

รหัสโครงการ SUT7-706-55-12-75



รายงานการวิจัย

**อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวแบบผสมต่อลักษณะของนาโนซิงค์ออกไซด์
โดยวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอล
(Influence of Mixed Surfactants on Morphology of Nano Zinc Oxide
Synthesized by Hydrothermal and Solvothermal Techniques)**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-706-55-12-75



รายงานการวิจัย

**อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวแบบผสมต่อลักษณะของนาโนซิงค์ออกไซด์
โดยวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอล
(Influence of Mixed Surfactants on Morphology of Nano Zinc Oxide
Synthesized by Hydrothermal and Solvothermal Techniques)**

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.อรรถพล มณีแดง

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2556

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากหลายบุคคลและหน่วยงาน อาทิ ศาสตราจารย์ ดร.เอเดรียน อีวาน ฟลัด ที่ปรึกษาโครงการวิจัยโครงการนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิจัย และการอภิปรายข้อมูลที่มีประโยชน์และมีคุณค่า ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงและเป็นไปด้วยความเรียบร้อย รวมถึงศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อนุเคราะห์การใช้เครื่องมือวิเคราะห์และบริการทดสอบตัวอย่าง จนทำให้ได้ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและเป็นประโยชน์ตามวัตถุประสงค์

งานวิจัยครั้งนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยผ่านทุนสนับสนุนนักวิจัยรุ่นใหม่ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2555 ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณสถานวิจัยสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการประสานงานและอำนวยความสะดวกต่างๆ มา ณ ที่นี้



บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวแบบผสมต่อสัณฐานวิทยาของผลึกซิงค์ออกไซด์ ที่ใช้วิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอลที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิด ทั้งระบบเดี่ยวและระบบผสม โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง โดยที่ช่วงแรกจะทำการเก็บตัวอย่างในส่วนของอนุภาคที่มองเห็น (Bulk) โดยสำหรับการสังเคราะห์ในระบบไฮโดรเทอร์มอลจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเท่านั้น ส่วนระบบโซลโวเทอร์มอลจะใช้ตัวทำละลายผสมของเฮปแทนกับน้ำที่อัตราส่วนจำเพาะ โดยปริมาตร และทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้งระบบเดี่ยวและระบบผสม จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับความเข้มข้นและชนิดของสารลดแรงตึงผิวในระบบเดี่ยว และวิธีการสังเคราะห์จะมีผลต่อสัณฐานวิทยาทั้งขนาดและรูปร่างของซิงค์ออกไซด์ได้ออนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างแบบเฮกซะ โกนอลเวทซ์ไซต์ ทั้งนี้ การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์แบบไฮโดรเทอร์มอลจะทำให้อนุภาคของซิงค์ออกไซด์มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคในระบบโซลโวเทอร์มอล สำหรับการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลแบบมีสารลดแรงตึงผิวแบบผสมเข้ามาช่วย ขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์จะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว ส่วนการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอลแบบมีสารลดแรงตึงผิวแบบผสมเข้ามาช่วย จะได้อนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่าในระบบเดี่ยว จากผลการทดลองพบว่า พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้พบว่า ขนาดของ รูพรุนของซิงค์ออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ $0.2 \text{ cm}^3/\text{g}$ ส่วนขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 24.51 nm และอนุภาคซิงค์ออกไซด์มีพื้นที่ผิวเฉลี่ยเท่ากับ $32.01 \text{ m}^2/\text{g}$

ในการทดลองส่วนที่สอง จะเป็นการเก็บตัวอย่างของคอลลอยด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยพบว่าขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ในการทดลองช่วงแรกยังมีขนาดใหญ่ จึงได้ปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์โดยให้ค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวอยู่ที่ 100 mM ทุกระบบ และปรับเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวหลายชนิด โดยเปลี่ยนวิธีเก็บสารตัวอย่าง จากเดิมจะเก็บในลักษณะอนุภาคที่มองเห็น เปลี่ยนมาเก็บในลักษณะของคอลลอยด์แทน ซึ่งทำให้ขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับนั้นมีขนาดที่ลดลงอยู่ในระดับนาโนเมตร โดยการศึกษาการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีทั้ง 2 คือ คือ วิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและวิธีการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอลที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวต่างชนิดกัน ผลจากการตรวจวัดขนาดของอนุภาคด้วยเครื่องมือวิเคราะห์อนุภาค (zeta potential) จากผลการทดลองพบว่า ชนิดของสารลดแรงตึงผิวทั้งในระบบเดี่ยวและระบบผสม รวมถึงวิธีการสังเคราะห์จะมีผลต่อสัณฐานวิทยาของนาโนซิงค์ออกไซด์

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

This research aims to study the influence of mixed surfactants of morphology of nano zinc oxide (ZnO) particles synthesized by hydrothermal and solvothermal techniques for both single and mixed surfactant systems. The experimental procedures are divided into 2 parts, the synthesized ZnO particles were sampled from the bulk powders in the first part while the samples were taken from the colloidal solution in the latter part. In the first part, DI water was used as the solvent throughout the systems for hydrothermal reaction, and heptane and DI water at a specific volume ratio was used as the solvent for solvothermal reaction. The surfactant concentration was adjusted in order to see the effect of concentration on the morphologies of ZnO particles. The experimental results show that variation of surfactant concentration, types of surfactant and synthetic techniques effect on the morphologies of ZnO particles both shape and size. The XRD patterns show that the structure of the synthesized ZnO particles is hexagonal wurtzite. The hydrothermal reaction produces larger ZnO particle size compared to the solvothermal reaction. In single surfactant systems, ZnO particles are dependent on the surfactant concentration; the higher NaDS concentration, the larger ZnO particles obtained and the higher CTAB concentration, the smaller ZnO particles obtained. The average pore size of synthesized ZnO is 24.51 nm indicating the macroporous structure. The average pore volume is approximately about 0.2 cm³/g. The average surface area is approximately about 32.01 m²/g.

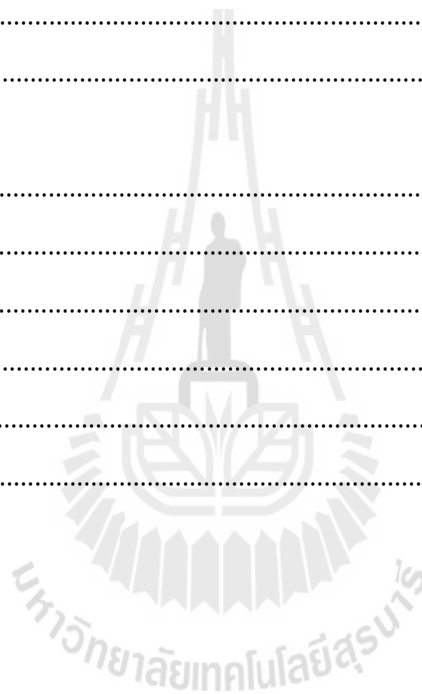
In the second part of experiment, the samples were taken from the colloidal solution in the reactor due to the sampling in the first part of experiment yields the macro-sized ZnO particles. The surfactant concentration was kept constant at 100 mM for all studied systems in both hydrothermal and solvothermal techniques but, many types of surfactant were introduced to the systems. The particle size distribution obtained from the particle analyzer (zeta potential) show that single and mixed surfactant systems that introduced into the reaction really influence on the morphology of nano ZnO particles. The colloidal solution from the hydrothermal and solvothermal reaction with surfactant-assisted syntheses can produce nano ZnO particles with various sizes depending on the types of surfactant.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญภาพ | ช |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย | 1 |
| วัตถุประสงค์การวิจัย | 2 |
| ขอบเขตการวิจัย | 2 |
| บทที่ 2 ปรีทศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) | 3 |
| สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) | 4 |
| การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ | 6 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | |
| การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบเดี่ยวและระบบผสม โดยการเก็บตัวอย่างในลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Bulk) | 9 |
| การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดระบบเดี่ยวและระบบผสม โดยการเก็บตัวอย่างในลักษณะที่คอลลอยด์ | 14 |
| ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ | 19 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง | |
| การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ | 21 |
| การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ | 23 |
| การตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ | 31 |
| การตรวจสอบพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และ ขนาดของรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ | 35 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| การตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ โดยเครื่องมือวิเคราะห์ Zeta Potential (Particle Analyzer) | 36 |
| บทที่ 5 บทสรุป | |
| สรุปผลการวิจัย | 41 |
| ข้อเสนอแนะ | 42 |
| บรรณานุกรม | 43 |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก | 46 |
| ภาคผนวก ข | 49 |
| ภาคผนวก ค | 50 |
| ภาคผนวก ง | 51 |
| ภาคผนวก จ | 67 |
| ประวัติผู้วิจัย | 96 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ | 4 |
| ตารางที่ 2.2 สมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลอง | 6 |
| ตารางที่ 3.1 ระบบการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น และชนิดของสารลดแรงตึงผิวต่างกัน | 13 |
| ตารางที่ 3.2 ระบบการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีชนิดของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 100 mM | 16 |
| ตารางที่ 3.3 ระบบการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีชนิดของสารลดแรงตึงผิวชนิด DOAPS (Zwitterionic Surfactant) ที่ความเข้มข้น 100 mM และปรับเปลี่ยนค่า pH | 17 |
| ตารางที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM (เทียบจากพื้นที่) | 31 |
| ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาค D(v, 0.5) ของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง Mastersizer (เทียบจากปริมาตร) | 33 |
| ตารางที่ 4.3 ขนาดของผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์จาก XRD (สมการของ Scherrer) | 34 |
| ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง BET | 35 |
| ตารางที่ 4.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของอนุภาคของซิงค์ออกไซด์จาก Cumulative Number Distribution จากเครื่องวิเคราะห์ Zeta Potential | 37 |
| ตารางที่ 4.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของอนุภาคของซิงค์ออกไซด์จาก Cumulative Number Distribution จากเครื่องวิเคราะห์ Zeta Potential สำหรับระบบที่ใช้ DOAPS ที่ค่า pH ต่างกัน | 39 |
| ตารางที่ ก1 ปริมาณสารที่ใช้ และร้อยละผลได้ (%conversion) ของซิงค์ออกไซด์ | 48 |
| ตารางที่ ข1 ค่า X และ Y ในการหาค่าขนาดผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์จาก XRD | 51 |

สารบัญญภาพ

| | | หน้า |
|------------|---|------|
| รูปที่ 2.1 | อนุภาคซิงค์ออกไซด์ (ซ่าย) และ โครงสร้างเฮกซะนอลเวทซ์ไอซ์ของ ผลึกซิงค์ออกไซด์ (ขวา) | 3 |
| รูปที่ 2.2 | กลไกการเกิดไมเซลล์ | 5 |
| รูปที่ 2.3 | การเกิดจุดวิกฤตความเข้มข้นไมเซลล์ (CMC) | 5 |
| รูปที่ 4.1 | รูป XRD สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล | 21 |
| รูปที่ 4.2 | รูป XRD สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล | 22 |
| รูปที่ 4.3 | รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบไม่มีสารลดแรงตึงผิวในระบบ โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ (ก,ข) ไฮโดรเทอร์มอล และ (ค,ง) โซลโวเทอร์มอล | 23 |
| รูปที่ 4.4 | รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้น ของสารลดแรงตึงผิว NaDS (ก,ข) 100 mM (ค,ง) 500 mM และ (จ,ฉ) 800 mM | 25 |
| รูปที่ 4.5 | รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้น ของสารลดแรงตึงผิว NaDS/CTAB (ก,ข) 100 mM (ค,ง) 500 mM (จ,ฉ) 800 mM | 26 |
| รูปที่ 4.6 | รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้น ของสารลดแรงตึง NaDS (ก,ข) 20 mM (ค,ง) 50 mM และ (จ,ฉ) 100 mM | 28 |
| รูปที่ 4.7 | รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้น ของสารลดแรงตึงผิว CTAB (ก,ข) 20 mM (ค,ง) 50 mM (จ,ฉ) 100 mM | 29 |
| รูปที่ 4.8 | รูปของ SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้น ของสารลดแรงตึงผิว NaDS/CTAB (ก,ข) 20 mM (ค,ง) 50 mM (จ,ฉ) 100 mM | 30 |
| รูปที่ ข1 | รูป XRD สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลโวเทอร์มอล เมื่อเติม NaDS/CTAB 20 mM | 49 |
| รูปที่ ข2 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $X = \frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ และ $Y = \frac{\sin \theta}{\lambda}$ ของเทคนิค การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์แบบโซลโวเทอร์มอล เมื่อใช้ NaDS/CTAB 20 mM | 52 |
| รูปที่ ง1 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของ เทคนิคไฮโดรเทอร์มอล แบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิว | 54 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

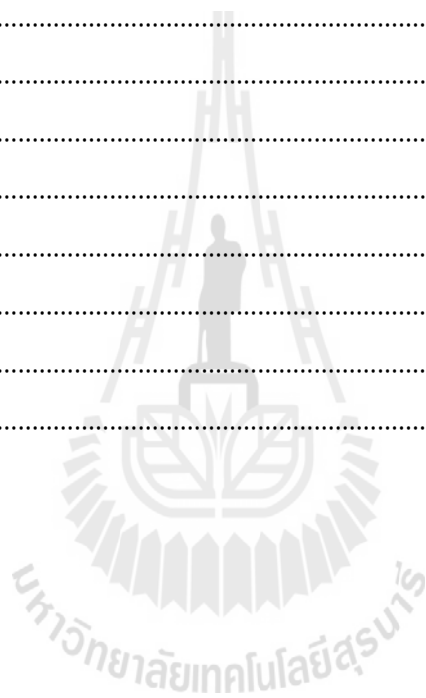
| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ ง15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละ โดยปริมาตรของ เทคนิคโซลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 20 mM | 64 |
| รูปที่ ง16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละ โดยปริมาตรของ เทคนิคโซลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 50 mM | 65 |
| รูปที่ ง17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละ โดยปริมาตรของ เทคนิคโซลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 100 mM | 65 |
| รูปที่ จ1 ระบบที่ 3 | 67 |
| รูปที่ จ2 ระบบที่ 3 | 67 |
| รูปที่ จ3 ระบบที่ 4 | 68 |
| รูปที่ จ4 ระบบที่ 4 | 68 |
| รูปที่ จ5 ระบบที่ 6 | 69 |
| รูปที่ จ6 ระบบที่ 6 | 69 |
| รูปที่ จ7 ระบบที่ 7 | 70 |
| รูปที่ จ8 ระบบที่ 7 | 70 |
| รูปที่ จ9 ระบบที่ 8 | 71 |
| รูปที่ จ10 ระบบที่ 8 | 71 |
| รูปที่ จ11 ระบบที่ 12 | 72 |
| รูปที่ จ12 ระบบที่ 12 | 72 |
| รูปที่ จ13 ระบบที่ 13 | 73 |
| รูปที่ จ14 ระบบที่ 13 | 73 |
| รูปที่ จ15 ระบบที่ 14 | 74 |
| รูปที่ จ16 ระบบที่ 14 | 74 |
| รูปที่ จ17 ระบบที่ 15 | 75 |
| รูปที่ จ18 ระบบที่ 15 | 75 |
| รูปที่ จ19 ระบบที่ 16 | 76 |
| รูปที่ จ20 ระบบที่ 16 | 76 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| | | หน้า |
|------------|------------------|------|
| รูปที่ จ21 | ระบบที่ 17 | 77 |
| รูปที่ จ22 | ระบบที่ 17 | 77 |
| รูปที่ จ23 | ระบบที่ 18 | 78 |
| รูปที่ จ24 | ระบบที่ 18 | 78 |
| รูปที่ จ25 | ระบบที่ 19 | 79 |
| รูปที่ จ26 | ระบบที่ 19 | 79 |
| รูปที่ จ27 | ระบบที่ 20 | 80 |
| รูปที่ จ28 | ระบบที่ 20 | 80 |
| รูปที่ จ29 | ระบบที่ 21 | 81 |
| รูปที่ จ30 | ระบบที่ 21 | 81 |
| รูปที่ จ31 | ระบบที่ 22 | 82 |
| รูปที่ จ32 | ระบบที่ 22 | 82 |
| รูปที่ จ33 | ระบบที่ 23 | 83 |
| รูปที่ จ34 | ระบบที่ 23 | 83 |
| รูปที่ จ35 | ระบบที่ 24 | 84 |
| รูปที่ จ36 | ระบบที่ 24 | 84 |
| รูปที่ จ37 | ระบบที่ 25 | 85 |
| รูปที่ จ38 | ระบบที่ 25 | 85 |
| รูปที่ จ39 | ระบบที่ 26 | 86 |
| รูปที่ จ40 | ระบบที่ 26 | 86 |
| รูปที่ จ41 | ระบบที่ 27 | 87 |
| รูปที่ จ42 | ระบบที่ 27 | 87 |
| รูปที่ จ43 | ระบบที่ 28 | 88 |
| รูปที่ จ44 | ระบบที่ 28 | 88 |
| รูปที่ จ45 | ระบบที่ 29 | 89 |
| รูปที่ จ46 | ระบบที่ 29 | 89 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| | | หน้า |
|------------|------------------|------|
| รูปที่ จ47 | ระบบที่ 30 | 90 |
| รูปที่ จ48 | ระบบที่ 30 | 90 |
| รูปที่ จ49 | ระบบที่ 31 | 91 |
| รูปที่ จ50 | ระบบที่ 31 | 91 |
| รูปที่ จ51 | ระบบที่ 32 | 92 |
| รูปที่ จ52 | ระบบที่ 32 | 92 |
| รูปที่ จ53 | ระบบที่ 33 | 93 |
| รูปที่ จ54 | ระบบที่ 33 | 93 |
| รูปที่ จ55 | ระบบที่ 34 | 94 |
| รูปที่ จ56 | ระบบที่ 34 | 94 |
| รูปที่ จ57 | ระบบที่ 35 | 95 |
| รูปที่ จ58 | ระบบที่ 35 | 95 |



บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ผลึกซิงค์ออกไซด์มีความน่าสนใจและถูกนำมาศึกษาอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก ซิงค์ออกไซด์สามารถนำไปประยุกต์ในงานได้หลากหลาย อาทิเช่น ใซ้ยับยั้งเชื้อรา ใซ้เป็นสารป้องกันรังสียูวีใซ้ในวัสดุผสมใซ้ในตัวเซนเซอร์ทางเคมี ใซ้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใซ้แสงใซ้ในโซลาร์เซลล์ และใซ้ในอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ทั้งนี้ก็เพราะคุณสมบัติของซิงค์ออกไซด์ที่ดีเยี่ยมทางไฟฟ้า ทางแสง ทางกล และทางเคมีอย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคซิงค์ออกไซด์นั้นแท้จริงแล้วจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและโครงสร้างของผลึกเป็นหลัก ซึ่งสามารถที่จะกำหนดหรือควบคุมโครงสร้างให้เป็นไปตามความต้องการได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานแต่ละประเภท ก่อนหน้านี้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยมุ่งเน้นไปที่การควบคุมขนาดและรูปร่างของผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยใซ้วิธีการสังเคราะห์หลายวิธี เช่น วิธีโซล-เจล วิธีการสลายตัวทางความร้อน วิธีการทำปฏิกิริยาในวัฏภาคแก๊ส วิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล และวิธีการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ยังมีการเติมสารอินทรีย์ลงไปเพื่อที่จะควบคุมสัณฐานวิทยาของนาโนซิงค์ออกไซด์อีกด้วย อาทิเช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) กรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซีติก (EDTA) และที่ใซ้กันอย่างแพร่หลายคือสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมักถูกนำมาใซ้ในปฏิกิริยาในขณะที่เกิดนิวเคลียสของผลึก และการเติบโตของผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ อย่างไรก็ตาม กลไกที่ชัดเจนของสารเติมอินทรีย์ในการสังเคราะห์ผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ยังไม่ปรากฏชัดเจนนัก

ที่ผ่านมา นั้น ไมเซลล์แบบผสมของสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทหนึ่งมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารลดแรงตึงผิวแบบผสม มักแสดงสมบัติในทางที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับไมเซลล์ที่เกิดในระบบเดี่ยวของสารลดแรงตึงผิว มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับสารลดแรงตึงผิวระบบเดี่ยวที่ใซ้ในกระบวนการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล แต่การใซ้สารลดแรงตึงผิวแบบผสมช่วยในการสังเคราะห์นั้นกลับมีน้อยมาก จากหลักการและเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เกิดความสนใจที่จะศึกษากระบวนการสังเคราะห์ผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอลโดยอาศัยสารลดแรงตึงผิวแบบผสมเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ ดังนั้น จุดประสงค์หลักในการทำวิจัยครั้งนี้คือ การพัฒนาและการทำความเข้าใจกลไกของการสังเคราะห์ผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีสารลดแรงตึงผิวแบบผสมมาช่วยในการควบคุมรูปร่างและขนาดของผลึก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ความเข้าใจในกระบวนการสังเคราะห์ และสามารถกำหนดสถานะในการควบคุมขนาดและรูปร่างของผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและแบบโซลโวเทอร์มอล โดยมีสารลดแรงตึงผิวเป็นแม่แบบทั้งในระบบเดี่ยวและระบบผสม

3. ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ประจุลบ ประจุรวม ทั้งแบบเดี่ยวและผสมต่อสัณฐานวิทยาของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและแบบโซลโวเทอร์มอล

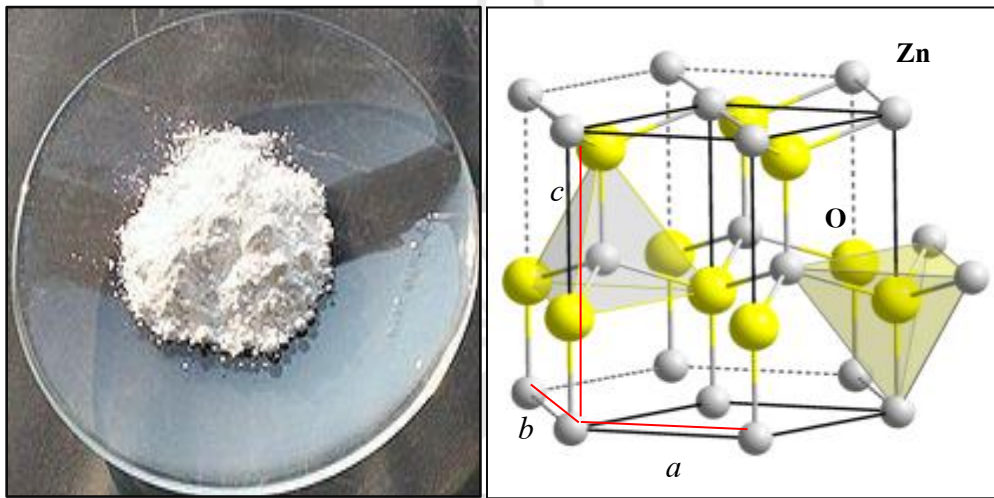


บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) มีสูตรโมเลกุลคือ ZnO มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ซึ่งคนทั่วไปจะรู้จักในชื่อ “คาลาไมล์” หรือสารที่เอาไว้ใช้รักษาการระคายเคืองของผิวหนัง เนื่องจากซิงค์ออกไซด์สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียและยับยั้งเชื้อราได้ มีโครงสร้างทั่วไปเป็นแบบเฮกซะนอลเวอริทซ์ (Hexagonal wurtzite structure) ที่มีค่าคงที่ของแลตทิซ (lattice constant) $a = b = 3.24982 \text{ \AA}$ $c = 5.20661 \text{ \AA}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 อนุภาคซิงค์ออกไซด์ (ซ้าย) และ โครงสร้างเฮกซะนอลเวอริทซ์ของผลึกซิงค์ออกไซด์ (ขวา)

ผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์มาจากการเปลี่ยนอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร นอกจากจะมีสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและยับยั้งเชื้อราแล้วยังมีสมบัติทางกายภาพเป็นประโยชน์เช่นมีสีขาว สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ มีขนาดเล็ก แข็งแรง ทนทาน ทนความร้อนและกระจายความร้อนได้ดี สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิดได้ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีได้ อีกทั้งยังเป็นสารกึ่งตัวนำได้อีกด้วย จากสมบัติที่กล่าวมาทำให้ซิงค์ออกไซด์มีการนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมมากมาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมพลาสติก เพื่อช่วยในการหน่วงไฟในพลาสติก อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เพื่อช่วยป้องกันรังสียูวีและช่วยรักษาแผล อุตสาหกรรมน้ำมันหล่อลื่น เพื่อลดการเกิดสนิมและการกัด

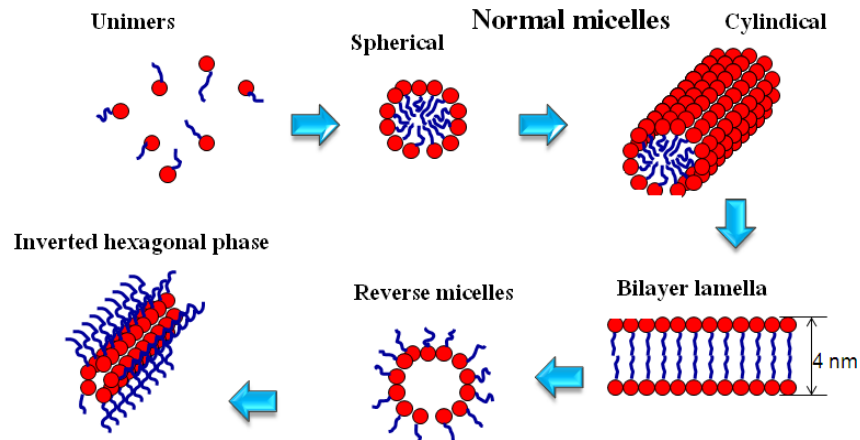
กร่อนและใช้เป็นสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิสูง อุตสาหกรรมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็น ตัวต้านทานที่แปรค่าตามแรงดันลวดนาโนซิงค์ ออกไซด์ใช้กันฟ้าผ่า และแก๊สเซนเซอร์ เป็นต้นซึ่งได้แสดงสมบัติทางกายภาพไว้ในตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของอนุภาคซิงค์ออกไซด์

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| สูตรทางเคมี | ZnO |
| น้ำหนักโมเลกุล | 81.4 g/mole |
| สัดส่วนน้ำหนักอะตอมของออกซิเจน | 34.3% |
| สัดส่วนน้ำหนักอะตอมของสังกะสี | 65.7% |
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย | 20-40 nm |
| พื้นที่ผิวจำเพาะ | 26.22 m ² /g |
| ความหนาแน่น | 5.6 g/cm ³ |
| จุดหลอมเหลว | 1975 °C |
| ช่องว่างแถบพลังงาน | 3.3 eV |
| โครงสร้างที่เสถียร | Hexagonal Wurtzite |

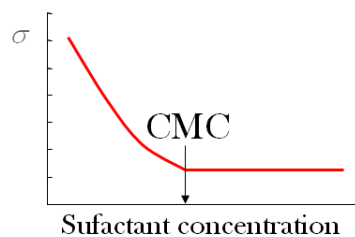
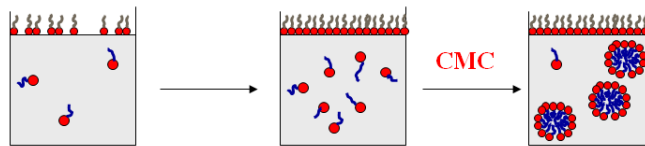
2. สารลดแรงตึงผิว (Surfactants)

สารลดแรงตึงผิวมักเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีโครงสร้างเป็นแบบโมเลกุลแอมฟิพาธิค (amphipathic molecules) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) หรือส่วนหัว และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือส่วนหาง โดยส่วนหางนี้มักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เริ่มต้น เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในน้ำ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะสะสมอยู่บริเวณผิวของตัวทำละลาย และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากัน ด้วยแรงดึงดูดระหว่างกันในส่วนที่เหมือนกัน (surfactant self-association) ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่าไมเซลล์ (micelle) ขึ้น ลักษณะกลไกการเกิดไมเซลล์แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กลไกการเกิดไมเซลล์

ซึ่งความเข้มข้น ณ จุดที่ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมารวมตัวกันนี้ เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด เรียกความเข้มข้น ณ จุดนี้ว่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะมีค่าลดลงจนถึงจุด CMC หลังจากนั้น ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะไม่ลดลงอีกถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายก็ตาม ทำให้การเกิดไมเซลล์จะไม่ส่งผลต่อค่าแรงตึงผิวของสารละลายอีกต่อไป



- Below the CMC only unimers are present.
- Above the CMC there are micelles in equilibrium with unimers.

