนุภาคซิลิกาต่อค่าการส่องสว่างของแผ่นนำแสงที่มีการฝังตัวของอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการบด	46
4.3.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพ	46
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างของแผ่นนำแสงที่มีการฝังตัวของอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการบด	48
4.4 ผลของเวลาในการหมუნบดและปริมาณของอนุภาคซิลิกาต่อค่าการทะลุผ่านของแสงของแผ่นนำแสงที่มีการฝังตัวของอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการบด	50
4.4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงจากเครื่องวัดการสะท้อนแสง	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	52
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	52
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	53
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 (ก)ภาพของซิลิกอนไดออกไซด์ (ข)ภาพลักษณะโครงสร้างของนาโนซิลิกอนไดออกไซด์[3].....	7
2.2 ตัวอย่างแผ่นนำแสง[6].....	10
2.3 แสดงการกระเจิงแสงของแผ่นนำแสง [7].....	11
2.4 แสดงหลักการทำงานภายในของหม้ออบ[8].....	12
2.5 แสดงหลักการทำงานของแกนหม้ออบและตัวหม้ออบ[9].....	12
2.6 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดแหล่งกำเนิดรังสีของ Infrared Spectrometer [10].....	13
2.7 ส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [12].....	15
2.8 แสดงการคายพลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อลดระดับชั้นพลังงาน[13].....	15
2.9 ส่วนประกอบของเครื่อง Particle Analyzer [15].....	16
2.10 สัญญาณการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	18
2.11 ค่าของขนาดผลึกและความเครียดแลตทิซเทียบกับเวลาในการอบ[16].....	19
2.12 ภาพจากกล้อง FESEM ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกำลังขยาย 2 ค่า (ก) (ข) อนุภาคซิงค์ออกไซด์ก่อนอบ (ค) (ง) อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการอบ 8 ชั่วโมง[16].....	19
2.13 กราฟขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เทียบกับเวลาในการอบ [16].....	20
2.14 กราฟวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน โดยการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ด้วยการอบเชิงกล และด้วยการอบเชิงกลพร้อมคลื่นไมโครเวฟ ที่เวลา 50 ชั่วโมง[17].....	20
2.15 ผลวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดยการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการการอบเชิงกลพร้อมคลื่นไมโครเวฟ ที่เวลา 50 ชั่วโมง[17].....	21
2.16 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของ UV-Visible ของสารละลาย methyl orange ภายใต้การฉายแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต และ ผลการย่อยสลายการเร่งปฏิกิริยาทางของสารละลาย methyl orange ณ เวลาต่างๆ[17].....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 กราฟวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ X1 คือที่อัตราส่วนของ TiO ₂ : CeO ₂ , X2 คือความเร็วรอบของการบิดเชิงกล และ X3 คือ เวลาที่ใช้ในการบิด.....	22
2.18 ผลวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของแต่ละตัวอย่าง โดย X1 คือที่อัตราส่วนของ TiO ₂ : CeO ₂ , X2 คือความเร็วรอบของการบิดเชิงกล และ X3 คือ เวลาที่ใช้ในการบิด.....	23
2.19 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง โดย X1 คือที่อัตราส่วนของ TiO ₂ : CeO ₂ , X2 คือความเร็วรอบของการบิดเชิงกล และ X3 คือ เวลาที่ใช้ในการบิด Run 4 (X1 = 65:35, X2 = 149 rpm, X3 = 77.50 min), Run 8 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 77.50 min), and Run 13 (X1 = 65:35, X2 = 401 rpm, X3 = 77.50 min) และภาพ (ข) แสดงการพลอตค่าแถบพลังงาน (อิเล็กตรอนโวลต์) ที่คำนวณด้วยวิธี Kulbeka-Munk[18].....	24
2.20 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของ UV-Visible ของสารละลาย methyl orange ภายใต้การฉายแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต และ ผลการย่อยสลายการเร่งปฏิกิริยาทางของสารละลาย methyl orange ณ เวลาต่างๆ[18].....	25
2.21 ผลการย่อยสลายการเร่งปฏิกิริยาทางของสารละลาย methyl orange โดยการใช้ TiO ₂ : CeO ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ณ เวลาต่างๆ[18].....	25
2.22 แสดงพื้นผิวการตอบสนอง 3 มิติและแผนผังเส้นโค้งของเงื่อนไขที่เหมาะสมของ อัตราส่วนของ TiO ₂ : CeO ₂ ความเร็วรอบของการบิดเชิงกล และเวลาที่ใช้ในการบิด[18].....	26
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	29
แผนผังของกระบวนการสังเคราะห์เม็ดดูดความชื้น ดังภาพที่ 3.2.....	32
3.3 เครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) รุ่น UATR Two จากบริษัท Perkin Elmer	33
3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6335F จากบริษัท JOEL	34
3.5 เครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) รุ่น JSM-6335F.....	35
จากบริษัท JOEL	35
3.6 เครื่อง Particle Analyzer รุ่น Delsa Nano C Particle Analyzer จากบริษัท Beckman Coulte	35

3.7 เครื่องวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงในย่านการมองเห็นเครื่องวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและในย่านการมองเห็น รุ่น LAMBDA 1050 UV-Vis Spectrophotometer จากบริษัท PerkinElmer	36
3.8 เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter) รุ่น Light meter LX-71 จากบริษัท DIGICON	36
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนและการสั่นของพันธะของอนุภาคซิลิกาเจลที่เวลาในการหมუნบด 0, 15, 30, 45 และ 60 นาที (ก) ชนิด A ที่เวลาในการหมუნบด 0, 15, 30, 45 และ 60 นาที (ข) ชนิด B ที่เวลาในการหมუნบด 0, 15, 30, 45 และ 60 นาที	38
4.2 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมუნบดที่ความเร็วในการหมუნบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที	39
4.3 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมუნบดที่ความเร็วในการหมუნบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที	40
4.4 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมუნบดที่ความเร็วในการหมუნบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 45 นาที	41
4.5 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมუნบดที่ความเร็วในการหมუნบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 60 นาที	42
4.6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของอนุภาคซิลิกา	44
4.7 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคซิลิกาเจลหลังการบดที่เวลาในการบดแตกต่างกัน	45
4.8 ลักษณะของแผ่นนำแสงโปร่งใสที่ใส่อนุภาคซิลิกา ชนิด A (ก) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 15 นาที (ข) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 30 นาที (ค) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 45 นาที (ง) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 60 นาที	46
4.9 ลักษณะของแผ่นนำแสงโปร่งใสที่ใส่อนุภาคซิลิกา ชนิด B (จ) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 15 นาที (ฉ) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 30 นาที (ช) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 45 นาที (ซ) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 60 นาที	47
4.10 แสดงค่าการส่องสว่างของแผ่นนำแสงที่ขึ้นรูปจากอนุภาคซิลิกาเจล	48
(ก)ชนิด A (ข)ชนิด B	48
4.11 แสดงร้อยละการทะลุผ่านของแสงอัลตราไวโอเล็ตและย่านการมองเห็น	50
ของซิลิกาเจล (ก) ชนิด A (ข) ชนิด B	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการดำเนินงานทั้งหมด	4
4.1 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมუნบดเป็นเวลา 15 นาที ...	39
4.2 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมუნบดเป็นเวลา 30 นาที ...	40
4.3 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมუნบดเป็นเวลา 45 นาที ...	41
4.4 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมუნบดเป็นเวลา 60 นาที ...	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในส่วนของบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขต โดยมีรายละเอียดดังนี้ ด้วยในสังคมปัจจุบันนี้ มีการให้ความสำคัญและสนใจเกี่ยวกับการใช้ ประโยชน์จากทรัพยากรให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด ไม่ว่าจะเป็นการลดการบริโภคทรัพยากรต่างๆลง (Reduce) การนำสิ่งของที่ยังใช้ได้กลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) การนำสิ่งของที่เราไม่สามารถนำกลับมาใช้ ซ้ำได้แล้วนำไปเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นวัตถุดิบเพื่อนำไปผลิตเป็นสิ่งของใหม่ (Recycle) ซึ่งใน ปัจจุบันนี้พบว่าการใช้ของอุตสาหกรรมขึ้นกันเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นในของขมที่เราบริโภคกัน ใน แต่ละวันนั้น มักจะมีการใส่ของอุตสาหกรรมขึ้นลงไปบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณความขึ้น ไม่ให้เกิดขึ้นภายในของขม ที่จะทำให้ขมเสียรสชาติหรือสัมผัสได้ ในกล่องเก็บเครื่องเงินเพื่อลด ความขึ้น เมื่อไม่มีความความขึ้นก็ไม่สามารถเกิดการออกซิเดชันได้ก็จะไม่เกิดสนิม ทำให้เครื่องเงิน ยังคงความเงางาม ในกระเป่าที่ไม่ได้ใช้เป็นเวลานานๆจะทำให้เกิดความขึ้นและส่งกลิ่นอับได้จึงมีการ ใส่ของอุตสาหกรรมขึ้นในกระเป่า ใช้ในการรักษาเมล็ดพันธุ์พืชจากความขึ้น รักษาคุณภาพของยาและ วิตามิน ซึ่งของอุตสาหกรรมขึ้นสามารถใช้ซ้ำได้ แต่ในบางกรณีเช่นในของขม ที่เมื่อรับประทานแล้วส่วน ใหญ่จะทิ้งของอุตสาหกรรมขึ้นเลยไม่มีการนำกลับมาใช้ซ้ำ เป็นปริมาณที่มากจึงทำให้เกิดความสนใจที่ อยากรจะนำเม็ดอุตสาหกรรมขึ้นหรือเม็ดซิลิกาภายในของกลับมาใช้ซ้ำ ให้เกิดประโยชน์ขึ้น ซึ่งภายในของ อุตสาหกรรมขึ้น จะมีเม็ดซิลิกาจำนวนมาก มีความโปร่งแสง แต่ยังมีขนาดใหญ่ในระดับมิลลิเมตร โดย องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา ประกอบด้วย SiO_2 ประมาณ 99.71 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก Al_2O_3 ประมาณ 0.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก TiO_2 ประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Fe_2O_3 ประมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ Trace Oxides ประมาณ 0.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วยความที่ เม็ดซิลิกามีปริมาณ SiO_2 อยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เล็งเห็นว่าเราสามารถนำเม็ดซิลิกามาเป็นวัตถุดิบใน การทำแผ่นนาแสง โดยการเตรียมซิลิกาจากในระดับมิลลิเมตร ให้อยู่ในรูปโครงสร้างเล็กระดับนาโน เมตรนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มี ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มสมบัติการกระเจิงแสงของวัสดุให้ดียิ่งขึ้น โดยจะเน้นหากระบวนการ เตรียมที่เหมาะสม ที่สามารถทำได้ง่าย และใช้ต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูงมาก ซึ่งหนึ่งในกระบวนการ เตรียมที่สอดคล้องกับเป้าหมายดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ กระบวนการเชิงกล ซึ่งเป็น กระบวนการที่ใช้แรงเชิงกลกระทำต่อสารตั้งต้นเพื่อให้มีขนาดที่เล็กลง เป็นผงละเอียด โดย กระบวนการดังกล่าวจะใช้ขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน อีกทั้งสามารถพัฒนาเป็นระบบการ เตรียมที่ใหญ่ขึ้นตามจำนวนของวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ใช้การกระบวนการลดขนาดของเม็ดซิลิกา ด้วยการใช้การบดด้วยลูกบด (Ball-milling) โดยหลักการทั่วไปของการบดย่อยวัสดุโดยการโม่ คือการทำให้วัสดุบดจนแตกหรือถูกขัดสีด้วยลูกบด จนเกิดการแตกและสลายตัวเล็กลงจนได้ขนาดตามที่ต้องการ เพื่อเป็นการลดขนาดของเม็ดซิลิกาให้อยู่ในระดับนาโนเมตร โดยควบคุมเงื่อนไขในการบดที่แตกต่างกัน อาทิเช่น ความเร็วรอบในการหมุนบด และเวลาที่ใช้ในการบด เพื่อหาเงื่อนไขที่ทำให้ได้วัสดุบดตามที่ต้องการมากที่สุด โดยการนำไปตรวจวัดเพื่อดูโครงสร้างผลึก โครงสร้างทางจุลภาค พื้นผิว และสัญญาณ สมบัติทางแสง และนำไปทำการขึ้นรูปเพื่อนำไปตรวจวัดการกระเจิงแสงของวัสดุที่มีปริมาณสารที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาพัฒนาประสิทธิภาพของแผ่นนำแสงจากของเหลือใช้ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุนาโนจากวัสดุเหลือทิ้งโดยใช้กระบวนการบดเชิงกล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และสัญญาณของวัสดุนาโนจากวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการเตรียมดังกล่าว
- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุนาโนที่เตรียมได้ เช่น สมบัติการดูดกลืนแสง สมบัติการกระเจิงแสง
- 1.2.4 เพื่อพัฒนาวัสดุนาโนจากวัสดุเหลือทิ้งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปร่วมกับแผ่นนำแสง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ทราบถึงกระบวนการเตรียมที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุนาโนจากวัสดุเหลือทิ้งโดยใช้กระบวนการบดเชิงกล ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในระดับนาโนเมตร
- 1.3.2 ทราบถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ผลจากโครงสร้างผลึก โครงสร้างทางจุลภาค และสัญญาณของวัสดุนาโนจากวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการเตรียมดังกล่าว
- 1.3.3 ทราบถึงสมบัติทางแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการสังเคราะห์จากวัสดุนาโนจากวัสดุเหลือทิ้งที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 สามารถพัฒนาสมบัติของวัสดุนาโนจากวัสดุเหลือทิ้งให้มีความโดดเด่นมากขึ้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปร่วมกับแผ่นใสนำแสง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้องกับการผลิตวัสดุนาโนด้วยกระบวนการบดเชิงกล

1.4.2 มีทักษะในการวิเคราะห์สมบัติทางแสง ทางโครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และ สัณฐานของวัสดุนาโน ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง

1.4.3 มีความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้การขึ้นรูปร่วมกับแผ่นใสนำแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานทั้งหมด

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการทำวิจัย									
	ปี 2561					ปี 2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดขนาดของอนุภาค	➔									
2.ทำการลดขนาดของซิลิกาเจลด้วยกระบวนการBall Milling ที่เงื่อนไขต่างๆ	➔									
3. ทำการตรวจสอบสารด้วยเครื่อง FTIR ,SEM และ EDX	➔									
4. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นนำแสงโปร่งใส				➔						
5.ทำการขึ้นรูปแผ่นนำแสงโปร่งใสจากอนุภาคซิลิกาเจลที่เงื่อนไขต่างๆ				➔						
6. ทำการประดิษฐ์กล่องสำหรับการตรวจวัดค่าความสว่าง					➔					
7. ทำการตรวจวัดประสิทธิภาพของแผ่นนำแสงโปร่งใส						➔				
8. วิเคราะห์ผล							➔			
9. เขียนเล่มรายงาน							➔			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 นาโนเทคโนโลยี [1]

นาโนเทคโนโลยี หมายถึง เทคโนโลยีประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดการ การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุในระดับอะตอม โมเลกุลหรือชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กในช่วงประมาณ 1 ถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีหน้าที่ใหม่ๆ และมีสมบัติที่พิเศษขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพ ทำให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้สอยและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้

คำว่า “นาโน (Nano)” เป็นคำที่มีรากศัพท์มาจากคำในภาษากรีกว่า Nanos ซึ่งแปลว่า แคระหรือเล็ก เมื่อนำคำว่า “นาโน” มาใช้นำหน้าหน่วยวัดทางวิทยาศาสตร์หรือคณิตศาสตร์ หมายถึง ขนาดเศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหน่วยวัด คำว่า “นาโนเมตร” มาจากคำมารวมกัน คือ “นาโน” กับ “เมตร” ดังนั้นคำว่านาโนเมตร หมายถึง หน่วยวัดที่มีขนาดเท่ากับ “เศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหนึ่งเมตร” นั่นคือ หนึ่งนาโนเมตร (1 nm) = เศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหนึ่งเมตร = 10^{-9}

ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) [2] บุคคลที่ได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาของนาโนเทคโนโลยี ซึ่งเขาได้กล่าวไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1959 ระหว่างการบรรยายทางวิชาการเรื่อง “There’s plenty of room at the bottom” ณ สมาคมฟิสิกส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กล่าวว่า “ที่ความเล็กระดับนาโนเมตร เราจะค้นพบแรงชนิดใหม่ๆ ปรากฏการณ์ใหม่ๆ และความเป็นไปได้รูปแบบใหม่ๆ” ทำให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความสำคัญของนาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่การที่เราสามารถสร้างสิ่งต่างๆ ที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเท่านั้น แต่รวมถึงการที่เราสามารถนำสมบัติใหม่ และปรากฏการณ์ใหม่ ที่เกิดขึ้นเฉพาะในระดับนาโนเมตรเท่านั้น มาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้วัสดุ อุปกรณ์ และระบบที่มีขนาดในระดับนาโน มีสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงเคมีแตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่าเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

ประโยชน์ของนาโนเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เพื่อการติดต่อสื่อสารของผู้คนทั้งโลก อย่างทั่วถึง ทัดเทียม และพอเพียง และการใช้งานนาโนเทคโนโลยีในการถนอมและผลิตภัณฑ์อาหาร ในด้านกานแพทย์ใช้เทคโนโลยีในการประกอบและทำสำเนาตัวเองซ่อมแซมตัวเอง ตัวอย่างเช่น การสร้างอวัยวะเทียม สร้างหุ่นยนต์นาโนที่สามารถซ่อมแซมความบกพร่องของเซลล์เม็ดเลือดแดง คอยทำลายเซลล์แปลกปลอมต่างๆ เพื่อทำให้มนุษย์สุขภาพแข็งแรงและอายุยืนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติพื้นฐานของสารที่ใช้

2.2.1 ซิลิกา (Silica; SiO₂) [3]

ซิลิกอนไดออกไซด์ หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า ซิลิกา สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติและการสังเคราะห์ขึ้นเป็นสารประกอบของซิลิกอน และออกซิเจน มีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสี หรือเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น และรส พบมากในดิน และหิน และเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับ 2 บนเปลือกโลกรองจากออกซิเจน โดยมีลักษณะโครงสร้างเป็น O=Si=O ซิลิกาจะปรากฏอยู่ในสถานะรูปผลึก และมักอยู่ในรูปของควอตซ์ ทั้งนี้รูปร่างทางกายภาพของซิลิกาแบ่งได้เป็นสามแบบ คือ ผลึก (crystalline) ออสัญฐาน (amorphous) และอสัญฐานสังเคราะห์ (synthetic amorphous) วัสดุนาโนซิลิกาโดยทั่วไปแล้วมีรูปเป็นอสัญฐานสังเคราะห์ หรือที่เรียกว่า synthetic amorphous silica หรือ SAS โดยได้มาจากการสังเคราะห์ 3 วิธี คือ

(1) การให้ความร้อน (thermal route) โดยมาจากการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการ hydrolysis ในสถานะก๊าซของสารคลอโรซิลเลน (chlorosilanes) ภายใต้เปลวไฟของออกซิเจน หรือ ไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส

(2) วิธีเปียก (wet route) โดยการตกตะกอนของซิลิกา และซิลิกาเจล (หรือ ซิลิกา แอโรเจล) ซึ่งเกิดจากการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา polymerization และเกิดการตกตะกอนของ SAS จากสารละลายโซเดียม ซิลิเกต โดยซิลิกาที่ได้จะอยู่ในรูปอสัญฐาน

(3) วิธีซิลิกาโซล (silica sols) หรือที่เรียกว่า colloidal silica โดยซิลิกาโซลเป็นซิลิกา SAS ที่กระจายตัวในของเหลว โดยทั่วไปคือ น้ำ โดยโซลนี้เกิดจากการ hydrolysis ของซิลิกอนเตตระคลอไรด์ (silicon tetrachloride) ในน้ำ หรือในสารละลายที่เป็น polymerization ของสารละลายโซเดียมซิลิเกต