รูปที่ 2.3 การเกิดจุดวิกฤตความเข้มข้นไมเซลล์ (CMC)

ในปี 2005 Yu Tang และคณะ ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าแรงตึงผิวและความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิวแบบผสมระหว่าง CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide) และ NaDS (Sodium dodecylsulfate) พบว่าแรงตึงผิวจะลดลงและความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 30 °C สำหรับระบบเดี่ยวและในระบบผสมแบบอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับของ CTAB และ NaDS มีค่า CMC ในน้ำเท่ากับ 1.12 4.08 และ 4.55 mM ที่จุด CMC ได้ค่าแรงตึงผิวเท่ากับ 39.94 40.13 และ 52.97-57.25 mN/m ตามลำดับ ความสามารถในการละลายของระบบผสมแบบอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับของ CTAB และ NaDS เท่ากับ 1.99 mM และได้คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลอง

| ชื่อสารเคมี | CTAB | NaDS |
|--------------------|--|---|
| ชนิดประจุ | บวก | ลบ |
| สูตรโมเลกุล | $(C_{16}H_{33})N(CH_3)_3Br$ | $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$ |
| มวลโมเลกุล (g/mol) | 364.45 | 288.38 |
| จุดหลอมเหลว (°C) | 237-243 | 206 |
| การใช้ประโยชน์ | ใช้ในการฆ่าเชื้อจึงมักเป็นส่วนผสมในน้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ | ใช้ในการทำความสะอาดดีมาจิ้งมักเป็นส่วนผสมในแชมพู หรือน้ำยาล้างจาน |

3. การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

วิธีการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์มีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีโซล-เจล วิธีการสลายตัวทางความร้อน วิธีการทำปฏิกิริยาในวัฏภาคแก๊ส วิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล และวิธีการสังเคราะห์แบบโซล-โวลเทอร์มอล เป็นต้น (SunandanBaruah และ JoydeepDutta, 2008) ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและแบบโซลโวลเทอร์มอล โดยใช้สารลดแรงตึงผิวมาเป็นตัวช่วยในการควบคุมรูปร่าง

ในปี 2010 Yan-Xiang Wang และคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้สังกะสีไนเตรตและแอมโมเนียคาร์บอเนต ผสมกันอย่างทั่วถึงจนได้ผลึกตะกอนสีขาว โดยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้น้ำ 45.5 มิลลิลิตรต่อสารตั้งต้น 1.5 กรัม ส่วนเทคนิคโซลโวลเทอร์มอลได้ใช้

เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ในการทดลองได้ใช้ CTAB ที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 0.1 0.4 0.5 และ 0.8 M ตามลำดับ ทำการปรับ pH ให้เท่ากับ 10 แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 220 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นหาสมบัติเฉพาะด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และหาสัณฐานวิทยาของสารตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FESEM) พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แสดงโครงสร้างแบบเฮกซะนอลเวทช์ไลท์ (JCPDS 36-1451, $a = 3.249 \text{ \AA}$, $c = 5.206 \text{ \AA}$) จากภาพของ FESEM ในระบบไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเพิ่มความเข้มข้น CTAB จาก 0.1 เป็น 0.5 M พบว่าซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ ความยาวเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 6 ไมครอน และเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เปลี่ยนแปลง ในระบบไฮโดรเทอร์มอลนั้นความเข้มข้นของ CTAB เพิ่มจาก 0.1 เป็น 0.4 M ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลึกซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 500 nm และความยาวเพิ่มจาก 800 เป็น 1000 nm

ในปี 2009 Yang และคณะ ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลอุณหภูมิต่ำคือ 150 °C โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) และแอมโมเนีย (25%) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 5 10 15 และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล โดยทำการตรวจวัดโครงสร้างด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และทำการศึกษาสมบัติเชิงแสงด้วยเครื่องโฟโตลูมิเนสเซนส์ (PL) พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แสดงโครงสร้างแบบเฮกซะนอลเวทช์ไลท์ (JCPDS 36-1451) และขนาดกว้างประมาณ 450 300 70 และ 30 nm ยาวประมาณ 2.5 3.5 2.2 และ 1.5 μm และพีคของการเปล่งแสงที่อุณหภูมิห้องเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นประมาณ 380 550 570 และ 600 nm ตามลำดับ

ในปี 2006 Yi Hu และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมและลักษณะนาโนซิงค์ออกไซด์จากระบบไฮโดรเทอร์มอล โดยเตรียมจากการสลายตัวของซิงค์อะซิเตตภายใต้ความร้อนในสารละลายไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) แล้วทำการปรับปริมาณน้ำในระบบ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจวัดโครงสร้างด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าขนาดของซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยแสดงโครงสร้างแบบเฮกซะนอลเวทช์ไลท์ (JCPDS 36-1451)

ในปี 2554 Narinton Buatong และคณะ ได้ศึกษาการสังเคราะห์และโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์นาโนร็อดที่เจือโลหะ โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลซึ่งเตรียมโดยใช้ซิงค์ไนเตรตและแมกนีเซียมไนเตรตเป็นสารตั้งต้นด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบสมบัติด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และหาสัณฐานวิทยาของสารตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่ไม่เจือโลหะมีโครงสร้างแบบเฮกซะ-

โกนอลวิทซ์ไชท์ โดยค่าคงที่แลตทิต $a = 0.3253 \text{ nm}$, $c = 0.5207 \text{ nm}$ ส่วนที่เจือด้วยแมกนีเซียมแสดงโครงสร้างแบบวัฏภาคผสมระหว่างเฮกซะโกนอลวิทซ์ไชท์กับคิวบิกมีค่าแลตทิตเพิ่มขึ้นคือ $a = 0.3271 \text{ nm}$, $c = 0.5234 \text{ nm}$ และพบว่าขนาดเกรนของซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น

ในปี 2009 Linping Xu และคณะ ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่แตกต่างกันจากการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลโวลเทอร์มอลเตรียมโดยใช้ Zinc Acetylacetonate ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มากกว่าน้ำ โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ต่างแตกต่างกัน โดยจากการตรวจสอบลักษณะเฉพาะจากเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และสัณฐานวิทยาของสารตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลวิทซ์ไชท์ (JCPDS 36-1451) นอกจากนี้ ยังพบว่าการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ในตัวทำละลายที่แตกต่างกันจะได้โครงสร้างสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันด้วย ตัวอย่างเช่น ตัวทำละลายเป็นเดคเคน (decane) ได้รูปร่างเป็นพีระมิดหกเหลี่ยมห้วนตัด หากเป็นน้ำจะได้เป็นรูปแท่งหกเหลี่ยม หากเป็นโทลูอิน (toluene) จะได้รูปร่างคล้ายนาฬิกาทราย เป็นต้น



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบเดี่ยวและระบบผสม โดยการเก็บตัวอย่างในลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Bulk)
2. การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดระบบเดี่ยวและระบบผสม โดยการเก็บตัวอย่างในลักษณะที่คอลลอยด์
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องมือวิเคราะห์

1. การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบเดี่ยวและระบบผสม โดยการเก็บตัวอย่างในลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Bulk)

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1.1.1 เครื่องมือทดลอง

- เตาไฟฟ้า (Hot plate)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump)
- ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)
- ตู้อบ (Oven)
- เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)
- เครื่องวัดค่า pH
- ถังปฏิกิริยาแบบไฮโดรเทอร์มอลขนาดเล็ก ขนาด 125 มิลลิลิตร (A teflon-lined hydrothermal reactor, Parr Instrument)

1.1.2 เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง

- เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)
- เครื่องมือวัดหาขนาดของอนุภาค (Mastersizer)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

- เครื่องวัดพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนของสาร (BET)

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB , $C_{19}H_{42}BrN$) บริสุทธิ์มากกว่า 99% ผลิตโดยบริษัท ACROS ORGANICS
- Sodium dodecylsulfate (NaDS, $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$) บริสุทธิ์มากกว่า 92.8%ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- ซิงค์ไนเตรดบริสุทธิ์มากกว่า 98% (Zinc Nitrate , $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ผลิตโดยบริษัท BDH Laboratory supplies poole
- เฮปเทนบริสุทธิ์มากกว่า 99.7% (Heptane , $CH_3(CH_2)_5CH_3$) ผลิตโดยบริษัท Fluka
- แอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium Carbonate , $(NH_4)_2CO_3$) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- เมทานอลบริสุทธิ์มากกว่า 99.8% (Methanol) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- โซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์มากกว่า97.0% (Sodium hydroxide ,NaOH) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA

1.3 ขั้นตอนการทดลอง

1.3.1 ขั้นตอนการทำให้ Sodium dodecylsulfate บริสุทธิ์ขึ้น

1.3.1.1 ขั้นตอนการละลายด้วยน้ำ

- ชั่ง Sodium dodecylsulfate (NaDS) 20 กรัมละลายน้ำ DI 250 มิลลิลิตรหรือใช้อัตราส่วนมวล NaDS ต่อมวลน้ำ DI เป็น 4:50 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 °C ด้วยเตาไฟฟ้า (Hot plate) และมีการใช้แม่เหล็กเป็นตัวกวน (Magnetic stirrer) เพื่อให้ NaDS ละลายในน้ำได้หมด

- เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายได้หมดแล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) โดยการใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 ซึ่งสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วจะเป็นสารละลาย NaDS ที่ผ่านการกำจัดสิ่งเจือปนบางส่วนที่แขวนลอยที่ไม่สามารถผ่านกระดาษกรองออกไปได้ ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การกรองร้อน”

- นำสารละลาย NaDS ที่ผ่านการกรองร้อนแล้วไปลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 16 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการตกผลึก โดยนำไปใส่ถังน้ำแข็งทิ้งไว้ประมาณ 2-3 ชั่วโมงเพื่อรอให้ NaDS เกิดเป็นตะกอนหรือผลึก

- เมื่อ NaDS ได้ตะกอนหรือผลึกแยกตัวออกจากน้ำแล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) โดยการใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 ซึ่งจะได้ตะกอน NaDS อยู่บนกระดาษกรองส่วนสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วจะเป็นสารละลายที่มีสิ่งเจือปนที่ละลายน้ำได้ปนอยู่ ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การกรองเย็น”

- นำตะกอน NaDS ที่กรองได้ไปลดความชื้น โดยมีซิลิกาเป็นตัวดูดความชื้นเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (Desiccators) ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง

- เมื่อ NaDS แห้งดีแล้วนำไปบดให้ละเอียดแล้วเก็บใส่ขวดรอนำไปละลายในเมทานอลขั้นตอนต่อไป

1.3.1.2 ขั้นตอนการละลายด้วยเมทานอล

- เมื่อได้ Sodium dodecylsulfate (NaDS) ที่ผ่านการละลายด้วยน้ำแล้ว ชั่ง NaDS 10 กรัมนำไปละลายด้วยเมทานอล 100 มิลลิลิตร หรืออัตราส่วนมวล NaDS กับมวลเมทานอลเป็น 1:10 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 °C ด้วยเตาไฟฟ้า (Hot plate) และมีการใช้แม่เหล็กเป็นตัวกวน (Magnetic stirrer) เพื่อให้ NaDS ละลายในน้ำได้หมด

- เมื่อสารละลายได้หมดแล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) โดยการใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 ซึ่งสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วจะเป็นสารละลาย NaDS ที่ได้จำกัดสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถผ่านกระดาษกรองออกไปได้ ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การกรองร้อน”

- นำสารละลาย NaDS ที่ผ่านการกรองร้อนแล้วไปลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 16 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการตกผลึก โดยนำไปใส่ถังน้ำแข็งทิ้งไว้ประมาณ 2-3 ชั่วโมงเพื่อรอให้ NaDS เกิดเป็นตะกอนหรือผลึก

- เมื่อ NaDS เกิดตะกอนหรือผลึกแยกตัวออกจากเมทานอลแล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) โดยการใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 ซึ่งจะได้ตะกอน NaDS อยู่บนกระดาษกรองส่วนสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วจะเป็นสารละลายที่มีสิ่งเจือปนที่ละลายกับเมทานอลได้ปนอยู่ ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การกรองเย็น”

- นำตะกอน NaDS ที่กรองได้ไปไล่ไอละเหยเมทานอลออกด้วยการใช้ปั๊มดูดเมทานอลออกจากตู้ดูดความชื้น (Desiccators) ตลอด 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง โดยมีซิลิกาเจลเป็นตัวดูดความชื้นด้วย

- เมื่อ NaDS แห้งดีแล้วนำไปบดให้ละเอียดแล้วเก็บใส่ขวดรอนำไปใช้ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ขั้นต่อไป

1.3.2 ขั้นตอนการเตรียม Zinc Carbonate (Precursor powders)

- ชั่งซิงค์ไนเตรต (Zinc Nitrate) 139.86 กรัม ไปละลายน้ำ DI 100 มิลลิลิตรและซังแอม โนเนียมคาร์บอเนต (Ammonium Carbonate) 75.02 กรัม ไปละลายน้ำ 500 มิลลิลิตร

- แล้วนำสารละลายทั้งสองข้างต้นมาผสมกันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยมีการกวนตลอดเวลาด้วยตัวกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ที่สุด

- จากนั้นจะเกิดตะกอนของซิงค์คาร์บอเนต (Zinc Carbonate) ที่มีสีขาวแยกตัวออกจากน้ำแล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump)

- นำตะกอนซิงค์คาร์บอเนตที่กรองได้ไปไล่ความชื้นโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้งดี

- เมื่อตะกอนซิงค์คาร์บอเนตแห้งดีแล้วนำไปบดให้ละเอียดแล้วเก็บใส่ขวดรอนำไปใช้ในขั้นตอนการสังเคราะห์ Zinc Oxide ต่อไป

1.3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Zinc Oxide

ตารางที่ 3.1 ระบบการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นและชนิดของสารลดแรงตึงผิวต่างกัน

| การสังเคราะห์ สารลดแรงตึงผิว | NaDS | NaDS/CTAB | CTAB |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|
| แบบไฮโดรเทอร์มอล | 100 mM | 100 M | - |
| | 300 mM | 300 M | - |
| | 500 mM | 500 M | - |
| แบบโซลโวเทอร์มอล | 20 mM | 20 mM | 20 mM |
| | 50 mM | 50 mM | 50 mM |
| | 100 mM | 100 mM | 100 mM |

1.3.3.1 การสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล

- ใส่วัตถุดิบคาร์บอน 3 กรัม และสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการคำนวณในแต่ละความเข้มข้นไปละลายน้ำ DI 100 มิลลิลิตรแล้วผสมให้เข้ากัน
- วัดค่า pH ของสารละลายเริ่มต้นแล้วทำการปรับค่า pH ด้วยการหยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) เข้มข้น 1 M ให้ได้ค่า pH ประมาณ 10
- นำสารละลายไปใส่ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรเทอร์มอลขนาดเล็ก (A teflon-lined hydrothermal reactor, Parr Instrument) ขนาด 125 มิลลิลิตรปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปให้ความร้อนในเตาเผา 180 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงรอให้สารละลายเย็นตัว
- เมื่อสารละลายเย็นตัวแล้วจะเกิดตะกอนของซิงค์ออกไซด์ที่มีสีขาวแล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) และฉีดล้างตะกอนด้วยน้ำ DI
- นำตะกอนซิงค์ออกไซด์ที่กรองได้ไปไล่ความชื้นโดยนำไปอบที่อุณหภูมิสูง 105 °C ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้งดี
- โดยนำตะกอนซิงค์ออกไซด์วางใส่ถ้วยเซรามิกนำเข้าเตาเผาเพื่อแคลไซต์ไล่สารเจือปนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
- นำ Zinc Oxide ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ XRD, Mastersizer, SEM และ BET

1.3.3.2 การสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล

- ใส่ซิงค์คาร์บอเนต 3 กรัม และสารลดแรงตึงผิว 14 ที่ได้จาก การคำนวณในแต่ละความเข้มข้นไปละลายน้ำ DI 20 มิลลิลิตรแล้วผสมให้เข้ากัน
- วัดค่า pH ของสารละลายเริ่มต้นแล้วทำการปรับค่า pH ด้วยการหยด โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) เข้มข้น 1 M ให้ได้ค่า pH ประมาณ 10
- จากนั้นเติมเฮปแทน 80 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายไปใส่ถังปฏิกรณ์ แบบไฮโดรเทอร์มอลขนาดเล็ก (A Teflon lined hydrothermal reactor, Parr Instrument) ขนาด 125 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปให้ความร้อนในเตาเผา 180 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง รอให้ สารละลายเย็นตัว
- เมื่อสารละลายเย็นตัวแล้วจะเกิดตะกอนของซิงค์ออกไซด์ที่มีสีขาว แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum pump) และ ฉีดล้างตะกอนด้วยน้ำ DI
- นำตะกอนซิงค์ออกไซด์ที่กรองได้ไปไล่ความชื้นโดยนำไปอบที่ อุณหภูมิสูง 105 °C ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะสารจะแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก
- โดยนำตะกอนซิงค์ออกไซด์วางใส่ถ้วยเซรามิกนำเข้าเตาเผาเพื่อแคล ไซด์ไล่สารเจือปนที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
- นำ Zinc Oxide ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ XRD, Mastersizer, SEM และเครื่อง BET เพื่อนำผลไปวิเคราะห์ต่อไป

2. การสังเคราะห์สังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดระบบเดี่ยวและระบบผสม โดยการเก็บตัวอย่างในลักษณะที่คอลลอยด์

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือทดลอง

- เตาไฟฟ้า (Hot plate)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)
- ตู้อบ (Oven)
- เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)
- เครื่องวัดค่า pH

- ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรเทอร์มอลขนาดเล็ก ขนาด 125 มิลลิลิตร (A teflon-lined hydrothermal reactor, Parr Instrument)
- 3.1.2 เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง
- เครื่องวัดค่าความต่างศักย์ของผิวอนุภาคและวัดขนาดนาโนเมตร (Zeta Potential, delsa C nano, Particle Analyser)

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB , $C_{19}H_{42}BrN$) บริสุทธิ์มากกว่า 99% ผลิตโดยบริษัท ACROS ORANICS
- Sodium dioctylsulfosuccinate (NaDSS) บริสุทธิ์มากกว่า 99% ผลิตโดยบริษัท ACROS ORANICS
- Sodium dodecylsulfate (NaDS) บริสุทธิ์มากกว่า 92.8% ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- Sodium 4-octylbenzenesulfonate (NaOBS) บริสุทธิ์มากกว่า 99% ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- 3-(N,N-Dimethyloctadecylammonio)-propanesulfonate (DOAPS) บริสุทธิ์มากกว่า 99% โดยบริษัท ALDRICH
- ซิงค์ไนเตรดบริสุทธิ์มากกว่า 98% (Zinc Nitrate , $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ผลิตโดยบริษัท BDH Laboratory supplies poole
- เฮกเซนบริสุทธิ์มากกว่า 99.7% (Hexane , $CH_3(CH_2)_4CH_3$) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- แอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium Carbonate, $(NH_4)_2CO_3$) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- เมทานอลบริสุทธิ์มากกว่า 99.8% (Methanol) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- โซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์มากกว่า 97.0% (Sodium hydroxide ,NaOH) ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA
- Sulphuric acid 96% ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียม Zinc Carbonate (Precursor powders)

- ชั่งซิงค์ไนเตรต (Zinc Nitrate) 209.79 กรัม ไปละลายน้ำ DI 500 มิลลิลิตรและชั่งแอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium Carbonate) 112.53 กรัมไปละลายน้ำ 750 มิลลิลิตร
- แล้วนำสารละลายทั้งสองข้างต้นมาผสมกันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยมีการกวนตลอดเวลาด้วยตัวกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ที่สุด
- จากนั้นจะเกิดตะกอนของซิงค์คาร์บอเนต (Zinc Carbonate) ที่มีสีขาวแยกตัวออกจากน้ำ
- ใช้ปิเปต นำน้ำออกมาปริมาตร 250 ml และเติมน้ำ DI water กลับ 250 ml และรอให้ตะกอนของซิงค์คาร์บอเนต (Zinc Carbonate) ที่มีสีขาวแยกตัวออกจากน้ำ และทำซ้ำอีกครั้ง แต่ในครั้งที่ 3 ไม่ต้องเติมน้ำ DI water กลับเข้าไป จะทำให้เราได้ precursor ที่มีปริมาตร 1000 ml

ตารางที่ 3.2 ระบบการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีชนิดของสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 100 mM

| สารลดแรงตึงผิว [ระบุ] | ระบบไฮโดรเทอร์มอล | ระบบโซลโวเทอร์มอล |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| NaDS [-] | ✓ | ✓ |
| NaDDS/NaDS [-/-] | ✓ | ✓ |
| NaDS [-] | ✓ | ✓ |
| NaDSS/NaOBS [-/-] | ✓ | ✓ |
| NaDS/NaOBS [-/-] | ✓ | ✓ |
| NaOBS [-] | ✓ | ✓ |
| NaDS/CTAB [-/ +] | ✗ | ✓ |
| NaOBS/CTAB [-/+] | ✓ | ✓ |
| CTAB [+] | ✓ | ✓ |

ตารางที่ 3.3 ระบบการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีชนิดของสารลดแรงตึงผิวชนิด DOAPS (Zwitterionic Surfactant) ที่ความเข้มข้น 100 mM และปรับเปลี่ยนค่า pH

| สารลดแรงตึงผิว [ประจุ] | pH | ระบบไฮโดรเทอร์มอล | ระบบโซลโวเทอร์มอล |
|------------------------|----|-------------------|-------------------|
| DOAPS [zwitterion] | 4 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 5 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 8 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 9 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 10 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 11 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 12 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 13 | ✓ | ✓ |
| DOAPS [zwitterion] | 14 | ✓ | ✓ |

3.3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Zinc Oxide

3.3.2.1 ระบบไฮโดรเทอร์มอล

- นำ precursor มาควนให้เข้ากันเป็นสารเนื้อเดียวแล้วจึงเปิด ซิงค์คาร์บอเนต (Zinc Carbonate) จาก precursor 20 มิลลิลิตร นำสารละลายไปใส่ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรเทอร์มอลขนาดเล็ก (A teflon-lined hydrothermal reactor ,Parr Instrument) ขนาด 125 มิลลิลิตร

- ชั่ง Surfactants ให้ได้น้ำหนักตามระบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2-3.3 โดยที่ความเข้มข้นคงที่ที่ 100 mM ทุกระบบ แล้วนำไปใส่ถังปฏิกรณ์

- เติมน้ำ DI water 80 มิลลิลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ จากนั้นเติมน้ำ NaOH หรือ H₂SO₄ ที่ความเข้มข้นที่ทำให้ได้ค่า PH ที่ต้องการตามระบบนั้น (ระบบที่ค่า pH ที่ 4 และ 5 นั้นจะใช้ H₂SO₄ ส่วนระบบที่เหลือจะใช้ NaOH) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในถังปฏิกรณ์

- ปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปให้ความร้อนในเตาเผา 180 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงรอให้สารละลายเย็นตัว

- ดูดสารละลาย 20 มิลลิลิตร โดยประมาณ โดยผ่าน Syringe Filter (Nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร มาเก็บไว้ที่ขวดเก็บตัวอย่าง

- นำ Zinc Oxide ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวัด Zeta Potential

3.3.2.2 ระบบไฮโดรเทอร์มอล

- นำ precursor มากวนให้เข้ากันเป็นสารเนื้อเดียวแล้วจึงเปิด ings คาร์บอเนต (Zinc Carbonate) จาก precursor 20 มิลลิลิตร นำสารละลายไปใส่ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรเทอร์มอลขนาดเล็ก (A teflon-lined hydrothermal reactor ,Parr Instrument) ขนาด 125 มิลลิลิตร

- ชั่ง Surfactants ให้ได้น้ำหนักตามระบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2-3.3 โดยที่ความเข้มข้นคงที่ที่ 100 mM ทุกระบบ แล้วนำไปใส่ถังปฏิกรณ์

- เติม DI water 50 มิลลิลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ จากนั้นเติม Hexane ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในถังปฏิกรณ์

- เติม NaOH หรือ H_2SO_4 ที่ความเข้มข้นที่ทำให้ได้ค่า PH ที่ต้องการตามระบบนั้น (ระบบที่ค่า pH ที่ 4 และ 5 นั้นจะใช้ H_2SO_4 ส่วนระบบที่เหลือจะใช้ NaOH) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในถังปฏิกรณ์

- ปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปให้ความร้อนในเตาเผา 180 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงรอให้สารละลายเย็นตัว

- คูดสารละลาย 20 มิลลิลิตร โดยประมาณ โดยผ่าน Syringe Filter (Nylon) ขนาด รูพรุน 0.45 ไมโครเมตร มาเก็บไว้ที่ขวดเก็บตัวอย่าง

- นำ Zinc Oxide ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวัด Zeta Potential

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องมือวิเคราะห์

3.1 เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

ชื่อเครื่องมือ Bruker AXS D5005 ใช้รังสี CuK α ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 0.1542 นาโนเมตรให้ความต่างศักย์ 40 kV และให้กระแสไฟฟ้า 40 mA ที่มุม 2-theta จาก 10° - 80° และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของ 2-theta เท่ากับ 0.2 s/step

คำนวณขนาดผลึกได้จากค่าเฉลี่ยของการวัดเส้นรังสีเอ็กซ์ (X-rays) ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Scherrer ดังนี้

$$D = \frac{0.9 \times \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

เมื่อ D = ค่าเฉลี่ยของขนาดผลึก
 λ = ความยาวคลื่น (0.1542 นาโนเมตร, เมื่อใช้ CuK α)
 β = ความกว้างที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของยอดที่สูงที่สุดของซิงค์ออกไซด์ (FWHM) ในหน่วยเรเดียน
 θ = มุมการเลี้ยวเบนสำหรับยอดที่สูงที่สุดในหน่วยองศา

หรือสามารถหาขนาดผลึกเฉลี่ยได้จากสูตรของ Scherrer มีเทอมความเครียดของวัสดุ ดังนี้

$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{1}{\varepsilon} + \frac{\tau \sin \theta}{\lambda} \quad (2)$$

เมื่อ ε = ค่าเฉลี่ยของขนาดผลึก
 λ = ความยาวคลื่น (0.1542 นาโนเมตร, เมื่อใช้ CuK α)
 τ = ความเครียดของวัสดุ (effective strain)

3.2 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer, Mastersizer)

ชื่อเครื่องมือ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดขนาดของอนุภาคของสาร โดยให้ซิงค์ออกไซด์กระจายตัวในน้ำ DI ให้ขอบเขตการทำงานของเครื่องมือเป็น 300F : 0.5 - 300 mm ความยาวแสงที่ใช้งานคือ 14.3 nm ตั้งค่าการวิเคราะห์เป็นแบบ Polydisperse

3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

สัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOLJSM-6400 โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมดจะต้องทำการเคลือบทอง (Au-coated) ก่อนที่จะนำตรวจสอบโดยเครื่อง SEM ซึ่งหลักการทำงานของ SEM คือเมื่ออิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า แล้วจะผ่าน condenser lens เพื่อส่งลำแสงไปยังตัวอย่างที่มาวิเคราะห์ แล้วอิเล็กตรอนจะสะท้อนไปยังตัวรับแล้วแสดงออกมาเป็นภาพ

3.4 เครื่องวัดพื้นที่ผิวปริมาตรพรุนและขนาดของรูพรุนของสาร (Brunauer Emmett Teller, BET)

เครื่อง micromeritics ASAP 2010 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดพื้นที่ผิวของสาร โดยต้องทำการไล่ความชื้นของอากาศให้หมดและทำการ Degas เป็นวิธีการพ่นด้วยแก๊สเฉื่อย เป็นการขจัดแก๊สที่มีอยู่ในตัวทำละลายจำนวนไม่มาก ซึ่งจะใช้ได้ดีกับระบบแบบ low-pressure mixing โดยวิธีการนี้เป็นการใช้แก๊สเฉื่อยมาแทนที่แก๊สออกซิเจนและอื่นๆที่มีอยู่ในตัวทำละลาย โดยปรกติแล้วในการวัดพื้นที่ผิวนั้น จะอาศัยการวัดปริมาณแก๊สที่พื้นผิวดูดซับเอาไว้ ซึ่งเครื่องนี้ใช้แก๊สไนโตรเจน โดยจะทำการวัดที่อุณหภูมิจุดเดือดของแก๊สไนโตรเจน (ประมาณ -196°C) จากนั้นให้พื้นผิวทำการดูดซับแก๊สไนโตรเจน แล้วจึงค่อยวัดว่าพื้นผิวดูดซับแก๊สไนโตรเจนได้เท่าไร โดยอาจดูจากปริมาณแก๊สที่หายไปตอนที่ป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าไป หรือจากปริมาณแก๊สที่คายออกมาตอนที่ไล่แก๊สออกด้วยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสามารถวัดค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนและขนาดของรูพรุนของสารที่ทำการศึกษาได้

3.5 เครื่องวัดค่าความต่างศักย์ของผิวอนุภาคและวัดขนาดนาโนเมตร (Zeta Potential, delsa C nano, Particle Analyser)

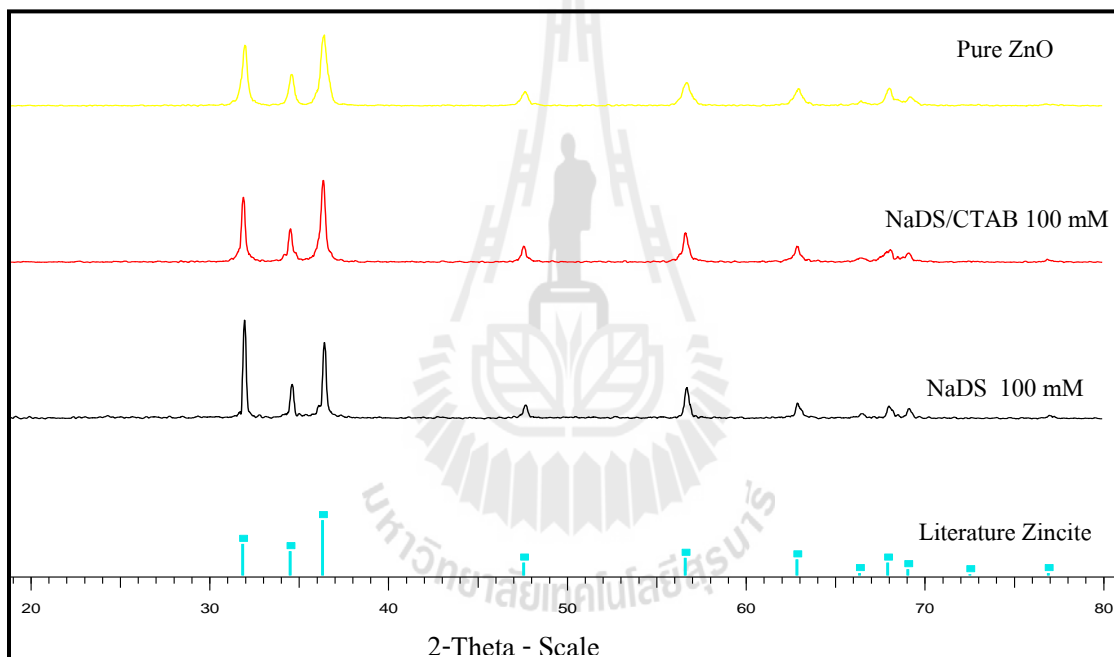
เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดอนุภาค และค่า Zeta potential ด้วยมุม 90° ในสารตัวอย่างคอลลอยด์ โดยระบบจะทำการวัดขนาดจากการกระเจิงของแสง ในขณะที่อนุภาคเกิดการเคลื่อนที่ตลอดเวลาในสารตัวกลางแบบ Brownian motion โดยระบบจะทำการตรวจจับความถี่ในการกระเพื่อมขึ้น-ลงของแสง เพื่อทำการคำนวณหาขนาดอนุภาค ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เลื่อนตำแหน่งของอนุภาค ซึ่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบ Brownian motion มีผลต่อความเข้มของแสงที่กระเจิงจากอนุภาค โดยอนุภาคขนาดใหญ่จะเกิดการความถี่ในการกระเพื่อมขึ้น-ลงของแสงที่กระเจิงต่ำ ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เลื่อนตำแหน่งต่ำ จะเคลื่อนที่ช้ากว่าอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งมีความถี่ในการกระเพื่อมของแสงที่กระเจิงสูงกว่า

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

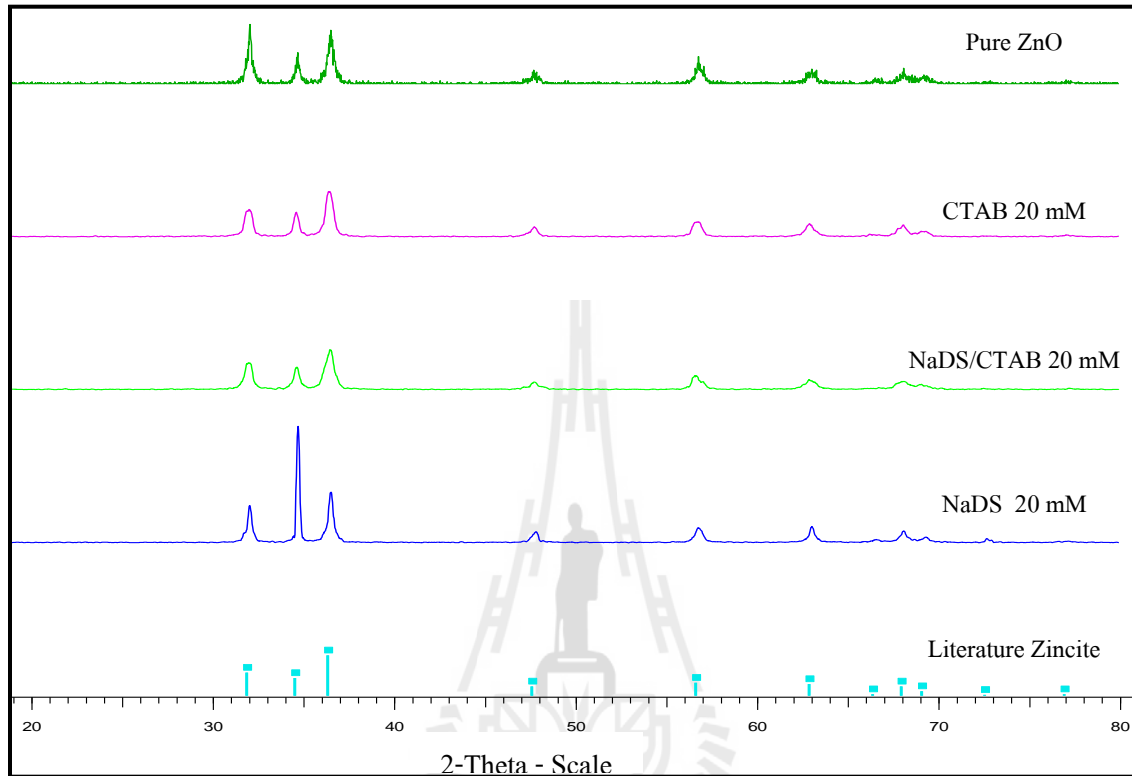
จากการทดลองทำการเลือกซิงค์ออกไซด์จากการสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นต่างกันและรูปแบบการสังเคราะห์ต่างกันมาระบบละหนึ่งตัวอย่างรวมทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล และการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล เพื่อนำมาตรวจสอบลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูป XRD สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

จากรูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล พบว่าทุกระบบมีตำแหน่งของ 2-Theta ตรงกับซิงค์ออกไซด์อ้างอิง JCPDS 36-1451 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอลเวทซ์ไซต์ที่มีค่าคงที่แลตทิซ $a = 3.249 \text{ \AA}$, $c = 5.206 \text{ \AA}$ แต่พบว่าระบบ NaDS 100 mM มีความสูงของพีคต่างจากซิงค์ออกไซด์แม่แบบอย่างมาก ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบ NaDS มีผลทำให้การจัดเรียงโครงสร้างภายในเปลี่ยนแปลงไปแต่ยังคงคุณสมบัติเป็นอนุภาคซิงค์ออกไซด์ตามตำแหน่งของ 2-Theta จากงานวิจัยของ Yan-Xiang Wang และคณะ (2010) จาก

เติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB จะได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอลเวทซ์ ไซท์เช่นกัน



รูปที่ 4.2 รูป XRD สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวลเทอร์มอล

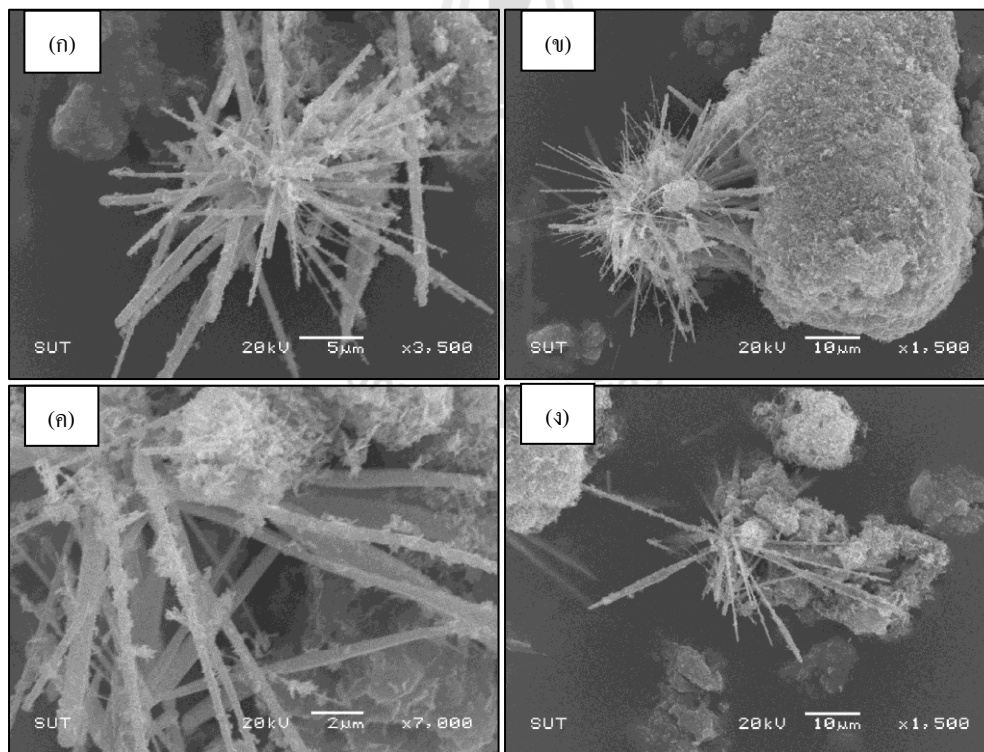
จากรูปที่ 4.2 เป็นการแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวลเทอร์มอล พบว่าทุกระบบมีตำแหน่งของ 2-Theta ตรงกับซิงค์ออกไซด์อ้างอิง JCPDS 36-1451 (Literature Zincite) ซึ่งมีรูปร่างเป็นแบบเฮกซะโกนอลเวทซ์ไซท์ที่มีค่าคงที่แลตทิซ $a = 3.249 \text{ \AA}$, $c = 5.206 \text{ \AA}$ แต่พบว่าระบบ NaDS 20 mM และระบบที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวในระบบ มีความสูงของพีคต่างจากซิงค์ออกไซด์แม่แบบอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าระบบโซลโวลเทอร์มอลที่มีเฮปแทนเป็นตัวทำละลาย และระบบที่มีสารลดแรงตึงผิวประจุลบ NaDS เติมในระบบ ทำให้มีผลต่อการจัดเรียงโครงสร้างอนุภาคเกิดการเปลี่ยนไปจากสารอ้างอิงแต่ยังคงเป็นอนุภาคซิงค์ออกไซด์เหมือนเดิม

ดังนั้นการผสมไมเซลล์แบบต่างประจุบวกและลบเข้าไปในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์จึงไม่มีผลทำให้สารเกิดเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นสารอื่น โดยยังคงลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ไว้ตามตำแหน่งของ 2-theta เหมือนเดิม และนอกจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์จะ

สามารถบอกความเป็นลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ตามตำแหน่งของ 2-theta แล้ว ยังสามารถหาขนาดผลึกเดี่ยวของ ซิงค์ออกไซด์ได้ด้วยตามสมการของ Sherrer ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 3 ในบทนี้

2. การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

ทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยถ่ายภาพแบบกำลังขยายสูงและต่ำเพื่อดูรูปร่างของผลึกซิงค์ออกไซด์ซึ่งในการทดลองนี้ได้แบ่งตัวอย่างออกเป็นสองกลุ่มคือสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว และระบบโซลโวเทอร์มอลที่ใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำและเฮปแทนโดยมีอัตราส่วนโดยปริมาตรเป็น 1:4 แล้วศึกษาผลต่อการเกิดรูปร่างของซิงค์ออกไซด์เมื่อทำการสังเคราะห์โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวระบบเดียวกันทั้งชนิดประจุบวกและลบ รวมถึงเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวแบบผสมประจุที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากัน (equimolar) ซึ่งแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวในระบบไว้ดังรูปที่ 4.3 ดังนี้



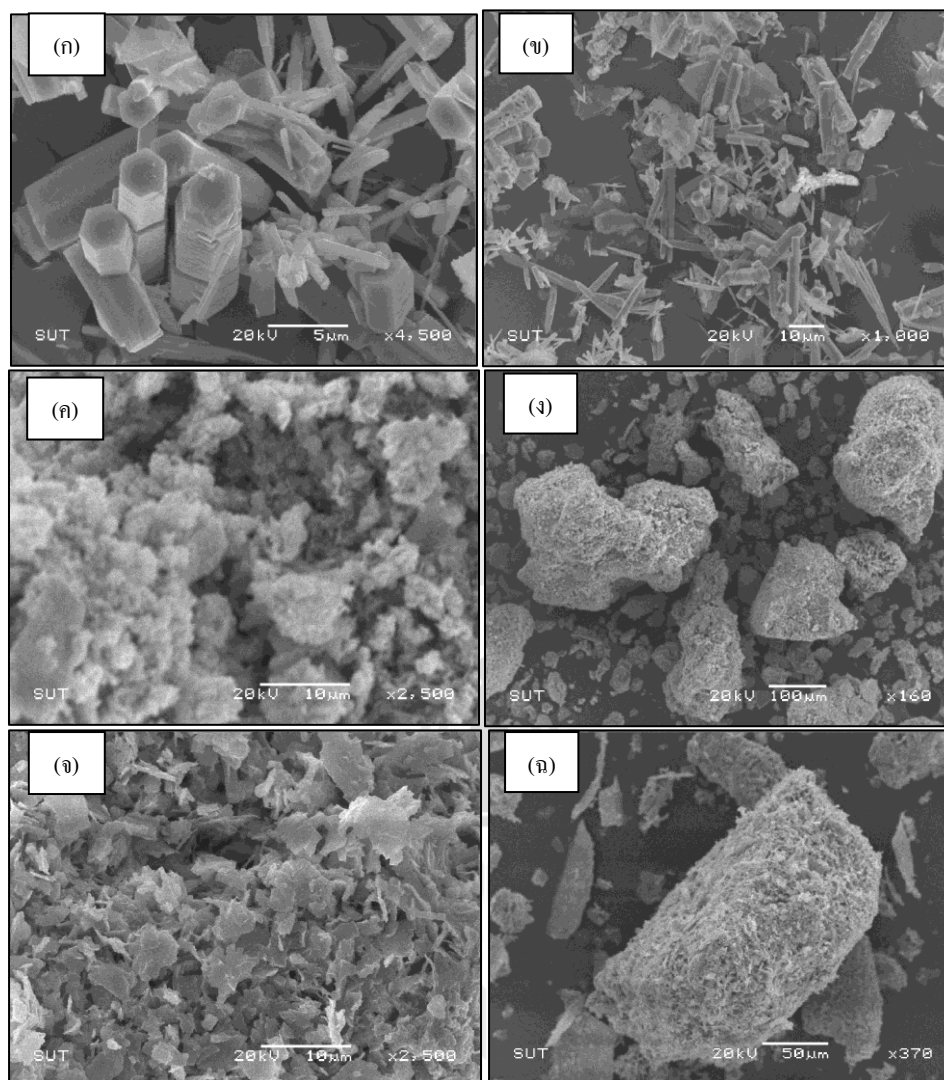
รูปที่ 4.3 รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบไม่มีสารลดแรงตึงผิวในระบบโดยใช้วิธีการสังเคราะห์ (ก,ข) ไฮโดรเทอร์มอล และ (ค,ง) โซลโวเทอร์มอล

จากรูปที่ 4.3 (ก,ข) เป็นการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล พบว่าผลึกซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างคล้ายกับดอกไม้ลักษณะเป็นแท่งยื่นออกจากจุดศูนย์กลาง $15.46 \mu\text{m}$ กว้าง $0.71 \mu\text{m}$ ส่วนรูปที่ 4.3 (ค,ง) เป็นการสังเคราะห์แบบโซลโวลเทอร์มอลพบว่ามีรูปร่างคล้ายกับการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลมีความยาวแท่งที่ยื่นจากจุดศูนย์กลาง $25.79 \mu\text{m}$ กว้าง $0.87 \mu\text{m}$

2.1 ลักษณะวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

รูปที่ 4.4 เป็นรูปของ SEM ของซิงค์ออกไซด์ในระบบการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลที่ความเข้มข้น NaDS ต่างกัน พบว่าเมื่อความเข้มข้น NaDS 100 mM ดังรูปที่ 4.4 (ก,ข) ผลึกซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกหน้าตัดหกเหลี่ยมมีความกว้างและยาว 4.73 และ $20.35 \mu\text{m}$ ส่วนความเข้มข้น NaDS 500 mM ดังรูปที่ 4.4 (ค,ง) ผลึกมีขนาดเล็กมากและเกาะกลุ่มรวมกันเป็นผลึกที่มีรูพรุนรูปร่างไม่แน่นอนความกว้างและยาวเฉลี่ยของกลุ่มผลึก 86.58 และ $148.78 \mu\text{m}$ เช่นเดียวกับที่ความเข้มข้นของ NaDS 800 mM ที่มีรูปร่างผลึกขนาดเล็กเป็นแผ่นมีขนาดเล็กและบางซึ่งเกาะกลุ่มเป็นเสมือนผลึกที่มีรูพรุนรูปร่างคล้ายทรงสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 4.4 (จ,ฉ)

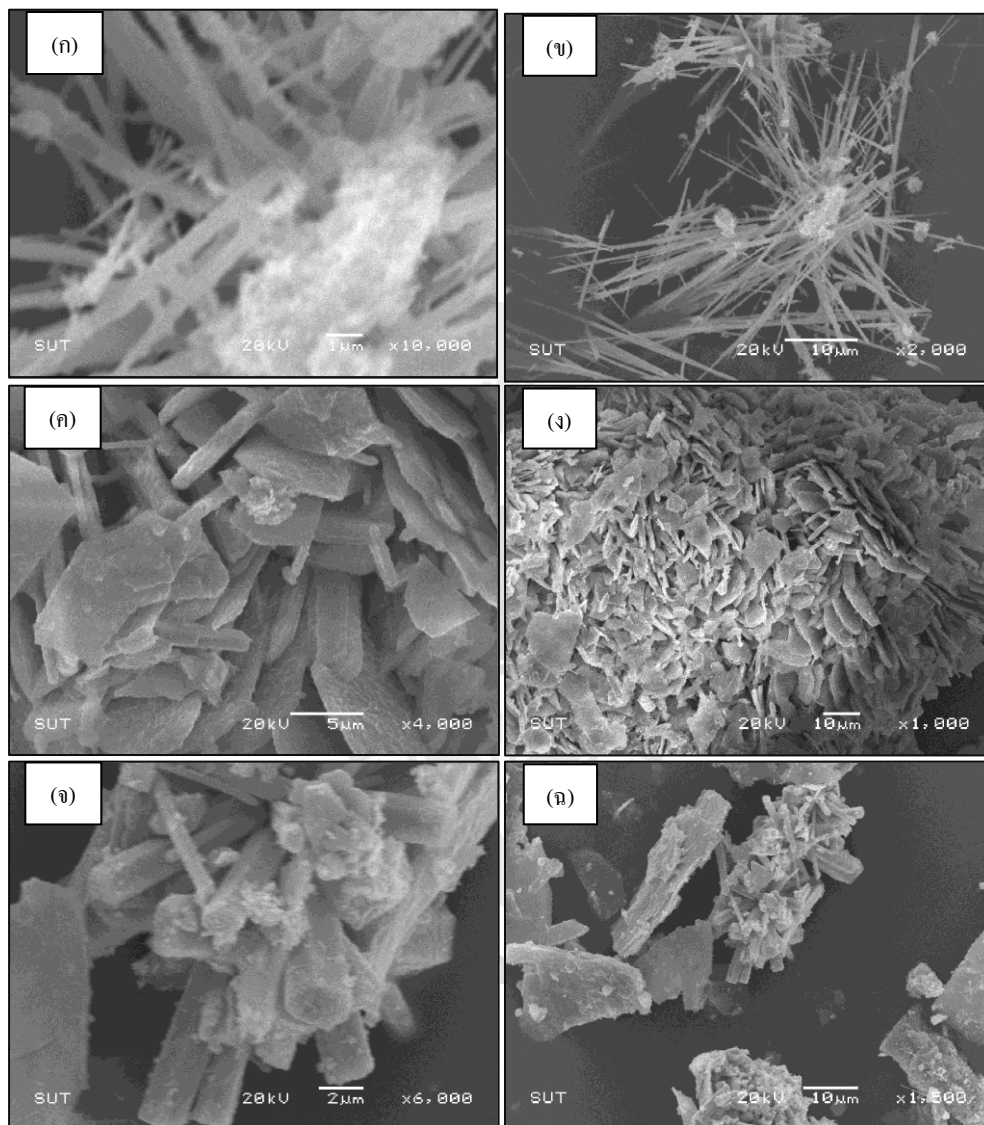




รูปที่ 4.4 รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลเมื่อความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิวNaDS (ก,ข) 100 mM (ค,ง) 500 mM และ (จ,ฉ) 800 mM

จากรูปที่ 4.5 ด้านล่างเป็นรูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ในระบบการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง NaDS และ CTAB ต่างกัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นระบบไมเซลล์ผสม 100 mM ดังรูปที่ 4.5 (ก,ข) ผลึกซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างเป็นแท่งยาวเรียวมีความกว้างและยาวเฉลี่ย 0.525 และ 23.77 μm ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของไมเซลล์ผสม 500 mM ดังรูปที่ 4.5 (ค,ง) ผลึกมีลักษณะเป็นแผ่นมีความหนาค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่รูปร่างไม่แน่นอนความกว้างและยาวเฉลี่ย 7.875 μm 10.84 μm ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของไมเซลล์ผสม 800 mM รูปร่างผลึกเป็นแท่งหกเหลี่ยมที่ยื่นจากแก่นกลางของผลึกแท่งหกเหลี่ยมมีหน้าตัดกว้างขึ้นแต่ความยาวของแท่งสั้นกว่าการ

สังเคราะห์แบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิวดังรูปที่ 4.5 (จ,ฉ) มีความกว้างและความยาวของแท่งหกเหลี่ยมเฉลี่ย 1.59 และ 7.86 μm ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว NaDS/CTAB (ก,ข) 100 mM (ค,ง) 500 mM (จ,ฉ) 800 mM

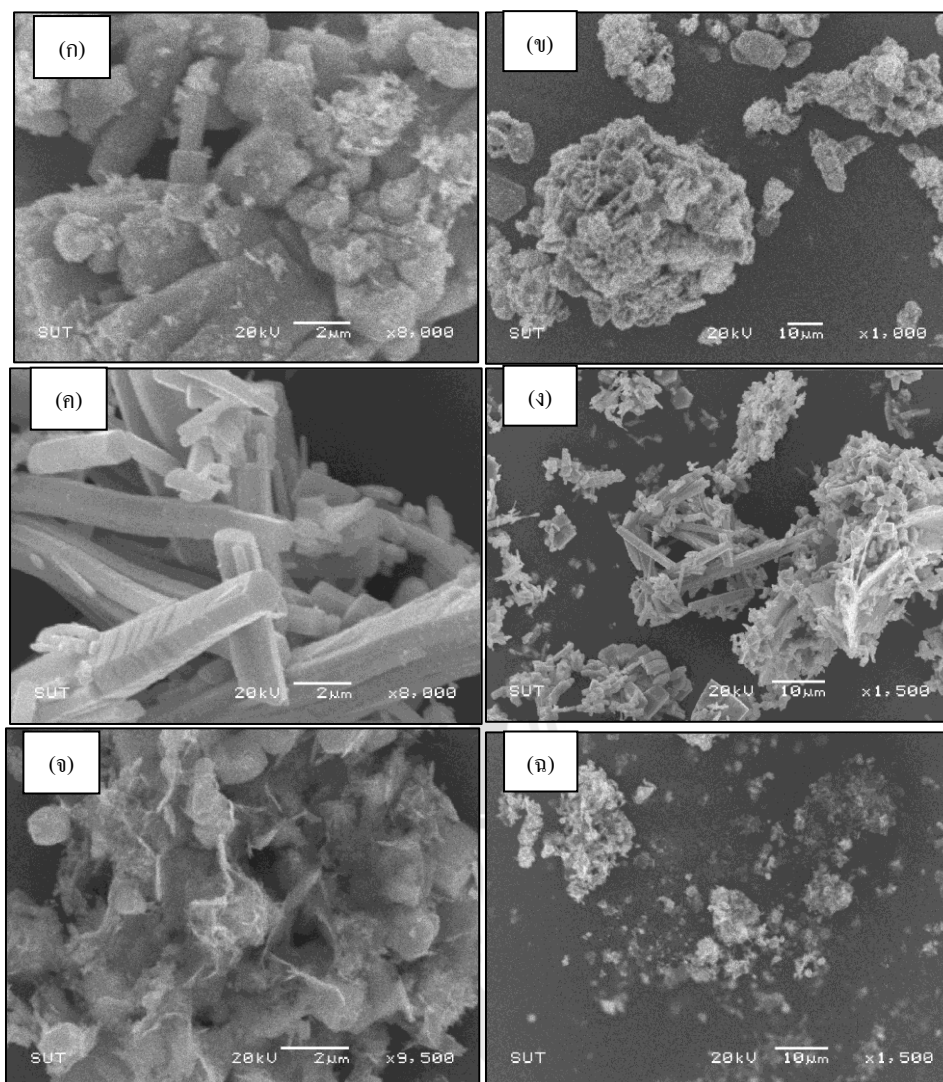
จากงานวิจัยของ Yan-Xiang Wang และคณะ (2011) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) พบว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีรูปร่างคล้ายดอกไม้แฉก และระบบที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีความกว้างและความยาวของแท่งประมาณ

200-400 nm และ 8-10 μm ตามลำดับ เมื่อเดิมความเข้มข้นของ CTAB จาก 100 mM เป็น 500 mM ความยาวของแท่งเพิ่มขึ้นจาก 3 μm เป็น 6 μm และเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งเมื่อความเข้มข้นของ CTAB เป็น 800 mM กลับพบว่ารูปร่างที่ได้คล้ายกับระบบที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว CTAB ในระบบ

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสารลดแรงตึงผิวที่เติมในระบบไฮโดรเทอร์มอล โดยให้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากกว่าจุด CMC ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากัน ด้วยแรงจับของสารลดแรงตึงผิว (surfactant self-association) เกิดเป็น โครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) โดยหากเป็นระบบไมเซลล์ผสมหรือการผสมของสารลดแรงตึงผิวแบบต่างประจุที่มีอัตราส่วนโดยโมลเท่ากัน อาจเกิดไมเซลล์เป็นทรงกลม แต่อาจมีสลับประจุบวกและลบในแต่ละไมเซลล์ที่เกิดขึ้นแล้ววางตัวต่อสลับกัน ซึ่งไมเซลล์ที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ส่งผลต่อการโคของซิงค์ออกไซด์ที่อาจเกิดภายในไมเซลล์ หรือภายนอกไมเซลล์ ทำให้มีผลต่อรูปร่างของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ในแต่ละความเข้มข้นของระบบไมเซลล์ผสมประจุ ทั้งนี้หากเพิ่มความเข้มข้นของระบบไมเซลล์ผสมประจุมากขึ้นอาจทำให้เกิดไมเซลล์เป็นรูปร่างอื่นเช่นอาจไมเซลล์วางตัวเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งทำให้มีผลต่อโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้น

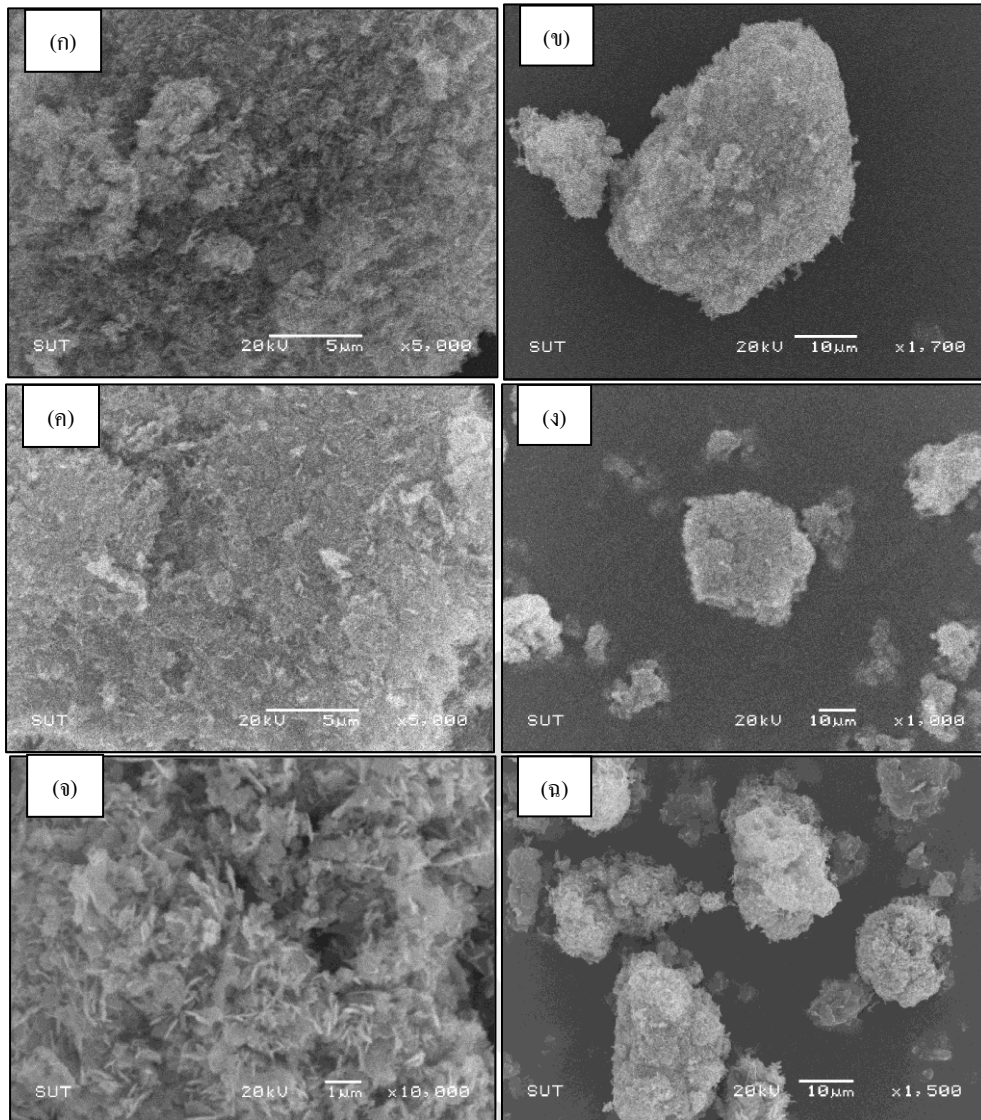
2.2 สันฐานวิทยาของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล

จากรูปด้านล่างรูปที่ 4.6 รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ในระบบการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอลที่ความเข้มข้น NaDS ต่างกัน พบว่าเมื่อความเข้มข้น NaDS 20 mM ดังรูปที่ 4.6 (ก,ข) ผลึกจะเริ่มก่อตัวเป็นผลึกรูปร่างแตกต่างกันเมื่อความเข้มข้น NaDS 50 mM ดังรูปที่ 4.6 (ค,ง) ผลึกซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกหน้าตัดหกเหลี่ยมชัดเจนความกว้างและยาวเฉลี่ย 1.81 และ 13.73 μm ตามลำดับ แต่ที่ความและความเข้มข้นของ NaDS 800 mM ดังรูปที่ 4.6 (จ,ฉ) กลับพบว่ารูปร่างผลึกคล้ายแท่งวงรีและรูปไม่แน่นอนและที่ความเข้มข้นสูงผลึกจะมีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถบอกถึงรูปร่างได้ชัดเจนแต่มีลักษณะคล้ายแผ่นวงกลมที่บางมาก

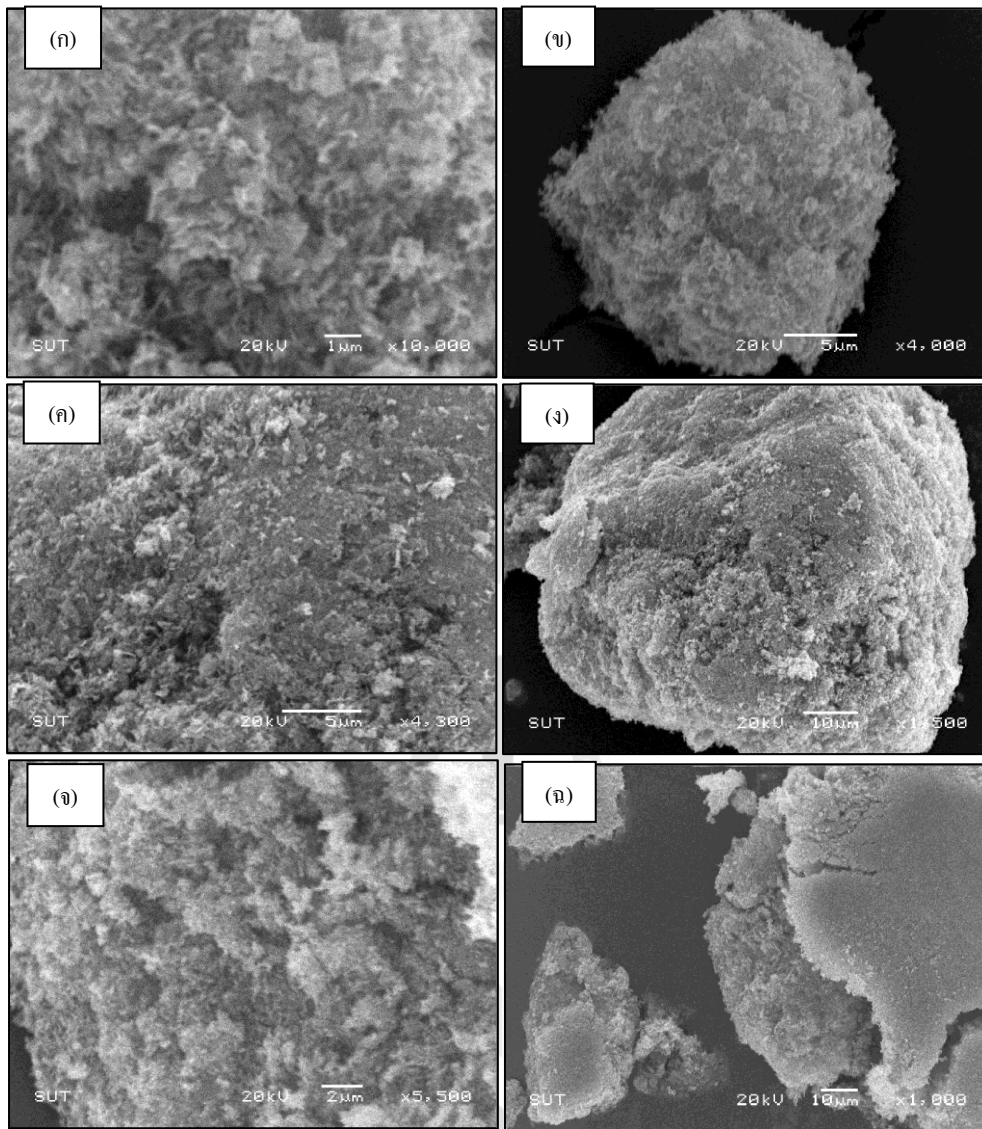


รูปที่ 4.6 รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบโซล โวเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้นของ สารลดแรงดึง NaDS (ก,ข) 20 mM (ค,ง) 50 mM และ (จ,ฉ) 100 mM

จากรูปที่ 4.7 รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ในระบบการสังเคราะห์แบบโซล โวเทอร์มอลที่ความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิว CTAB ต่างกัน พบว่าทุกความเข้มข้นไม่สามารถบอกถึงรูปร่างได้เนื่องจากมีผลึกขนาดเล็กมาก เช่นเดียวกับระบบการสังเคราะห์แบบโซล โวเทอร์มอลมีสารลดแรงดึงผิวผสมระหว่าง NaDS และ CTAB แบบอัตราส่วนโดยโมลเท่ากัน แสดงในรูปที่ 4.8 ที่มีขนาดผลึกที่เล็กมากและไม่สามารถบอกถึงรูปร่างที่แท้จริงของผลึกได้ ซึ่งรูปทุกระบบมีลักษณะคล้ายกันคือเป็น ผลึกละเอียดมาก แล้วรวมกลุ่มกันเป็นรูปร่างคล้ายวงกลม