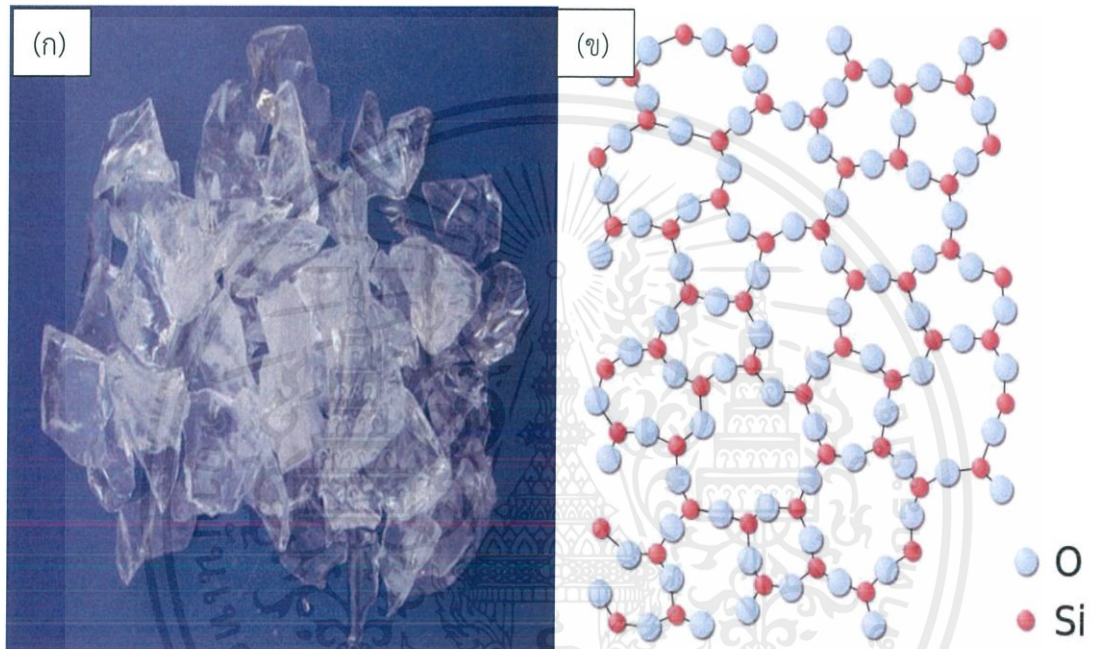
วิธีการที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ซิลิกา คือ วิธีเปียกและวิธีให้ความร้อนโดย synthetic amorphous silica ที่ได้จากสองวิธีนี้จะมีลักษณะสมบัติที่ต่างกันจึงมีรหัสของ CAS No. ที่แตกต่างกัน (CAS No 112926-00-8 และ 112945-52-5 ตามลำดับ) ซิลิกาในรูป amorphous silica จะมีขนาดเล็กในช่วง 100 -1000 นาโนเมตรและมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มจึงเป็นที่รู้จักในนามของอนุภาคนาโนซิลิกา (silica nanoparticles, SNPs) ในปัจจุบันได้มีการผลิตให้ SAS มีขนาดเล็กมากขึ้น โดยขนาดของอนุภาคนาโนซิลิกาในปัจจุบันมีขนาดเล็กถึง 10-25 นาโนเมตร การสังเคราะห์ด้วยการให้ความร้อนทำให้สามารถผลิตอนุภาคนาโนซิลิกาได้เล็กถึง 2 นาโนเมตร ขนาดของรูพรุนของนาโนซิลิกาอยู่ในช่วง mesoporous ซึ่งมีขนาดประมาณ 2-50 นาโนเมตร หรืออาจอยู่ในรูปไม่มีรูพรุนได้

อนุภาคนาโนซิลิกาไม่ละลายน้ำ เมื่อปรากฏในน้ำจะอยู่ในรูป SiO₂.xH₂O โดยลักษณะพื้นผิวของซิลิกาจะเป็นลักษณะชอบน้ำ (hydrophilicity) ซึ่งลักษณะสมบัตินี้จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของกลุ่มไฮดรอกซิลที่มีพันธะกับซิลิกอน หรือที่เรียกว่ากลุ่ม silanols ในอนุภาคนาโนซิลิกา ซึ่งกลุ่มนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้อนุภาคนาโนซิลิกามีลักษณะสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี ซึ่งลักษณะสมบัตินี้ได้ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ

นอกจากนี้สารนาโนซิลิกานี้จัดได้ว่าเป็นสารเฉื่อย จึงมักนิยมนำมาใช้ในการผลิตอาหารโดยสารชนิดนี้จะเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ทำหน้าที่ต่างๆ เช่น ตัวกลางเพิ่มรสชาติ สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของอาหาร สารลดฟองในเครื่องดื่ม เป็นต้น และจากการที่สารชนิดนี้สามารถอัดแน่นได้ดีจึงนิยมไปใช้ในการป้องกันการจับตัวของส่วนประกอบต่างๆในยา



ภาพที่ 2.1 (ก) ภาพของซิลิกอนไดออกไซด์ (ข) ภาพลักษณะโครงสร้างของนาโนซิลิกอนไดออกไซด์

[3]

2.2.2 สมบัติทั่วไปของซิลิกอนไดออกไซด์ [4]

ชื่อ	silicon dioxide, silica, synthetic amorphous silica, silica nanoparticles
CAS number	7631-86-9 (CAS No 112945-52-5 and 112926-00-8)
สูตรโมเลกุล	SiO ₂
น้ำหนักโมเลกุล	60.09 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	2.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	ประมาณ 1700 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	ไม่มีข้อมูล
ลักษณะทั่วไป	ผงสีขาวสารไม่ละลายน้ำ (water insoluble) ลักษณะโครงสร้าง SiO ₄ tetrahedron

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สมบัติทางเคมีของซิลิกา [5]

ซิลิกามีสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิดแต่สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ โดยซิลิกาชนิดอสัณฐานไวต่อปฏิกิริยามากกว่าชนิดผลึกเพราะซิลิกาอสัณฐานมีพื้นผิวมากกว่า

ส่วนสารละลายกรดจะไม่มีผลต่อซิลิกา ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาจนได้ H_2SiF_6 ทั้งนี้ ซิลิกาในรูปแบบที่ต่างกันจะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ต่างกัน ขึ้นกับความหนาแน่นเป็นหลัก โดยซิลิกาที่มีความหนาแน่นสูงจะเกิดปฏิกิริยาได้น้อยกว่าซิลิกาที่มีความหนาแน่นต่ำ

2.2.4 รูปแบบซิลิกา

2.2.4.1 ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) เป็นซิลิกาที่พบในรูปแบบสินแร่ มีการจัดเรียงอะตอมของโครงสร้างอย่างมีระเบียบ และต่อเนื่อง มีรูปร่างเป็นระบบผลึกที่แน่นอนภายใต้ความดันปกติ มี 3 รูปแบบ

(1) ควอर्टซ์ (Quartz) เป็นรูปที่พบมากที่สุด อุณหภูมิเสถียรน้อยกว่า 870 องศาเซลเซียส

(2) ไทรไดมัท (Tridymite) อุณหภูมิเสถียรที่ 870-1,470 องศาเซลเซียส

ชนิดซิลิกา	ระบบผลึก	ความหนาแน่น (g/cm^3)
β -quartz	trigonal	2.65
α -quartz	hexagonal	2.53
γ -tridymite	orthorhombic	2.26
β -tridymite	hexagonal	-
α -tridymite	hexagonal	2.22
β -cristobalite	tetragonal	2.32
α -cristobalite	cubic	2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) คริสโตบาไลท์ (Cristobalite) อุณหภูมิเสถียรที่ 1,470 องศาเซลเซียส และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1,713 องศาเซลเซียส

2.2.4.2 ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous silica) เป็นซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (biogenic silica) และสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปไม่แน่นอน ไม่เป็นผลึก มีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ อาจอยู่ในรูปของไฮเดรต (Hydrate) หรือ แอนไฮเดรต (Anhydrate) มีพันธะหลายรูปแบบเช่น siloxane (-Si-O-Si-), silanol (-Si-O-H-), silane(-Si-H), Organic silicon (-Si-O-R หรือ -Si-C-R)

2.3 กระบวนการเตรียมซิลิกา

การเตรียมซิลิกาทำได้จากการให้ความร้อนจนมีสถานะเป็นไอ และการตกตะกอนสารละลาย แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ ได้แก่

2.3.1 วิเทรียสซิลิกา (vitreous silica) หรือ ซิลิกาแก้ว (silica glass) เป็นของแข็ง ไม่มีรูพรุน ผลิตได้จากการหลอมเหลวผลึกซิลิกาอสัณฐานแล้วปล่อยให้เย็นตัว

2.3.2 ซิลิกาเจล (silica gel) มีลักษณะแข็ง มีรูพรุนสูง มีโครงสร้างรูพรุนแบบเปิด และมีพื้นที่ผิวสูงแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

(1) อะควาเจล (aquagel) มีลักษณะเป็นเจลเหลว ภายในมีน้ำมาก เตรียมได้จากสารละลาย

(2) อัลโคเจล (alcogel) มีลักษณะเป็นเจล เตรียมได้จากอัลคอกซี-โซเลน

(3) ซีโรเจล (xerogel) มีลักษณะเป็นเจลแห้ง จากการกำจัดน้ำออกด้วยการระเหย มีโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

(4) แอร์โรเจล (aerogel) มีลักษณะเป็นเจลแห้ง น้ำหรือตัวทำละลายถูกกำจัดด้วยวิธีสกัดแบบซูเปอร์คริติคัล เตรียมได้จากกระบวนการทำแห้ง ณ อุณหภูมิเหนือจุดวิกฤต

2.3.3 ซิลิกาผง (powder silica) เป็นซิลิกาที่เตรียมได้จากสภาวะกลายเป็นไอ และการตกตะกอนของสารละลายที่มีลักษณะการฟุ้งกระจายของอนุภาคสูง เมื่อตกตะกอนจะได้ซิลิกาที่มีมีขนาดเล็กมาก และมีพื้นที่ผิวสูง แบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

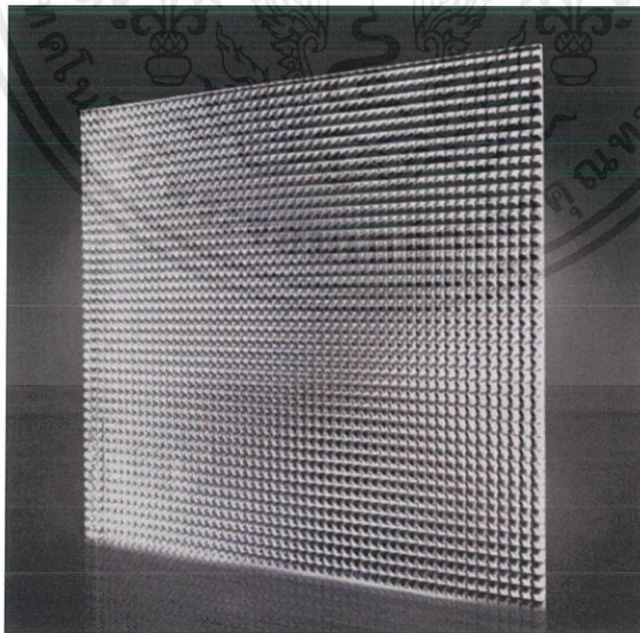
(1) อะควาจีนิค (aquagenic) เตรียมได้จากการตกตะกอนในสารละลายหรือจากอะควาเจล

(2) ไพโรจีนิค (pyrogenic) เตรียมได้จากการระเหยของซิลิกาโดยใช้เปลวไฟหรือการอาร์ค (arc) ในสถานะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน และเกิดการรวมตัวกันทางกายภาพ หรือเกิดจากการรวมตัวกันทางเคมีของไอสารประกอบซิลิคอนจากเปลวไฟของไฮโดรเจนกับออกซิเจน

(3) ไบโोजีนิค (biogenic) เป็นประเภทของอะควาจีนิคชนิดพิเศษประเภทหนึ่งที่พบในพืช และไดอะตอม

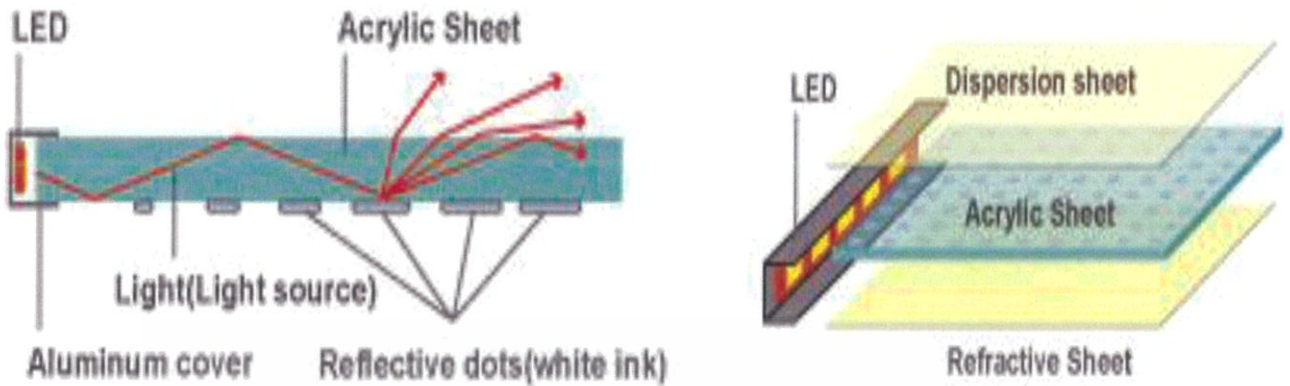
2.4 แผ่นนำแสง (Light guide plate) [6]

แผ่นนำแสง (Light guide plate) มีลักษณะเป็นแผงอะคริลิก หรือวัสดุโปร่งใสเช่นเรซิน มีความโปร่งใสสูง แผ่นนำแสงจะนำแสงออกจากด้านข้างของแผ่น โดยอาศัยหลักการ การกระเจิงแสง (Light scattering) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการแผ่ของแสง เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ไม่มีไซสารเนื้อเดียว จะทำให้สารนั้นเปล่งแสงออกมาเนื่องจาก การกระเจิงของแสง และจะไม่เกิดการกระเจิงของแสงในตัวกลางในสารที่เป็นเนื้อเดียวและสมบัติเดียวกันโดยตลอด เนื่องจากมีดัชนีหักเหเท่ากันตลอดทุกส่วนของสารนั้น เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ตกกระทบพื้นผิวที่ขอบแผ่นนำแสง แสงส่วนหนึ่งเกิดการสะท้อนและแสงส่วนหนึ่งที่ตกกระทบที่พื้นผิวของอนุภาคที่ฝังตัวจะเกิดการกระเจิงของแสงไปทั่วทั้งแผ่น และเกิดการสะท้อนแสงออกมายังด้านหน้าของแผ่นนำแสงได้มากขึ้น



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างแผ่นนำแสง[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 แสดงการกระเจิงแสงของแผ่นนำแสง [7]

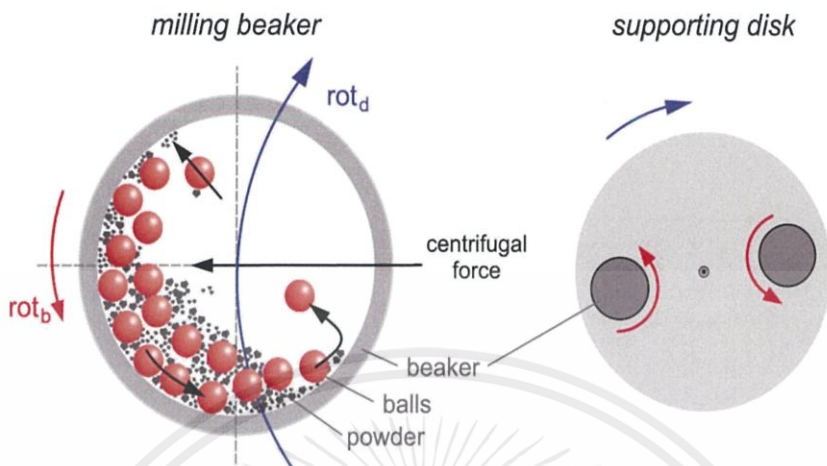
2.5 หลักการของ High Energy Ball Milling

Ball Milling คือเครื่องมือประเภทเครื่องบดที่นิยมใช้ในการลดขนาดของวัสดุโดยการบด โดยใช้หลักการหมุนของตัวหม้อบด ซึ่งจะมีลูกบดอยู่ภายใน สามารถแบ่งได้เป็น Batch Mill (การบดแบบเป็นครั้งคราว) และ Continuous Mill (การบดแบบต่อเนื่อง) โดยการบดทั้งสองแบบสามารถบดวัสดุได้ทั้ง Dry Milling (การบดแบบแห้ง) และ Wet Milling (การบดแบบเปียก)

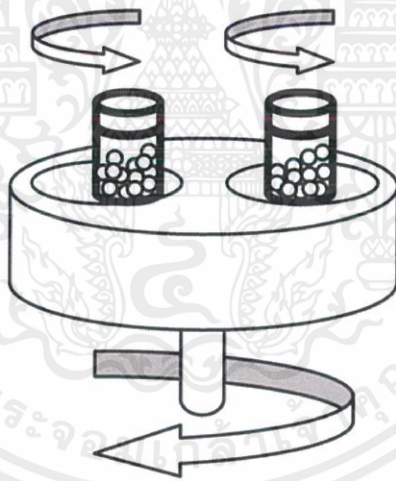
ในการบดแบบ Batch Mill เป็นการบดโดยการเติมวัสดุและตัวช่วยในการกระจายตัว เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ โพลีเอธิลีน ต่างๆ ลงไปใน Ball Mill แล้วจึงเริ่มกระบวนการบด จนกระทั่งได้ความละเอียดหรือเวลาตามที่ต้องการแล้ว จึงทำการถ่ายน้ำออกมา ซึ่งเป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง ในการบดแบบ Batch Mill นี้สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงที่สุดก็คือ คุณภาพของน้ำสลิบ หรือสารเคลือบที่สม่ำเสมอในแต่ละ batch ต้นทุนในการผลิต และประสิทธิภาพในการบด การบดโดยใช้ Batch Mill นั้น สามารถบดได้ทั้งแบบแห้งและแบบเปียก โดยวัสดุบดที่ต้องการบดนั้นจะสามารถบดแยกส่วนระหว่างวัสดุบดที่มีความแข็งมาก (Hard Material) อย่างเดียว โดยทำการเติมดินลงไปบางส่วน เพื่อช่วยในการกระจายลอยตัว แล้วจึงนำสลิบที่ได้ไปผสมรวมกันกับพวกวัสดุบดที่ไม่แข็ง แต่มีการจับตัวกันอย่างอ่อนๆ (Soft Material) ให้ครบสูตรต่อไป สำหรับในการบดแห้งโดยใช้ Ball Mill มักจะเป็นการบดวัสดุบด เช่น หินปูน (Limestone) หินฟ้าม้า (Feldspar) ททรายหรือควอทซ์ (SiO_2) เป็นต้น เพื่อให้มีความละเอียดสูง สำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุบดในเนื้อดิน หรือในน้ำยาเคลือบ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องนำไปบดเพิ่ม หรืออาจมีการบดเพิ่มบ้างเพื่อทำให้วัสดุบดต่างๆ เข้ากันอย่างเป็นเนื้อเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการบดแห้งนั้นจำเป็นต้องใช้ลมเพื่อเป็นตัวช่วยพาวัสดุที่บดละเอียดแล้วออกมาจาก Ball Mill โดยมีหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 2.4 และ 2.5



ภาพที่ 2.4 แสดงหลักการทำงานภายในของหม้อบด[8]



ภาพที่ 2.5 แสดงหลักการทำงานของแกนหม้อบดและตัวหม้อบด[9]

ในการบดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีนั้น มีปัจจัยที่จะต้องควบคุมดังต่อไปนี้

1. ปริมาณของลูกบดที่ใช้ในหม้อบด
2. ขนาดของลูกบดและสัดส่วนในแต่ละขนาดที่เติมลงในหม้อบด
3. ชนิดของลูกบด (Type of Grinding Media)
4. ความเร็วในการหมุนของหม้อบด (Critical Speed)
5. ปริมาณของวัสดุที่เติมและปริมาณของ Medium ที่เติม