รูปที่ 4.7 รูป SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบโซลโวลิวทอร์มอล เมื่อความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว CTAB (ก,ข) 20 mM (ค,ง) 50 mM (จ,ฉ) 100 mM



รูปที่ 4.8 รูปของ SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล เมื่อความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว NaDS/CTAB (ก,ข) 20 mM (ค,ง) 50 mM (จ,ฉ) 100 mM

ซึ่งกล่าวได้ว่าสารลดแรงตึงผิวที่เติมในระบบโซลโวเทอร์มอลเนื่องจากเฮปแทนมีค่า dielectric constant = 1.9 หากเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากกว่าจุด CMC ทำให้ไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหากันคาน่าจะเป็น reverse micelles โดยสมบูรณ์โดยหากเป็นระบบไมเซลล์ผสมประจุหรือการผสมของสารลดแรงตึงผิวแบบต่างประจุที่มีอัตราส่วนโดยโมลเท่ากัน แต่ละไมเซลล์อาจวางตัวสลับประจุบวกและลบภายในไมเซลล์เดียวกันวางตัวต่อกันในแต่ละไมเซลล์จึงมีผลทำให้ขีดขวางการโตของผลึกซิงค์ออกไซด์ ซึ่งผลึกซิงค์ออกไซด์อาจเกิดขึ้นภายในหรือภายนอกไมเซลล์

ทำให้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในการสังเคราะห์จึงทำให้ได้มีรูปร่างซิงค์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน

3. การตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์

การหาขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของซิงค์ออกไซด์หาได้จากหลายแหล่ง ซึ่งการทดลองนี้ได้หาจาก

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
2. เครื่องมือวัดหาขนาดของอนุภาค (Mastersizer)
3. เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

โดยการคำนวณและหาค่าขนาดของอนุภาคจากเครื่องมือต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

ตารางที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM (เทียบจากพื้นที่)

| วิธีการสังเคราะห์ | สารลดแรงตึงผิว | ความเข้มข้น (mM) | ค่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ย (μm) |
|-------------------|----------------|------------------|--|
| ไฮโดรเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 2.89 |
| | NaDS | 100 | 10.08 |
| | | 500 | ไม่สามารถหาได้ |
| | | 800 | 4.02 |
| | NaDS/CTAB | 100 | 2.81 |
| | | 500 | 10.07 |
| 800 | | 3.59 | |
| โซลโวเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 3.99 |
| | NaDS | 20 | 10.07 |
| | | 50 | 4.88 |
| | | 100 | 1.26 |

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของซิงค์ออกไซด์โดยทำการวัดทั้งเป็นแบบผลึกเดี่ยวและแบบเป็นกลุ่มก้อนโดยเทียบจากพื้นที่ในภาพถ่าย SEM ที่ปรากฏ ซึ่งในระบบไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS และเพิ่มความเข้มข้นจะพบว่าค่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยลดลงแต่เมื่อเติม NaDS/CTAB พบว่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยมีค่าต่างกันตามความเข้มข้น ส่วนระบบโซล โวลเทอร์มอลเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเมื่อเติม NaDS พบว่าค่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยลดลงเช่นเดียวกับระบบไฮโดรเทอร์มอลแต่เมื่อเติม CTAB และระบบผสมไมเซลล์ NaDS/CTAB พบว่าไม่สามารถหาขนาดของอนุภาคเฉลี่ยได้เนื่องจากรูปร่างผลึกมีขนาดเล็ก และภาพถ่ายไม่ชัดเจนและทำการหาขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์โดยเทียบจากปริมาตรในตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง Mastersizer (เทียบจากปริมาตร)

| วิธีการสังเคราะห์ | สารลดแรงตึงผิว | ความเข้มข้น (mM) | ขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ (μm) | |
|-------------------|----------------|------------------|--|-------|
| ไฮโดรเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 127.86 | |
| | NaDS | 100 | 70.89 | |
| | | 500 | 76.35 | |
| | | 800 | 140.71 | |
| | NaDS/CTAB | 100 | 96.06 | |
| | | 500 | 58.73 | |
| | | 800 | 53.25 | |
| | โซลโวเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 57.87 |
| | | NaDS | 20 | 15.79 |
| 50 | | | 26.24 | |
| 100 | | | 31.07 | |
| CTAB | | 20 | 26.50 | |
| | | 50 | 23.35 | |
| | | 100 | 19.98 | |
| NaDS/CTAB | | 20 | 58.59 | |
| | | 50 | 23.41 | |
| | | 100 | 15.59 | |

จากตารางที่ 4.2 แสดงขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์ที่เทียบจากปริมาตรของซิงค์ออกไซด์ที่ละลายในน้ำโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mastersizer ซึ่งวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลพบว่าเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS ทำให้ขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นในระบบไมเซลล์ผสมทำให้ขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์จะมีค่าลดลง ส่วนวิธีการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอลพบว่าเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS ทำให้ขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น CTAB และในระบบไมเซลล์ผสมทำให้ขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์มีค่าลดลงจะเห็นว่าการสังเคราะห์ทั้งสองแบบมีความ

สอดคล้องกันคือหากเพิ่ม NaDS จะทำให้ขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นและหากเพิ่มความเข้มข้น CTAB ทั้งระบบเดี่ยวและระบบผสมจะทำให้ขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์จะลดลง นอกจากนี้ยังได้หาขนาดของผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากผลของการวัดจาก XRD โดยสมการของ Scherrer ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ขนาดของผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์จาก XRD (สมการของ Scherrer)

| วิธีการสังเคราะห์ | สารลดแรงตึงผิว | ความเข้มข้น (mM) | ค่าขนาดของผลึกเดี่ยว (nm) | |
|-------------------|----------------|------------------|---------------------------|---------------------|
| | | | คิดค่าความเครียด | ไม่คิดค่าความเครียด |
| ไฮโดรเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 20 | 20.92 |
| | NaDS | 100 | 27.02 | 27.56 |
| | NaDS/CTAB | 100 | 32.26 | 33.47 |
| โซลโวเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 17.86 | 18.38 |
| | NaDS | 20 | 32.26 | 33.31 |
| | CTAB | 20 | 14.71 | 15.21 |
| | NaDS/CTAB | 20 | 13.33 | 13.95 |

จากตารางที่ 4.3 ใช้สมการของ Scherrer ที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.1 ในบทที่ 3 โดยแบ่งเป็นสมการของ Scherrer ที่ไม่คิดความเครียดของวัตถุ (สมการที่ 1) และสมการของ Scherrer ที่คิดความเครียดของวัตถุด้วย (สมการที่ 2) และพบว่าแนวโน้มของขนาดผลึกเดี่ยวจากการหาทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลแบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิวทำให้ขนาดผลึกเดี่ยวใหญ่กว่าแบบเติมสารลดแรงตึงผิวเข้าไปในระบบ ในขณะที่ไมเซลล์แบบระบบผสม NaDS/CTAB จะทำให้ได้ขนาดของผลึกเดี่ยวใหญ่กว่าระบบเดี่ยว NaDS ส่วนวิธีการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอลแบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิวเทียบกับแบบเติมสารลดแรงตึงผิวเข้าไปในระบบหากพิจารณาที่ความเข้มข้นเท่ากัน พบว่าระบบเดี่ยว NaDS มีผลทำให้ได้ขนาดของผลึกเดี่ยวใหญ่ขึ้นในขณะที่ระบบเดี่ยว CTAB และระบบไมเซลล์แบบผสม NaDS/CTAB มีผลทำให้ขนาดผลึกเดี่ยวเล็กลง และทั้งสองระบบนี้มีขนาดผลึกเดี่ยวใกล้เคียงกันอีกด้วย

4. การตรวจสอบพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และ ขนาดของรูพรุนของซิงค์ออกไซด์

ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์โดยทำการวัดพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง BET ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง BET

| วิธีการสังเคราะห์ | ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (mM) | | พื้นที่ผิว (m^2/g) | ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g) | ขนาดรูพรุน (nm) |
|-------------------|--|-----|------------------------|----------------------------|-----------------|
| ไฮโดรเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 34.32 | 0.21 | 24.21 |
| | NaDS | 100 | - | - | - |
| | NaDS/CTAB | 100 | 29.50 | 0.17 | 22.98 |
| โซลโวเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | 32.85 | 0.23 | 27.45 |
| | NaDS | 20 | 29.50 | 0.17 | 22.98 |
| | CTAB | 20 | 34.49 | 0.22 | 24.95 |
| | NaDS/CTAB | 20 | 31.46 | - | - |

จากตารางที่ 4.3 พบว่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ทั้งวิธีไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอลแบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบจะมากกว่าแบบเติมสารลดแรงตึงผิวทั้งชนิดประจุบวก ลบและแบบผสมไมเซลล์ หากพิจารณาการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอลจะพบว่าปริมาตรรูพรุนของซิงค์ออกไซด์แบบเติม NaDS จะน้อยกว่าแบบเติม CTAB ซึ่งมีปริมาตรรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ทุกระบบเฉลี่ย $0.2 cm^3/g$ เช่นเดียวกับขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์แบบเติม NaDS จะเล็กกว่าแบบเติม CTAB โดยทุกระบบมีขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์เฉลี่ย $24.51 nm$ ซึ่งมากกว่า $5 nm$ ดังนั้นถือว่าเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) ซึ่งถือว่าไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารซึ่งค่าขนาดของรูพรุนที่วัดได้นี้จะเป็นเพียงช่องว่างระหว่างผลึกซิงค์ออกไซด์ที่มีการซ้อนทับกัน และเมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวของซิงค์ออกไซด์ แบบเติม NaDS จะน้อยกว่าแบบเติม CTAB โดยทุกระบบมีพื้นที่ผิวเฉลี่ย $32.01 m^2/g$ ซึ่งเทียบกับพื้นที่ผิวอ้างอิง $26.22 m^2/g$ (สวทช) และจากการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์โดยวิธีเทอร์โมแกรวิเมตริก-ดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอะนาไลซิส (TG-DTA) มีพื้นที่ผิว $18.93 m^2/g$ ดังนั้นกล่าวได้ว่าวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอลจะทำให้พื้นที่ผิวของซิงค์ออกไซด์มากขึ้น

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่าง ขนาด พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนของ ซิงค์ ออกไซด์คือชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว หรือวิธีการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

5. การตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์โดยเครื่องมือวิเคราะห์ Zeta Potential (Particle Analyzer)

จากการตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าขนาดของอนุภาคของซิงค์ออกไซด์นั้นมีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตรและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวนั้นไม่ส่งผลต่อขนาดของอนุภาคมากนัก จึงได้ทำการศึกษาและปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์และเก็บตัวอย่างใหม่ เพื่อลดขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้ได้ถึงระดับนาโนเมตร โดยจากผลการทดลองพบว่า การเก็บตัวอย่างจากการสังเคราะห์ในลักษณะที่เป็น Bulk ยังไม่สามารถให้ขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตรได้ จึงได้ทดลองปรับเปลี่ยนวิธีการเก็บตัวอย่างจากการสังเคราะห์ และใช้ค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ 100 mM เพียงค่าเดียวซึ่งได้อธิบายขั้นตอนการทดลองไว้ในบทที่ 3 โดยจะเก็บตัวอย่างจากการสังเคราะห์ในลักษณะเป็นคอลลอยด์แทน และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ Zeta Potential



ตารางที่ 4.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของอนุภาคของซิงค์ออกไซด์จาก Cumulative Number Distribution จากเครื่องวิเคราะห์ Zeta Potential

| ระบบ | วิธีการสังเคราะห์ | สารลดแรงตึงผิว | D(10%) (nm) | D(50%) (nm) | D(90%) (nm) |
|------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | ไฮโดรเทอร์มอล | NaDSS | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ |
| 2 | | NaDSS/NaDS | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ |
| 3 | | NaDS | 147.3 | 172.6 | 240.3 |
| 4 | | NaDSS/NaOBS | 104.3 | 149.4 | 1073.8 |
| 5 | | NaDS/NaOBS | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ |
| 6 | | NaOBS | 140.6 | 1507.7 | 2020 |
| 7 | | NaOBS/CTAB | 2.6 | 2.9 | 3.8 |
| 8 | | CTAB | 7.2 | 8.8 | 12.8 |
| 9 | โซลโวเทอร์มอล | NaDSS | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ |
| 10 | | NaDSS/NaDS | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ |
| 11 | | NaDS | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ | หาไม่ได้ |
| 12 | | NaDSS/NaOBS | 574.3 | 670.6 | 892.3 |
| 13 | | NaDS/NaOBS | 32.7 | 39.8 | 58 |
| 14 | | NaOBS | 476.3 | 4324.5 | 7001.6 |
| 15 | | NaDS/CTAB | 3673.3 | 4811.5 | 11170.4 |
| 16 | | NaOBS/CTAB | 47.1 | 48 | 76.2 |
| 17 | | CTAB | 4.2 | 5.2 | 7.2 |

จากตารางที่ 4.5 พบว่าขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์นั้นมีขนาดเล็กซึ่งอยู่ในระดับนาโนเมตร แต่จากการนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ Zeta Potential พบว่าบางระบบนั้นไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นของผลึก (Intensity) ต่ำเกินไป อาจเพราะการสังเคราะห์ด้วยระบบนั้นจะทำให้ได้ขนาดอนุภาคที่ใหญ่เกิน 450 นาโนเมตร เนื่องจากการเก็บตัวอย่างนั้นจะทำการดูดด้วยชุด Syringe filter (Nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จึงทำให้ปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่ผ่านเข้ามานั้นมีปริมาณที่น้อยมาก จากตารางที่ 4.5 พบว่า ในระบบที่ 14 และ 15 ขนาดที่ได้้นั้นค่อนข้างใหญ่

อาจเกิดจากการตกตะกอนของสารลดแรงตึงผิวในระบบขณะทำการวิเคราะห์ จึงส่งผลให้ขนาดที่ได้นั้น เป็นขนาดของสารลดแรงตึงผิวที่ตกผลึกออกมาแทนที่จะเป็นขนาดของซิงค์ออกไซด์ มีข้อสังเกตที่พบ จากการทดลองจากการสังเคราะห์ทั้งแบบไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอลเมื่อใช้ CTAB ช่วยในการสังเคราะห์ (ระบบที่ 8 และ 17) พบว่า ขนาดของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็กมากทั้งสอง

ผลจากการปรับปรุงวิธีการเก็บตัวอย่างในลักษณะของคอลลอยด์นั้น ส่งผลให้ได้ขนาดของอนุภาคในระดับนาโน จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดใหม่ คือ 3-(N,N-dimethyloctadecylammonio)-propanesulfonate (DOAPS) ซึ่งจัดเป็น Zwitterionic Surfactant ชนิดหนึ่งที่มีประจุบวกและลบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้สลายตัวที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถคงสภาพความเป็นสารลดแรงตึงผิวที่อุณหภูมิสังเคราะห์ได้ดี จากการทดลองจะใช้ความเข้มข้นที่ 100 mM เท่ากันกับระบบอื่นก่อนหน้านี้ และทำการปรับค่า pH ของระบบ เพื่อสังเกตผลกระทบต่อขนาดของอนุภาค เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้จะแสดงความเป็นประจุบวกหรือลบขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย



ตารางที่ 4.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ของอนุภาคของซิงค์ออกไซด์จาก Cumulative Number Distribution จากเครื่องวิเคราะห์ Zeta Potential สำหรับระบบที่ใช้ DOAPS ที่ค่า pH ต่างกัน

| ระบบ | วิธีการสังเคราะห์ | ค่า pH | D(10%) (nm) | D(50%) (nm) | D(90%) (nm) |
|------|-------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| 18 | ไฮโดรเทอร์มอล | 4 | 673.4 | 1568.2 | 2433.8 |
| 19 | | 5 | 149.9 | 169.2 | 235.4 |
| 20 | | 8 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |
| 21 | | 9 | 21.7 | 21.7 | 21.7 |
| 22 | | 10 | 10.8 | 10.8 | 11.2 |
| 23 | | 11 | 52.5 | 52.5 | 52.5 |
| 24 | | 12 | 1672.4 | 2037.2 | 3034.8 |
| 25 | | 13 | 21.6 | 21.6 | 21.7 |
| 26 | | 14 | 43.4 | 43.4 | 43.5 |
| 27 | | โซลโวเทอร์มอล | 4 | 2.8 | 3.3 |
| 28 | 5 | | 3.2 | 3.9 | 5.4 |
| 29 | 8 | | 2.6 | 3.2 | 4.6 |
| 30 | 9 | | 3.0 | 3.6 | 5.1 |
| 31 | 10 | | 2.9 | 3.5 | 5.0 |
| 32 | 11 | | 2.9 | 3.5 | 4.9 |
| 33 | 12 | | 3.1 | 3.7 | 5.3 |
| 34 | 13 | | 2.6 | 3.1 | 4.5 |
| 35 | 14 | | 2.8 | 3.3 | 4.8 |

จากตารางที่ 4.6 ขนาดของอนุภาคจากการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดของอนุภาคจากการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลโวเทอร์มอล สอดคล้องกับระบบการสังเคราะห์ก่อนหน้าทั้งนี้ทั้งในการเก็บตัวอย่างแบบ bulk และแบบคอลลอยด์ อย่างไรก็ตามในระบบที่ 18 และ 24 นั้น ขนาดของอนุภาคที่ได้ค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากอาจเกิดการตกตะกอนของสารลดแรงตึงผิวขณะทำการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม จุดเด่นของระบบการสังเคราะห์ที่ใช้ DOAPS เป็นแม่แบบนั้นพบว่าการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลโวเทอร์มอลนั้น การปรับค่า pH นั้นไม่ส่งผลต่อขนาดของอนุภาคแต่อย่างใด แต่ขนาดของอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ได้นั้นมีขนาดเล็กมากและมีขนาดสอดคล้องกันทุกระบบ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาใน reverse micelles ของ DOAPS ในระบบการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล



บทที่ 5

บทสรุป

1. สรุปผลการวิจัย

- 1.1 การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ทุกระบบที่ทำการทดลองโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะนอนลเวอท์ไชท์ โดยสารลดแรงตึงผิวไม่รบกวนโครงสร้างของซิงค์ออกไซด์
- 1.2 ขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์ (Bulk powder) ขึ้นกับการเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ชนิดของสารลดแรงตึงผิว และเทคนิคการสังเคราะห์
- 1.3 การเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว : เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวระบบเดี่ยว NaDS ทำให้ขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ (Bulk powder) ใหญ่ขึ้นแต่ระบบเดี่ยว CTAB และระบบไมเซลล์ผสม NaDS/CTAB จะทำให้ขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์เล็กลง
- 1.4 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว : เทคนิคไฮโดรเทอร์มอล เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวแบบไมเซลล์ผสม NaDS/CTAB ทำให้ขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ (Bulk powder) เล็กลงกว่าระบบเดี่ยวและแบบไม่เติมสารลดแรงตึงผิว ส่วนเทคนิคโซล โวลเทอร์มอล เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวแบบไมเซลล์ผสม NaDS/CTAB ทำให้ขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ (Bulk powder) ใหญ่กว่าระบบเดี่ยวแต่เล็กกว่าแบบไม่เติมสารลดแรงตึงผิวในระบบ
- 1.5 เทคนิคการสังเคราะห์ : การสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอลจะทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าแบบโซล โวลเทอร์มอล ทั้งในตัวอย่างแบบ Bulk powder และคอลลอยด์
- 1.6 การกระจายขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ขึ้นกับความการเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ชนิดของสารลดแรงตึงผิว และเทคนิคการสังเคราะห์
- 1.7 การเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ชนิดของสารลดแรงตึงผิว และเทคนิคการสังเคราะห์มีผลต่อรูปร่างของผลึกซิงค์ออกไซด์
- 1.8 ความเข้มข้นของ NaDS เพิ่มขึ้น ทำให้สีของผลึกซิงค์ออกไซด์เป็นสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นและการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ทุกระบบมีค่าร้อยละ 40-65
- 1.9 การสังเคราะห์ทั้งสองเทคนิคโดยดูแนวโน้มของพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของซิงค์ออกไซด์ คือแบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบจะมากกว่าแบบเติมสารลดแรงตึงผิว

- 1.10 ปริมาตรรูพรุนของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ $0.1974 \text{ cm}^3/\text{g}$ พื้นที่ผิวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ $32.01 \text{ m}^2/\text{g}$ และขนาดรูพรุนของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 24.51 nm
- 1.11 สันฐานวิทยาที่เปลี่ยนไปของซิงค์ออกไซด์โดยการสังเคราะห์แบบใช้สารลดแรงตึงผิวทำให้ได้ขนาดและรูปร่าง และพื้นที่ผิวเฉพาะเปลี่ยนไปในระบบที่ทำการศึกษา
- 1.12 การปรับปรุงวิธีการเก็บสารตัวอย่างแบบคอลลอยด์นั้นส่งผลให้ได้อนุภาคซิงค์ออกไซด์ในระดับนาโนเมตรได้
- 1.13 การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดเล็กที่สุดจากการทดลองครั้งนี้ คือ การสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลโวเทอร์มอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด Zwitterionic Surfactant
- 1.14 ตัวแปรหลักที่สำคัญที่ส่งผลต่อการลดขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์นั้นคือ reverse micelles ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอล เนื่องจากพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาถูกจำกัด ส่งผลต่อการเกิดนิวเคลียสและการโตของผลึกซิงค์ออกไซด์
- 1.15 ค่า pH นั้นไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์แต่อย่างใด แต่อาจส่งผลต่อร้อยละการเกิดซิงค์ออกไซด์ เนื่องจาก OH^- หรือ SO_4^{2-} เป็นแหล่งของออกซิเจนอะตอมของการเกิดซิงค์ออกไซด์

2. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทำการทดลอง มีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อในอนาคต และขอเสนอแนะเทคนิคเพิ่มเติมที่จะเป็นประโยชน์ต่อการทำข้อมูลไปใช้ได้ คือ

- 2.1 ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ Zeta Potential ควรปรับปรุงวิธีการเตรียมตัวอย่างให้มีความสะอาดมากกว่านี้ เพราะในการนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ Zeta Potential นั้น ถ้าสารตัวอย่างไม่สะอาดเพียงพอ ผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง
- 2.2 การสังเคราะห์ในระบบที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด Zwitterionic Surfactant นั้น ควรนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ TEM-EDS ต่อไป เพื่อจะได้ทราบว่าอนุภาคที่ได้จากการสังเคราะห์นั้นเป็นอนุภาคของซิงค์ออกไซด์จริง และเพื่อทราบถึงรูปร่างของผลึกต่อไปว่าการสังเคราะห์ด้วยระบบไหนจะให้รูปร่างและขนาดของผลึก เป็นอย่างไร

บรรณานุกรม

- Atthaphon Maneedaeng. 2010. An investigation into inhibition of precipitation of mixed anionic surfactant systems. School of Chemical Engineering, Institute of Engineering , Suranaree University of Technology.
- Fiechter, A. (1992). Biosurfactants, moving toward industrial application. Tibtech. 10 208.
- Liping X., Yan-Ling H., Candice P., Chun-Hu C., Lei J., Hui H., Shanthakumar S., Mark A., Raymond J., and Steven L.S. (2009). ZnO with different morphologies synthesized by solvothermal methods for enhanced photocatalytic activity. Chemistry of materials article. 21: 2875.
- Narinton B., Weerapat P., and Sirikanjana T. (2554). Synthesis of ZnO nanorods by doping metals using hydrothermal method. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 22, O-PS015:1.
- Sunandan B. and Joydeep D. (2009) Hydrothermal growth of ZnO nanostructures, Science and technology of advanced materials. 10: 013001.
- Yan-Xiang W., Jian S., Xue Y. F., and Xi Y. (2011). A CTAB-assisted hydrothermal and solvothermal synthesis of ZnO nanopowders. Ceramics International. 37: 3431.
- Yang, J.H., Zheng J.H., Zhai H.J., and Yang L.L. (2009). Low temperature hydrothermal growth and optical properties of ZnO nanorods. Crystal Research and Technology. 44: 87.
- Yi H. and Hung-Jiun C. (2008). Preparation and characterization of nanocrystalline ZnO particles from a hydrothermal process. Journal of Nanoparticle Research. 10: 401.
- Yu T., Biying D., Jun Y., and Yuanming Z. (2006). Temperature effects on surface activity and application in oxidation of toluene derivatives of CTAB-SDS with KMnO_4 . Journal of chemical sciences. 118(3): 281.

ชัยกานต์ เดียวหิรัญ. (2550). การสังเคราะห์และการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนถั่วลอข. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศุภนิจพร ชีระภัทร และ สิริพัฒน์ ประโตนเทพ. (2554) Zinc Oxide (ZnO) and Applications, TMEC.



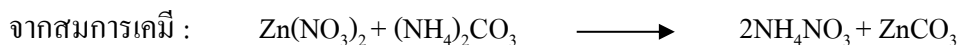


ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมสารและหาค่าร้อยละผลได้ (% Conversion)

ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมสาร

1. เตรียมสารตั้งต้น (ต้องการ ZnCO_3 100 กรัม)



>>มวล โมเลกุล $\text{ZnCO}_3 = 175.41 \text{ g/gmol}$

| | | | |
|---------|-------------------------|---------|---|
| ถ้า | 125.42g ZnCO_3 | เท่ากับ | 1 gmol ZnCO_3 |
| ดังนั้น | 100 g ZnCO_3 | เท่ากับ | $(100 \times 1)/125.42 = 0.797 \text{ gmol } \text{ZnCO}_3$ |

1.1 หาปริมาณ Zinc Nitrate ($\text{Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

| | | | |
|---------|----------------------------|---------|--|
| ถ้า | 1 gmol ZnCO_3 | ต้องการ | 1gmol $\text{Zn(NO}_3)_2$ |
| ดังนั้น | 0.797 gmol ZnCO_3 | ต้องการ | $(0.797 \times 1)/1 = 0.797 \text{ gmol } \text{Zn(NO}_3)_2$ |

>>มวล โมเลกุล $\text{Zn(NO}_3)_2 = 175.41 \text{ g/gmol}$

| | | | |
|---------|--------------------------------|---------|---|
| ถ้า | 1 g $\text{Zn(NO}_3)_2$ | เท่ากับ | 175.41g $\text{Zn(NO}_3)_2$ |
| ดังนั้น | 0.797 gmol $\text{Zn(NO}_3)_2$ | เท่ากับ | $(0.797 \times 175.41)/1 = 139.86\text{g NaOH}$ |

1.2 หาปริมาณ Ammonium Carbonate ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)

| | | | |
|---------|---|---------|---|
| ถ้า | 1 gmol ZnCO_3 | ต้องการ | 1gmol $\text{Zn(NO}_3)_2$ |
| ดังนั้น | 0.797 gmol $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ | ต้องการ | $(0.797 \times 1)/1 = 0.797 \text{ gmol } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ |

>>มวล โมเลกุล $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = 94.09 \text{ g/gmol}$

| | | | |
|---------|--------------------------------|---------|---|
| ถ้า | 1 g $\text{Zn(NO}_3)_2$ | เท่ากับ | 94.09g $\text{Zn(NO}_3)_2$ |
| ดังนั้น | 0.797 gmol $\text{Zn(NO}_3)_2$ | เท่ากับ | $(0.797 \times 94.09)/1 = 75.02\text{g } \text{Zn(NO}_3)_2$ |

ดังนั้นต้องเติม $\text{Zn(NO}_3)_2 = 139.86 \text{ กรัม}$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = 75.02 \text{ กรัม}$ เพื่อให้ได้ $\text{ZnCO}_3 = 100 \text{ กรัม}$

2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 1 M ปริมาตร 100 ml)

| | | | |
|-----------------|---------|---------|---|
| ถ้าสารละลาย | 1000 ml | ต้องการ | 1 gmol NaOH |
| ดังนั้นสารละลาย | 100 ml | ต้องการ | $(100 \times 1)/1000 = 0.1 \text{ gmol NaOH}$ |

>>มวล โมเลกุล NaOH = 40 g/gmol

| | | | |
|---------|---------------|---------|--|
| ถ้า | 1 gmol NaOH | เท่ากับ | 40 g NaOH |
| ดังนั้น | 0.1 gmol NaOH | เท่ากับ | $(0.1 \times 40)/1 = 4 \text{ g NaOH}$ |

ดังนั้นต้องเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) 4 กรัมในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. เตรียมสารละลายสำหรับสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

3.1 ระบบไฮโดรเทอร์มอล (น้ำเป็นตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร)

3.1.1 ระบบเดี่ยว (ตย. ระบบที่ความเข้มข้นของ NaDS 0.1 M)

| | | | |
|-----------------|---------|---------|---|
| ถ้าสารละลาย | 1000 ml | ต้องการ | 0.1 gmolNaDS |
| ดังนั้นสารละลาย | 100 ml | ต้องการ | $(100 \times 0.1)/1000 = 0.01 \text{ gmolNaDS}$ |

>>มวลโมเลกุล NaDS = 288.38 g/gmol

| | | | |
|---------|-----------------|---------|--|
| ถ้า | 1 gmolNaDS | เท่ากับ | 288.38gNaDS |
| ดังนั้น | 0.01 gmol NNaDS | เท่ากับ | $(0.01 \times 288.38)/1 = 2.8838 \text{ g NaDS}$ |

ดังนั้นต้องเติม NaDS 2.8838 กรัมในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.1.2 ระบบผสม (ตัวอย่างจาก ระบบที่ความเข้มข้นของ NaDS/CTAB 0.1 M)

| | | | |
|-----------------|---------|---------|--------------------------------|
| ถ้าสารละลาย | 1000 ml | ต้องการ | 0.1 gmol NaDS/CTAB |
| ดังนั้นสารละลาย | 100 ml | ต้องการ | $(100 \times 0.1)/1000 = 0.01$ |

= 0.005 gmol NaDS/0.005 gmol CTAB

>>มวลโมเลกุล NaDS = 288.38 g/gmol

| | | | |
|---------|-----------------|---------|---|
| ถ้า | 1 gmol NaDS | เท่ากับ | 288.38 g NaDS |
| ดังนั้น | 0.005 gmol NaDS | เท่ากับ | $(0.005 \times 288.38)/1 = 1.4419 \text{ g NaDS}$ |

>>มวลโมเลกุล CTAB = 364.45 g/gmol

| | | | |
|---------|-----------------|---------|--|
| ถ้า | 1 gmol CTAB | เท่ากับ | 364.45 g CTAB |
| ดังนั้น | 0.005 gmol CTAB | เท่ากับ | $(0.005 \times 364.45)/1 = 1.82225 \text{ g CTAB}$ |

ดังนั้นต้องเติม NaDS 1.4419 กรัม และ CTAB 1.82225 กรัม ในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2 ระบบโซลโวเทอร์มอล

คล้ายกับระบบไฮโดรเทอร์มอลแต่ใช้น้ำ 20 มิลลิลิตรหลังจากนั้นเติมเฮปแทน 80 มิลลิลิตร

4. การหาค่าร้อยละผลได้ (% Conversion)

จากตาราง ก1 ระบบไฮโดรเทอร์มอล NaDS 0.1 M เติม ZnCO_3 3.0484 กรัม ได้ ZnO หลังแคลไซต์ 2.0246 กรัม

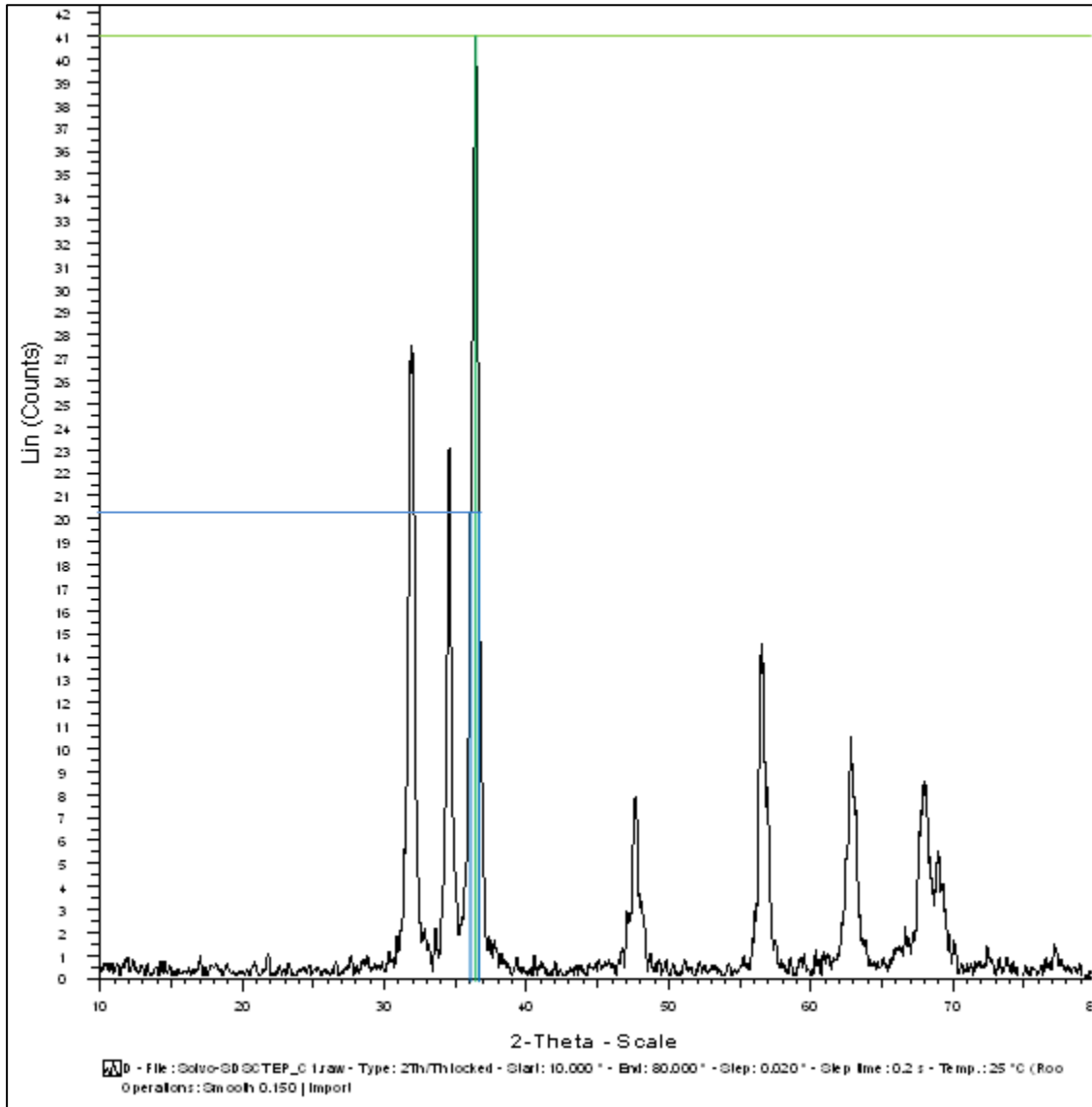
$$\begin{aligned} \% \text{ Conversion} &= (\text{g ZnO} / \text{g ZnCO}_3) \times 100\% \\ &= (2.0246/3.0484) \times 100\% \\ &= 66.42\% \end{aligned}$$

ตารางที่ ก1 ปริมาณสารที่ใช้ และร้อยละผลได้ (%conversion) ของซิงค์ออกไซด์

| ระบบการสังเคราะห์ | ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว | น้ำหนัก NaDS (g) | น้ำหนัก CTAB (g) | น้ำหนัก ZnCO ₃ (g) | pH (28.9 °C) | ปริมาณหยด NaOH | น้ำหนัก ZnO อบแห้ง (g) | น้ำหนัก ZnO Cal (g) | ร้อยละผลได้ (%Conversion) | |
|-------------------|-------------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|--------------|----------------|------------------------|---------------------|---------------------------|-------|
| ไฮโดรเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | - | 3.002 | 7.99-10.88 | 50 | 2.55 | 1.8897 | 62.95 | |
| | NaDS | C-1 = 0.1 M | 2.8851 | - | 3.0484 | 8.08-10 | 120 | 2.1607 | 2.0246 | 66.42 |
| | | C-2 = 0.3 M | 8.6515 | - | 3.0092 | 8.14-10.15 | 28 | 1.7378 | 1.504 | 49.98 |
| | | C-3 = 0.5 M | 14.4198 | - | 3.0468 | 8.34-10.68 | 80 | 0.2099 | 0.4177 | 13.71 |
| | | | 14.42 | - | 3.0686 | 8.24-10 | 120 | 0.2492 | | |
| | NaDS/CTAB | C-1 = 0.1 M | 1.444 | 1.8226 | 3.0905 | 7.59-10.03 | 80 | 2.4638 | 1.881 | 60.86 |
| | | C-2 = 0.3 M | 4.3281 | 5.4675 | 3.0998 | 7.65-10.24 | 85 | 2.4433 | 1.9485 | 62.86 |
| | | C-3 = 0.5 M | 7.2105 | 9.1116 | 3.0768 | 7.73-10.30 | 90 | 1.5643 | 1.2155 | 39.51 |
| | โซลโวเทอร์มอล | ไม่ใช้ | - | - | 3.013 | 7.84-10.91 | 60 | 2.5208 | 1.9053 | 63.24 |
| NaDS | | C1 = 0.02 M | 0.1155 | - | 3.0465 | 7.51-10.90 | 80 | 2.4206 | 1.2805 | 42.03 |
| | | C2 = 0.05 M | 0.2901 | - | 3.0444 | 7.6-10.23 | 94 | 1.8456 | 1.7764 | 58.35 |
| | | C3 = 0.1 M | 0.5767 | - | 3.044 | 7.74-10.12 | 80 | 2.4206 | 1.7901 | 58.81 |
| NaDS/CTAB | | C1 = 0.02 M | 0.0581 | 0.073 | 3.0399 | 7.7-11.3 | 80 | 2.5305 | 1.8672 | 61.42 |
| | | C2 = 0.05 M | 0.1448 | 0.1823 | 3.0363 | 7.6-10.42 | 60 | 2.2828 | 1.6654 | 54.85 |
| | | C3 = 0.1 M | 0.2885 | 0.3646 | 3.0438 | 7.67-10 | 60 | 2.2748 | 1.6285 | 53.50 |
| CTAB | | C1 = 0.02 M | - | 0.1461 | 3.0433 | 7.85-11.43 | 72 | 2.5852 | 1.9034 | 62.54 |
| | | C2 = 0.05 M | - | 0.3646 | 3.0463 | 7.79-10.79 | 56 | 2.5602 | 1.8994 | 62.35 |
| | | C3 = 0.1 M | - | 0.7293 | 3.0421 | 7.75-10.65 | 56 | 2.5664 | 1.9035 | 62.57 |

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์จากสมการ Scherrer



รูปที่ ข1 รูป XRD สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลโวเทอร์มอล
เมื่อเติม NaDS/CTAB 20 mM

จากรูปที่ ข1 สามารถหาจุดที่สูงที่สุดของพีค คือ 41 สามารถอ่านค่า 2θ 36.45 องศาคือมุมการเลี้ยวเบนสำหรับยอดที่สูงที่สุด (θ) 18.225 องศา ซึ่งค่าความสูงที่ครึ่งหนึ่งของพีคที่สูงที่สุดได้ 20.5 ดังนั้นความกว้างที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของยอดที่สูงที่สุดของซิงค์ออกไซด์ (FWHM) เท่ากับ $36.65 - 36.05 = 0.6$ องศา นั่นคือ $\beta = 0.01047$ เรเดเรียน เมื่อความยาวคลื่น (λ) เมื่อใช้ CuK α เท่ากับ 0.1542 นาโนเมตร สามารถหาขนาดผลึกเดี่ยวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ตามสมการ Scherrer ที่ 1 และ 2 ในหัวข้อ 3.1 ในบทที่ 3

$$D = \frac{0.9 \times \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าอนุภาคซิงค์ออกไซด์เฉลี่ย} &= (0.9 \times 0.1542) / (0.01047 \cos (18.225)) \\ &= 13.95 \text{ nm} \end{aligned}$$

หรือสามารถหาขนาดผลึกเฉลี่ยได้จากสูตรของ Scherrer มีเทอมความเครียดของวัสดุ ดังนี้

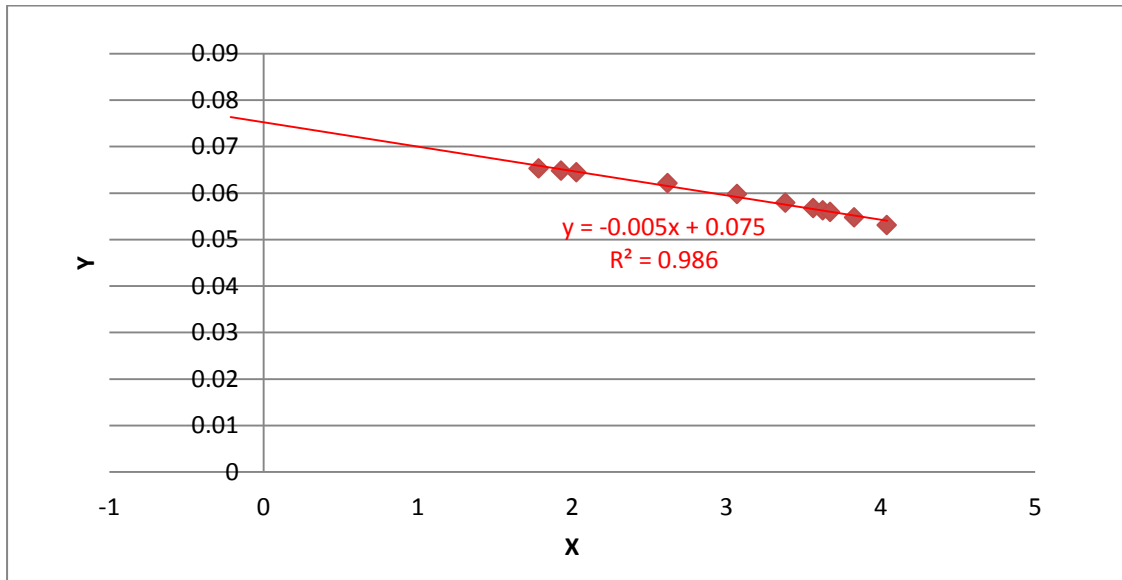
$$\frac{\beta \cos \theta}{\lambda} = \frac{1}{\varepsilon} + \frac{\tau \sin \theta}{\lambda} \quad (2)$$

เมื่อ $\lambda = 0.1542 \text{ nm}$, $\beta = 0.01047$ เรเดเรียน ค่า $X = \frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ และ $Y = \frac{\sin \theta}{\lambda}$ ได้แสดงในตารางที่ ข1

ตารางที่ ข1 ค่า X และ Y ในการหาค่าขนาดผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์จาก XRD

| Peak | 2-theta (degree) | Y | X |
|------|------------------|-------------|-------------|
| 1 | 31.95 | 0.065289024 | 1.784811284 |
| 2 | 34.6 | 0.064839376 | 1.928501129 |
| 3 | 36.45 | 0.064504903 | 2.028206176 |
| 4 | 47.65 | 0.062124451 | 2.619614036 |
| 5 | 56.5 | 0.059822738 | 3.069517945 |
| 6 | 62.9 | 0.057935139 | 3.383620603 |
| 7 | 66.65 | 0.056744778 | 3.562823966 |
| 8 | 68 | 0.056301305 | 3.626413122 |
| 9 | 69 | 0.055967764 | 3.673192198 |
| 10 | 72.4 | 0.054802001 | 3.830127546 |
| 11 | 77.1 | 0.053111294 | 4.04148738 |

นำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $X = \frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ และ $Y = \frac{\sin \theta}{\lambda}$ เพื่อหาค่าขนาดผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ (ϵ) ได้จากเศษส่วนกลับของจุดตัดของกราฟซึ่งจากรูปที่ ข2 ได้จุดตัดกราฟเท่ากับ 0.075 nm^{-1} ดังนั้น ค่าอนุภาคของซิงค์ออกไซด์เฉลี่ย เท่ากับ 13.33 nm



รูปที่ ข2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $X = \frac{\beta \cos \theta}{\lambda}$ และ $Y = \frac{\sin \theta}{\lambda}$ ของเทคนิคการตั้งเกราะห้

ซิงค์ออกไซด์แบบโซลโวเทอร์มอลเมื่อใช้ NaDS/CTAB 20 mM



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณการเตรียมสาร

1. เตรียมสารตั้งต้น (ต้องการ $ZnCO_3$ 150 กรัม)



>>มวลโมเลกุล $ZnCO_3 = 125.41 \text{ g/gmol}$

ถ้า $125.42 \text{ g } ZnCO_3$ เท่ากับ $1 \text{ gmol } ZnCO_3$

ดังนั้น $150 \text{ g } ZnCO_3$ เท่ากับ $(150 \times 1)/125.42 = 1.196 \text{ gmol } ZnCO_3$

1.1 หาปริมาณ Zinc Nitrate ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$)

ถ้า $1 \text{ gmol } ZnCO_3$ ต้องการ $1 \text{ gmol } Zn(NO_3)_2$

ดังนั้น $1.196 \text{ gmol } ZnCO_3$ ต้องการ $(1.196 \times 1)/1 = 1.196 \text{ gmol } Zn(NO_3)_2$

>>มวลโมเลกุล $Zn(NO_3)_2 = 175.41 \text{ g/gmol}$

ถ้า $1 \text{ gmol } Zn(NO_3)_2$ เท่ากับ $175.41 \text{ g } Zn(NO_3)_2$

ดังนั้น $1.196 \text{ gmol } Zn(NO_3)_2$ เท่ากับ $(1.196 \times 175.41)/1 = 209.79 \text{ g } Zn(NO_3)_2$

1.2 หาปริมาณ Ammonium Carbonate ($(NH_4)_2CO_3$)

ถ้า $1 \text{ gmol } ZnCO_3$ ต้องการ $1 \text{ gmol } (NH_4)_2CO_3$

ดังนั้น $1.196 \text{ gmol } (NH_4)_2CO_3$ ต้องการ $(1.196 \times 1)/1 = 1.196 \text{ gmol } (NH_4)_2CO_3$

>>มวลโมเลกุล $(NH_4)_2CO_3 = 94.09 \text{ g/gmol}$

ถ้า $1 \text{ g } (NH_4)_2CO_3$ เท่ากับ $94.09 \text{ g } (NH_4)_2CO_3$

ดังนั้น $1.196 \text{ gmol } (NH_4)_2CO_3$ เท่ากับ $(1.196 \times 94.09)/1 = 112.53 \text{ g } (NH_4)_2CO_3$

ดังนั้นต้องเติม $Zn(NO_3)_2 = 209.79 \text{ กรัม}$ และ $(NH_4)_2CO_3 = 112.53 \text{ กรัม}$ เพื่อให้ได้ $ZnCO_3 = 150$

กรัม

2. เตรียมสารละลายสำหรับสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์

2.1 ระบบไฮโดรเทอร์มอล

ปีเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร และ DI water 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วที่เตรียมไว้ ถ้า

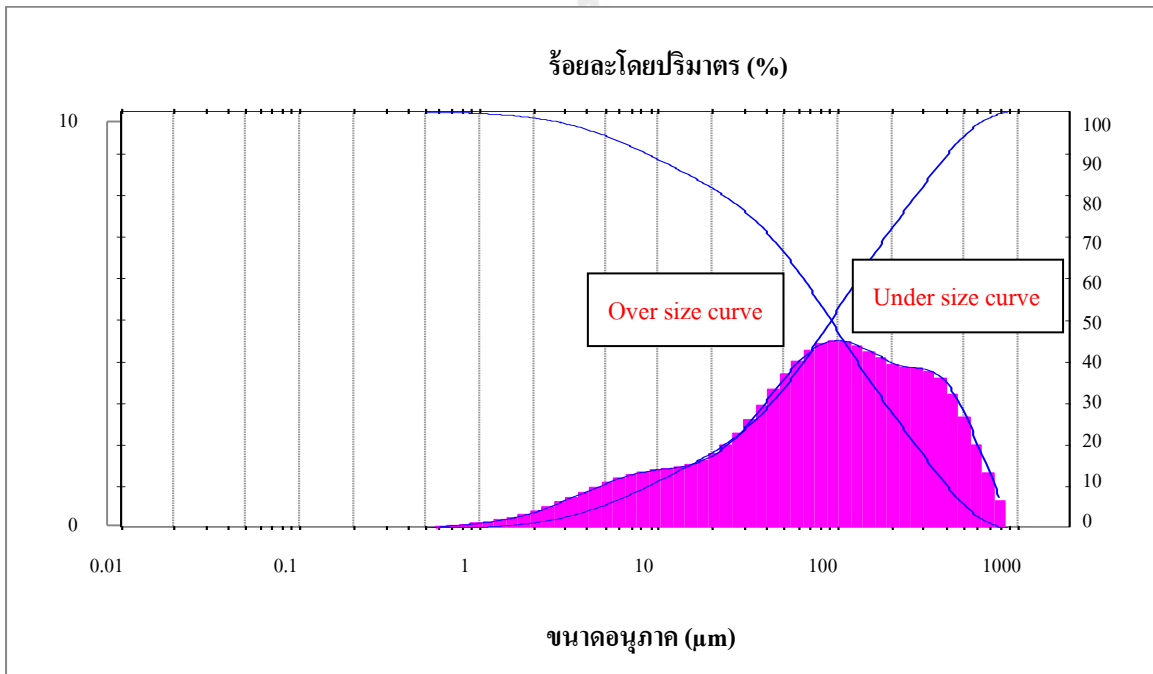
ระบบไหลสารละลายตัวอย่างมีการตกตะกอน ให้กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

2.2 ระบบโซลโวลเทอร์มอล

คล้ายกับระบบไฮโดรเทอร์มอล

ภาคผนวก ง

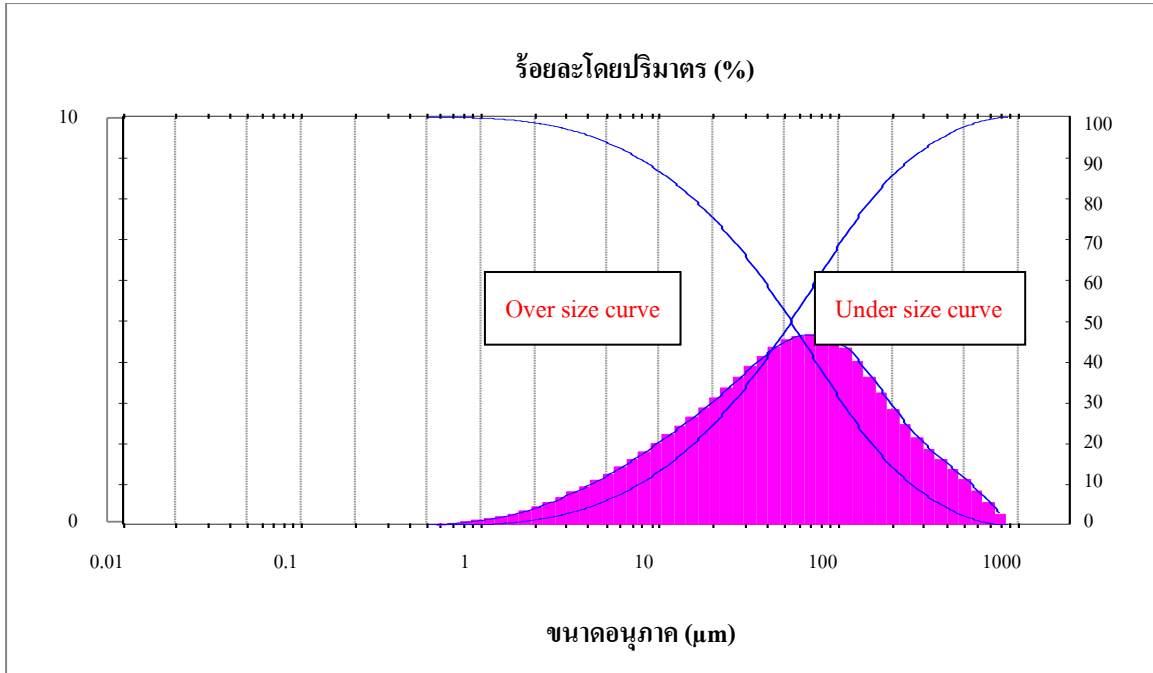
หากพิจารณาการกระจายขนาดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์โดยทำการวัดค่าด้วย Mastersizer เมื่อ Oversize curve เป็นค่าร้อยละของซิงค์ออกไซด์แต่ละระบบที่วัดค่าโดยมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดอนุภาค อ้างอิง และ Undersize curve เป็นค่าร้อยละของซิงค์ออกไซด์แต่ละระบบที่วัดค่าโดยทำการวัดค่าด้วย Mastersizer ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดอนุภาคอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ ง1 และ ง2 เป็นการกระจายขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลและโซลโวเทอร์มอลแบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิว



รูปที่ ง1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล แบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิว

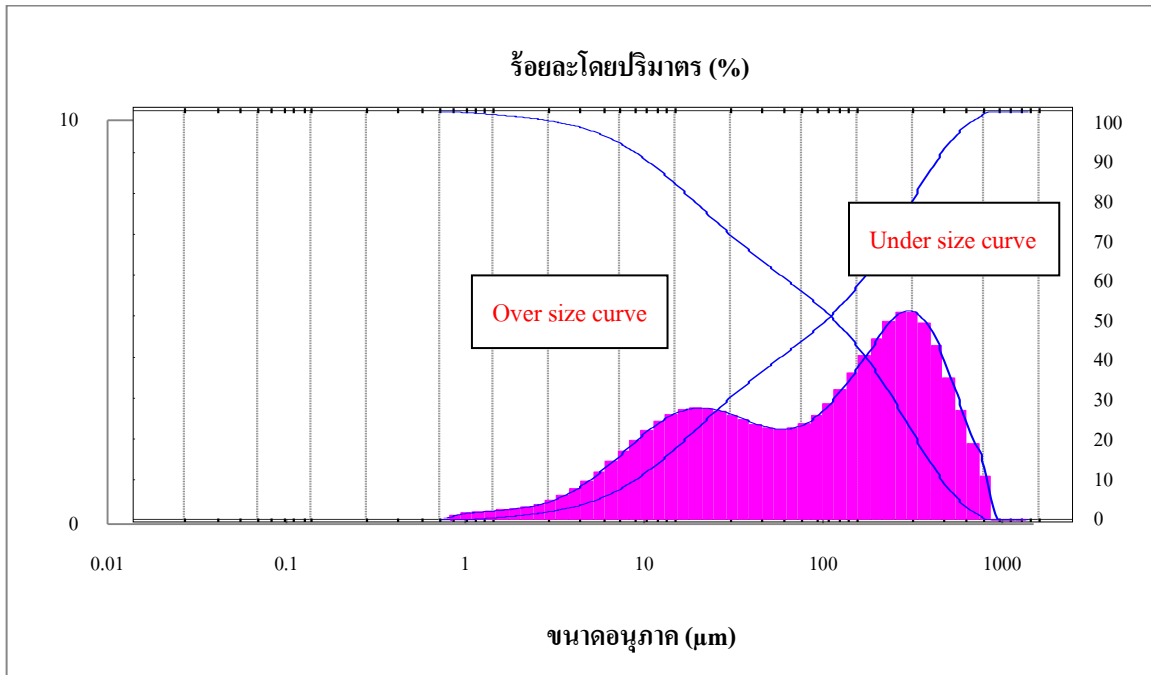
จากรูปที่ ง1 และรูปที่ ง2 พบว่าการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลและเทคนิคโซลโวเทอร์มอลแบบไม่ใช้สารลดแรงตึงผิวจะมีขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์อยู่ใกล้เคียงกันช่วง 0.6-900 µm โดยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลนั้นมีขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์ 90.79 µm กราฟจะเอียงไปทางขวาซึ่งแสดงในเห็นว่าขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ส่วนใหญ่จะมีขนาดกลางและขนาดใหญ่คือช่วง 50-500 µm แต่เทคนิคโซลโวเทอร์มอลนั้นขนาดอนุภาค $D(v, 0.5)$ ของซิงค์ออกไซด์ 53.9

μm กราฟจะเป็นรูปประฆังคว่ำแบบการแจกแจงปกติ โดยจะมีขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ส่วนใหญ่จะมีขนาดกลางคือช่วง 20-200 μm ซึ่งอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่จะมีจำนวนอนุภาคที่น้อย

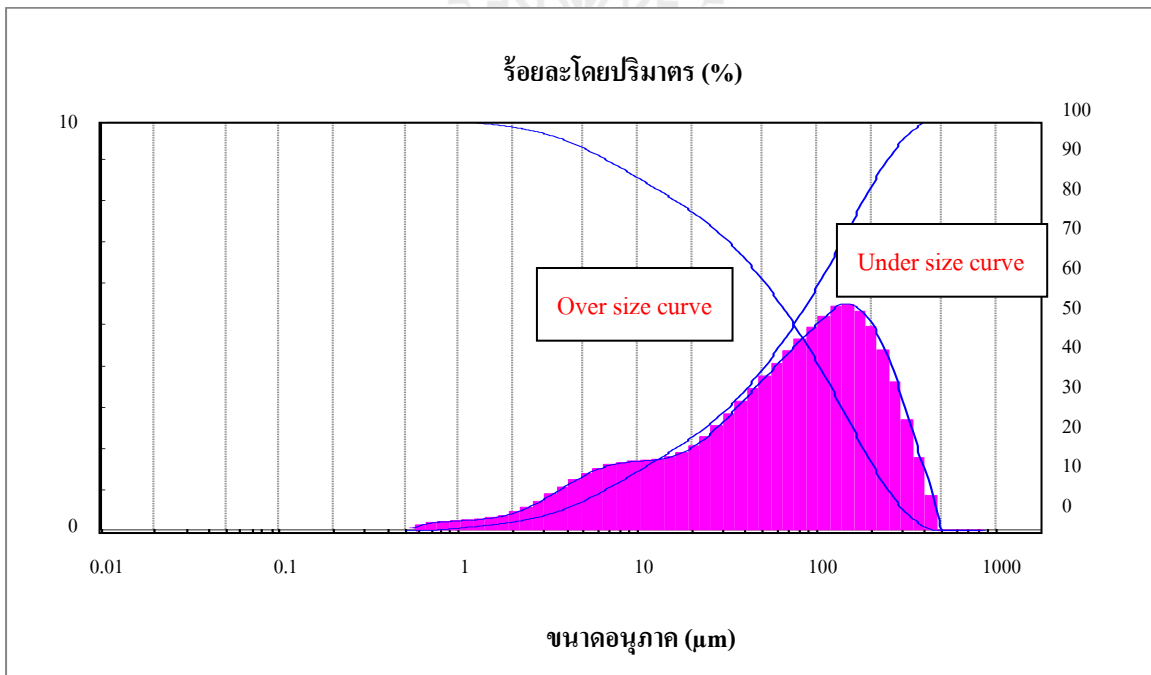


รูปที่ ๖2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิค
โซลโวเทอร์มอลเมื่อไม่ใช้สารลดแรงตึงผิว

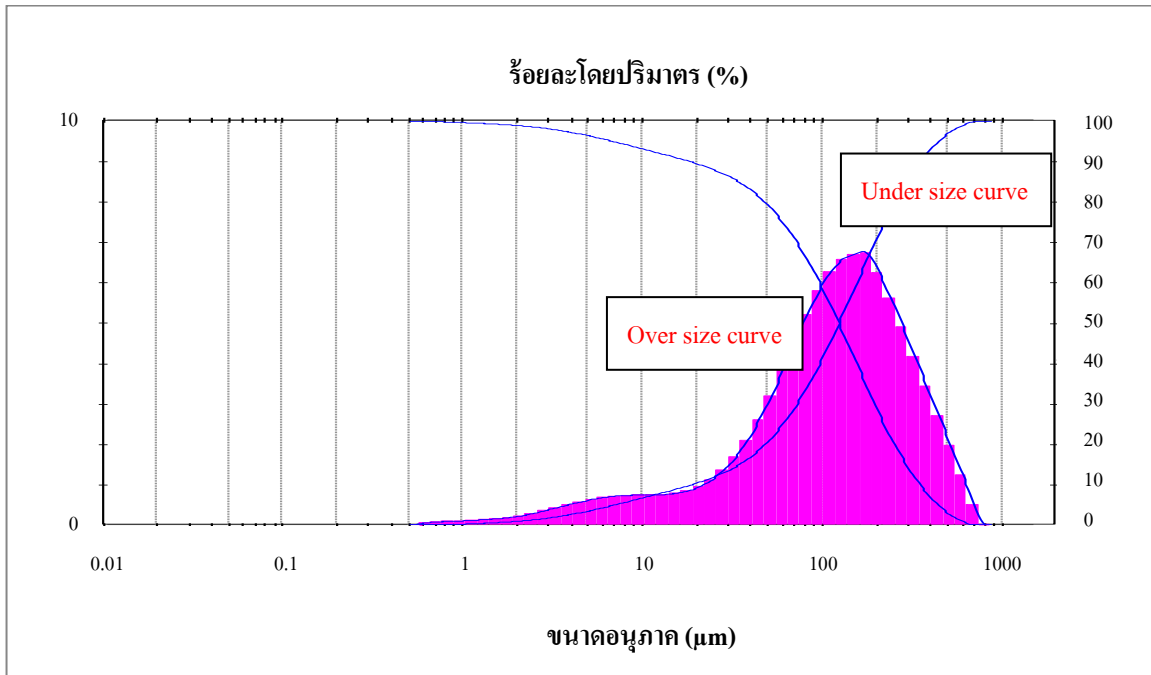
พิจารณาการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์เมื่อเพิ่มความเข้มข้น NaDS และ NaDS/CTAB ในระบบโซลโวเทอร์มอล ดังแสดงในรูปที่ ๖3-๖8