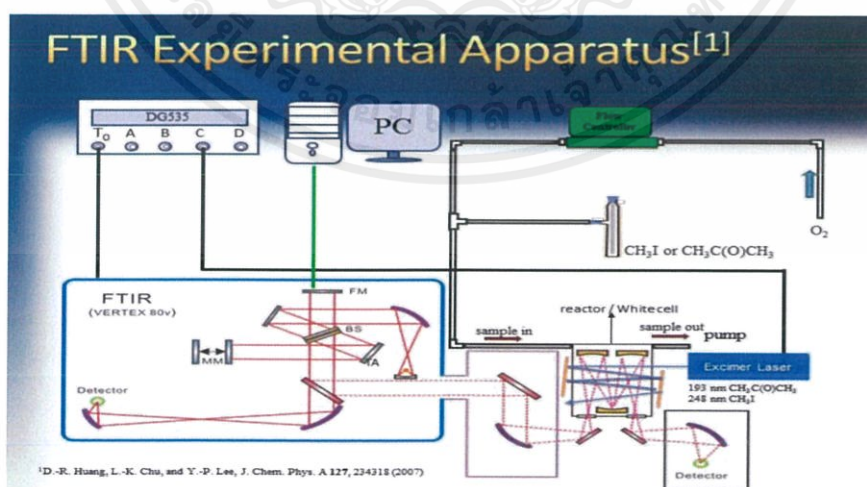
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ความสม่ำเสมอของวัตถุดิบ และความแข็ง (Hardness) ของวัตถุดิบ
7. ความละเอียดของวัตถุดิบ
8. ความหนืด (Viscosity) และความหนาแน่น (Density) ของน้ำดินหรือสีเคลือบ
9. ปริมาณการเติม Deflocculant และชนิดของ Deflocculant
10. วิธีการเติมวัตถุดิบและตัวช่วยปรับปรุงคุณภาพ (Additive)

2.6 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง

2.6.1 การวิเคราะห์จำแนกประเภทและพันธะเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FT-IR)

หลักการ Fourier Transform Infrared (FT-IR) เป็นเทคนิคที่ใช้จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และพันธะเคมีในโมเลกุลรวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่การสั่นความถี่ต่างๆ กัน ซึ่งมีความจำเพาะของแต่ละพันธะ การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลาเมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล และทำให้การดูดกลืนรังสีจำนวนแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่ได้จะมีค่าไม่เท่ากับการสั่นมูลฐาน ของโมเลกุลทั้งหมดโดยจะมีค่าลดลงเพราะมีบางแถบพลังงานที่ไม่มีการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของเครื่องวัดระบบ FT-IR มีส่วนประกอบหลักดังนี้



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดแหล่งกำเนิดรังสีของ Infrared Spectrometer [10]

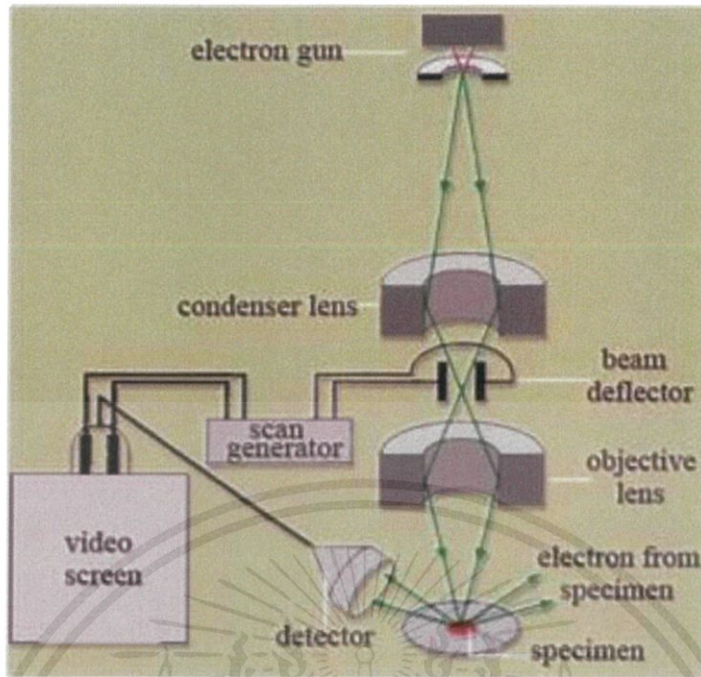
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 เครื่องมือวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

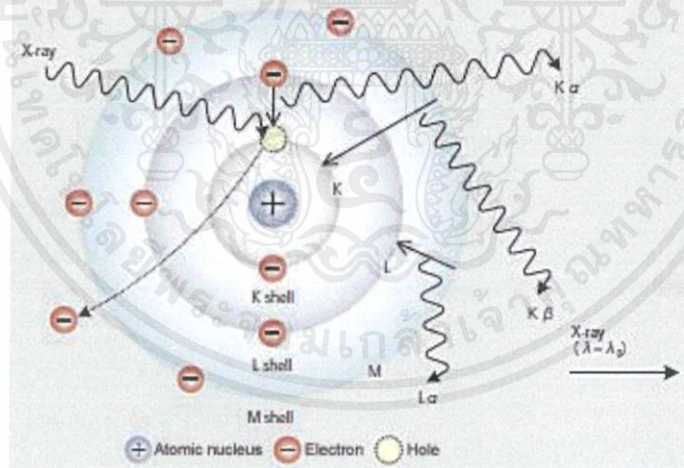
(Scanning Electron Microscope : SEM) [11]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง หลักการทำงานของกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 2.6 โดยอิเล็กตรอนได้มาจากแหล่งกำเนิด Electron gun ที่ขั้วแคโทด จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า กลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกบีบให้เป็นลำอิเล็กตรอนในระบบบีบลำอิเล็กตรอนซึ่งมี 2 ชนิดคือ เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) และเลนส์วัตถุ (Objective lens) เลนส์คอนเดนเซอร์ทำให้ลำอิเล็กตรอนมีความเข้มข้นและมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลง จากนั้นจะโฟกัสลำอิเล็กตรอนให้กราดลงที่บนผิวของตัวอย่างโดยเลนส์วัตถุ ที่พื้นผิวของตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกกระทบจะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นคล้ายกันที่แสงตกกระทบกับวัตถุและสะท้อนออกจากผิวของวัตถุ ซึ่งกลุ่มอิเล็กตรอนที่กระทบกับตัวอย่างคือ อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) เกิดการสะท้อนออกมานั้น คืออิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ดังภาพที่ 2.7 จะถูกตรวจจับด้วย ตัวตรวจจับอิเล็กตรอนสัญญาณไฟฟ้าถูกแปลงไปเป็นภาพบนจอ CRT มีลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของ รังสีเอกซ์ (Energy dispersive X-ray Spectroscopy, EDS, EDX) ได้ด้วย โดยอาศัยหลักการกระตุ้นตัวอย่างด้วยอนุภาคพลังงานสูงได้แก่ อนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งจะถูกล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดแสงเอกซ์ (X-ray tube) อนุภาคจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วมีพลังงานจลน์สูง เมื่ออนุภาคนี้อันผ่านเข้ามาอะตอมของตัวอย่างบางส่วนจะมีโอกาสที่จะชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอม ในการชนนี้จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถหลุดออกจากอะตอมได้ทำให้เกิดที่ว่างขึ้นซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นสูงกว่าจะตกลงมาอยู่แทน ในการตกจากชั้นพลังงานต้องใช้การคายพลังงานหรือปลดปล่อยพลังงานที่มากเกินระดับพลังงานออกมา พลังงานที่คายออกมานี้จะอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะ (characteristic X-ray) ซึ่งทำให้ระบุได้ว่าตัวอย่างมีองค์ประกอบของธาตุอะไรบ้าง เนื่องจากธาตุแต่ละธาตุจะมีพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะที่ไม่เหมือนกันเนื่องจากพลังงานในแต่ละระดับชั้นพลังงานแตกต่างกันทำให้พลังงานที่ถูกคายออกมาไม่เท่ากัน



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [12]



ภาพที่ 2.8 แสดงการคายพลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อลดระดับชั้นพลังงาน[13]

2.6.3 เครื่องวิเคราะห์หาธาตุต่างๆ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDX)

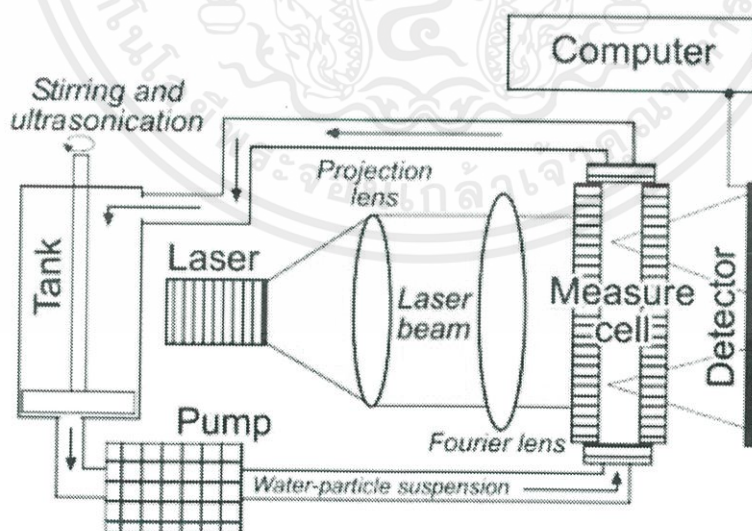
เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาธาตุด้วยรังสีเอ็กซ์ สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ธาตุคาร์บอนจนถึงธาตุยูเรเนียมเป็นต้น ใช้งานได้อย่างกว้างขวางสามารถทดสอบได้ทั้งของแข็ง ของเหลวหรือผง สามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยหลักการของเทคนิคนี้คือ ให้อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปและชนสารตัวอย่าง โดยรังสีอิเล็กซจะทำให้อิเล็กตรอนวงในสุดของอะตอมของธาตุหลุดออก อิเล็กตรอนในวงถัดมาจึงเข้ามาแทนที่ และปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในลักษณะของเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนส์ ซึ่งจะมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะตัวของธาตุนั้นเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และความเข้มข้นของเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

2.6.4 เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค (Particle Analyzer) [14]

ขนาดอนุภาคนั้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของสาร ดังนั้นขนาดของอนุภาคจึงมีความสำคัญ วิธีการวัดขนาดของอนุภาคได้อย่างสะดวก รวดเร็วและแม่นยำคือการใช้เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) ซึ่งสามารถวัดขนาดของอนุภาคได้ตั้งแต่ 0.5-1000 ไมครอน หลักการที่สำคัญของเครื่องมือนี้คือ เมื่อแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิด ตกกระทบอนุภาคของสารตัวอย่าง แสงเลเซอร์จะเกิดการกระเจิง ความเข้มของแสงที่กระเจิงที่มุมต่างๆ จะสามารถนำไปคำนวณหาขนาดของอนุภาคได้ โดยค่าความเข้มแสงที่มุมกระเจิงจะสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคโดยมีลักษณะความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับขนาดของอนุภาค กล่าวคือถ้าขนาดของอนุภาคมีค่าน้อย มุมของการกระเจิงจะยิ่งมีค่ามาก แต่ถ้าขนาดของอนุภาค มีค่ามาก มุมของการกระเจิงจะยิ่งมีค่าน้อย ซึ่งหลักการนี้สามารถนำมาใช้ได้กับการวัดขนาดอนุภาคของสาร ตัวอย่างที่เป็นผง สารแขวนลอย หรือแม้แต่ฝุ่นผงที่ลอยอยู่ในอากาศ



ภาพที่ 2.9 ส่วนประกอบของเครื่อง Particle Analyzer [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงย่านการมองเห็น (UV-Visible spectroscopy)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงย่านการมองเห็นที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ สมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงย่านการมองเห็นที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

ข้อมูลจำเพาะ (Specifications)

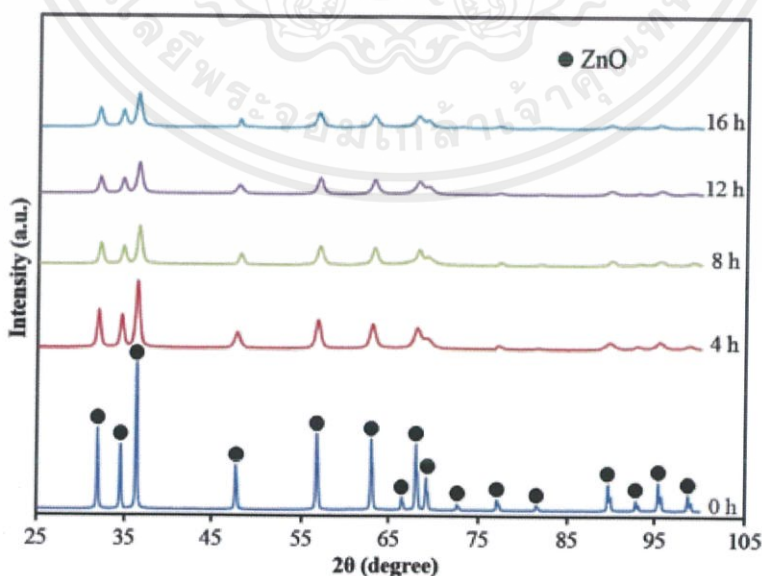
- (1) ระบบการวัดการดูดกลืนแสงเป็นแบบลำแสงคู่ (double Beam) โดยมีแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทิวเทอเรียม และหลอดทังสเตนฮาโลเจน
- (2) มีระบบแยกคลื่นแสงแบบ double monochromator
- (3) สามารถวัดการดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 190 ถึง 900 นาโนเมตร ซึ่งสามารถตั้งค่าความยาวคลื่นได้ละเอียดถึง 0.1 นาโนเมตร
- (4) สามารถปรับความกว้างของลำแสง (spectral bandwidth) ได้ ในช่วง 0.1- 5 นาโนเมตร
- (5) ชุดตรวจวัดแสง (detector) เป็นชนิด Photomultiplier
- (6) ความถูกต้องของความยาวคลื่น (wavelength accuracy) มีความผิดพลาดไม่เกิน +0.15 นาโนเมตรในช่วง UV/VIS
- (7) ความแม่นยำของความยาวคลื่น (wavelength reproducibility) มีความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน +0.06 นาโนเมตรในช่วง UV/VIS
- (8) มีชุด Integrating Sphere สำหรับวัดค่า Transmittance และ Reflectance ของพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างโดยสามารถ ใช้ได้กับชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นของแข็งและของเหลว
- (9) สามารถควบคุมอุณหภูมิของสารละลายตัวอย่างได้ในช่วง 5-90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษางานวิจัยของการเตรียมอนุภาคโครงสร้างเล็กระดับนาโนโดยการสังเคราะห์การบดเชิงกล และศึกษาผลของขนาดและรูปร่างที่มีผลต่อสมบัติการกระเจิงแสงของวัสดุ

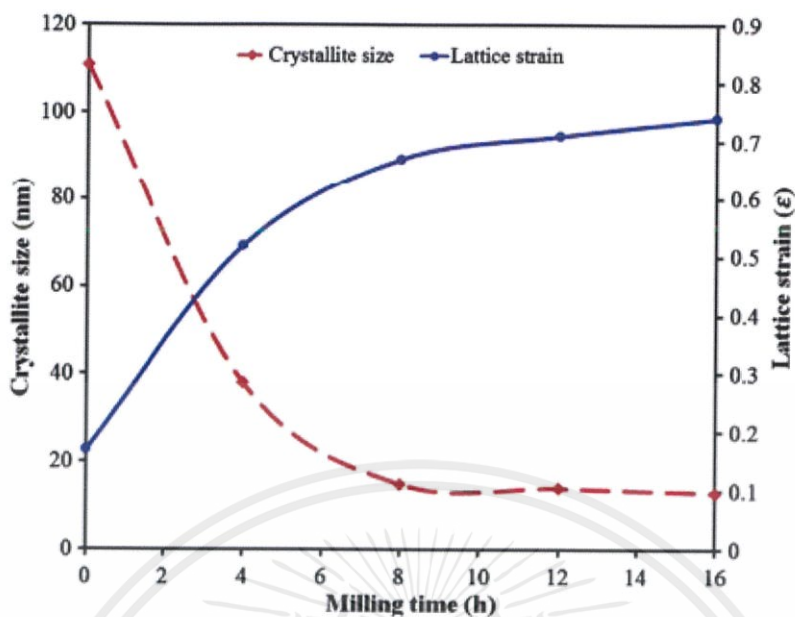
ในปี ค.ศ.2012 Sajjad Amirkhanlou และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาถึงการสังเคราะห์อนุภาค นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการบดเชิงกลพลังสูงด้วยลูกบด โดยทำการบดด้วยเวลาที่แตกต่างกันแล้ว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่อง X-ray diffraction พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสของสาร และไม่มีเฟสแปลกปลอมเกิดขึ้นในขณะบด และเมื่อเวลาผ่านไป พีคที่แสดงลักษณะ จำเพาะของ ZnO จะยังมีค่าความเข้มของสัญญาณที่ต่ำลง และขยายออกกว้างขึ้น ดังรูปที่ 2.10 เป็นที่ทราบกันดีว่าการที่พีคขยายออกกว้างขึ้นนั้น เป็นผลมาจากขนาดของผลึกที่เล็กลงและค่าความเครียด แลตทิซ ที่สูงขึ้น รูปที่ 2.11 จะแสดงถึงกราฟของขนาดผลึกและความเครียดแลตทิซกับฟังก์ชันของเวลา ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนอิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยายสูง รูปที่ 2.12 (ก,ข) แสดงให้เห็นถึงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ก่อนบดอยู่ที่ 8 ไมครอน (อนุภาคซิงค์ออกไซด์มีขนาดตั้งแต่ 3-25 ไมครอน) และมีรูปทรงเป็นทรงกลมและรูปที่ 2.12 (ค,ง) แสดงให้เห็นถึงขนาดโดยเฉลี่ยของ อนุภาคซิงค์ออกไซด์หลังบดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีขนาดประมาณ 60 นาโนเมตร และแต่ละอนุภาคนั้นมี ขนาดใกล้เคียงกัน และจากการทดลองพบว่า เวลาในการบด 8 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ชนิดนี้ เนื่องจากเมื่อบดที่เวลามากกว่า 8 ชั่วโมง อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดอีกต่อไป ดังรูปที่ 2.13



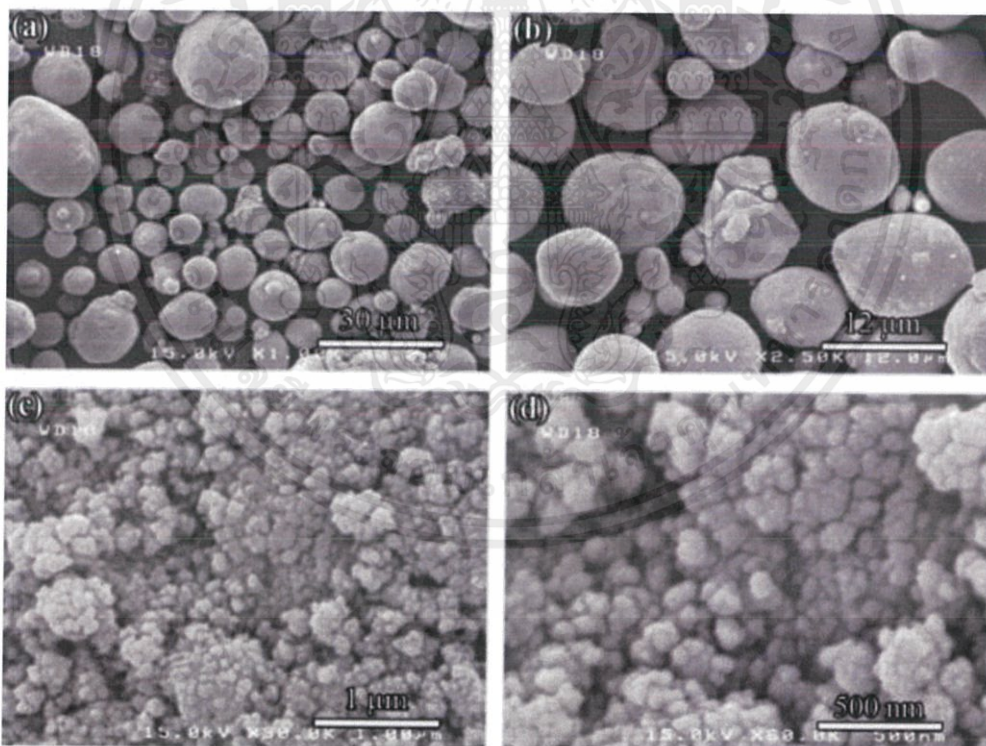
ภาพที่ 2.10 สัญญาณการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ที่ผ่านกระบวนการบดที่เวลาต่างๆ[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

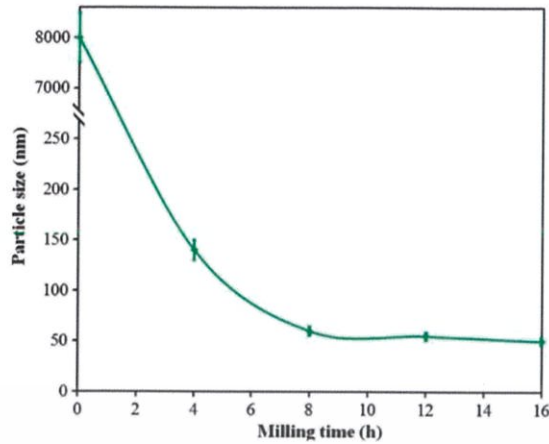


ภาพที่ 2.11 ค่าของขนาดผลึกและความเครียดแลตทิซเทียบกับเวลาในการบด[16]



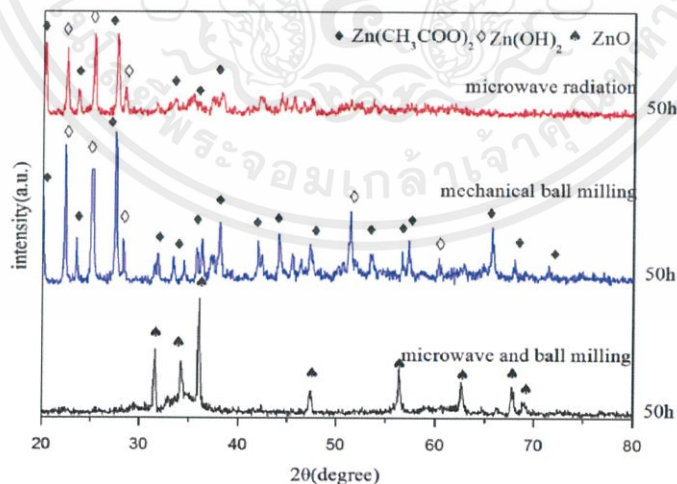
ภาพที่ 2.12 ภาพจากกล้อง FESEM ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกำลังขยาย 2 ค่า (ก) (ข) อนุภาคซิงค์ออกไซด์ก่อนบด (ค) (ง) อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านการบด 8 ชั่วโมง[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



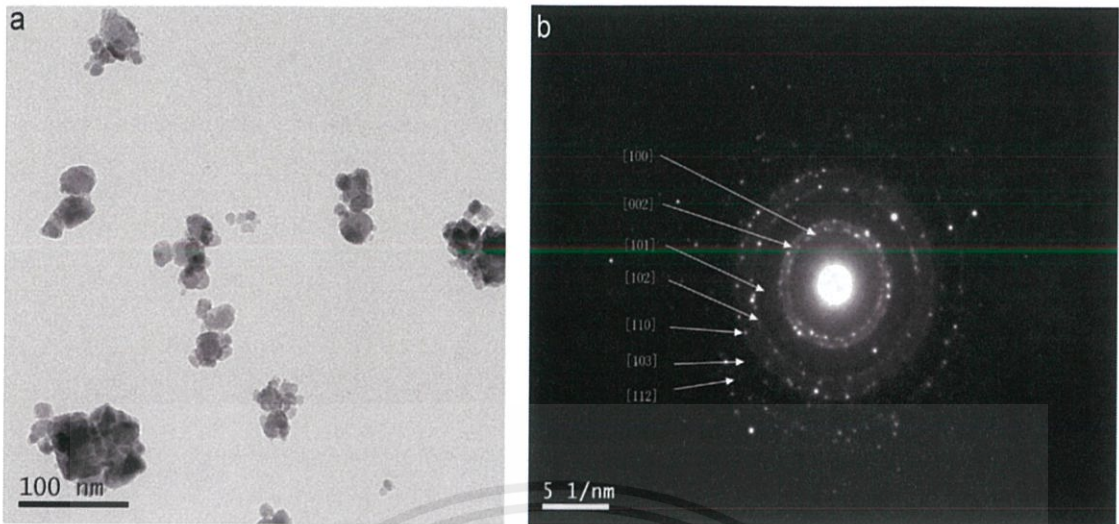
ภาพที่ 2.13 กราฟขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เทียบกับเวลาในการบด [16]

ในปี ค.ศ. 2016 D. Chen และคณะ[17] ได้ทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วย 3 กระบวนการคือ การเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ด้วยการบดเชิงกล และด้วยการบดเชิงกลพร้อมคลื่นไมโครเวฟ เป็นเวลา 50 ชั่วโมง พบว่าจากการศึกษาโครงสร้างผลึกจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่า การเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยการบดเชิงกลพร้อมคลื่นไมโครเวฟได้ ซิงค์ออกไซด์เฟสเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และได้ขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ประมาณ 15 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.15 หลังจากนั้นศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาทางแสง ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วย methyl orange ดังแสดงในภาพที่ 2.16 พบว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี

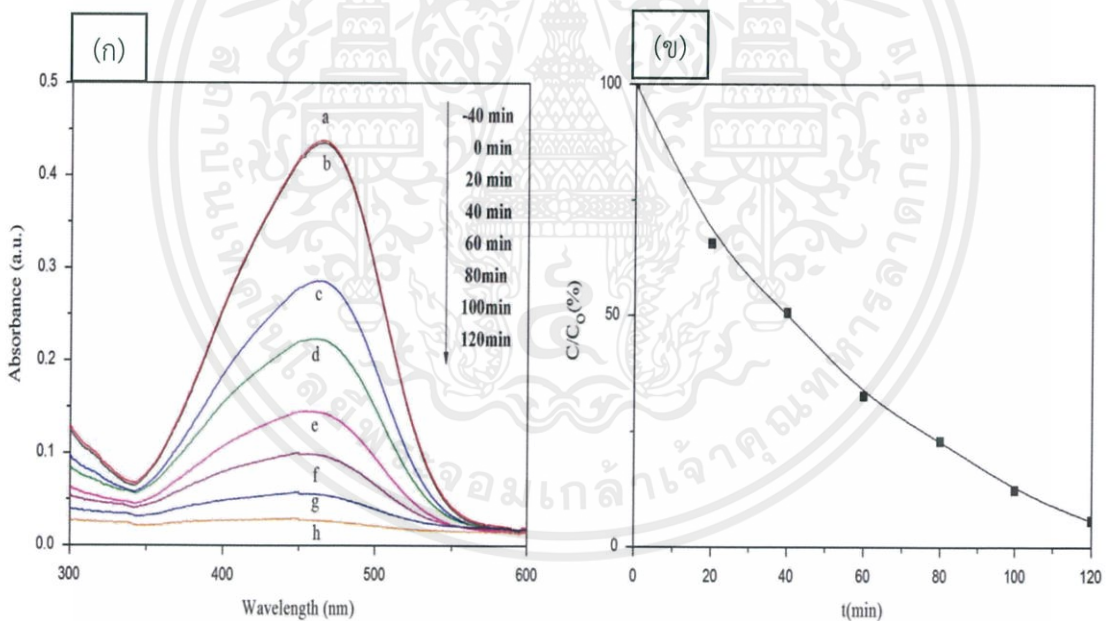


ภาพที่ 2.14 กราฟวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน โดยการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ด้วยการบดเชิงกล และด้วยการบดเชิงกลพร้อมคลื่นไมโครเวฟ ที่เวลา 50 ชั่วโมง[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



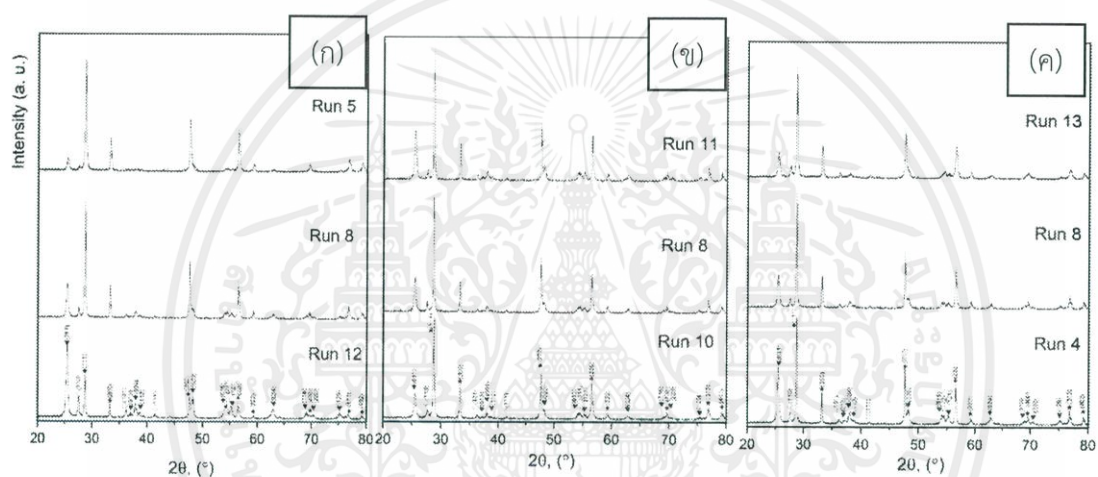
ภาพที่ 2.15 ผลวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดยการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการการบดเชิงกลพร้อมคลื่นไมโครเวฟ ที่เวลา 50 ชั่วโมง[17]



ภาพที่ 2.16 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของ UV-Visible ของสารละลาย methyl orange ภายใต้การฉายแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต และ ผลการย่อยสลายการเร่งปฏิกิริยาทางของสารละลาย methyl orange ณ เวลาต่างๆ[17]

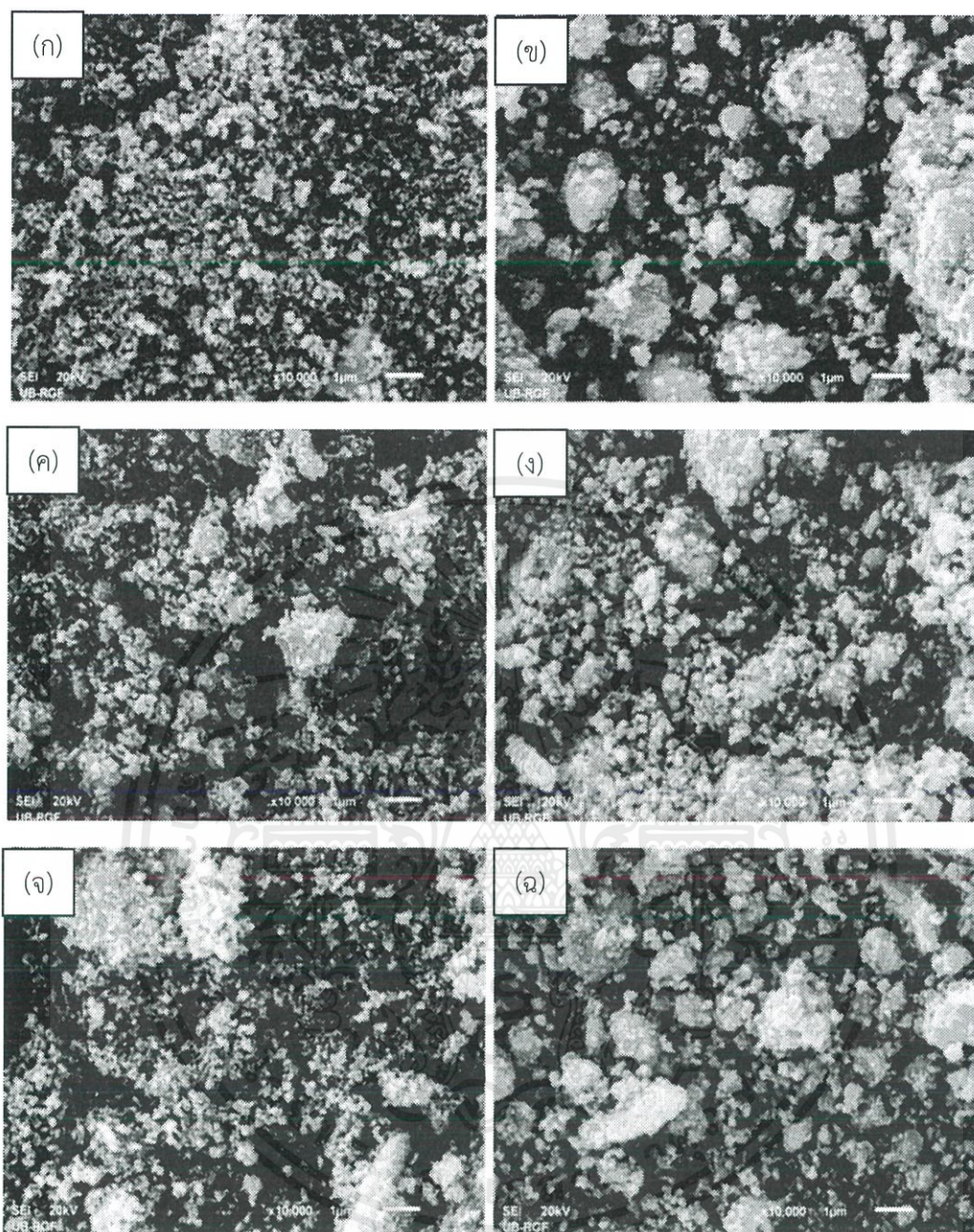
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. S. Petrovic และคณะ[18] ทำการศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโน $\text{TiO}_2\text{-CeO}_2$ ด้วยกระบวนการบดเชิงกลที่ เวลาในการบด ตั้งแต่ 15 นาที ถึง 141 นาที และความเร็วรอบ ที่ 150 ถึง 400 รอบต่อนาที และอัตราส่วนระหว่าง TiO_2 ระหว่าง (90:10 ถึง 40:60) หลังจากนั้นนำไปเผาที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วศึกษาโครงสร้างผลึก ดังแสดงในภาพที่ 2.17 ศึกษาพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ศึกษาการสมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ดังแสดงในภาพที่ 2.19 และการเร่งปฏิกิริยาทางแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.20 และ 2.21 และพบว่าและผลการตอบสนองต่อพื้นผิว ของอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือที่อัตราส่วนของ $\text{TiO}_2\text{: CeO}_2$ เท่ากับ 71:29 ความเร็วรอบของการบดเชิงกล 200 รอบต่อนาที และ X3 เวลาที่ใช้ในการบดคือ 115 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2.22



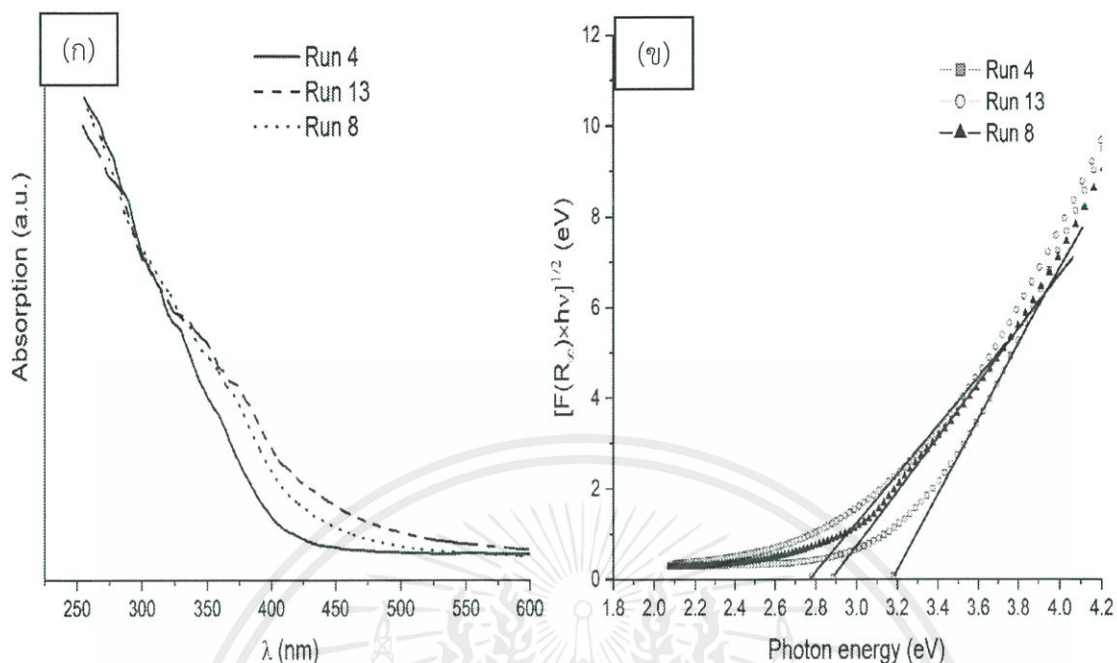
ภาพที่ 2.17 กราฟวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ X1 คือที่อัตราส่วนของ $\text{TiO}_2\text{: CeO}_2$, X2 คือความเร็วรอบของการบดเชิงกล และ X3 คือ เวลาที่ใช้ในการบด รูป (ก) Run 5 (X1 = 40:60, X2 = 275 rpm, X3 = 77,50 min), Run 8 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 77.50 min), and Run 12 (X1 = 90:10, X2 = 275 rpm, X3 = 77.50 min); รูป (ข) Run 10 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 14.43 min), Run 8 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 77.50 min), and Run 11 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 141.57 min); รูป (ค) Run 4 (X1 = 65:35, X2 = 149 rpm, X3 = 77.50 min), Run 8 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 77.50 min), and Run 13 (X1 = 65:35, X2 = 401 rpm, X3 = 77.50 min.) [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

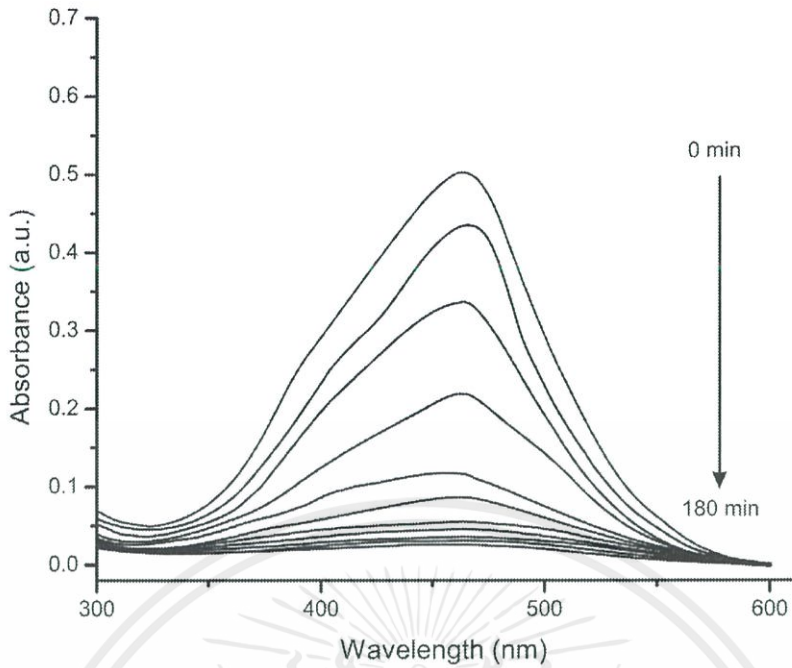


รูปที่ 2.18 ผลวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของแต่ละตัวอย่าง โดย X1 คือที่อัตราส่วนของ $\text{TiO}_2 : \text{CeO}_2$, X2 คือความเร็วรอบของการบดเชิงกล และ X3 คือ เวลาที่ใช้ในการบด ตัวอย่าง (ก) Run 4 (X1 = 65:35, X2 = 149 rpm, X3 = 77.50 min) ตัวอย่าง (ข) Run 13 (X1 = 65:35, X2 = 401 rpm, X3 = 77.50 min), ตัวอย่าง (ค) Run 12 (X1 = 90:10, X2 = 275 rpm, X3 = 77.50 min), ตัวอย่าง (ง) Run 5 (X1 = 40:60, X2 = 275 rpm, X3 = 77,50 min), ตัวอย่าง (จ) Run 10 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 14.43 min) และตัวอย่าง(ฉ) Run 11 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 =141.57 min).[18]