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS 100 mM



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS 500 mM

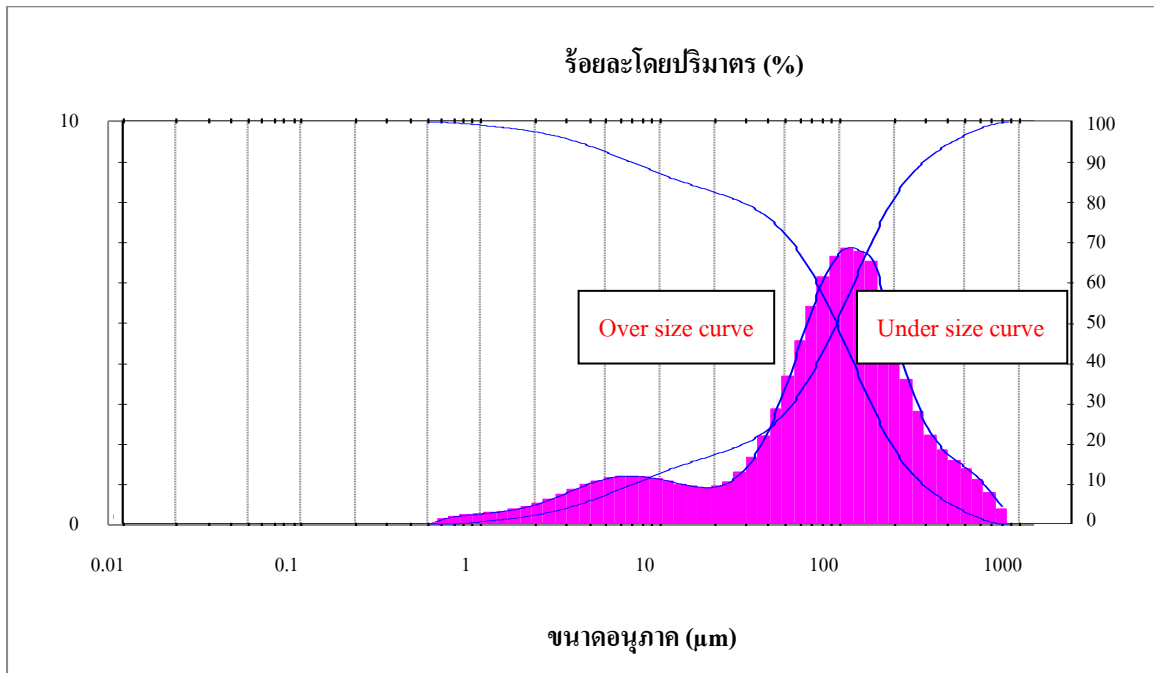


รูปที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS 800 mM

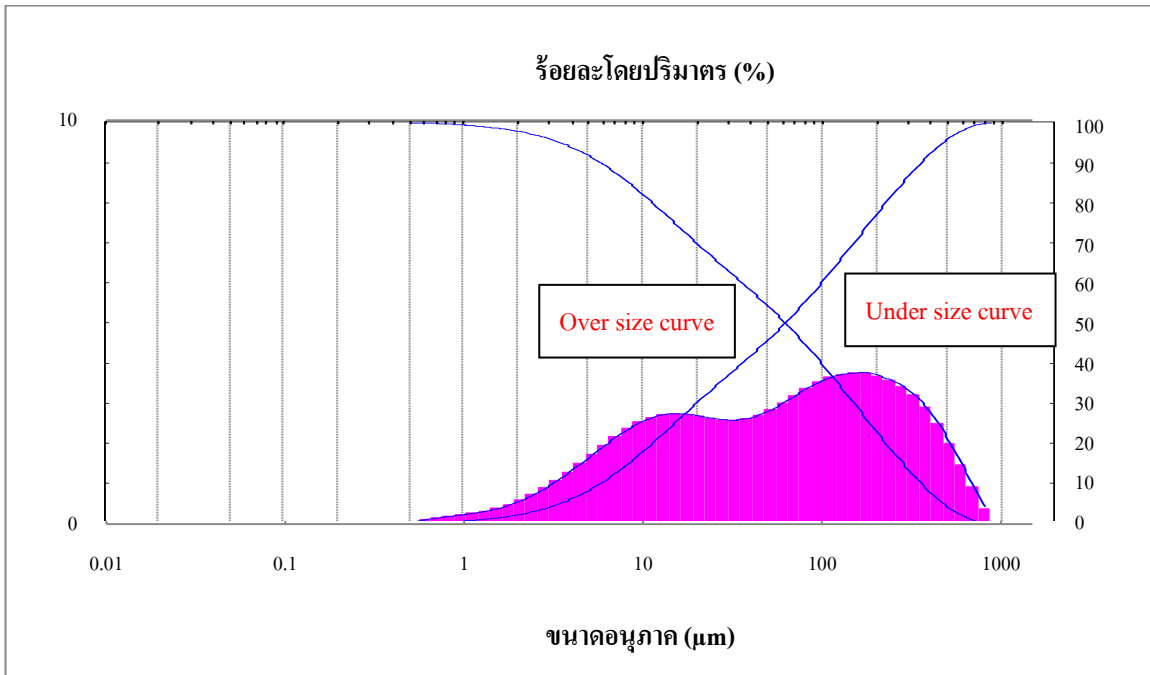
จากรูปที่ 33-35 เป็นกราฟกระจายขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ของเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS เป็น 100, 500 และ 800 mM ตามลำดับ พบว่ากราฟจะเอียงไปทางขวา โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุดมีขนาดอนุภาคช่วง 0.5-600 μm จะมีขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้สองช่วงคือที่อนุภาคขนาดเล็ก 7-30 μm และใหญ่ 90-200 μm เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นพบว่าที่ความเข้มข้น 500 mM มีขนาดอนุภาคช่วง 0.5-500 μm อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใกล้เคียงกันและมีขนาดใหญ่ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 800 mM จะได้ขนาดอนุภาคช่วง 0.5-800 μm อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใกล้เคียงกันและมีขนาดใหญ่

จากรูปที่ 36-38 เป็นกราฟกระจายขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ของเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS/CTAB เป็น 100, 500 และ 800 mM ตามลำดับ พบว่ากราฟจะเอียงไปทางขวา โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุดจะมีขนาดอนุภาคช่วง 0.5-900 μm โดยขนาดอนุภาคส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่

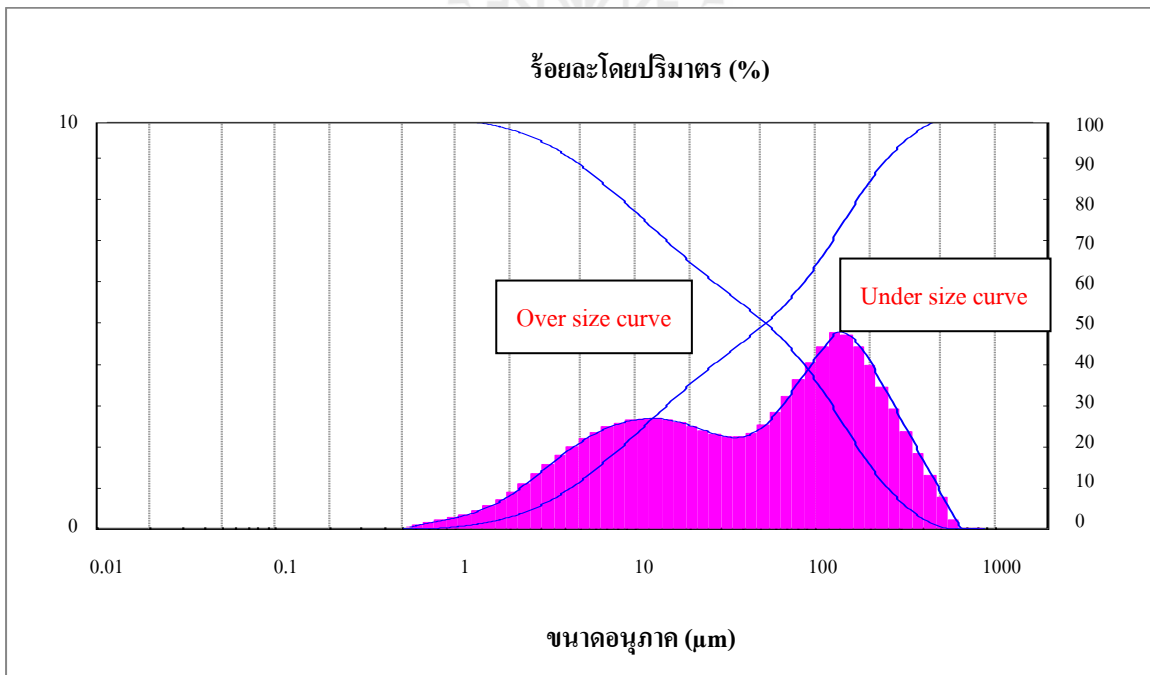
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS/CTAB เป็น 500 mM จะมีขนาดอนุภาคช่วง 0.5-900 μm เช่นกันแต่พบว่า จะมีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างสูงคืออนุภาคขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีจำนวนอนุภาคใกล้เคียง กันและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS/CTAB เป็น 800 mM จะมีขนาดอนุภาคช่วง 0.5-900 μm และจะมี ขนาดอนุภาคซึ่งคัดออกไซค์ได้สองช่วงคือที่อนุภาคขนาดเล็ก 7-30 μm และใหญ่ 90-200 μm



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิค ไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 100 mM

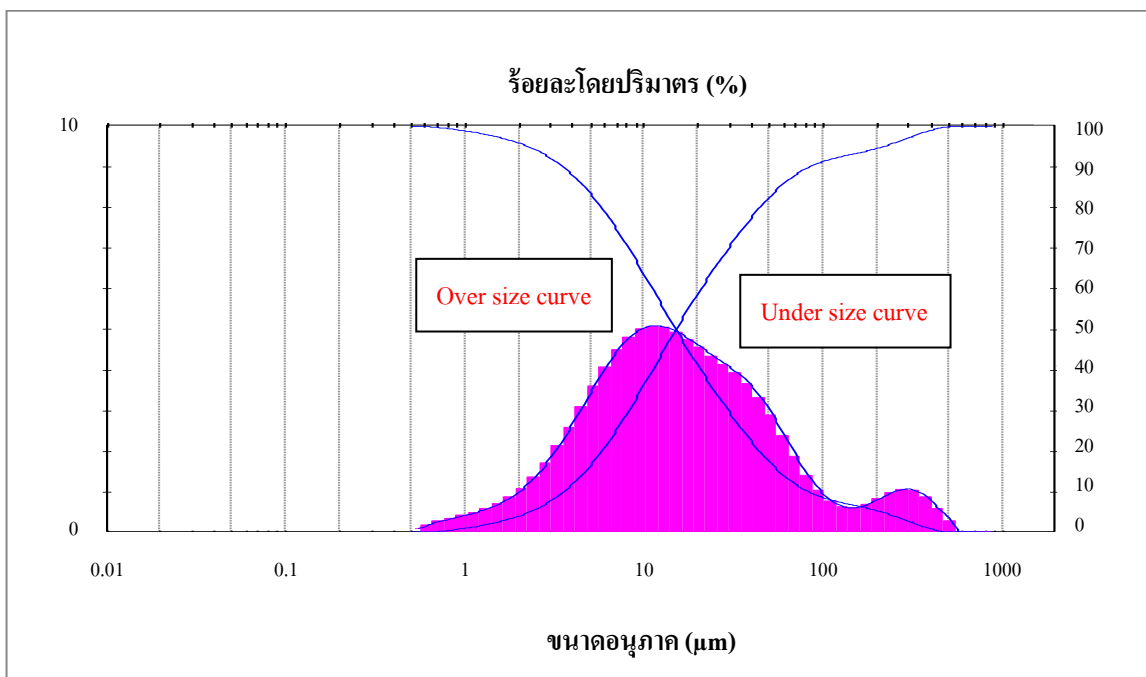


รูปที่ ๗ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิค
ไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 500 mM

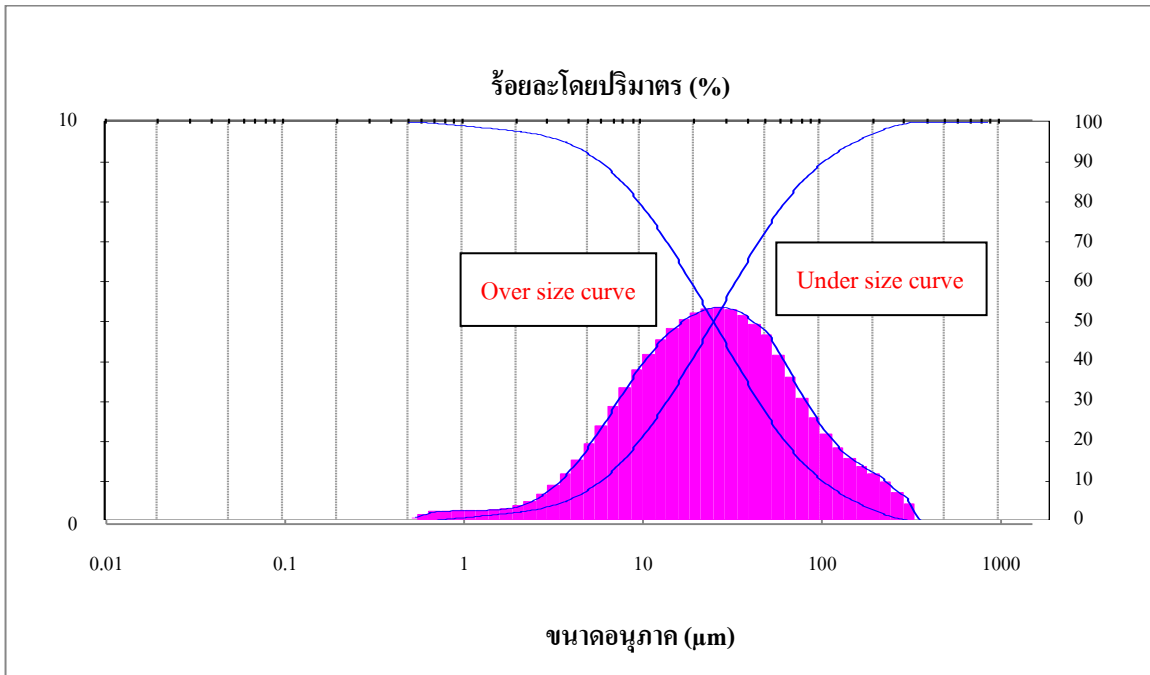


รูปที่ ๘ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิค
ไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 800 mM

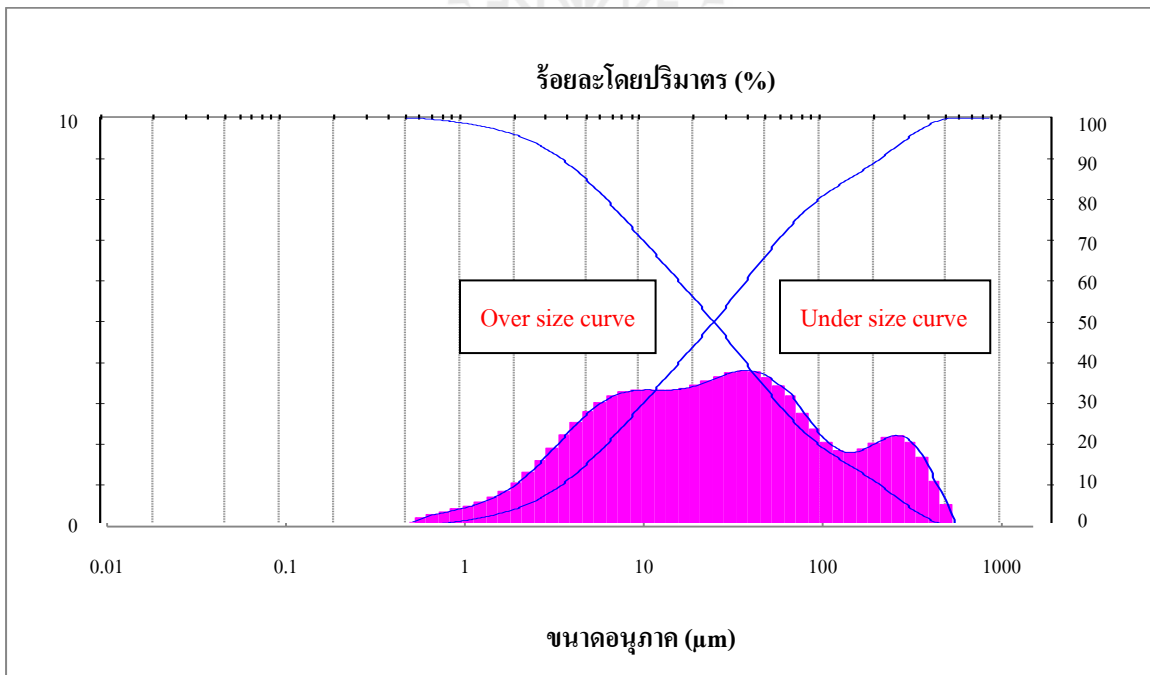
พิจารณาการกระจายตัวของอนุภาคซึ่งค็อกออกไซด์เมื่อเพิ่มความเข้มข้น NaDS, NaDS/CTAB และ CTAB ในระบบโซล โวลเทอร์มอล ดังแสดงในรูปที่ 9-ง15



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิคโซล โวลเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS 20 mM



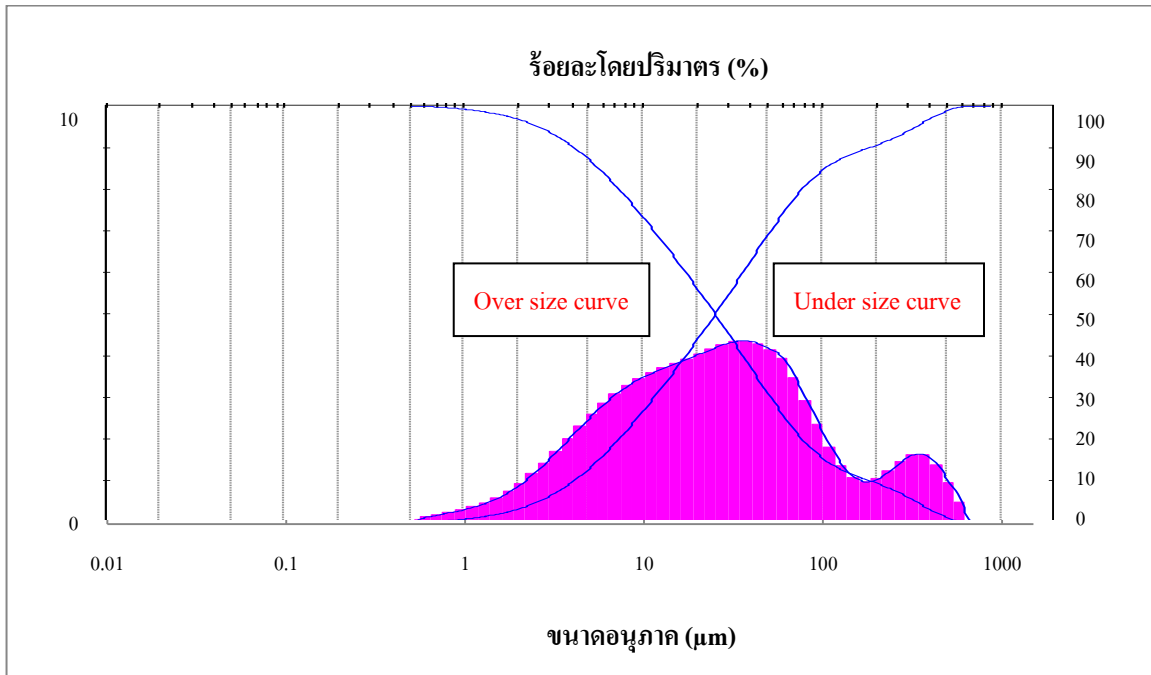
รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละ โดยปริมาตรของเทคนิค โชลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS 50 mM



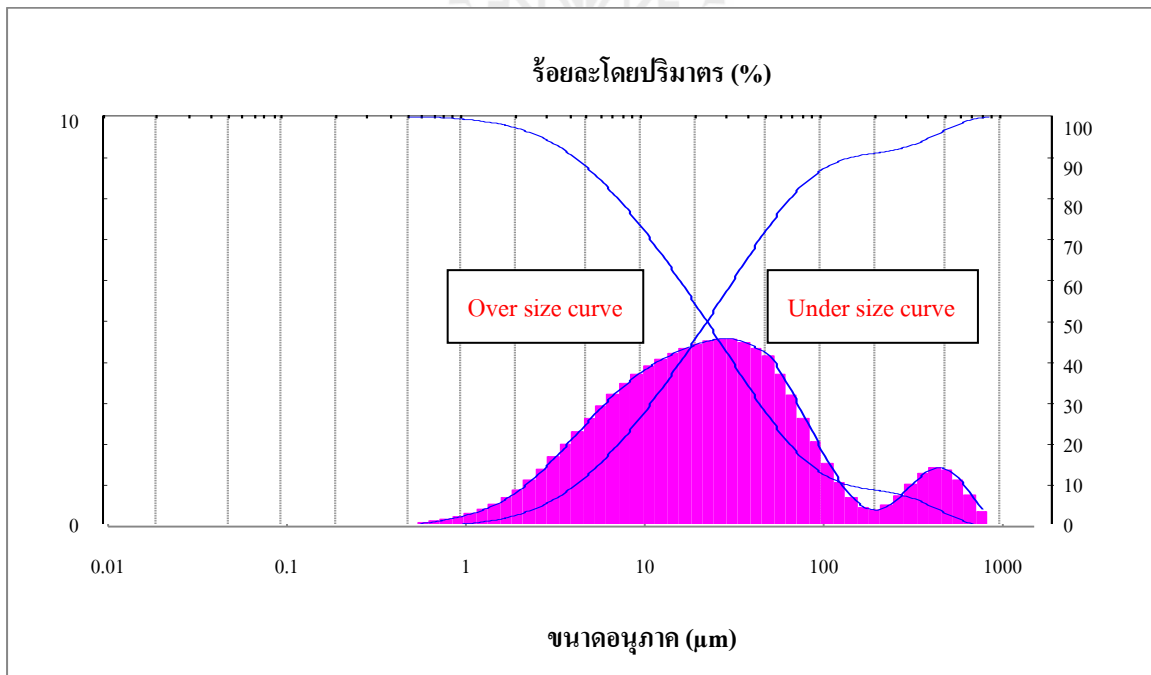
รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละ โดยปริมาตรของเทคนิค โชลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS 100 mM

จากรูปที่ 9-11 เป็นกราฟกระจายขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ของเทคนิคโซลโวเทอร์มอล เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS เป็น 20, 50 และ 100 mM ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้นต่ำสุดมีกราฟเอียงไปทางขวาเล็กน้อยและมีขนาดอนุภาคในช่วง 0.5-900 μm แบ่งเป็นสองช่วงคือขนาดเล็ก 4-40 μm และใหญ่ 250-500 μm และที่ความเข้มข้น 50 mM พบว่ากราฟเป็นแบบระฆังคว่ำแบบการกระจายตัวปกติโดยมีขนาดอนุภาคในช่วง 0.5-360 μm จะมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใกล้เคียงกันช่วง 10-60 μm และที่ความเข้มข้น 100 mM พบว่ายังคงมีการกระจายขนาดอนุภาคค่อนข้างใกล้เคียงกันมีขนาดอนุภาคในช่วง 0.5-600 μm ดังนั้นเทคนิคการสังเคราะห์แบบโซลโวเทอร์มอลจะให้การกระจายตัวแบบปกติมากกว่าเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล

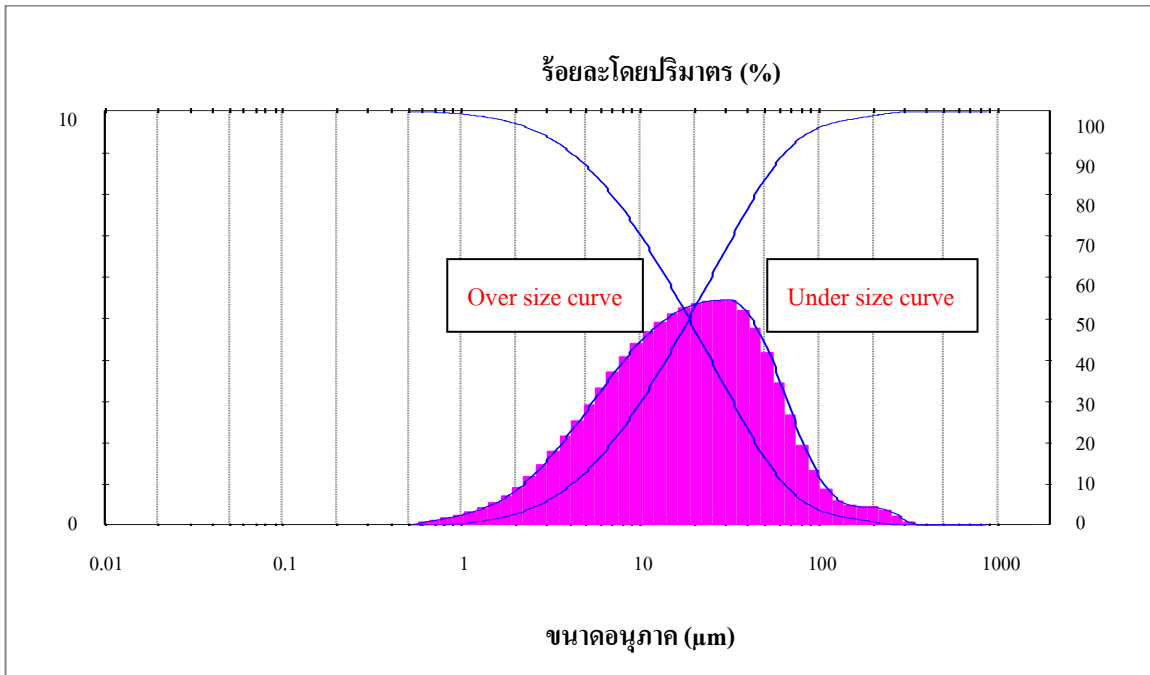
จากรูปที่ 12-14 เป็นกราฟกระจายขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ของเทคนิคโซลโวเทอร์มอลเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CTAB เป็น 20, 50 และ 100 mM ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้น 20 และ 50 mM กราฟมีลักษณะคล้ายกันคือกราฟมีแนวโน้มเอียงไปทางขวาเล็กน้อย และแบ่งขนาดได้เป็นสองช่วง โดยที่ความเข้มข้นต่ำสุดมีขนาดอนุภาคในช่วง 0.5-700 μm คือขนาดกลาง 5-100 μm และใหญ่ 250-500 μm ขณะที่ความเข้มข้น 50 mM มีขนาดอนุภาคในช่วง 0.5-900 μm คือขนาดกลาง 5-70 μm และใหญ่ 300-600 μm ส่วนที่ความเข้มข้น 100 mM พบกราฟจะเป็นรูประฆังคว่ำแบบการกระจายตัวปกติมีขนาดอนุภาคในช่วง 0.5-350 μm



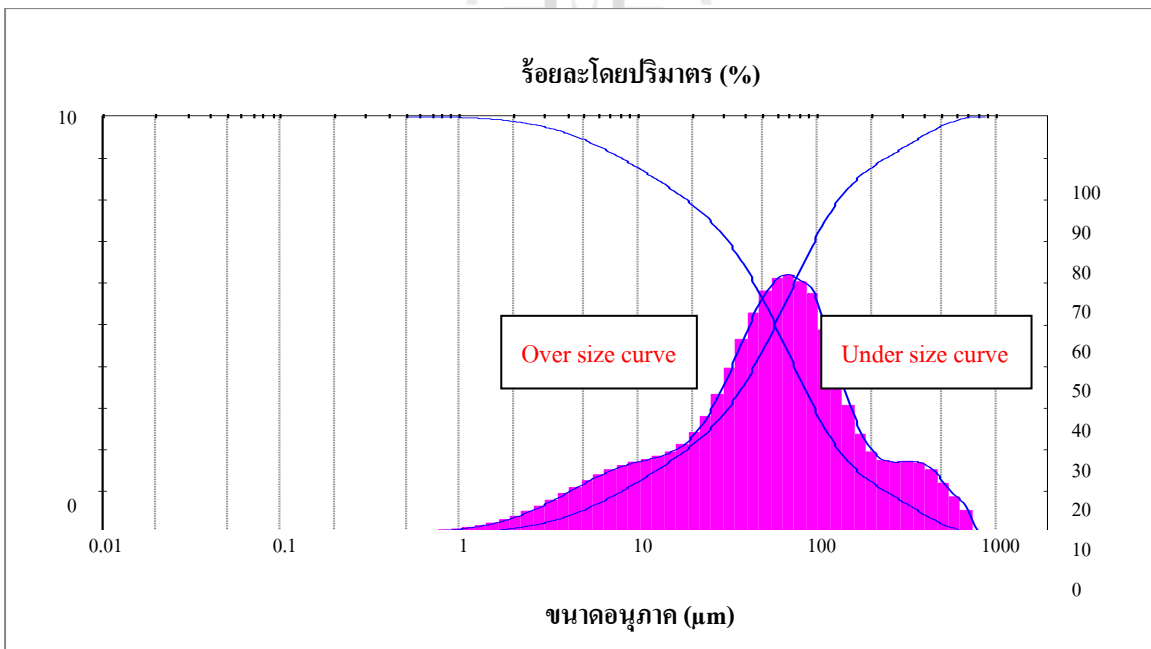
รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละ โดยปริมาตรของเทคนิค โชลโวเทอร์มอลเมื่อเติม CTAB 20 mM



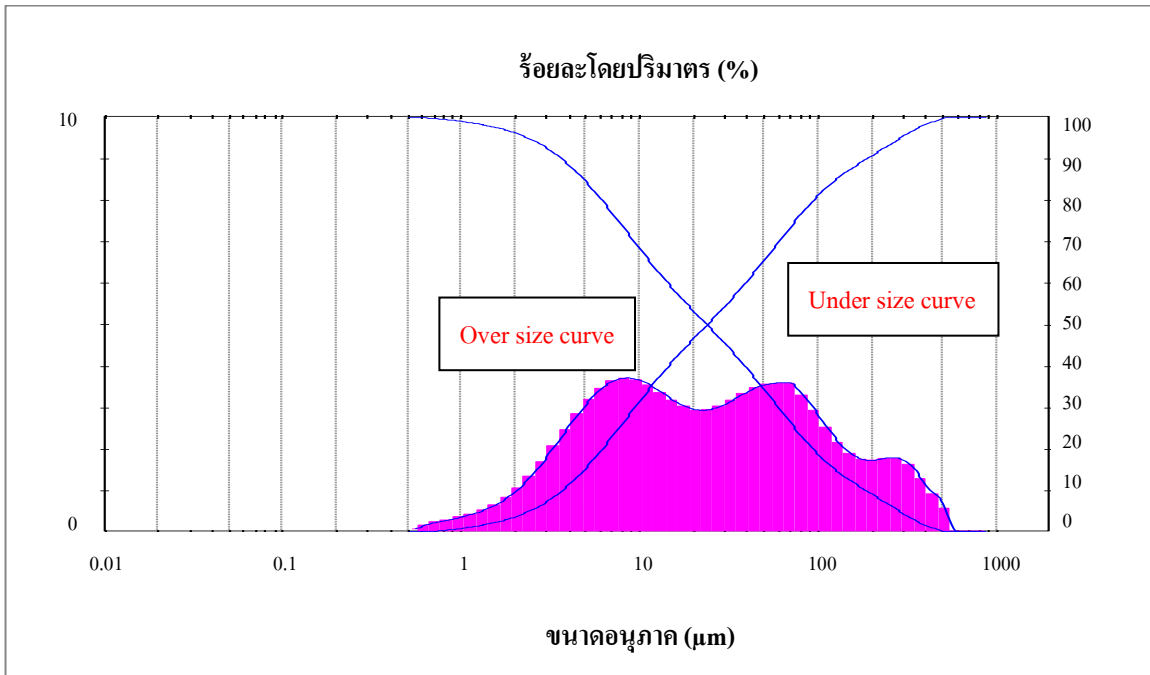
รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละ โดยปริมาตรของเทคนิค โชลโวเทอร์มอลเมื่อเติม CTAB 50 mM