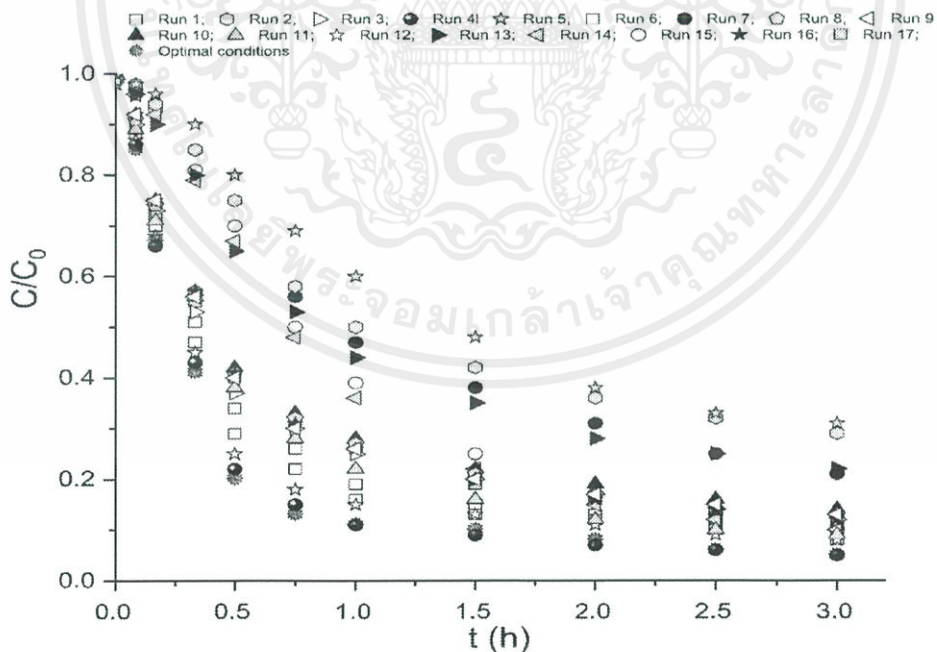
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.19 (ก) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง โดย X1 คือที่อัตราส่วนของ TiO₂: CeO₂ , X2 คือความเร็วรอบของการบดเชิงกล และ X3 คือ เวลาที่ใช้ในการบด Run 4 (X1 = 65:35, X2 = 149 rpm, X3 = 77.50 min), Run 8 (X1 = 65:35, X2 = 275 rpm, X3 = 77.50 min), and Run 13 (X1 = 65:35, X2 = 401 rpm, X3 = 77.50 min) และภาพ (ข) แสดงการพลอตค่าแถบพลังงาน (อิเล็กทรอนิกส์โวลต์) ที่คำนวณด้วยวิธี Kulbeka-Munk[18]

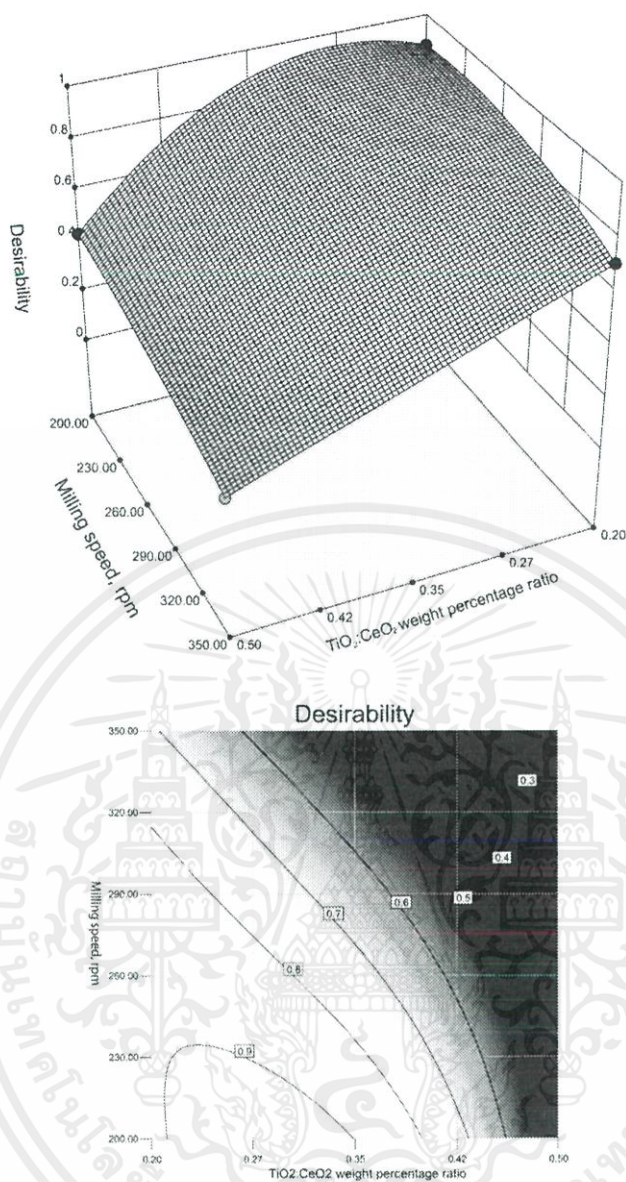


ภาพที่ 2.20 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของ UV-Visible ของสารละลาย methyl orange ภายใต้การฉายแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต และ ผลการย่อยสลายการเร่งปฏิกิริยาทางของสารละลาย methyl orange ณ เวลาต่างๆ[18]



ภาพที่ 2.21 ผลการย่อยสลายการเร่งปฏิกิริยาทางของสารละลาย methyl orange โดยการใช้ TiO_2 : CeO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ณ เวลาต่างๆ[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.22 แสดงพื้นผิวการตอบสนอง 3 มิติและแผนผังเส้นโค้งของเงื่อนไขที่เหมาะสมของอัตราส่วนของ $\text{TiO}_2:\text{CeO}_2$ ความเร็วรอบของการบดเชิงกล และเวลาที่ใช้ในการบด[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในปัจจุบันกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโน สามารถเตรียมได้หลากหลายวิธี งานวิจัยนี้ได้เลือกการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการบดเชิงกล ซึ่งเป็นการบดย่อยด้วยลูกบด เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่ประดิษฐ์ขึ้นได้ง่าย มีวิธีการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ราคาประหยัด สามารถควบคุมให้ได้วัตถุดิบในขนาดที่เราต้องการ โดยกำหนดเงื่อนไขในการบดคือ ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนบด เวลาที่ใช้ในการหมุนบด จากนั้นทำการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุเชิงพลังงาน วิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคด้วยเทคนิคทางแสง จากนั้นนำสารที่สังเคราะห์ได้มาทำการผสมเพื่อขึ้นรูปที่ปริมาณต่างๆ ด้วยปริมาณต่างๆ จากนั้นนำไปติดตั้งที่อุปกรณ์ที่ทำขึ้น เพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์สมบัติการนำแสงด้วยเครื่องวัดความสว่างของแสง เพื่อวัดประสิทธิภาพของแผ่นนำแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เอทานอล (Ethanol, C_2H_5OH)
2. เม็ดดูดความชื้น (Silica gel)
3. อีพ็อกซี เรซินชนิดใส

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก้วบีกเกอร์
2. เครื่องชั่งสาร
3. เตาอบสาร
4. ครกบดสาร
5. เครื่องบดด้วยลูกบด (Ball mill)
6. แท่งคนสาร
7. อุปกรณ์จุดไฟอเนกประสงค์
8. แผ่นฟิล์มไมลา
9. กล้องอะคริลิก
10. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC supply)
11. ไฟสีชนิดเส้น (LED stripe)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- | | | |
|---------------------|------------------------|------------------------------|
| (ก) เอทานอล | (ข) ทรายซิลิกา | (ค) เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง |
| (ง) เม็ดดูดความชื้น | (จ) เครื่องบดด้วยลูกบด | (ช) ไฟสีชนิดเส้น |
| (ค) อีพ็อกซี เรซิน | (ฉ) เครื่องซั่งสาร | (ฌ) อุปกรณ์จุดไฟอเนกประสงค์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมอนุภาคระดับนาโนจากเม็ดดูดความชื้น

ทำการเตรียมอนุภาคระดับนาโนจากเม็ดดูดความชื้น เพื่อนำไปเป็นสารตั้งต้นโดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. ทำการเตรียมเม็ดดูดความชื้นโดยการอบแห้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน
2. ทำการบดเม็ดดูดความชื้นให้แตกละเอียดด้วยครกบดสาร
3. ทำการอบแห้งอีกครั้งเป็นเวลา 1 คืน
4. ทำการชั่งเม็ดดูดความชื้นที่แตกละเอียดในอัตราส่วนสาร: ลูกบด 1:20 ชั่งเม็ดดูดความชื้นที่แตกละเอียด 4 g ต่อลูกบด 80 g
5. ทำการตั้งค่าความเร็วในการบด ที่ความเร็วรอบ 500 rpm แล้วทำการบดที่เงื่อนไขเวลาในการหมุนบดที่ 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที

3.3.2 การขึ้นรูปแผ่นนำแสง

ทำการเตรียมแม่แบบ และทำการขึ้นรูปแผ่นนำแสงให้มีความโปร่งใส โดยการผสมผงซิลิกาเจลที่เตรียมด้วยการบดที่เวลาต่างกันแล้วลงไป

1. ทำการกำหนดขนาดแม่แบบที่เราต้องการ แล้วทำการวัดขนาดแม่แบบลงบนแผ่นฟิล์มไมลา ทำการ ตัดตามรอย แล้วประกอบเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยม
2. ทำการชั่งอีพ็อกซี เรซินแบบไฮชนิด A และ อีพ็อกซี เรซินแบบไฮชนิด B ในอัตราส่วน 50:50 โดยการชั่งน้ำหนัก
3. ทำการผสมอีพ็อกซี เรซินแบบไฮชนิด A กับ ผงซิลิกาที่เราสังเคราะห์ได้ ที่ความเร็วรอบ 500 rpm เวลาในการหมุนบด 60 นาที ในปริมาณร้อยละ 1เปอร์เซ็นต์ 0.5เปอร์เซ็นต์ 0.1เปอร์เซ็นต์ 0.05เปอร์เซ็นต์ และ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
4. ทำการคนโดยใช้แท่งคนสารคนให้เข้ากัน
5. ทำการเทอีพ็อกซี เรซินแบบไฮชนิด B ลงไปผสม
6. ทำการคนโดยใช้แท่งคนสารคนให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ใช้อุปกรณ์จุดไฟอเนกประสงค์ ในการรณบริเวณผิวหน้าของอีพ็อกซี เรซินที่เราผสมเรียบร้อยแล้ว เพื่อทำการไล่ฟองอากาศออก
8. ทำการเทอีพ็อกซี เรซินที่ผสมเรียบร้อยแล้วลงในแม่แบบฟิล์มไม่ล้าอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศขึ้น ทิ้งไว้ให้เซ็ดตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9. เมื่อครบตามเวลาแล้ว ทำการแกะแผ่นนำแสงออกจากแม่แบบฟิล์มไม่ล้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอนุภาค

3.4.1 การวิเคราะห์จำแนกประเภทและพันธะเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform

Infrared ; (FT-IR)

ในการตรวจสอบด้วยเทคนิคนี้ จะนำอนุภาคซิลิกาไปผ่านกระบวนการตรวจสอบโดยเครื่องวิเคราะห์สามารถตรวจวัด หลักการ Fourier Transform Infrared (FT-IR) โดยเป็นเทคนิคที่ใช้จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และพันธะเคมีในโมเลกุลรวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิดโดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่การสั่นความถี่ต่างๆกัน ซึ่งมีความจำเพาะของแต่ละพันธะ การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลาเมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับค่าความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล และทำให้การดูดกลืนรังสีจำนวนแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่ได้จะมีค่าไม่เท่ากับการสั่นมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลงเพราะมีบางแถบพลังงานที่ไม่มีการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรด เช่น ตัวอย่างที่เป็นผงหรือชิ้นงานที่เป็นของแข็ง เทคนิคนี้สามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิดได้ เช่น สามารถบอกได้ว่ามีการสั่นของพันธะของธาตุใดและสามารถนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิงของธาตุในโปรแกรมได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการตรวจสอบว่าในผงซิลิกา มีองค์ประกอบของธาตุใด

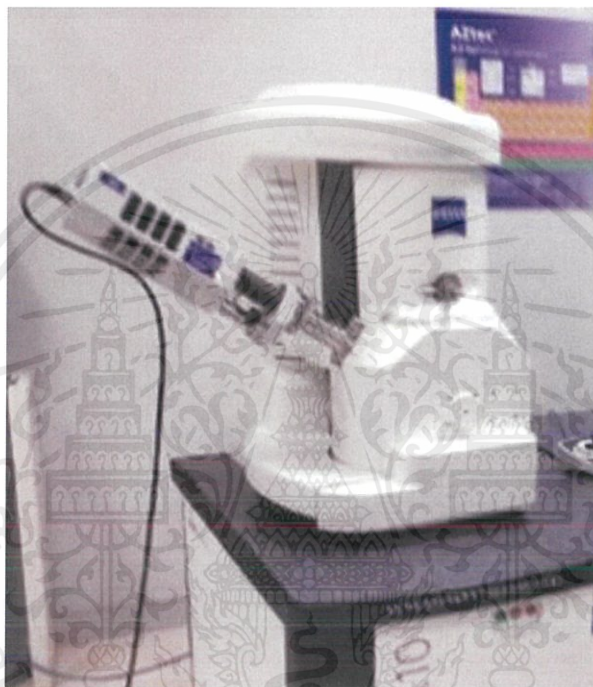


ภาพที่ 3.3 เครื่อง Fourier Transform Infrared(FT-IR) รุ่น UATR Two จากบริษัท Perkin Elmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวของตัวอย่าง โดยการนำสารตัวอย่างผงซิลิกาเจลปริมาณเล็กน้อยใส่ลงในสารละลายเอทานอลสั่นให้อนุภาคของแข็งกระจายตัวด้วยเครื่องอัลตราโซนิก แล้วทำการหยดลงบนสตั๊ป หรือที่รองรับสารตัวอย่าง จากนั้นนำสตั๊ปของสารตัวอย่างไปทำการอบเพื่อไล่ความชื้น แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



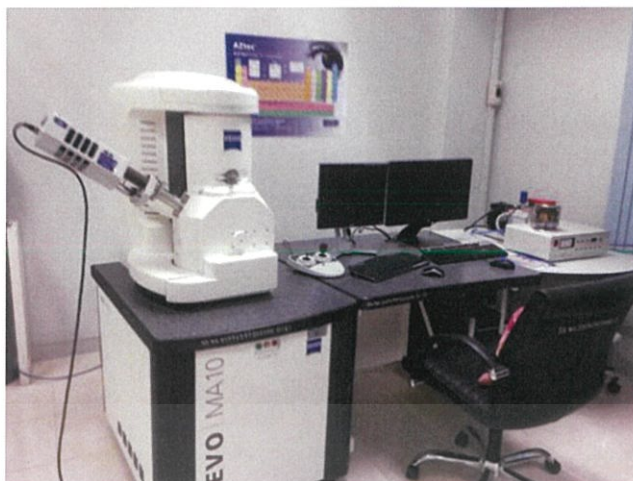
ภาพที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6335F จากบริษัท JOEL

3.4.3 ตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ด้วยเครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและคุณภาพ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy ; EDX)

นำผงซิลิกาเจลที่เตรียมได้ ไปทำการตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและคุณภาพ (EDX) เพื่อนำข้อมูลที่ได้อธิบายปริมาณธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในผงซิลิกาเจลและใช้อธิบายปริมาณธาตุต่างๆ ว่ามีอยู่มากน้อยเพียงใดและมีซิลิกาประกอบอยู่หรือไม่ ซึ่งเครื่องนี้สามารถตรวจสอบตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและผง หลักการทำงานของเทคนิคนี้คือ ให้รังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดเข้าไปชนกับอนุภาคซิลิกาเจล รังสีเอกซ์จะทำให้อิเล็กตรอนในวงในสุดของอะตอมของธาตุหลุดออก ส่งผลให้อิเล็กตรอนวงถัดมาจะเข้ามาแทนที่ซึ่งจะมีค่าพลังงานที่เป็นค่าจำเพาะของธาตุนั้นซึ่งเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและความเข้มข้น ของรังสีเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการ

วิเคราะห์เชิงปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 เครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) รุ่น JSM-6335F

จากบริษัท JOEL

3.4.4 การวัดขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง Particle Analyzer

การตรวจสอบขนาดของอนุภาค เริ่มจากทำการผสมอนุภาคที่ต้องการวัดขนาด กับน้ำปอดประจุเพื่อให้อนุภาคเกิดการแขวนลอยอยู่ในน้ำปอดประจุ จากนั้นหยดสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เพื่อชะลอการตกตะกอนของอนุภาค จากนั้นนำสาร ผสมใส่ประมาณ 3 ส่วน 4 ของคิวเวต แล้วนำคิวเวตใส่ลงในเครื่องเพื่อเตรียมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Analyzer รุ่น Delsa Nano C Particle Analyzer จากบริษัท Beckman Coulter และทำการวัดในโหมดการทำงาน sizing และตั้งค่า parameters ต่างๆตามที่ต้องการ โดยแต่ละตัวอย่างจะวัดทั้งหมด 3 ครั้งแล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



ภาพที่ 3.6 เครื่อง Particle Analyzer รุ่น Delsa Nano C Particle Analyzer จากบริษัท

Beckman Coulte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงในย่านการมองเห็น (UV-Visible spectrometer)

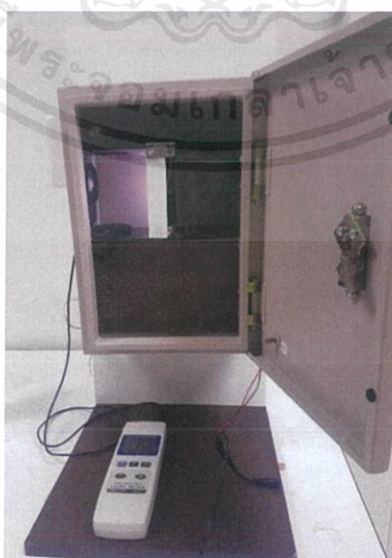
การตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้จะให้ข้อมูลของการดูดกลืนแสงของวัสดุ ให้ค่าความกว้างของแถบพลังงานต้องห้ามเชิงแสง ซึ่งสามารถตีความถึงความบริสุทธิ์ของสารที่เป็นองค์ประกอบของผลึกโฟโตนิกส์ ทั้งยังสามารถคำนวณความหนาของฟิล์มบางได้ด้วยในทางอ้อม



ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงในย่านการมองเห็นเครื่องวัดสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตและในย่านการมองเห็น รุ่น LAMBDA 1050 UV-Vis Spectrophotometer จากบริษัท PerkinElmer

3.4.6 การวัดระดับความสว่างของแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter)

การวัดระดับความสว่างของแผ่นนำแสงโปร่งใสเริ่มจากการให้แสงที่บริเวณด้านข้างของแผ่นนำแสงโปร่งใสทั้ง 4 ด้าน แล้วรับค่าความสว่างจากทางด้านหน้าของแผ่นนำแสงโปร่งใส ทำการวัดค่าทั้ง 2 ครั้งบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นนำแสงโปร่งใส แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter) รุ่น Light meter LX-71 จากบริษัท DIGICON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์ผลของเวลาในการหมუნบดของซิลิกาเจลที่เวลาในการหมუნบดต่างๆ