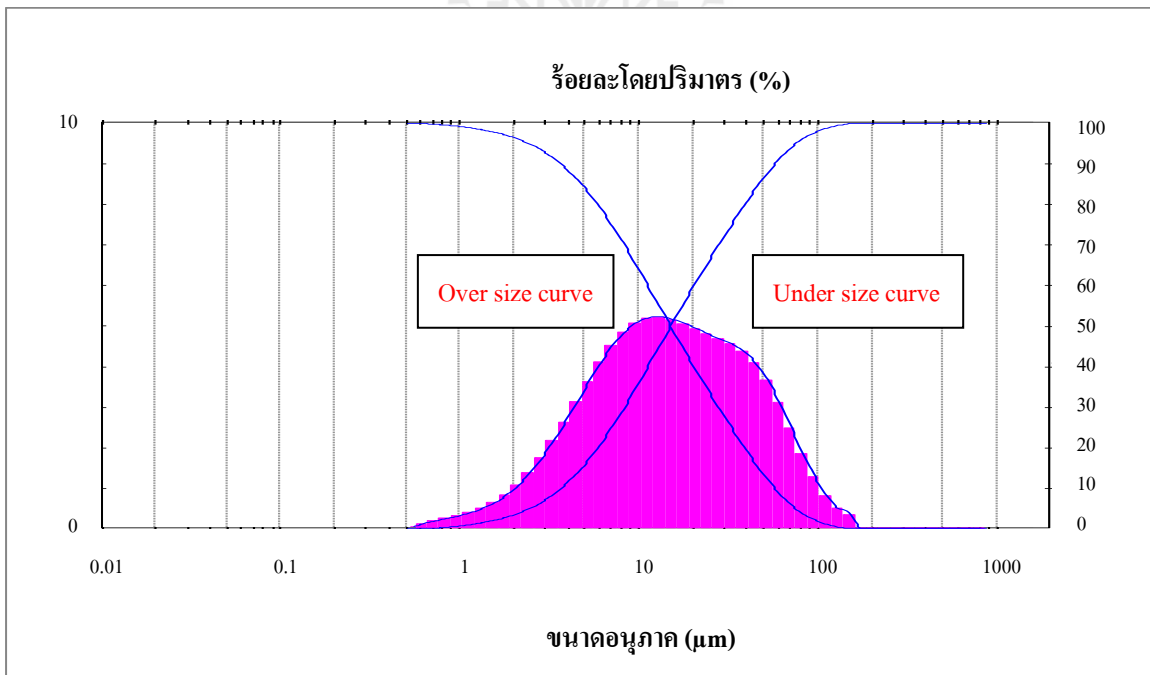
รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิค
โซลโวเทอร์มอลเมื่อเติม CTAB 100 mM



รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิค
โซลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 20 mM



รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิคโซลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 50 mM



รูปที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและร้อยละโดยปริมาตรของเทคนิคโซลโวเทอร์มอลเมื่อเติม NaDS/CTAB 100 mM

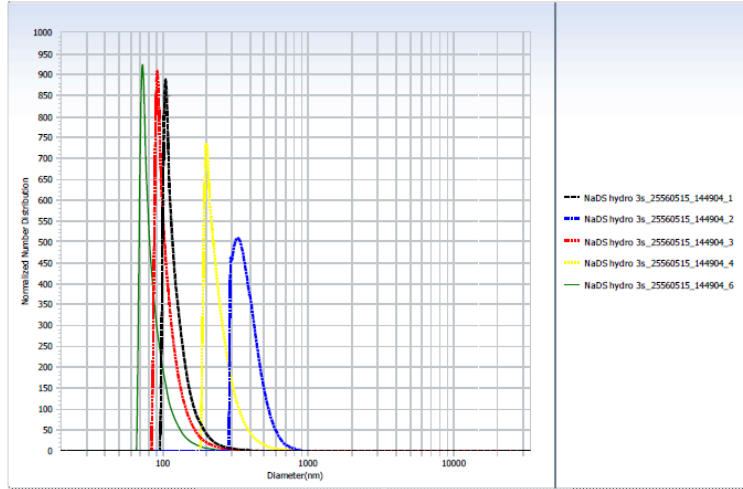
จากรูปที่ 15-17 เป็นกราฟกระจายขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ของเทคนิคโซลโวเทอร์มอลเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaDS/CTAB เป็น 20, 50 และ 100 mM ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้นต่ำสุดได้กราฟเอียงไปทางขวาเล็กน้อย มีขนาดอนุภาคในช่วง 0.7-800 μm โดยขนาดอนุภาคค่อนข้างใกล้เคียงกันประมาณ 70 μm อยู่จำนวนมาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 50 mM มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.6-600 μm พบว่าจะมีการกระจายอนุภาคขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีจำนวนอนุภาคใกล้เคียงกัน และที่ความเข้มข้น 100 mM พบว่าได้กราฟเป็นรูประฆังคว่ำแบบการกระจายตัวปกติมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.6-180 μm



ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ Zeta Potential (Particle Analyzer)

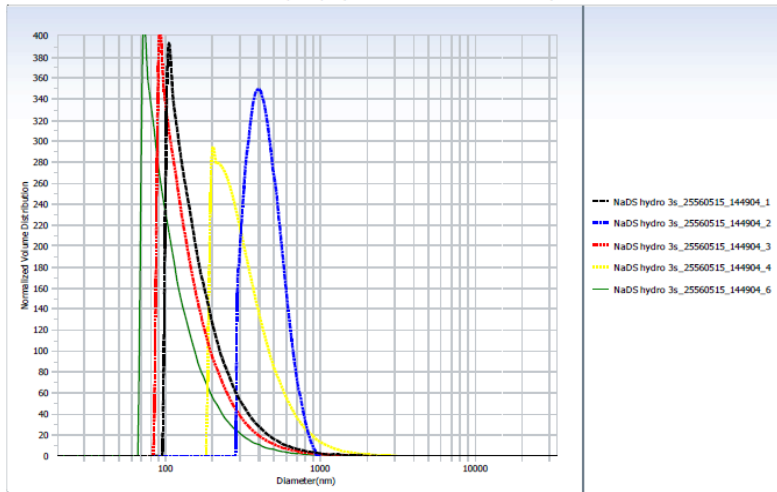
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|---------------------------------|-----------|----|------------------|---------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_1 | 1 | NA | 2219.8 | 0.705 | 4295.1 | 97.6 | 110.9 | 155.0 |
| 2 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_2 | 2 | NA | 429.1 | -51.198 | 552.1 | 298.2 | 359.3 | 490.5 |
| 3 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_3 | 3 | NA | 1847.6 | 0.611 | 3476.6 | 85.7 | 97.2 | 135.4 |
| 4 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_4 | 4 | NA | 1774.5 | 0.574 | 3959.8 | 187.1 | 218.8 | 312.6 |
| 5 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_6 | 6 | NA | 1290.5 | 0.508 | 2428.9 | 68.0 | 76.9 | 107.4 |
| Average : | | | | 1512.3 | -9.760 | 2942.5 | 147.3 | 172.6 | 240.2 |

รูปที่ จ 1 : ระบบที่ 3

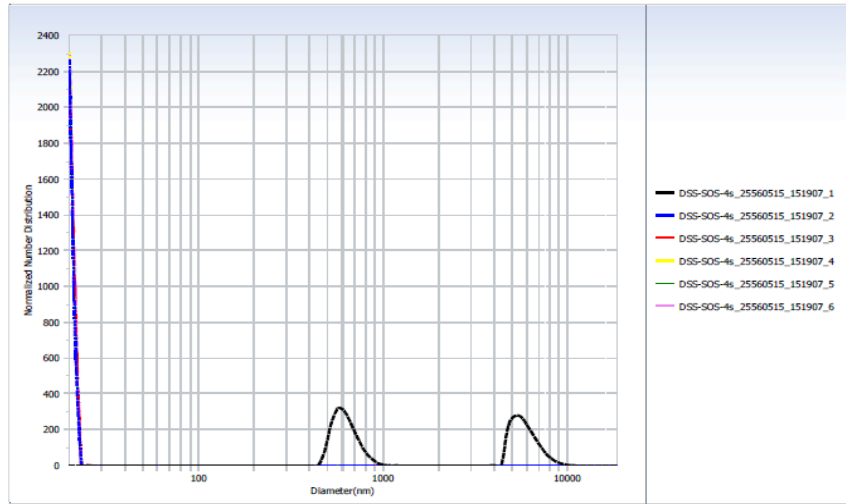
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|---------------------------------|-----------|----|------------------|---------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_1 | 1 | NA | 2219.8 | 0.705 | 4295.1 | 101.1 | 138.1 | 284.8 |
| 2 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_2 | 2 | NA | 429.1 | -51.198 | 552.1 | 317.3 | 421.1 | 609.3 |
| 3 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_3 | 3 | NA | 1847.6 | 0.611 | 3476.6 | 88.7 | 120.1 | 245.8 |
| 4 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_4 | 4 | NA | 1774.5 | 0.574 | 3959.8 | 197.1 | 279.8 | 544.8 |
| 5 | NaDS hydro 3s_25560515_144904_6 | 6 | NA | 1290.5 | 0.508 | 2428.9 | 70.3 | 94.9 | 193.6 |
| Average : | | | | 1512.3 | -9.760 | 2942.5 | 154.9 | 210.8 | 375.7 |

รูปที่ จ 2 : ระบบที่ 3

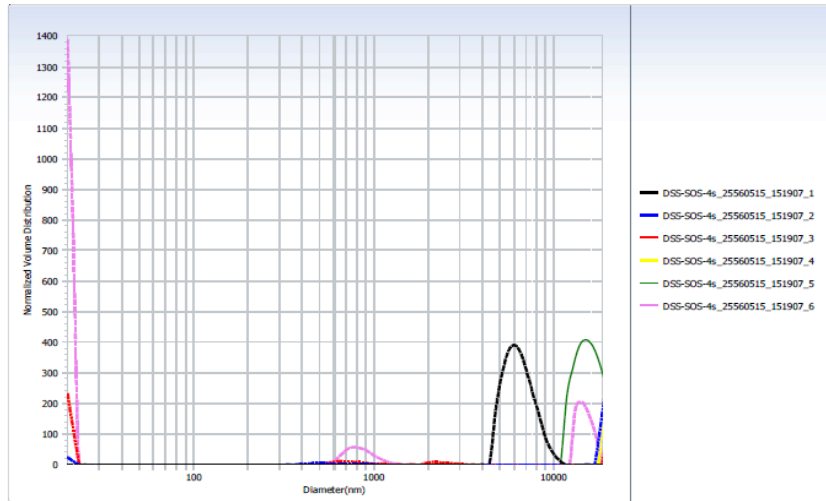
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_1 | 1 | NA | 2187.5 | 0.673 | 14112.2 | 518.1 | 788.8 | 6335.2 |
| 2 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_2 | 2 | NA | 1582.4 | 0.465 | 7932.6 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |
| 3 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_3 | 3 | NA | 1406.9 | 0.441 | 6862.2 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |
| 4 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_4 | 4 | NA | 1410.9 | 0.458 | 8374.6 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |
| 5 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_5 | 5 | NA | 1254.9 | 0.389 | 5173.8 | 21.5 | 21.5 | 21.5 |
| 6 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_6 | 6 | NA | 981.3 | 0.271 | 1342.1 | 21.4 | 21.4 | 21.4 |
| Average : | | | | 1470.7 | 0.449 | 7299.6 | 104.3 | 149.4 | 1073.8 |

รูปที่ ๑๓ : ระบบที่ 4

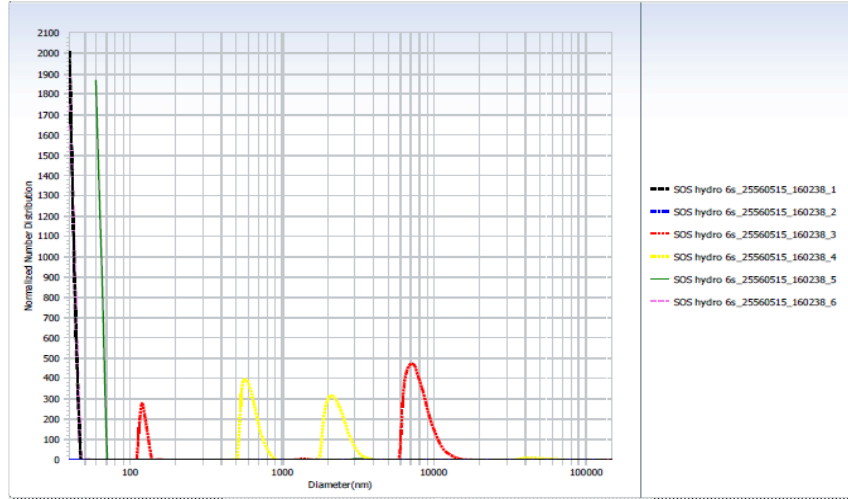
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_1 | 1 | NA | 2187.5 | 0.673 | 14112.2 | 4875.9 | 6290.9 | 37425.5 |
| 2 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_2 | 2 | NA | 1582.4 | 0.465 | 7932.6 | 18562.7 | 23597.8 | 30601.7 |
| 3 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_3 | 3 | NA | 1406.9 | 0.441 | 6862.2 | 21.6 | 23505.0 | 28891.0 |
| 4 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_4 | 4 | NA | 1410.9 | 0.458 | 8374.6 | 19234.1 | 23342.3 | 28949.7 |
| 5 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_5 | 5 | NA | 1254.9 | 0.389 | 5173.8 | 11852.7 | 15165.8 | 20553.0 |
| 6 | DSS-SOS-4s_25560515_151907_6 | 6 | NA | 981.3 | 0.271 | 1342.1 | 21.4 | 21.4 | 14439.0 |
| Average : | | | | 1470.7 | 0.449 | 7299.6 | 9094.7 | 15320.5 | 26810.0 |

รูปที่ ๑๔ : ระบบที่ 4

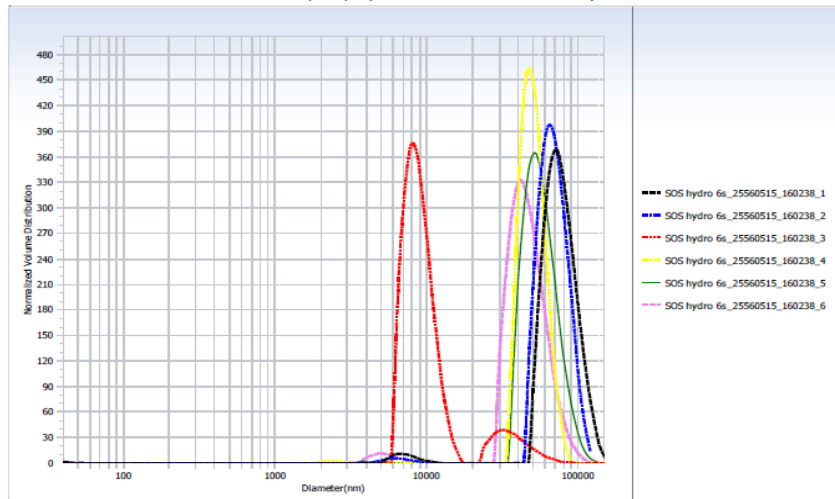
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | SOS hydro 6s_25560515_160238_1 | 1 | NA | 3923.6 | 1.135 | 43150.6 | 43.5 | 43.5 | 43.5 |
| 2 | SOS hydro 6s_25560515_160238_2 | 2 | NA | 3429.6 | 0.943 | 31179.4 | 32.6 | 32.6 | 32.6 |
| 3 | SOS hydro 6s_25560515_160238_3 | 3 | NA | 8274.6 | 0.677 | 29906.6 | 120.2 | 7068.3 | 9383.4 |
| 4 | SOS hydro 6s_25560515_160238_4 | 4 | NA | 15988.4 | 0.437 | 35988.0 | 538.6 | 1793.3 | 2552.1 |
| 5 | SOS hydro 6s_25560515_160238_5 | 5 | NA | 5445.3 | 0.933 | 40366.9 | 65.1 | 65.1 | 65.1 |
| 6 | SOS hydro 6s_25560515_160238_6 | 6 | NA | 3911.0 | 1.071 | 34053.9 | 43.5 | 43.5 | 43.5 |
| Average : | | | | 6828.8 | 0.866 | 35774.2 | 140.6 | 1507.7 | 2020.0 |

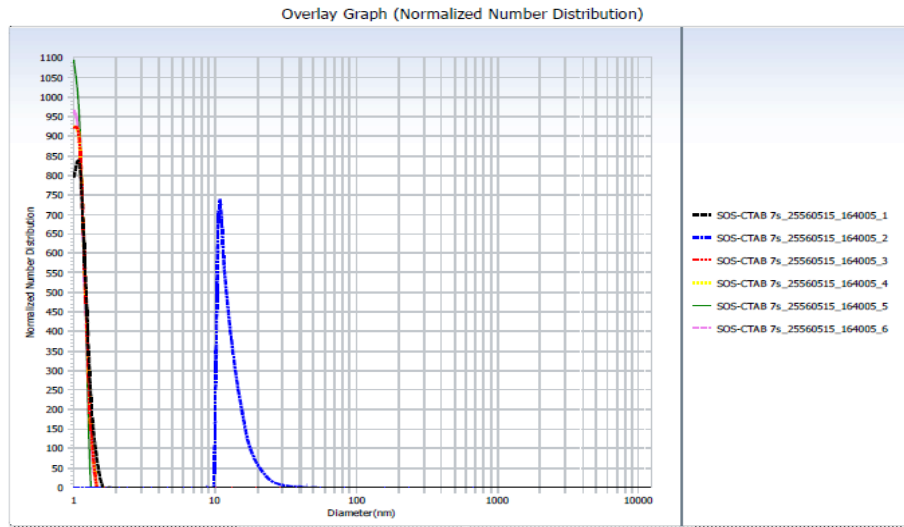
รูปที่ ๑๕ : ระบบที่ 6

Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



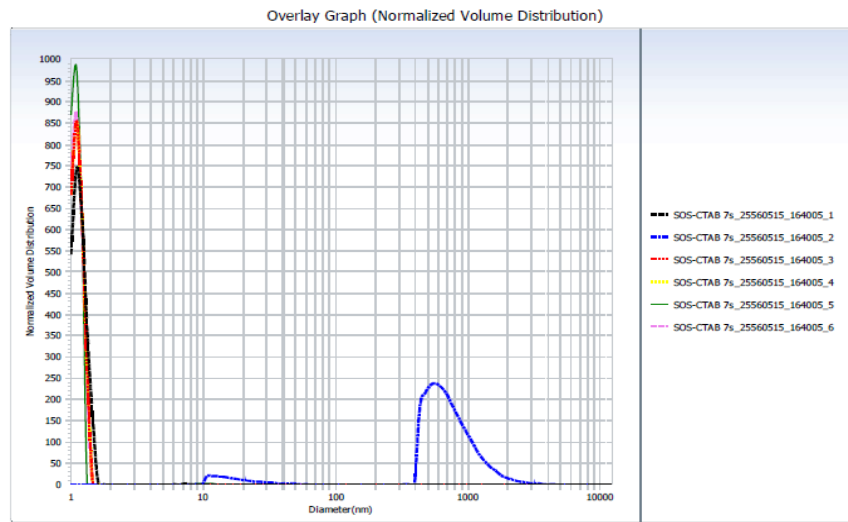
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | SOS hydro 6s_25560515_160238_1 | 1 | NA | 3923.6 | 1.135 | 43150.6 | 53259.2 | 70980.7 | 99785.2 |
| 2 | SOS hydro 6s_25560515_160238_2 | 2 | NA | 3429.6 | 0.943 | 31179.4 | 49435.6 | 64440.4 | 87664.1 |
| 3 | SOS hydro 6s_25560515_160238_3 | 3 | NA | 8274.6 | 0.677 | 29906.6 | 6552.6 | 8542.2 | 26186.7 |
| 4 | SOS hydro 6s_25560515_160238_4 | 4 | NA | 15988.4 | 0.437 | 35988.0 | 37803.4 | 47349.7 | 62044.9 |
| 5 | SOS hydro 6s_25560515_160238_5 | 5 | NA | 5445.3 | 0.933 | 40366.9 | 39503.4 | 52305.7 | 75021.8 |
| 6 | SOS hydro 6s_25560515_160238_6 | 6 | NA | 3911.0 | 1.071 | 34053.9 | 31150.3 | 42544.0 | 63255.2 |
| Average : | | | | 6828.8 | 0.866 | 35774.2 | 36284.1 | 47693.8 | 68993.0 |

รูปที่ ๑๖ : ระบบที่ 6



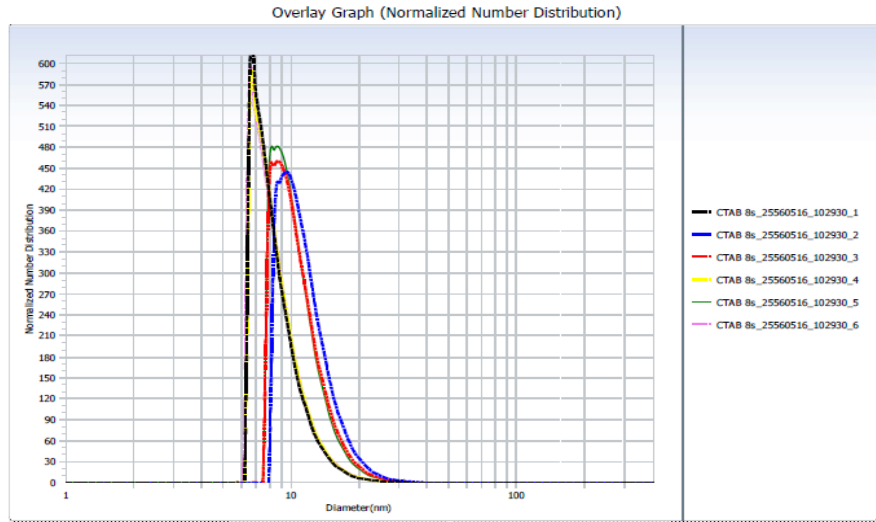
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_1 | 1 | NA | 516.2 | 0.420 | 997.4 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 2 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_2 | 2 | NA | 522.7 | 0.396 | 1184.7 | 10.0 | 11.7 | 16.6 |
| 3 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_3 | 3 | NA | 520.1 | 0.417 | 1062.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 4 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_4 | 4 | NA | 499.8 | 0.395 | 1061.9 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 5 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_5 | 5 | NA | 506.0 | 0.401 | 1061.6 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 6 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_6 | 6 | NA | 528.6 | 0.404 | 1122.4 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| Average : | | | | 515.6 | 0.405 | 1081.7 | 2.6 | 2.9 | 3.8 |

รูปที่ ๗ : ระบบที่ ๗



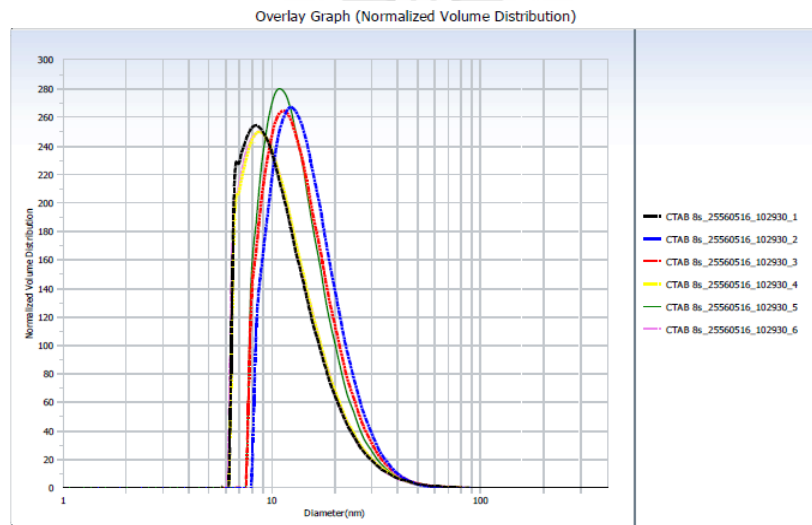
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_1 | 1 | NA | 516.2 | 0.420 | 997.4 | 1.1 | 1.1 | 1.3 |
| 2 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_2 | 2 | NA | 522.7 | 0.396 | 1184.7 | 408.5 | 617.5 | 1147.7 |
| 3 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_3 | 3 | NA | 520.1 | 0.417 | 1062.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 4 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_4 | 4 | NA | 499.8 | 0.395 | 1061.9 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 5 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_5 | 5 | NA | 506.0 | 0.401 | 1061.6 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 6 | SOS-CTAB 7s_25560515_164005_6 | 6 | NA | 528.6 | 0.404 | 1122.4 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| Average : | | | | 515.6 | 0.405 | 1081.7 | 69.0 | 103.8 | 192.3 |

รูปที่ ๘ : ระบบที่ ๗



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|---------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | CTAB 8s_25560516_102930_1 | 1 | NA | 20.6 | 0.299 | 29.8 | 6.4 | 7.7 | 11.1 |
| 2 | CTAB 8s_25560516_102930_2 | 2 | NA | 19.3 | 0.350 | 25.5 | 8.4 | 10.4 | 15.1 |
| 3 | CTAB 8s_25560516_102930_3 | 3 | NA | 20.5 | 0.307 | 26.4 | 7.9 | 9.7 | 14.1 |
| 4 | CTAB 8s_25560516_102930_4 | 4 | NA | 21.2 | 0.282 | 30.0 | 6.4 | 7.8 | 11.3 |
| 5 | CTAB 8s_25560516_102930_5 | 5 | NA | 20.6 | 0.307 | 25.7 | 7.9 | 9.6 | 13.7 |
| 6 | CTAB 8s_25560516_102930_6 | 6 | NA | 21.4 | 0.229 | 28.9 | 6.4 | 7.7 | 11.2 |
| Average : | | | | 20.6 | 0.296 | 27.7 | 7.2 | 8.8 | 12.8 |

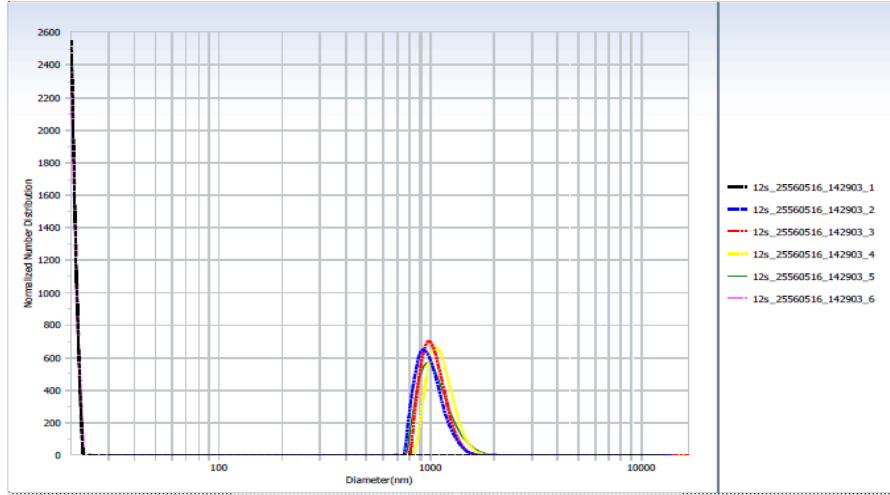
รูปที่ ๑๑ : ระบบที่ 8



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|---------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | CTAB 8s_25560516_102930_1 | 1 | NA | 20.6 | 0.299 | 29.8 | 6.9 | 10.0 | 18.7 |
| 2 | CTAB 8s_25560516_102930_2 | 2 | NA | 19.3 | 0.350 | 25.5 | 9.3 | 13.4 | 22.7 |
| 3 | CTAB 8s_25560516_102930_3 | 3 | NA | 20.5 | 0.307 | 26.4 | 8.6 | 12.5 | 21.7 |
| 4 | CTAB 8s_25560516_102930_4 | 4 | NA | 21.2 | 0.282 | 30.0 | 7.0 | 10.2 | 19.1 |
| 5 | CTAB 8s_25560516_102930_5 | 5 | NA | 20.6 | 0.307 | 25.7 | 8.5 | 12.1 | 20.6 |
| 6 | CTAB 8s_25560516_102930_6 | 6 | NA | 21.4 | 0.229 | 28.9 | 6.9 | 10.1 | 18.9 |
| Average : | | | | 20.6 | 0.296 | 27.7 | 7.9 | 11.4 | 20.3 |

รูปที่ ๑๑๐ : ระบบที่ 8

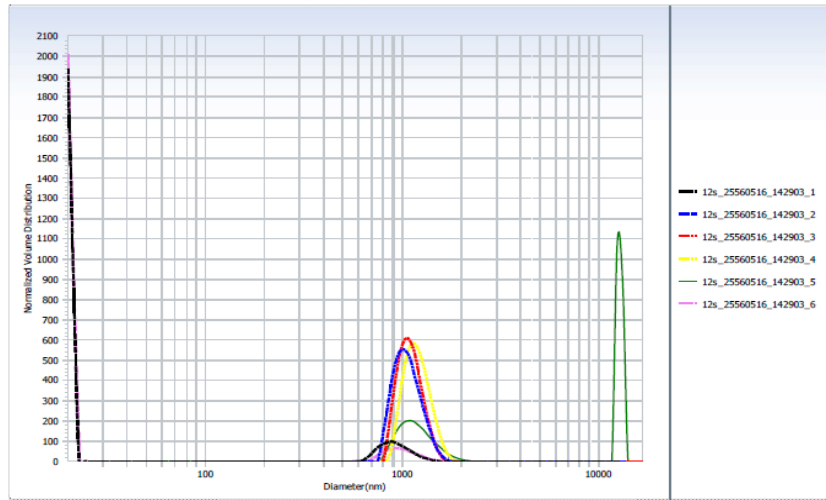
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 12s_25560516_142903_1 | 1 | NA | 962.8 | 0.140 | 1002.4 | 21.4 | 21.4 | 21.4 |
| 2 | 12s_25560516_142903_2 | 2 | NA | 1059.0 | 0.129 | 1133.4 | 806.9 | 941.1 | 1160.6 |
| 3 | 12s_25560516_142903_3 | 3 | NA | 1145.6 | 0.178 | 1153.0 | 854.3 | 985.3 | 1196.7 |
| 4 | 12s_25560516_142903_4 | 4 | NA | 1243.4 | 0.174 | 1259.8 | 910.0 | 1062.8 | 1298.0 |
| 5 | 12s_25560516_142903_5 | 5 | NA | 1239.6 | 0.166 | 1402.9 | 831.5 | 991.4 | 1277.7 |
| 6 | 12s_25560516_142903_6 | 6 | NA | 1029.8 | 0.194 | 1069.3 | 21.4 | 21.4 | 21.4 |
| Average : | | | | 1113.4 | 0.163 | 1170.1 | 574.3 | 670.6 | 829.3 |