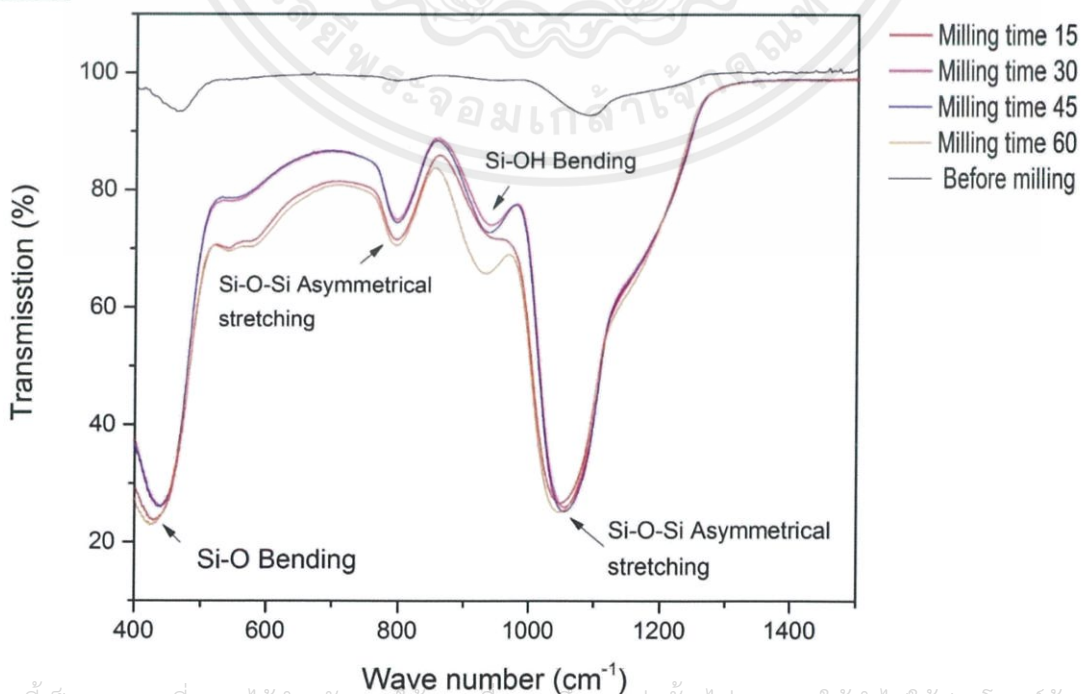
4.1.1 การวิเคราะห์จำแนกประเภทและพันธะเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform

Infrared ; (FT-IR)

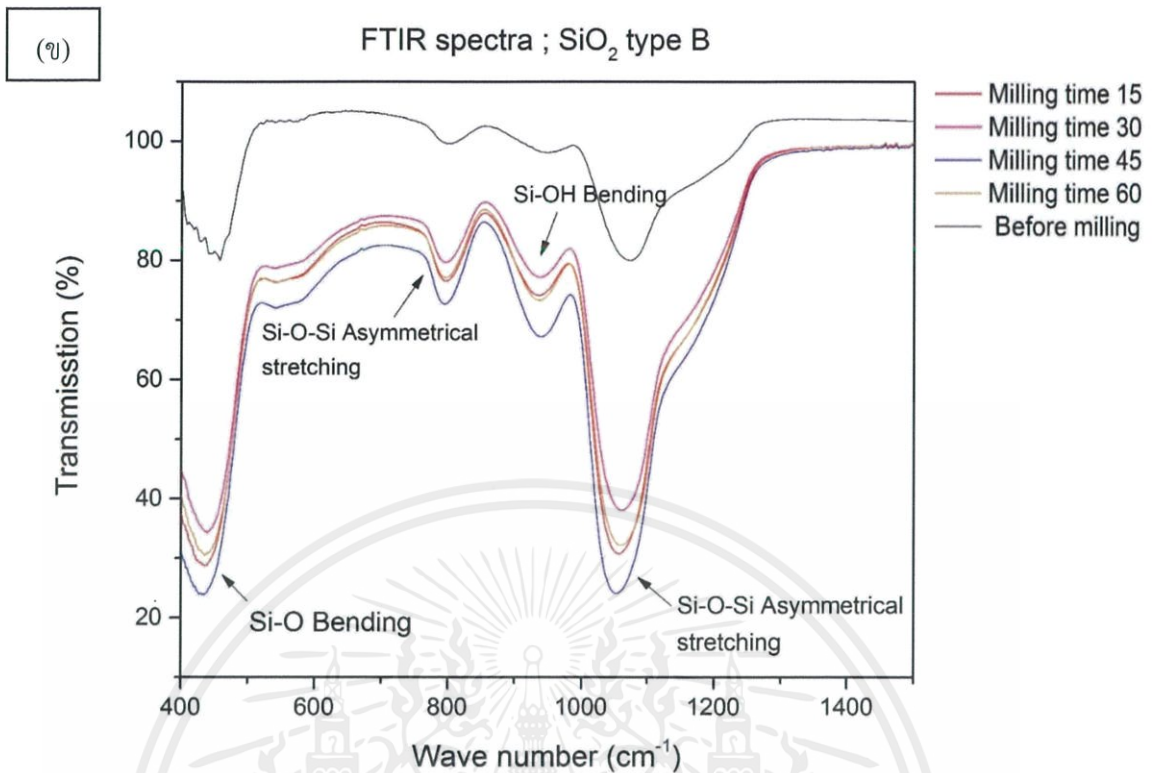
ทำการตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุและสารประกอบด้วยเทคนิค FT-IR โดยเทคนิคที่ใช้จำแนกสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ พันธะเคมีในโมเลกุล จึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมที่ไม่ทราบชนิดได้ โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสารตัวอย่างที่การสั่นความถี่ต่างๆ ซึ่งมีความจำเพาะของแต่ละพันธะ ซึ่งภาพที่ 4.1(ก) กราฟแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของสัญญาณ 4 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 คือช่วง $400-500\text{ cm}^{-1}$ ตำแหน่งที่ 2 คือช่วง $750-850\text{ cm}^{-1}$ ตำแหน่งที่ 3 คือช่วง $900-1000\text{ cm}^{-1}$ ตำแหน่งที่ 4 คือช่วง $1000-1100\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งพบว่าเป็นการสั่นในช่วงความถี่ของพันธะ Si-O Bending, Si-O-Si Asymmetrical stretching, Si-OH Bending, และ Si-O-Si Asymmetrical ตามลำดับ ซึ่งพันธะที่แสดงมีความใกล้เคียงกันกับการตรวจสอบผงซิลิกาเจลชนิด A (Laboratory Grade) และชนิด B (Food Grade) จึงสามารถบอกได้ว่าสารตัวอย่างเป็นสารที่มีซิลิกอนไดออกไซด์ประกอบอยู่จริงแต่อาจต่างกันที่ความบริสุทธิ์ของสาร

(ก)

FTIR spectra ; SiO₂ type A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



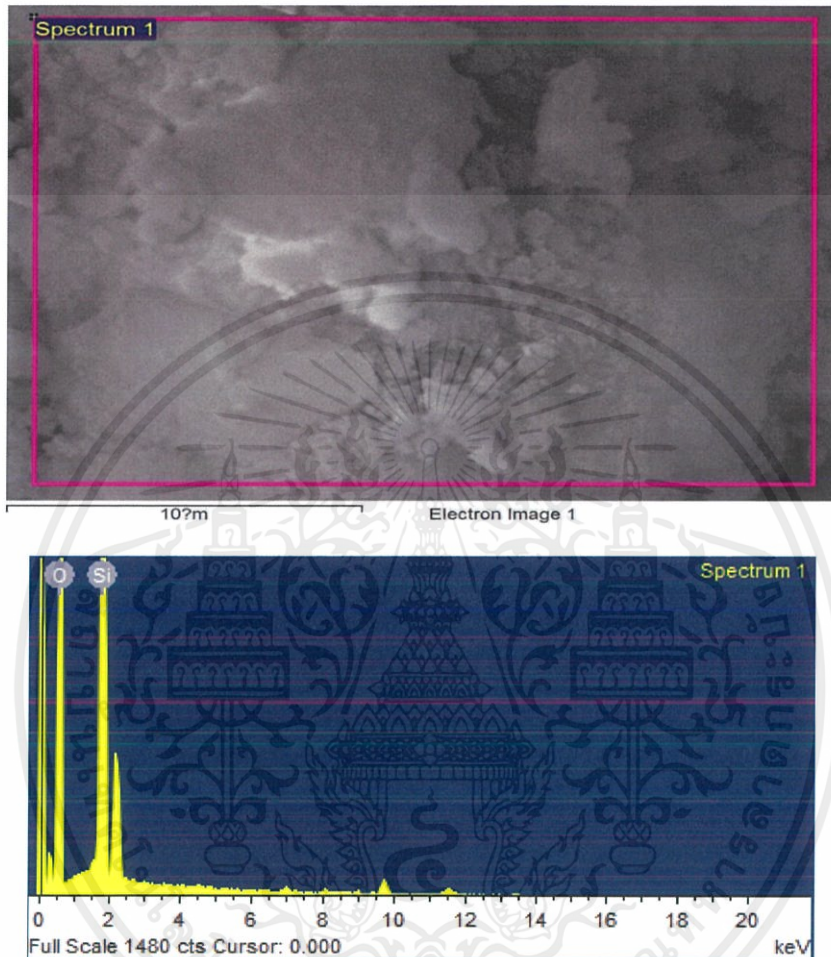
ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดัดกลืนและการสั่นของพันธะของอนุภาคซิลิกาเจลที่เวลาในการหมუნบด 0, 15, 30, 45 และ 60 นาที (ก) ชนิด A ที่เวลาในการหมუნบด 0, 15, 30, 45 และ 60 นาที (ข) ชนิด B ที่เวลาในการหมუნบด 0, 15, 30, 45 และ 60 นาที

4.1.2 การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ด้วยเครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและคุณภาพ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy ; EDX)

ทำการตรวจสอบปริมาณธาตุของผงซิลิกาเจล พบว่ามีธาตุอยู่ 2 ชนิดและได้แสดงปริมาณของธาตุแสดงดังภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ธาตุออกซิเจน เท่ากับ 57.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้แล้วยังพบว่าธาตุที่มีปริมาณรองลงมาคือธาตุซิลิกอน เท่ากับ 42.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ธาตุออกซิเจน เท่ากับ 55.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้แล้วยังพบว่าธาตุที่มีปริมาณรองลงมาคือธาตุซิลิกอน เท่ากับ 44.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ธาตุออกซิเจน เท่ากับ 54.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้แล้วยังพบว่าธาตุที่มีปริมาณรองลงมาคือธาตุซิลิกอน เท่ากับ 45.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ธาตุออกซิเจน เท่ากับ 53.58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้แล้วยังพบว่าธาตุที่มีปริมาณรองลงมาคือธาตุซิลิกอน เท่ากับ 46.42 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยน้ำหนัก จึงสามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคซิลิกาเจลที่ได้มีปริมาณซิลิกา (Si) และออกซิเจน (O) เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่จริงและมีอยู่ในปริมาณมากโดยหลังการบดด้วยเวลาที่แตกต่างกันยังคงทำให้ปริมาณของธาตุหลักไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

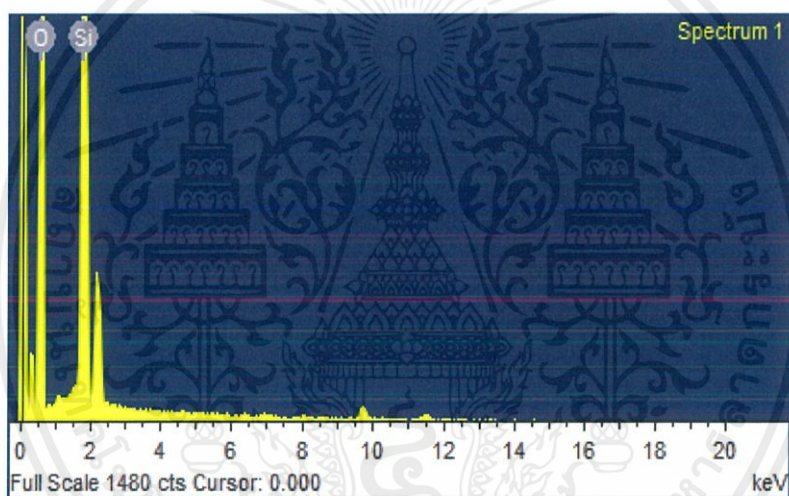
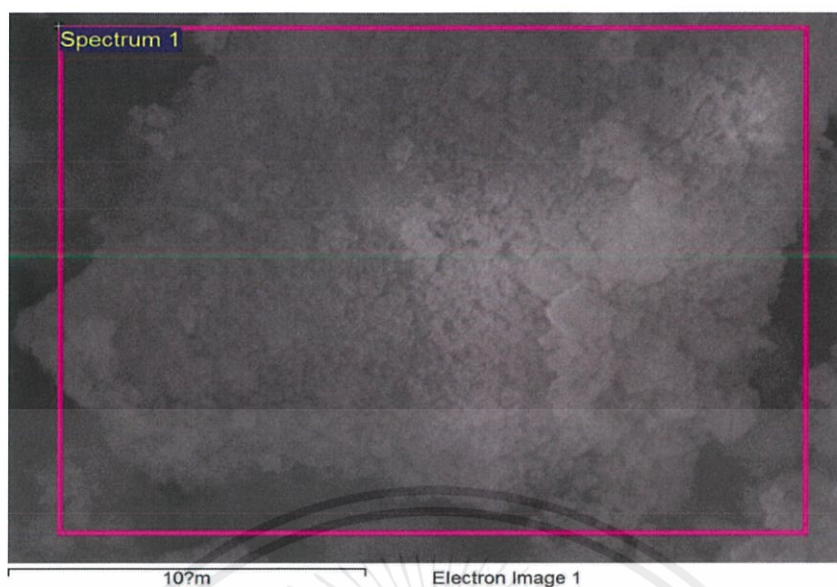


ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมุนบดที่ความเร็วในการหมุนบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที

ตารางที่ 4.1 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมุนบดเป็นเวลา 15 นาที

Element	Weight%	Atomic%
O	57.17	70.09
Si	42.83	29.91
Totals	100.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

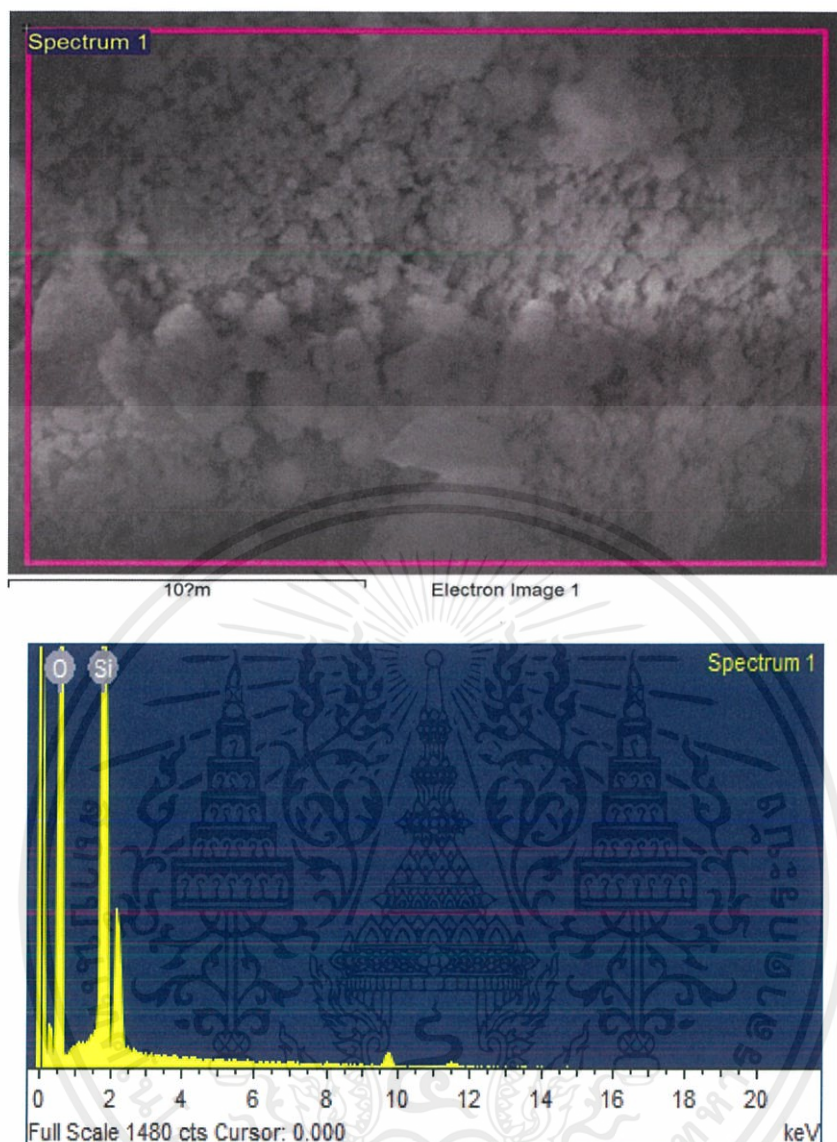


ภาพที่ 4.3 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมุนบดที่ความเร็วในการหมุนบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.2 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมุนบดเป็นเวลา 30 นาที

Element	Weight%	Atomic%
O	55.06	68.26
Si	44.94	31.74
Totals	100.00	

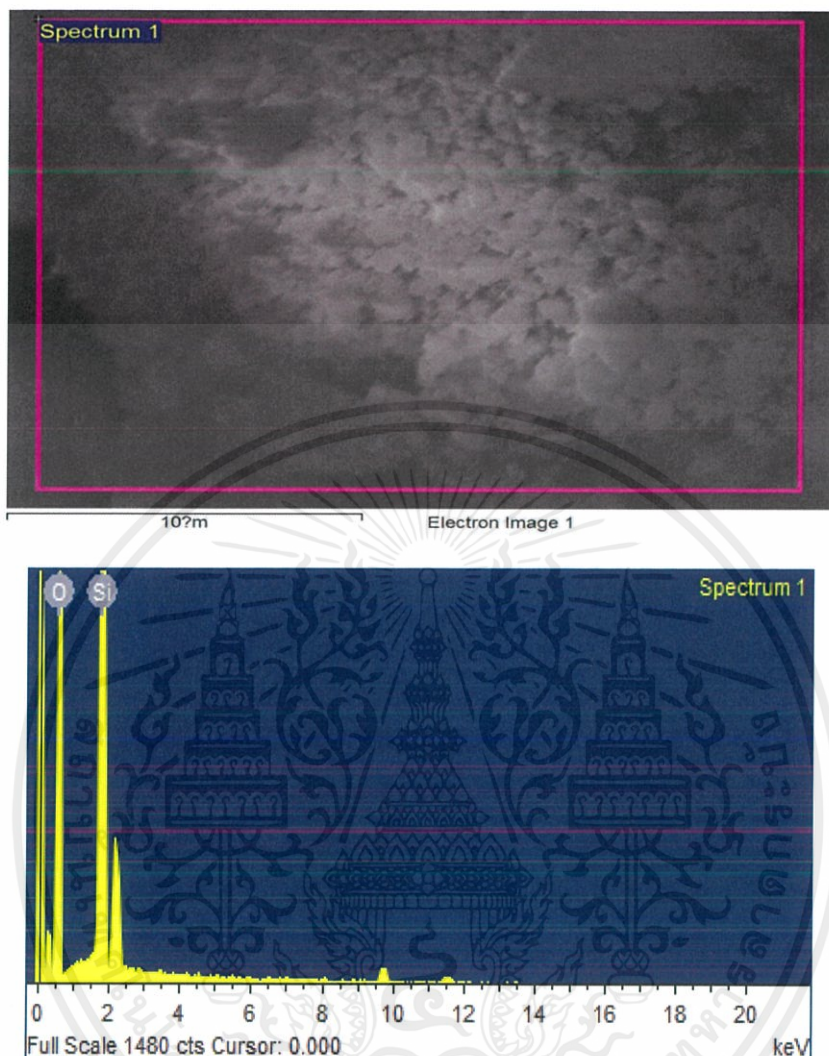
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมวนบดที่ความเร็วในการหมวนบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 45 นาที
ตารางที่ 4.3 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมวนบดเป็นเวลา 45 นาที

Element	Weight%	Atomic%
O	54.83	68.06
Si	45.17	31.94
Totals	100.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 ปริมาณสารเจือจากเครื่องการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมุนบดที่ความเร็วในการหมุนบด 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 60 นาที

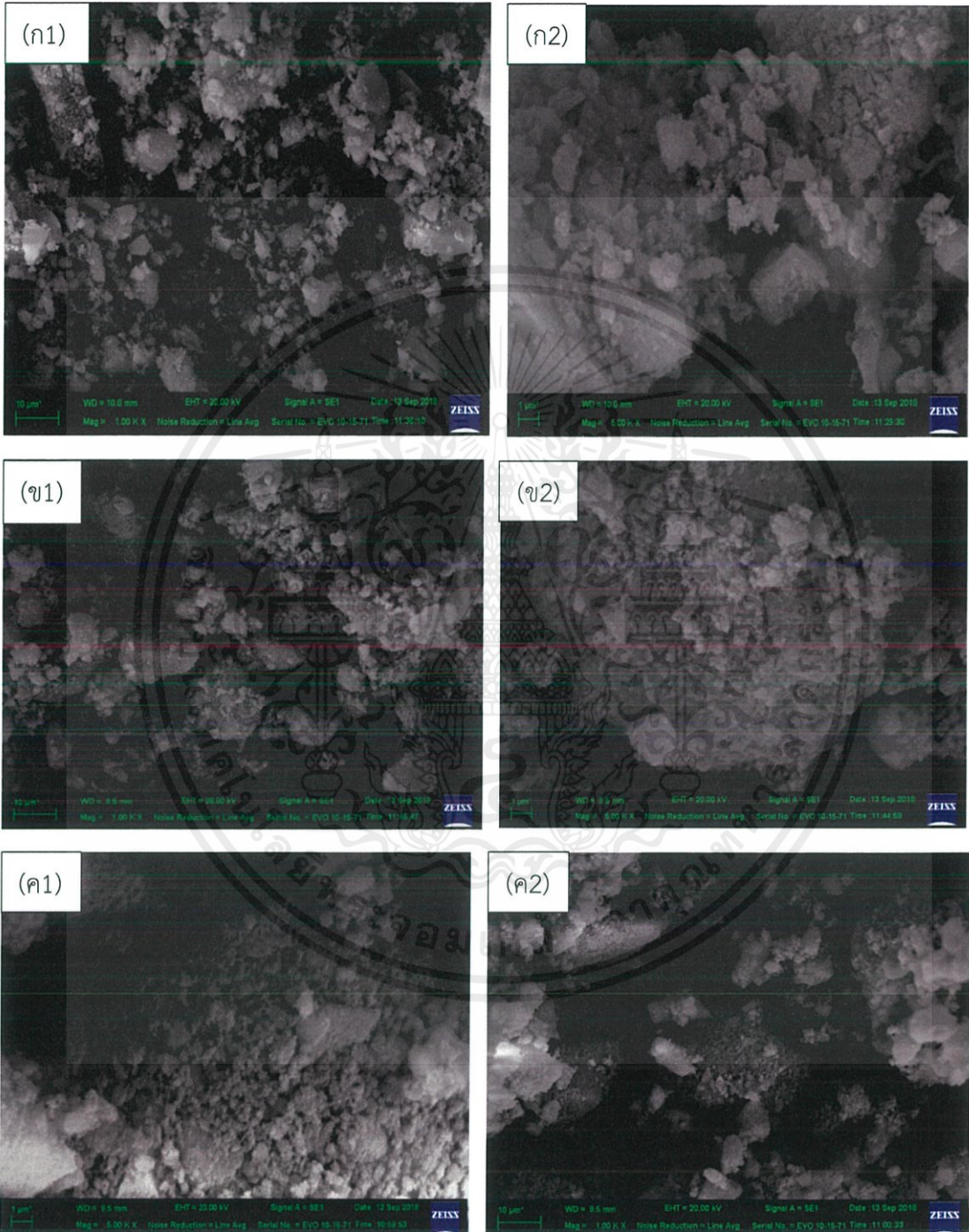
ตารางที่ 4.4 แสดงธาตุที่เป็นสารประกอบของอนุภาคซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการหมุนบดเป็นเวลา 60 นาที

Element	Weight%	Atomic%
O	53.58	66.95
Si	46.42	33.05
Totals	100.00	

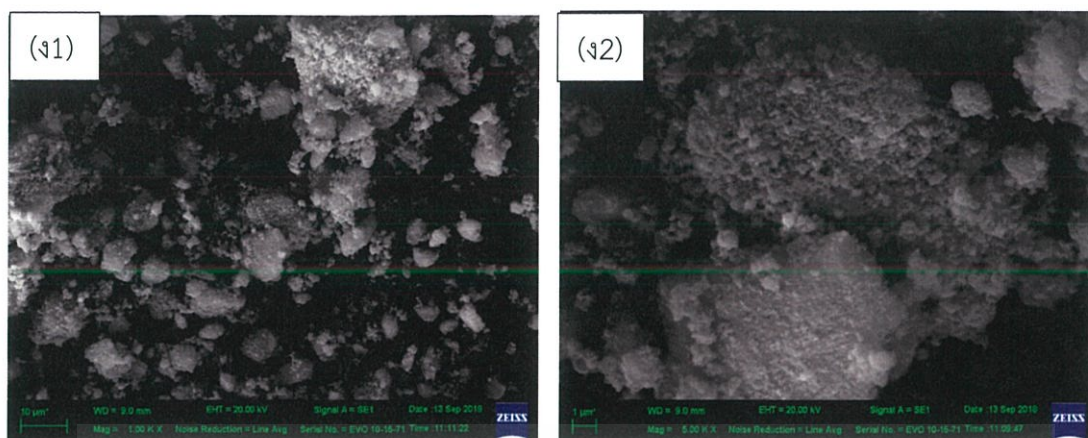
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ผลของเวลาในการหมუნบดของซิลิกาเจลดต่อขนาดของอนุภาคซิลิกา

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของอนุภาคซิลิกา

(ก) ทำการหมუნบดที่เวลา 15 นาที (ก1) กำลังขยาย 1000 เท่า (ก2) กำลังขยาย 5000เท่า

(ข) ทำการหมუნบดที่เวลา 30 นาที (ข1) กำลังขยาย 1000 เท่า (ข2) กำลังขยาย 5000เท่า

(ค) ทำการหมუნบดที่เวลา 45 นาที (ค1) กำลังขยาย 1000 เท่า (ค2) กำลังขยาย 5000เท่า

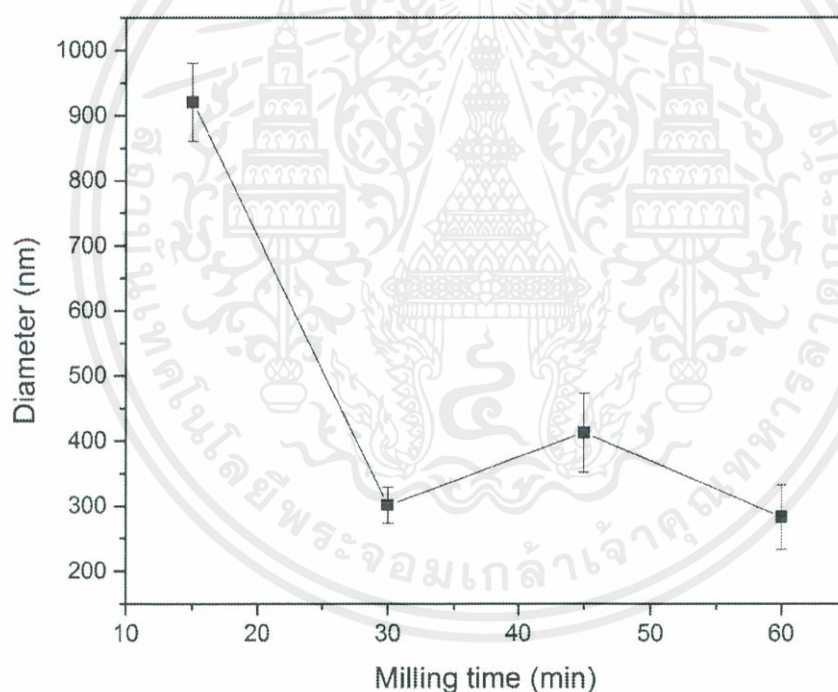
(ง) ทำการหมუნบดที่เวลา 60 นาที (ง1) กำลังขยาย 1000 เท่า (ง2) กำลังขยาย 5000เท่า

จากภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ที่เวลาในการหมუნบดต่างกันที่ 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที ดังรูป (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนซิลิกาเจลที่ทำการหมუნบดที่เวลา 15 นาที มีขนาดของอนุภาคที่มีการกระจายตัวกันมาก มีทั้งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ประมาณ 10 ไมครอน และอนุภาคที่มีขนาดประมาณ 5 ไมครอน และอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน และอนุภาคที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรปะปนกันอยู่ โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กมีการเกาะรวมกันอยู่บนอนุภาคนาโนขนาดใหญ่ เมื่อทำการเพิ่มกำลังขยายขึ้นพบว่า อนุภาคที่มีขนาดเล็กมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และมีการเกาะกลุ่มกันอย่างหนาแน่นบนอนุภาคนาโนขนาดใหญ่ แต่เมื่อใช้เวลาในการหมუნบดที่เวลา 30 นาที พบว่าอนุภาคมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรเป็นจำนวนมากอนุภาคมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แต่ยังคงมีการเกาะกลุ่มรวมตัวกันของอนุภาคนาโนขนาดเล็กบนอนุภาคนาโนขนาดใหญ่ เมื่อทำการเพิ่มเวลาในการหมუნบดขึ้นเป็น 45 นาที พบว่าอนุภาคเล็กๆ เกิดการเกาะและรวมตัวกันอยู่บนอนุภาคนาโนขนาดใหญ่ และมีการรวมตัวกันบนอนุภาคที่มีขนาดประมาณ 10 ไมครอนเป็นจำนวนมาก เมื่อทำการเพิ่มเวลาในการหมუნบดขึ้นเป็น 60 นาที พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในระดับนาโนมีการกระจายตัวกันที่ดีขึ้นและมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคลดลง พบว่าอนุภาคนาโนยังคงมีการรวมกลุ่มและเกาะกลุ่มกันบนอนุภาคที่เล็กกว่า 10 ไมครอน แต่จะไม่พบอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดของขนาดอนุภาค

จากการวัดขนาดของอนุภาคซิลิกาเจลที่ความเร็วรอบในการหมุนบด 500 รอบต่อนาที ที่เวลาแตกต่างกันที่ 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที แสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่าขนาดของอนุภาคซิลิกาที่ผ่านกระบวนการบดที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 968.67, 293.57, 469.467 และ 383.93 นาโนเมตรตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านกระบวนการบดที่เวลาในการบดต่างกันจะทำให้ได้ขนาดของอนุภาคซิลิกาเจลที่ต่างกัน โดยเวลาในการบดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อแนวโน้มของขนาดที่ลดลง แต่ที่เวลาในการหมุนบด 45 นาทีพบว่าขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าที่เวลาในการหมุนบด 30 นาที ที่เวลาในการหมุนบดที่ทำให้ได้ขนาดอนุภาคซิลิกาเจลมีขนาดเล็กที่สุดคือ ที่เวลา 60 นาที ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 383.93 นาโนเมตร พบว่าถึงแม้ที่เวลาในการหมุนบดที่ 60 นาทีจะให้ขนาดที่เล็กที่สุด แต่การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่น้อยสุด(ได้ขนาดใกล้เคียงกันที่สุด)คือการใช้เวลาในการหมุนบดที่ 45 นาที



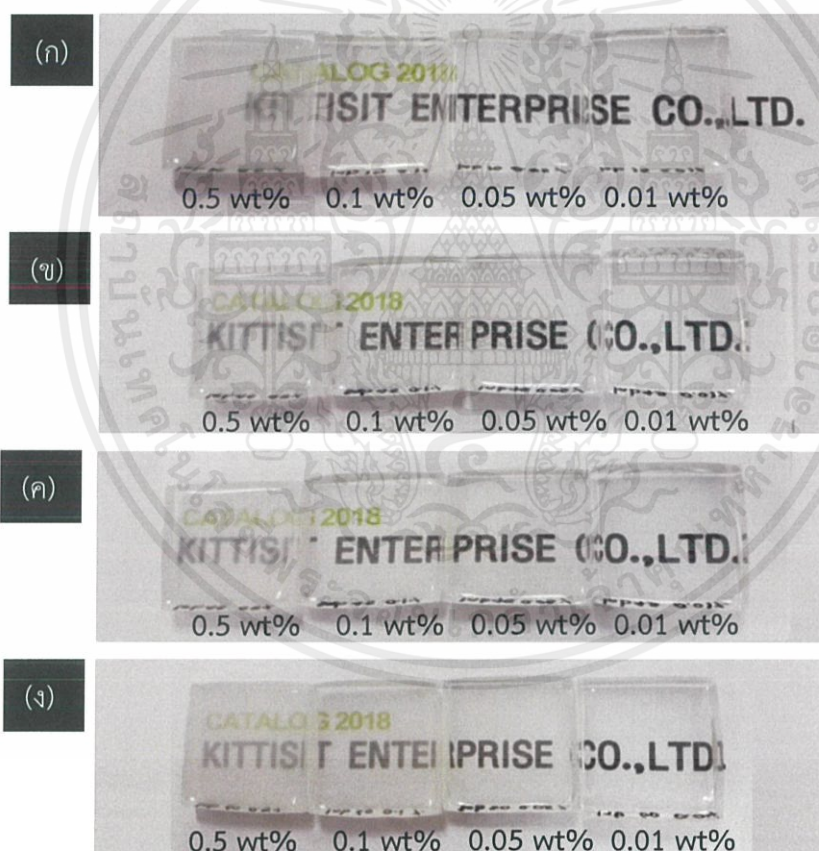
ภาพที่ 4.7 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคซิลิกาเจลหลังการบดที่เวลาในการบดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของเวลาในการหมუნบดและปริมาณของอนุภาคซิลิกาต่อค่าการส่องสว่างของแผ่นนำแสงที่มีการฝังตัวของอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการบด

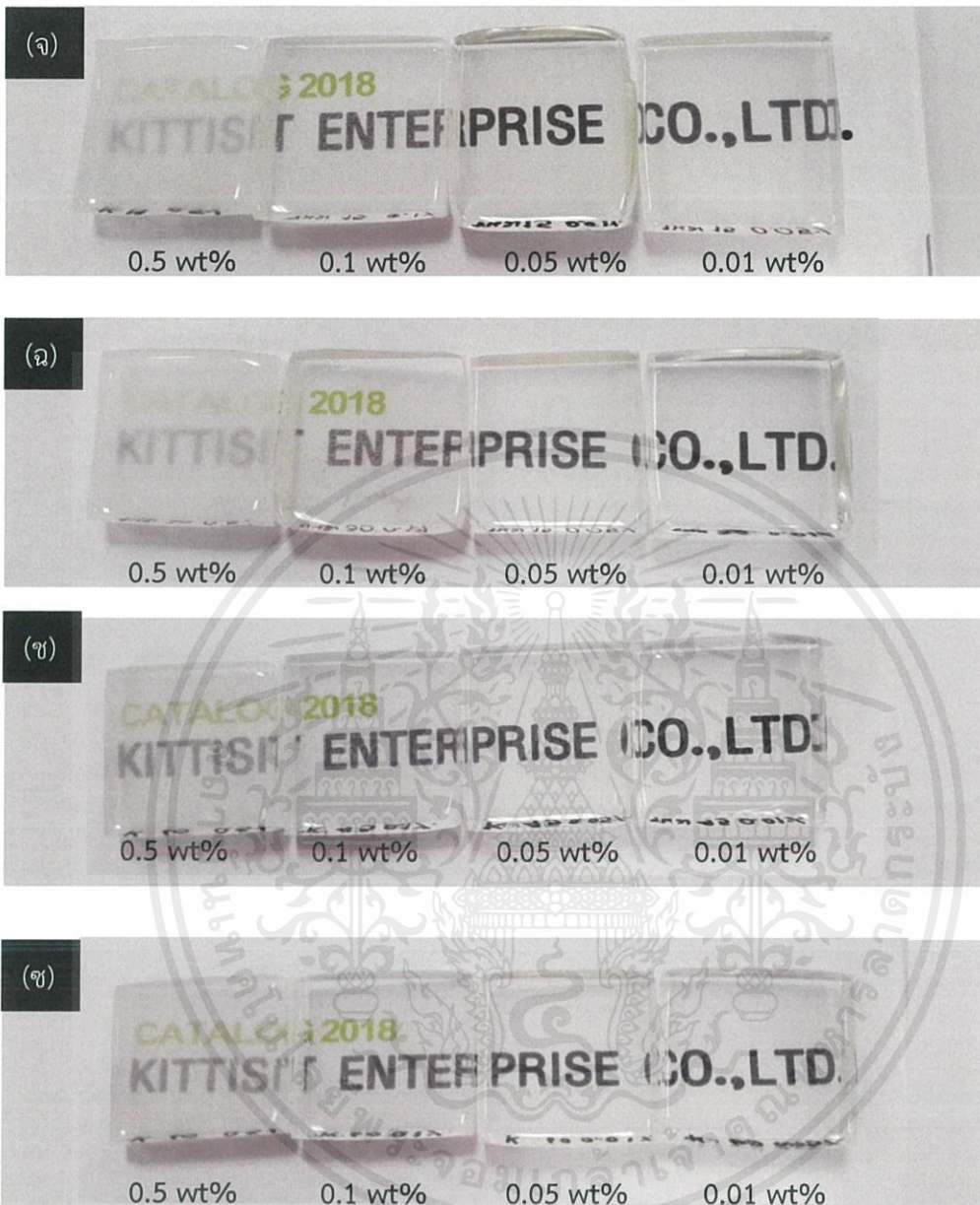
4.3.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพ

โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นรูปแผ่นนำแสงโปร่งใสกับผงซิลิกา โดยจะเตรียมอ็อกซีเรซินกับผงซิลิกาในอัตราส่วนดังนี้ คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแผ่นนำแสงโปร่งใสที่ได้จะแสดงดังภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 จะเห็นว่าที่อัตราส่วนของผงแก้วที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะโปร่งแสงและมีลักษณะใสมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นนำแสงโปร่งใสที่มีปริมาณอัตราส่วนในการใส่ผงซิลิกาที่เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ จะมีลักษณะขุ่นขึ้นและมีการกระจายตัวของ อนุภาคหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามลำดับ (เมื่อมองด้วยตาเปล่า)



ภาพที่ 4.8 ลักษณะของแผ่นนำแสงโปร่งใสที่ใส่อนุภาคซิลิกา ชนิด A (ก) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 15 นาที (ข) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 30 นาที (ค) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 45 นาที (ง) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

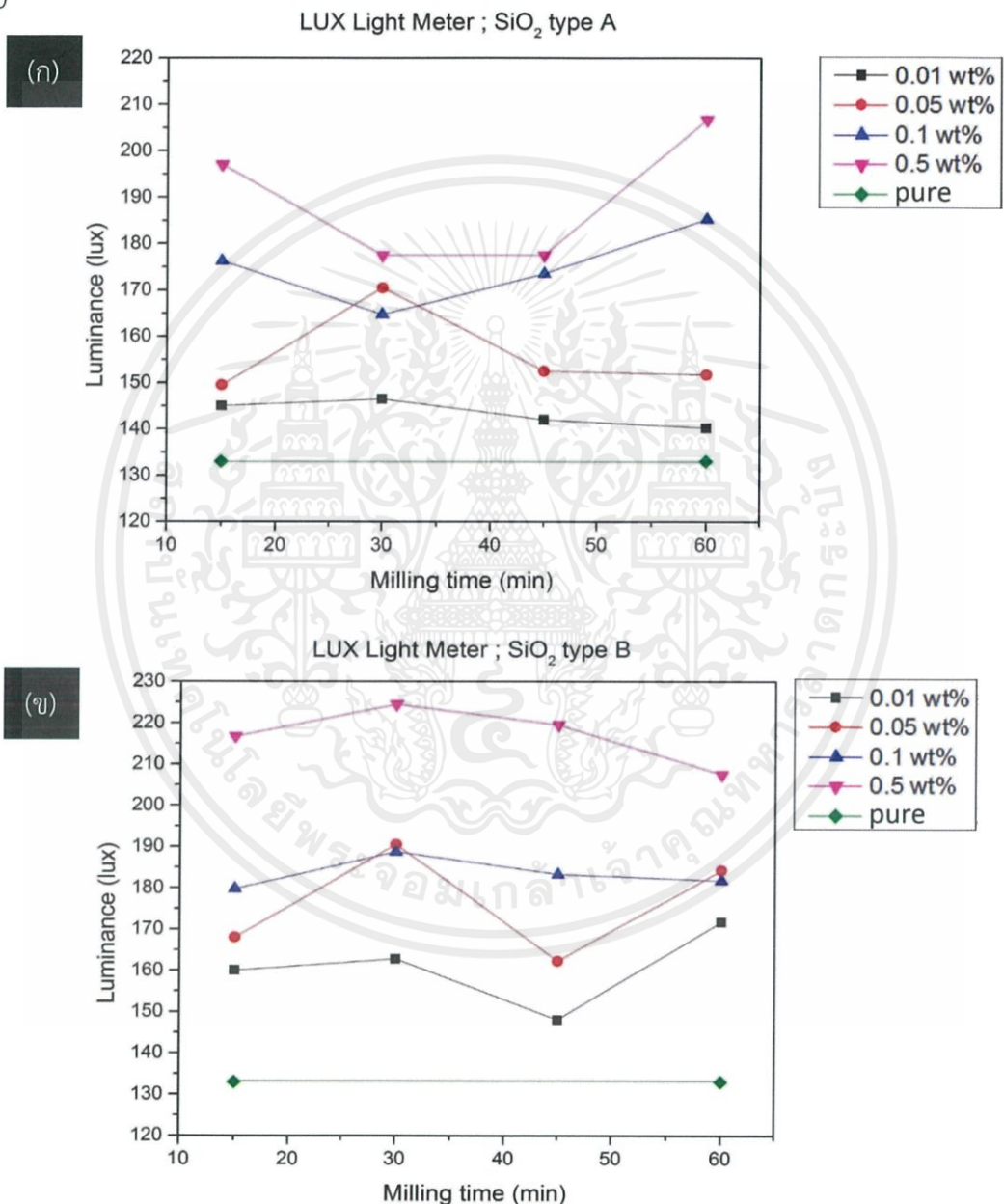


ภาพที่ 4.9 ลักษณะของแผ่นนำแสงโปร่งใสที่ใส่อนุภาคซิลิกา ชนิด B (จ) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 15 นาที (ฉ) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 30 นาที (ช) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 45 นาที (ซ) ซิลิกาที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างของแผ่นนำแสงที่มีการฝังตัวของอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการบด

วิเคราะห์ผลของเวลาในการหมუნบดของอนุภาคซิลิกาและปริมาณซิลิกาเจลดต่อความส่องสว่างของแผ่นนำแสง โดยใช้เวลาในการบด 15, 30, 45 และ 60 นาที และที่ปริมาณซิลิกาที่ 0.5, 0.1 0.05 และ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการส่องสว่างของแผ่นนำแสงมีค่าแสดงดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงค่าการส่องสว่างของแผ่นนำแสงที่ขึ้นรูปจากอนุภาคซิลิกาเจลด

(ก)ชนิด A (ข)ชนิด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.10 พบว่าแผ่นนำแสงที่มีอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านการหมุนบดเป็นเวลา 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที ปริมาณ 0.5 0.1 0.05 และ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อทำการใส่ปริมาณอนุภาคซิลิกาที่ปริมาณเพิ่มขึ้นจะให้ค่าการส่องสว่างของแผ่นนำแสงมีค่ามากขึ้น โดยจากรูป (ก) แผ่นนำแสงที่ขึ้นรูปจากอนุภาคซิลิกาที่ใช้ในห้องแล็บ ชนิด A ที่ปริมาณอนุภาคซิลิกา ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ค่าการส่องสว่างที่มากที่สุดที่เวลาในการหมุนบด 60 15 30 และ 45 นาทีตามลำดับ โดยค่าความสว่างสูงสุดเพิ่มขึ้นประมาณ 58% ที่เวลาการบด 60 นาที จากแผ่นนำแสงที่ไม่ได้เติมอนุภาคซิลิกา ในขณะที่เมื่อทำการใส่ปริมาณอนุภาคซิลิกาเจลที่ปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการส่องสว่างมีค่าลดลง โดยที่เวลาในการหมุนบด 60 15 45 และ 30 มีค่าการส่องสว่างลดลงตามลำดับ ในขณะที่เมื่อทำการลดปริมาณการใส่อนุภาคซิลิกาที่ปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าที่เวลาในการหมุนบด 60 15 45 และ 30 ให้ค่าการส่องสว่างลดลงตามลำดับ และเมื่อลดปริมาณการใส่อนุภาคซิลิกาเจลลงเหลือ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่า ที่เวลาในการหมุนบด 30 15 45 และ 60 นาทีมีค่าการส่องสว่างที่ลดลงตามลำดับ จากรูป (ข) แผ่นนำแสงที่ขึ้นรูปจากอนุภาคซิลิกาเจลที่เป็นเกรดการค้าชนิด B พบว่าที่เมื่อใส่อนุภาคซิลิกา 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ค่าการส่องสว่างที่มากที่สุดที่เวลาในการหมุนบด 30 45 15 และ 60 นาทีตามลำดับ โดยค่าความสว่างสูงสุดเพิ่มขึ้นประมาณ 70% ที่เวลาการบด 30 นาที จากแผ่นนำแสงที่ไม่ได้เติมอนุภาคซิลิกาในขณะที่เมื่อมีปริมาณอนุภาคซิลิกา 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการส่องสว่างมีค่าลดลง โดยที่เวลาในการหมุนบด 30 45 60 และ 15 นาที มีค่าการส่องสว่างลดลงตามลำดับ ในขณะที่เมื่อทำการลดปริมาณการใส่อนุภาคซิลิกาเหลือ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าที่เวลาในการหมุนบด 30 60 15 และ 45 นาที ให้ค่าการส่องสว่างลดลงตามลำดับ และเมื่อลดปริมาณการใส่อนุภาคซิลิกาเหลือ 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่า ที่เวลาในการหมุนบด 60 30 15 และ 45 นาทีมีค่าการส่องสว่างที่ลดลงตามลำดับ

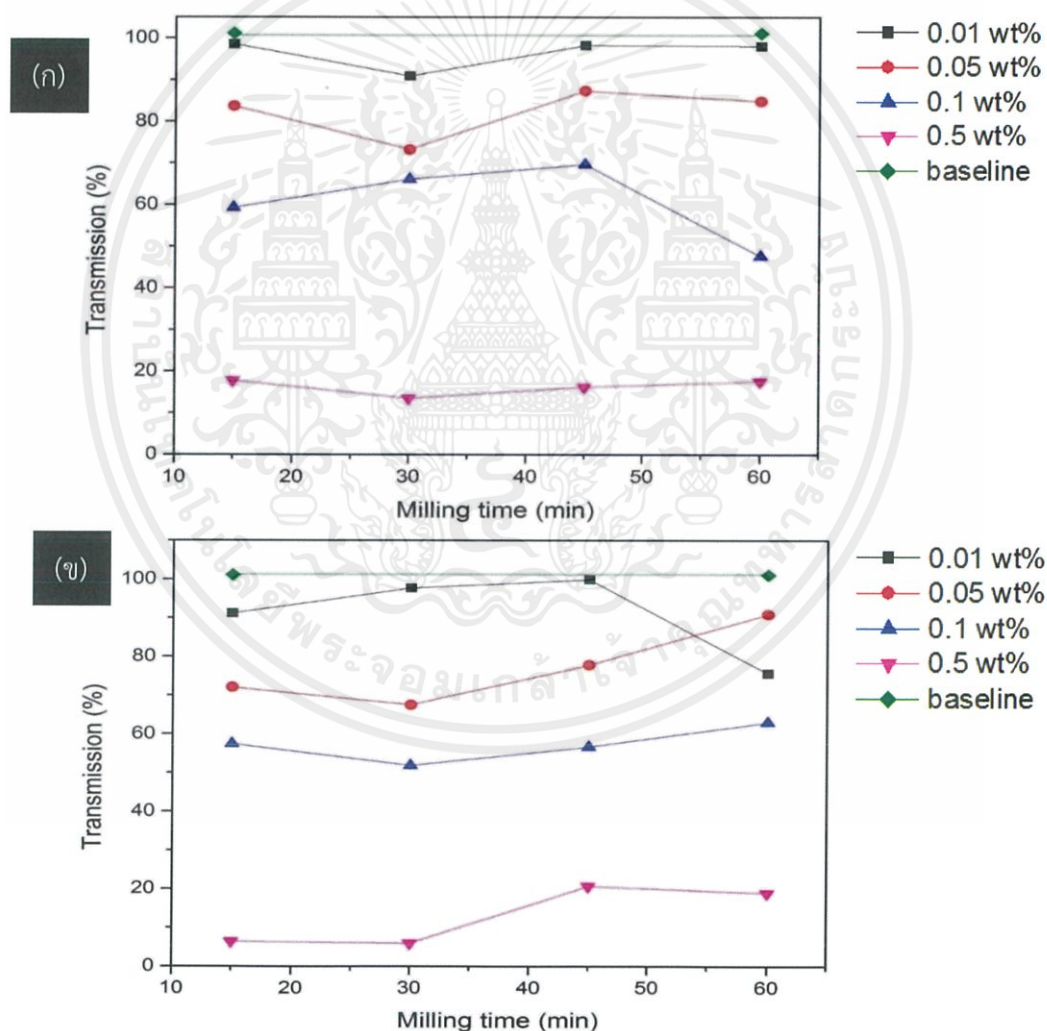
จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า เวลาในการบดที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการลดขนาดของอนุภาค โดยพบว่าเวลาการบดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดของอนุภาคซิลิกาเล็กลง แต่เมื่อเวลาการบดที่นานเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ได้อีกครั้ง ดังนั้นเวลาการบดที่เหมาะสมจะทำให้ได้ขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และเมื่อนำอนุภาคที่เตรียมได้เติมลงในแผ่นนำแสงพบว่า ปริมาณของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นในแผ่นนำแสงจะส่งผลให้การทะลุผ่านของแสงลดลงทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ ประพฤติตัวเป็นตัวกระเจิงแสงที่ย่านที่มองเห็นทำให้ปริมาณแสงที่ทะลุผ่านแผ่นนำแสงลดลง ขณะเดียวกันจะส่งผลให้แสงที่กระเจิงเนื่องจากอนุภาคเหล่านี้เกิดการสะท้อนกลับหมดและส่งผ่านไปยังด้านหน้าของแผ่นนำแสงได้เพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่ม

ประสิทธิภาพของแผ่นนำแสงได้ ทั้งนี้ปริมาณการเติมและขนาดของอนุภาคซิลิกาที่เหมาะสมจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการนำแสงของแผ่นนำแสงที่ดีที่สุด

4.4 ผลของเวลาในการหมუნบดและปริมาณของอนุภาคซิลิกาต่อค่าการทะลุผ่านของแสงของแผ่นนำแสงที่มีการฝังตัวของอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการบด

4.4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงจากเครื่องวัดการสะท้อนแสง

ค่าการทะลุผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 550 nm ของแผ่นนำแสงที่ใส่อนุภาคซิลิกาเจลชนิด A และ ชนิด B ที่ผ่านการหมუნบดเป็นเวลาในการหมუნบดแตกต่างกันที่ 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที และปริมาณซิลิกาเจลที่แตกต่างกัน 0.5เปอร์เซ็นต์, 0.1 เปอร์เซ็นต์ 0.05 เปอร์เซ็นต์ และ 0.01เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงร้อยละการทะลุผ่านของแสงอัลตราไวโอเล็ตและย่านการมองเห็นของซิลิกาเจล (ก) ชนิด A (ข) ชนิด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.11(ก) พบว่าซิลิกาเจลชนิด A ที่เวลาในการบด 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที มีค่าการทะลุผ่านที่ปริมาณซิลิกาเจล 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีการทะลุผ่านได้มากที่สุด และมีการทะลุผ่านลดลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลขึ้นตามลำดับ จากภาพที่ 4.8(ข) พบว่าซิลิกาเจลชนิด B ที่เวลาในการบด 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที และ 60 นาที มีค่าการทะลุผ่านที่ปริมาณซิลิกาเจล 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีการทะลุผ่านได้มากที่สุด และมีการทะลุผ่านลดลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลขึ้นตามลำดับ ยกเว้นเงื่อนไขที่ใช้เวลาในการหมუნบด 60 นาที ที่ปริมาณซิลิกาเจล 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ค่าการทะลุผ่านที่ดีกว่าที่ปริมาณซิลิกาเจล 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อนุภาคเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกระเจิงแสง ซึ่งขนาดของอนุภาคมีผลต่อการกระเจิงของแสงทำให้ค่าการทะลุผ่านของแสงเปลี่ยนไปตามขนาดของอนุภาค ซึ่งเป็นผลจากเวลาในการบดที่ต่างกัน ขณะเดียวกันเมื่อมีปริมาณของอนุภาคเพิ่มขึ้นในแผ่นนำแสง จะทำให้แสงเกิดการกระเจิงมากขึ้นทำให้ค่าการทะลุผ่านลดลง ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับทฤษฎี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้มุ่งเน้นเพื่อนำเม็ดดูดความชื้นที่เหลือทิ้งที่มีองค์ประกอบของซิลิกา ได้แก่ เม็ดดูดความชื้นที่เหลือใช้จากในห้องปฏิบัติการ และเม็ดดูดความชื้นที่เหลือทิ้งจากการค้า มาลดขนาดให้อยู่ในระดับอนุภาคนาโนด้วยกระบวนการบดแบบด้วยลูกบด เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่เล็กลงในระดับนาโนเมตร โดยทำการศึกษาเงื่อนไขทั้งหมด 2 เงื่อนไข คือการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการหมუნบด การเปลี่ยนแปลงปริมาณซิลิกาที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นนำแสงโปร่งใส โดยในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเวลาในการหมუნบดทั้งหมด 4 ค่า คือที่เวลา 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที เพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาที่มีต่อขนาดของอนุภาค และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวอนุภาค เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์อนุภาคซิลิกาในระดับนาโนเมตรและได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณซิลิกาเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทั้งหมด 4 ค่า คือ 0.5เปอร์เซ็นต์ 0.1เปอร์เซ็นต์ 0.05 เปอร์เซ็นต์ และ 0.01 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยการศึกษาค่าความส่องสว่าง และค่าการทะลุผ่านของแสงย่านมองเห็น ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการหมუნบดที่แตกต่างกัน พบว่าขนาดของอนุภาคซิลิกาเจลที่ผ่านกระบวนการบดที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาที มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 968.67, 293.57, 469.467 และ 383.93 นาโนเมตรตามลำดับ โดยเวลาในการบดที่เพิ่มเวลาขึ้นจะส่งผลต่อแนวโน้มของขนาดที่ลดลง แต่ที่เวลาในการหมუნบด 45 นาทีพบว่าขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าที่เวลาในการหมუნบด 30 นาที ที่เวลาในการหมუნบดที่ทำให้ได้ขนาดอนุภาคซิลิกาเจลมีขนาดเล็กที่สุดคือ ที่เวลา 30 นาที ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 293.57 นาโนเมตร และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่น้อยสุดและได้ขนาดใกล้เคียงกัน

ผลการศึกษาสมบัติการนำแสงของแผ่นนำแสงที่มีเติมอนุภาคซิลิกาที่เตรียมได้ พบว่า ปริมาณของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นในแผ่นนำแสงจะทำให้การทะลุผ่านของแสงลดลง เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ ประพฤติตัวเป็นตัวกระเจิงแสงทำให้ปริมาณแสงที่ทะลุผ่านแผ่นนำแสงลดลง ขณะเดียวกันจะส่งผลให้แสงที่กระเจิงเนื่องจากอนุภาคเหล่านี้เกิดการสะท้อนกลับหมดและส่งผ่านไปยังด้านหน้าของแผ่นนำแสงได้เพิ่มขึ้น โดยพบว่าอนุภาคที่เติมเข้าไปในแผ่นนำแสงเพียง 0.5% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงได้ถึง 70% ทั้งนี้ปริมาณการเติมและขนาดของอนุภาคซิลิกาที่เหมาะสมจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการนำแสงของแผ่นนำแสงที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

5.2.1 ก่อนเริ่มทำการทดลองควรศึกษาข้อมูลให้เข้าใจก่อนลงมือทำเพื่อช่วยลดขั้นตอนก่อนและความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง

5.2.2 ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นทำให้เมื่อเราทำการวัดขนาดโดยการทำเป็นสารละลายที่เป็นน้ำ จะทำให้ซิลิกาเจลมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น

5.2.3 ในการขึ้นรูปนั้นจะต้องมีการชั่งตวงที่แม่นยำ เพราะจะทำให้เรซินไม่เซ็ตตัวได้ และต้องระวังเรื่องของฟองอากาศภายในเรซินหรือแผ่นที่เราขึ้นรูป และระวังเรื่องอุณหภูมิหลังจากการไล่ฟองอากาศ เพราะหากเรซินไม่ได้รับบายอากาศเพียงพอก็จะไม่เซ็ตตัว

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการทำการทดลองควรสวมอุปกรณ์ป้องกันตนเองทุกครั้ง ตัวอย่างเช่น การสวมหน้ากากอนามัย สวมชุดกาวน์ แวนตา เป็นต้น เพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมี

5.3.2 ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลิกาเจลควรใช้ซิลิกาเจลที่มาจากที่เดียวกัน ของขมยี่ห้อเดียวกัน เพื่อป้องกันการเจือปนของสารอื่น

บรรณานุกรม

- [1] [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/นาโนเทคโนโลยี>
- [2] [Online]. Available: https://th.wikipedia.org/wiki/ริชาร์ด_ฟายน์แมน
- [3] [Online]. Available: <https://www.siamchemi.com/ซิลิกาเจล>
- [4] [Online]. Available: <https://www.powerdry.co.th/ซิลิกอนไดออกไซด์>
- [5] [Online]. Available: <https://th.Wikipedia.org/wiki/ซิลิกา>
- [6] [Online]. Available: <http://m.th.rinalgp-ara.com/แผ่นนำแสง>
- [7] [Online]. Available: <http://th.rinalgp-ara.com/lightguideplate>
- [8] [Online]. Available: <https://www.google.com/Ballmilling>
- [9] [Online]. Available: <https://www.google.com/ballmillingprocess>
- [10] [Online]. Available: <https://kb.osu.edu/handle/FT-IR>
- [11] [Online]. Available: <https://il.mahidol.ac.th/sem/nano>
- [12] [Online]. Available: <https://www.google.com/sem/ส่วนประกอบ>
- [13] [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/การคายพลังงาน>
- [14] [Online]. Available: <https://old.mtec.or.th/particlesize>
- [15] [Online]. Available: <https://www2.nanotec.or.th/ส่วนประกอบ/particleanalyzer>
- [16] Amirkhanlou, S., Ketabchi, M. and Parvin, N., 2012. Nanocrystalline/nanoparticle ZnO synthesized by high energy ball milling process. *Materials letters*, 86, pp.122-124.
- [17] Carreño-Gallardo, C., Estrada-Guel, I., López-Meléndez, C. and Martínez-Sánchez, R., 2014. Dispersion of silicon carbide nanoparticles in a AA2024 aluminum alloy by a high-energy ball mill. *Journal of Alloys and Compounds*, 586, pp.S68-S72.

[18] Petrović, S., Rožić, L., Jović, V., Stojadinović, S., Grbić, B., Radić, N., Lamovec, J. and Vasilić, R., 2018. Optimization of a nanoparticle ball milling process parameters using the response surface method. *Advanced Powder Technology*, 29(9), pp.2129-2139.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