รูปที่ ๑1 : ระบบที่ 12

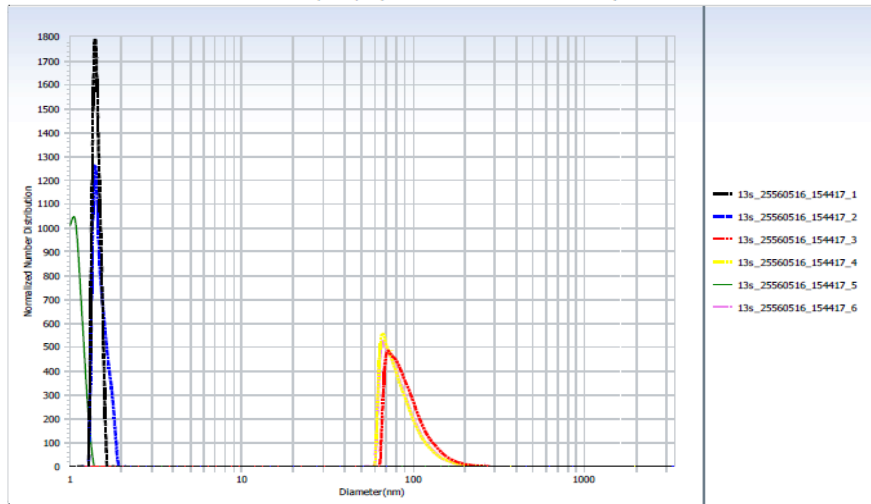
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 12s_25560516_142903_1 | 1 | NA | 962.8 | 0.140 | 1002.4 | 21.4 | 21.4 | 863.2 |
| 2 | 12s_25560516_142903_2 | 2 | NA | 1059.0 | 0.129 | 1133.4 | 837.9 | 1010.0 | 1268.3 |
| 3 | 12s_25560516_142903_3 | 3 | NA | 1145.6 | 0.178 | 1153.0 | 879.8 | 1045.3 | 1282.4 |
| 4 | 12s_25560516_142903_4 | 4 | NA | 1243.4 | 0.174 | 1259.8 | 948.8 | 1134.2 | 1400.1 |
| 5 | 12s_25560516_142903_5 | 5 | NA | 1239.6 | 0.166 | 1402.9 | 951.5 | 11699.6 | 12830.7 |
| 6 | 12s_25560516_142903_6 | 6 | NA | 1029.8 | 0.194 | 1069.3 | 21.4 | 21.4 | 828.4 |
| Average : | | | | 1113.4 | 0.163 | 1170.1 | 610.1 | 2488.6 | 3078.9 |

รูปที่ ๑๒ : ระบบที่ 12

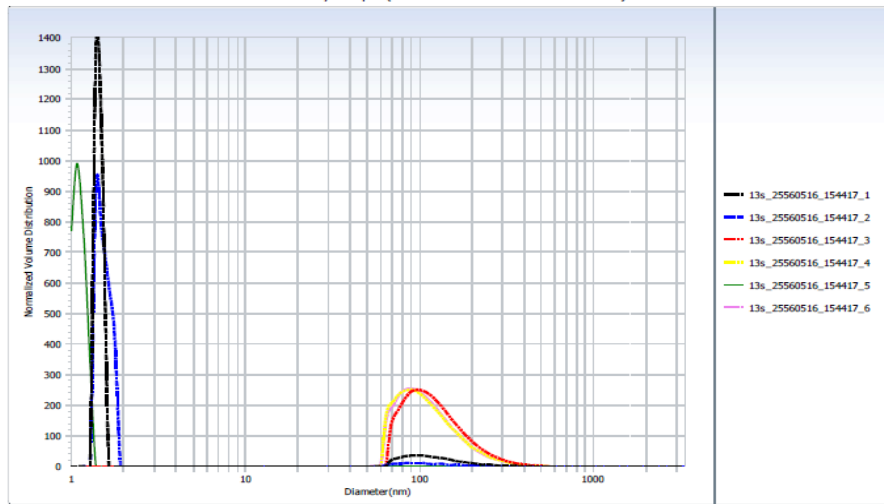
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 13s_25560516_154417_1 | 1 | NA | 192.9 | 0.206 | 248.6 | 1.3 | 1.4 | 1.5 |
| 2 | 13s_25560516_154417_2 | 2 | NA | 192.2 | 0.226 | 246.8 | 1.3 | 1.4 | 1.6 |
| 3 | 13s_25560516_154417_3 | 3 | NA | 191.0 | 0.211 | 246.8 | 67.3 | 82.9 | 121.4 |
| 4 | 13s_25560516_154417_4 | 4 | NA | 191.4 | 0.221 | 256.4 | 62.5 | 75.7 | 110.8 |
| 5 | 13s_25560516_154417_5 | 5 | NA | 190.6 | 0.206 | 199.5 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 6 | 13s_25560516_154417_6 | 6 | NA | 192.0 | 0.216 | 255.8 | 62.7 | 76.4 | 111.5 |
| Average : | | | | 191.7 | 0.214 | 242.3 | 32.7 | 39.8 | 58.0 |

รูปที่ 13 : ระบบที่ 13

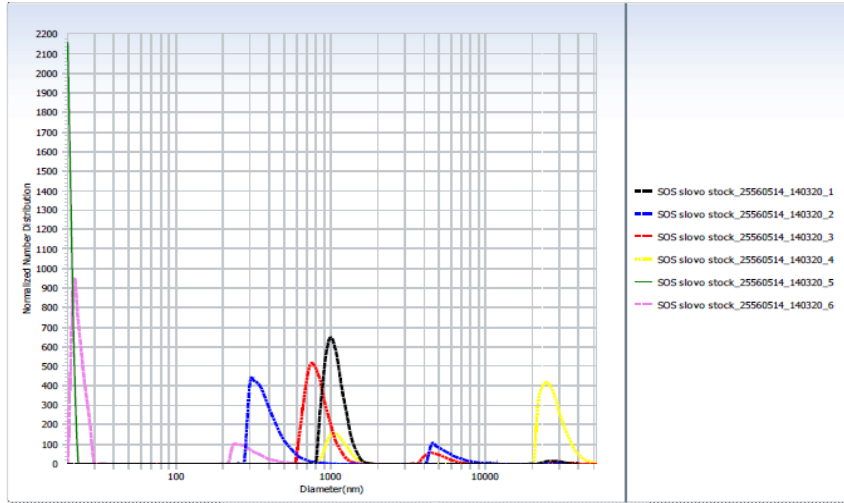
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 13s_25560516_154417_1 | 1 | NA | 192.9 | 0.206 | 248.6 | 1.3 | 1.4 | 88.7 |
| 2 | 13s_25560516_154417_2 | 2 | NA | 192.2 | 0.226 | 246.8 | 1.3 | 1.5 | 1.7 |
| 3 | 13s_25560516_154417_3 | 3 | NA | 191.0 | 0.211 | 246.8 | 73.9 | 108.9 | 194.1 |
| 4 | 13s_25560516_154417_4 | 4 | NA | 191.4 | 0.221 | 256.4 | 67.7 | 99.2 | 181.3 |
| 5 | 13s_25560516_154417_5 | 5 | NA | 190.6 | 0.206 | 199.5 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 6 | 13s_25560516_154417_6 | 6 | NA | 192.0 | 0.216 | 255.8 | 68.2 | 99.8 | 180.6 |
| Average : | | | | 191.7 | 0.214 | 242.3 | 35.6 | 52.0 | 107.9 |

รูปที่ 14 : ระบบที่ 13

Overlay Graph (Normalized Number Distribution)

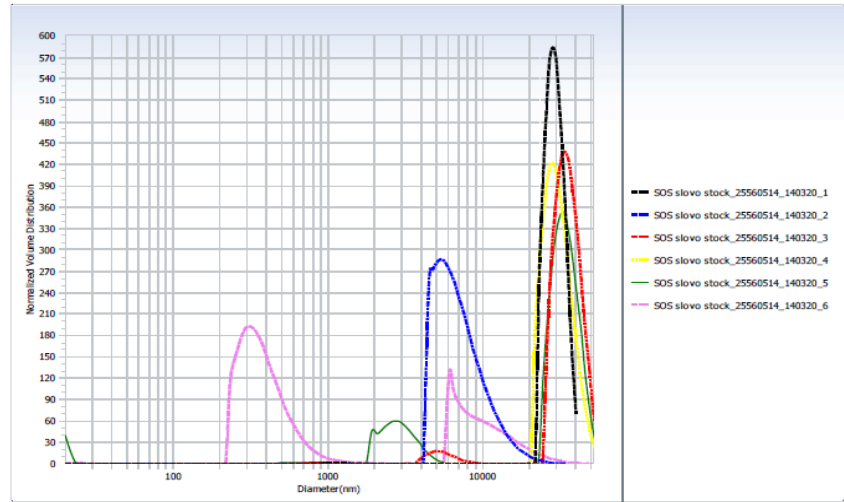


| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|----|-----------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | SOS slovo stock_25560514_140320_1 | 1 | NA | 1690.6 | 0.429 | 8067.5 | 861.1 | 1002.6 | 1252.1 |
| 2 | SOS slovo stock_25560514_140320_2 | 2 | NA | 1381.8 | 0.459 | 4729.2 | 293.1 | 370.8 | 4774.0 |
| 3 | SOS slovo stock_25560514_140320_3 | 3 | NA | 2057.3 | 0.576 | 12310.7 | 648.0 | 787.0 | 3709.3 |
| 4 | SOS slovo stock_25560514_140320_4 | 4 | NA | 2175.2 | 0.570 | 14562.1 | 1012.5 | 23741.9 | 31979.3 |
| 5 | SOS slovo stock_25560514_140320_5 | 5 | NA | 1977.4 | 0.596 | 14309.7 | 21.7 | 21.7 | 21.7 |
| 6 | SOS slovo stock_25560514_140320_6 | 6 | NA | 1801.9 | 0.625 | 8927.3 | 21.7 | 22.9 | 273.0 |

Average : 1847.4 0.542 10484.4 476.3 4324.5 7001.6

รูปที่ 15 : ระบบที่ 14

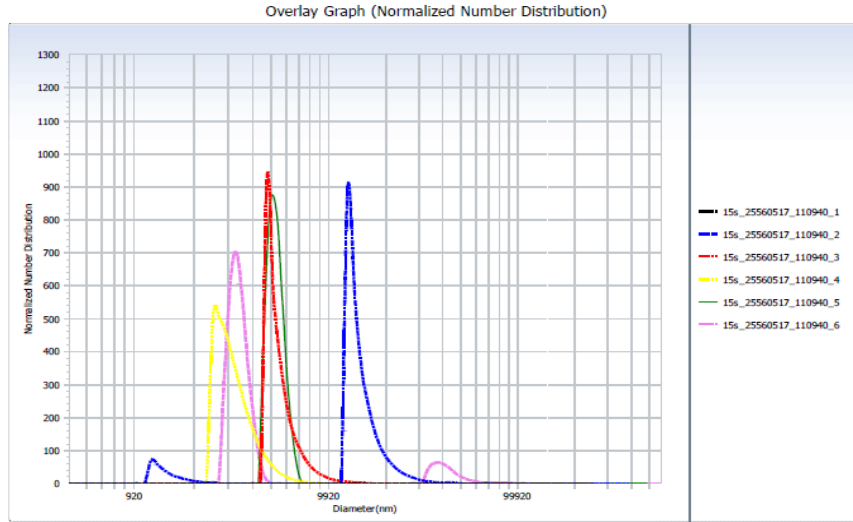
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|----|-----------------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | SOS slovo stock_25560514_140320_1 | 1 | NA | 1690.6 | 0.429 | 8067.5 | 23362.9 | 27848.5 | 33983.0 |
| 2 | SOS slovo stock_25560514_140320_2 | 2 | NA | 1381.8 | 0.459 | 4729.2 | 4517.9 | 6300.3 | 10965.6 |
| 3 | SOS slovo stock_25560514_140320_3 | 3 | NA | 2057.3 | 0.576 | 12310.7 | 26098.6 | 33273.9 | 43681.1 |
| 4 | SOS slovo stock_25560514_140320_4 | 4 | NA | 2175.2 | 0.570 | 14562.1 | 22494.9 | 28585.6 | 39069.4 |
| 5 | SOS slovo stock_25560514_140320_5 | 5 | NA | 1977.4 | 0.596 | 14309.7 | 2522.2 | 30292.6 | 41445.8 |
| 6 | SOS slovo stock_25560514_140320_6 | 6 | NA | 1801.9 | 0.625 | 8927.3 | 255.3 | 441.1 | 11658.6 |

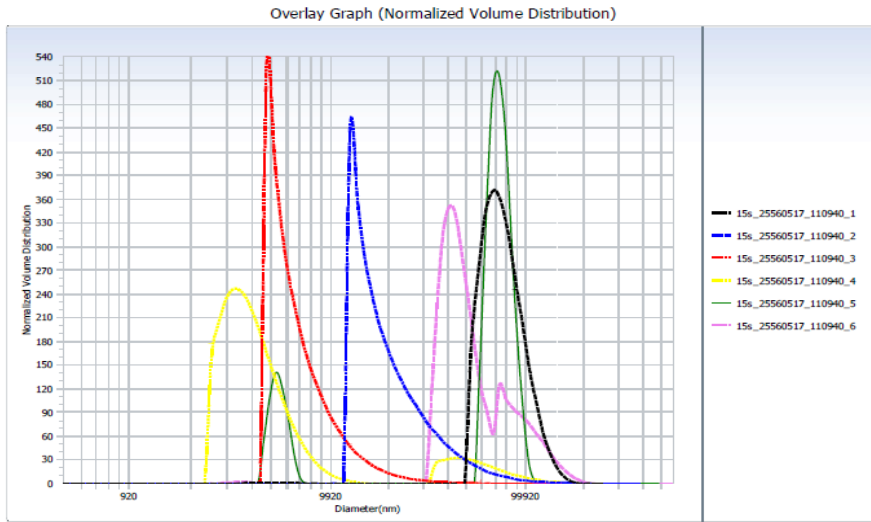
Average : 1847.4 0.542 10484.4 13208.6 21123.7 30133.9

รูปที่ 16 : ระบบที่ 14



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 15s_25560517_110940_1 | 1 | NA | 5839.6 | 1.393 | 58229.0 | 60.5 | 65.6 | 75.6 |
| 2 | 15s_25560517_110940_2 | 2 | NA | 9010.6 | 1.435 | 65707.7 | 11584.4 | 12994.2 | 18072.5 |
| 3 | 15s_25560517_110940_3 | 3 | NA | 5125.5 | 1.250 | 27892.0 | 859.6 | 4801.2 | 6476.6 |
| 4 | 15s_25560517_110940_4 | 4 | NA | 7813.3 | 0.833 | 52522.2 | 2341.0 | 2832.5 | 4055.9 |
| 5 | 15s_25560517_110940_5 | 5 | NA | 20836.4 | 0.424 | 48463.6 | 4409.6 | 4973.5 | 5776.6 |
| 6 | 15s_25560517_110940_6 | 6 | NA | 24645.7 | 0.408 | 52209.4 | 2784.6 | 3201.9 | 32565.1 |
| Average : | | | | 12211.8 | 0.957 | 50837.3 | 3673.3 | 4811.5 | 11170.4 |

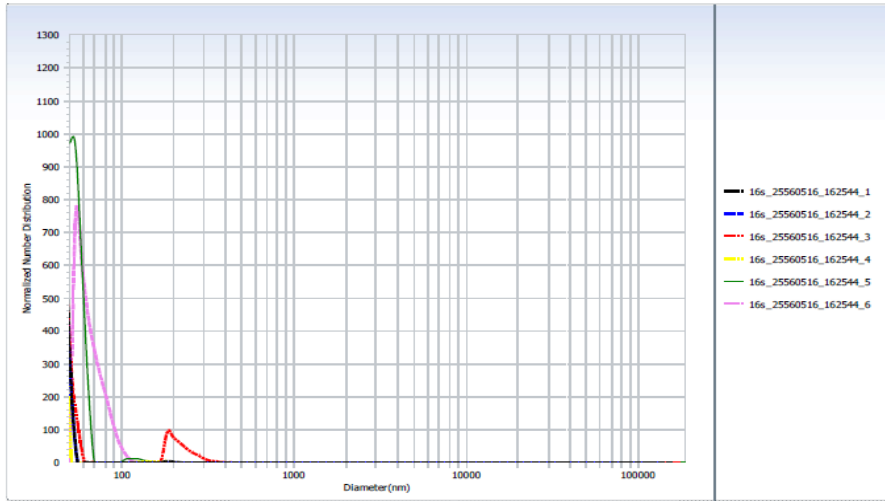
รูปที่ 17 : ระบบที่ 15



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 15s_25560517_110940_1 | 1 | NA | 5839.6 | 1.393 | 58229.0 | 54166.3 | 70976.9 | 101752.8 |
| 2 | 15s_25560517_110940_2 | 2 | NA | 9010.6 | 1.435 | 65707.7 | 12163.2 | 16380.0 | 35194.1 |
| 3 | 15s_25560517_110940_3 | 3 | NA | 5125.5 | 1.250 | 27892.0 | 4502.1 | 5717.5 | 10760.3 |
| 4 | 15s_25560517_110940_4 | 4 | NA | 7813.3 | 0.833 | 52522.2 | 2555.2 | 3785.0 | 37923.5 |
| 5 | 15s_25560517_110940_5 | 5 | NA | 20836.4 | 0.424 | 48463.6 | 5249.8 | 67884.9 | 84039.2 |
| 6 | 15s_25560517_110940_6 | 6 | NA | 24645.7 | 0.408 | 52209.4 | 34846.5 | 46379.6 | 98118.4 |
| Average : | | | | 12211.8 | 0.957 | 50837.3 | 18913.9 | 35187.3 | 61298.0 |

รูปที่ 18 : ระบบที่ 15

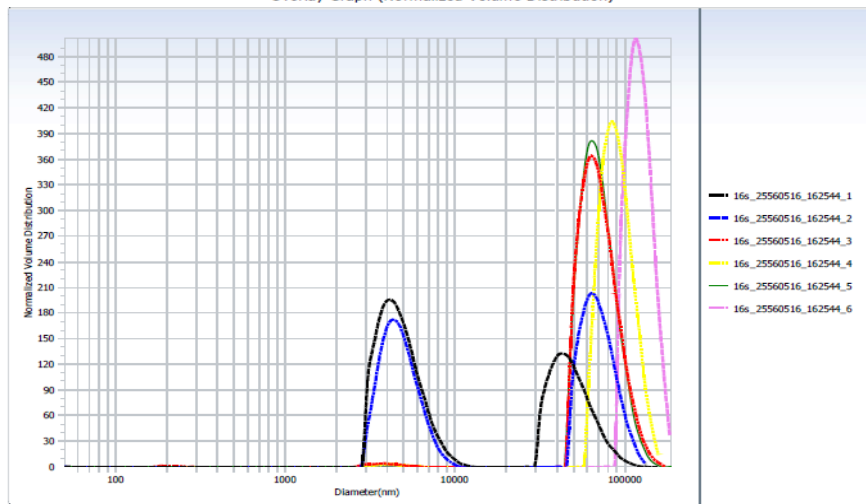
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 16s_25560516_162544_1 | 1 | NA | 4260.1 | 1.031 | 26906.3 | 43.5 | 43.5 | 46.8 |
| 2 | 16s_25560516_162544_2 | 2 | NA | 3805.7 | 0.912 | 29116.0 | 43.4 | 43.4 | 46.5 |
| 3 | 16s_25560516_162544_3 | 3 | NA | 4526.8 | 1.143 | 42229.8 | 43.5 | 43.5 | 180.2 |
| 4 | 16s_25560516_162544_4 | 4 | NA | 4312.0 | 1.021 | 37553.2 | 43.5 | 43.5 | 45.0 |
| 5 | 16s_25560516_162544_5 | 5 | NA | 5032.5 | 1.229 | 44190.1 | 54.4 | 54.4 | 59.0 |
| 6 | 16s_25560516_162544_6 | 6 | NA | 4987.9 | 1.043 | 31088.3 | 54.3 | 59.6 | 79.8 |
| Average : | | | | 4487.5 | 1.063 | 35180.6 | 47.1 | 48.0 | 76.2 |

รูปที่ ๑๙ : ระบบที่ 16

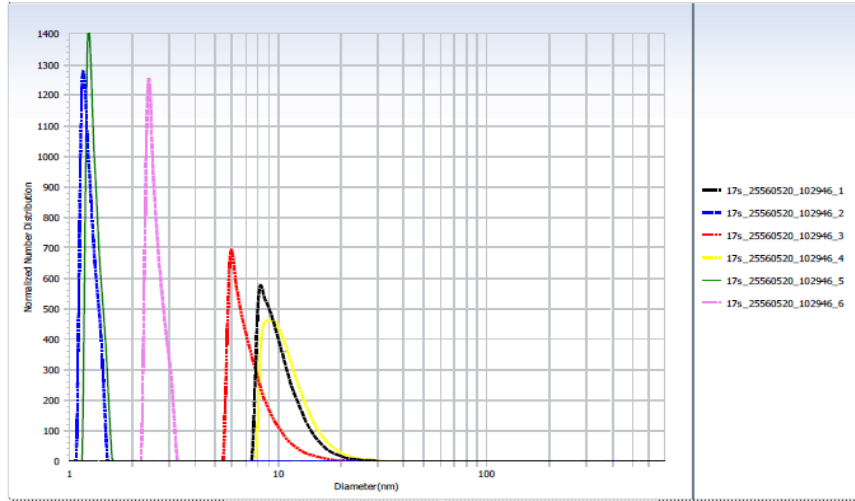
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 16s_25560516_162544_1 | 1 | NA | 4260.1 | 1.031 | 26906.3 | 3374.6 | 5858.3 | 55127.9 |
| 2 | 16s_25560516_162544_2 | 2 | NA | 3805.7 | 0.912 | 29116.0 | 3620.5 | 47594.2 | 81465.7 |
| 3 | 16s_25560516_162544_3 | 3 | NA | 4526.8 | 1.143 | 42229.8 | 49787.4 | 65575.9 | 94802.6 |
| 4 | 16s_25560516_162544_4 | 4 | NA | 4312.0 | 1.021 | 37553.2 | 64991.5 | 84088.6 | 114113.9 |
| 5 | 16s_25560516_162544_5 | 5 | NA | 5032.5 | 1.229 | 44190.1 | 50057.3 | 65349.3 | 92526.2 |
| 6 | 16s_25560516_162544_6 | 6 | NA | 4987.9 | 1.043 | 31088.3 | 94669.5 | 115667.2 | 147682.0 |
| Average : | | | | 4487.5 | 1.063 | 35180.6 | 44416.8 | 64022.3 | 97619.7 |

รูปที่ ๒๐ : ระบบที่ 16

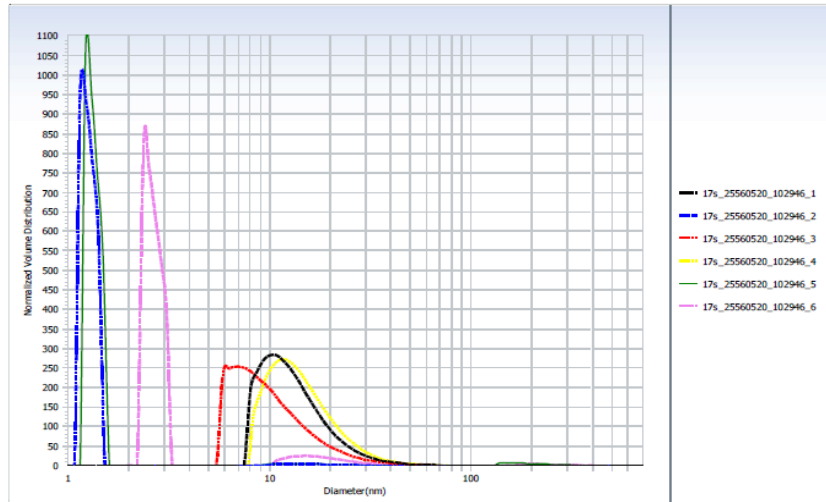
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 17s_25560520_102946_1 | 1 | NA | 135.7 | 0.106 | 151.5 | 7.8 | 9.4 | 13.3 |
| 2 | 17s_25560520_102946_2 | 2 | NA | 76.0 | 0.110 | 81.9 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| 3 | 17s_25560520_102946_3 | 3 | NA | 87.2 | 0.107 | 37.4 | 5.7 | 6.7 | 9.7 |
| 4 | 17s_25560520_102946_4 | 4 | NA | 109.6 | 0.115 | 99.9 | 8.2 | 10.1 | 14.5 |
| 5 | 17s_25560520_102946_5 | 5 | NA | 56.3 | 0.144 | 63.8 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| 6 | 17s_25560520_102946_6 | 6 | NA | 44.2 | 0.169 | 67.3 | 2.3 | 2.5 | 2.8 |
| Average : | | | | 84.8 | 0.125 | 83.6 | 4.4 | 5.2 | 7.2 |

รูปที่ จ21 : ระบบที่ 17

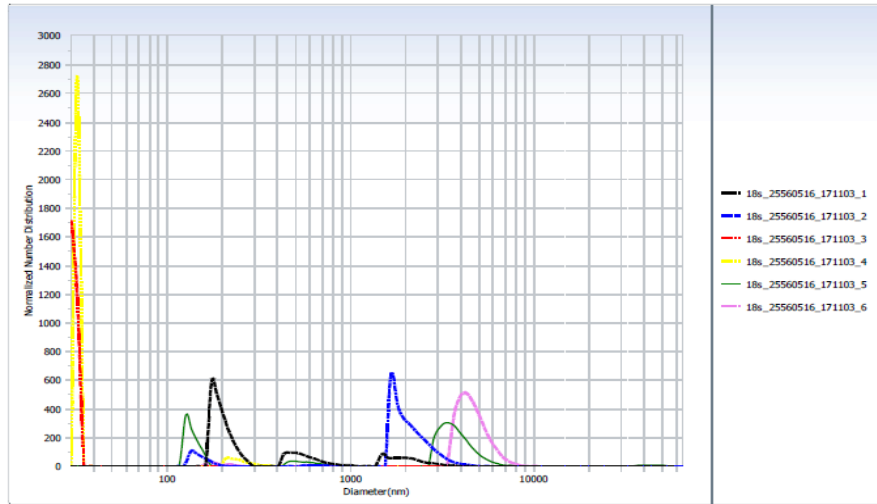
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 17s_25560520_102946_1 | 1 | NA | 135.7 | 0.106 | 151.5 | 8.3 | 11.7 | 20.5 |
| 2 | 17s_25560520_102946_2 | 2 | NA | 76.0 | 0.110 | 81.9 | 1.1 | 1.2 | 1.4 |
| 3 | 17s_25560520_102946_3 | 3 | NA | 87.2 | 0.107 | 37.4 | 6.0 | 8.8 | 17.2 |
| 4 | 17s_25560520_102946_4 | 4 | NA | 109.6 | 0.115 | 99.9 | 9.0 | 12.9 | 22.3 |
| 5 | 17s_25560520_102946_5 | 5 | NA | 56.3 | 0.144 | 63.8 | 1.2 | 1.3 | 1.5 |
| 6 | 17s_25560520_102946_6 | 6 | NA | 44.2 | 0.169 | 67.3 | 2.3 | 2.6 | 3.1 |
| Average : | | | | 84.8 | 0.125 | 83.6 | 4.7 | 6.4 | 11.0 |

รูปที่ จ22 : ระบบที่ 17

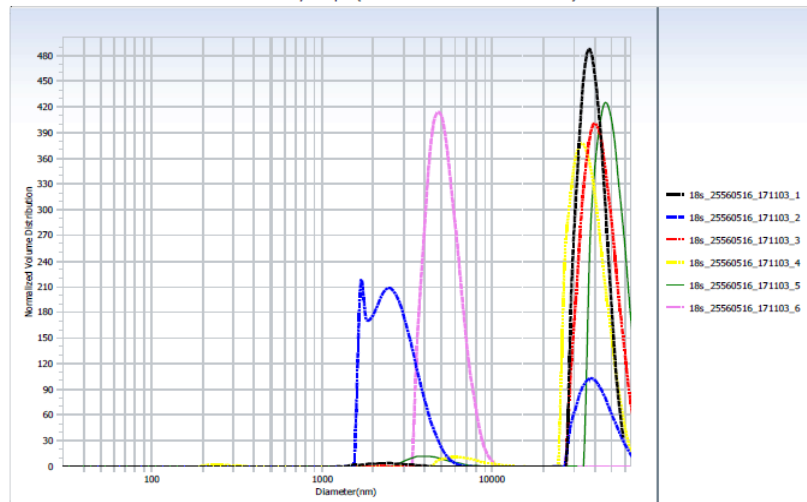
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 18s_25560516_171103_1 | 1 | NA | 2115.3 | 0.580 | 11447.4 | 167.7 | 207.2 | 1740.3 |
| 2 | 18s_25560516_171103_2 | 2 | NA | 2505.0 | 0.658 | 17467.6 | 168.7 | 1824.4 | 2697.1 |
| 3 | 18s_25560516_171103_3 | 3 | NA | 2529.4 | 0.668 | 20718.6 | 32.5 | 32.5 | 32.5 |
| 4 | 18s_25560516_171103_4 | 4 | NA | 2312.8 | 0.645 | 12329.2 | 32.4 | 32.4 | 32.4 |
| 5 | 18s_25560516_171103_5 | 5 | NA | 2681.8 | 0.725 | 14757.3 | 124.6 | 3038.0 | 4459.5 |
| 6 | 18s_25560516_171103_6 | 6 | NA | 2188.6 | 0.648 | 5271.1 | 3514.3 | 4274.7 | 5640.9 |
| Average : | | | | 2388.8 | 0.654 | 13665.2 | 673.4 | 1568.2 | 2433.8 |

รูปที่ ๒๓ : ระบบที่ 18

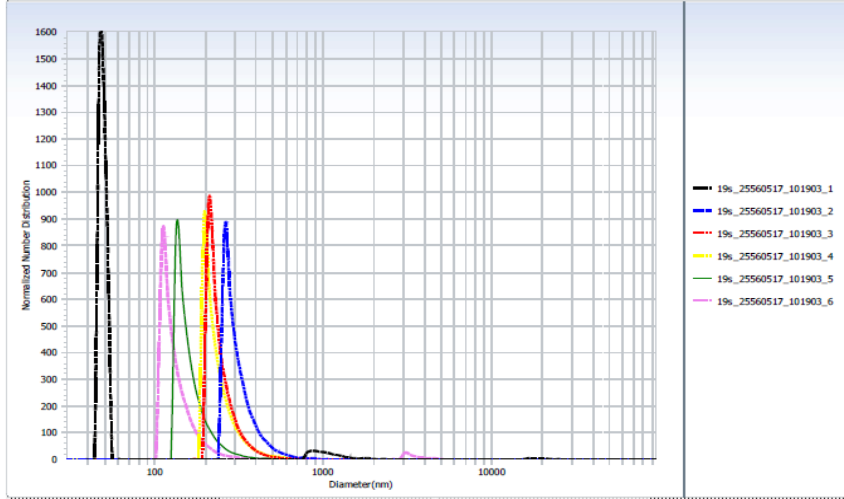
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 18s_25560516_171103_1 | 1 | NA | 2115.3 | 0.580 | 11447.4 | 29516.6 | 36518.2 | 46605.1 |
| 2 | 18s_25560516_171103_2 | 2 | NA | 2505.0 | 0.658 | 17467.6 | 1730.7 | 2792.1 | 40926.9 |
| 3 | 18s_25560516_171103_3 | 3 | NA | 2529.4 | 0.668 | 20718.6 | 30790.3 | 39881.9 | 54071.8 |
| 4 | 18s_25560516_171103_4 | 4 | NA | 2312.8 | 0.645 | 12329.2 | 25940.1 | 33895.9 | 47134.5 |
| 5 | 18s_25560516_171103_5 | 5 | NA | 2681.8 | 0.725 | 14757.3 | 36277.7 | 46159.2 | 61690.5 |
| 6 | 18s_25560516_171103_6 | 6 | NA | 2188.6 | 0.648 | 5271.1 | 3792.6 | 4859.6 | 6630.6 |
| Average : | | | | 2388.8 | 0.654 | 13665.2 | 21341.3 | 27351.1 | 42843.2 |

รูปที่ ๒๔ : ระบบที่ 18

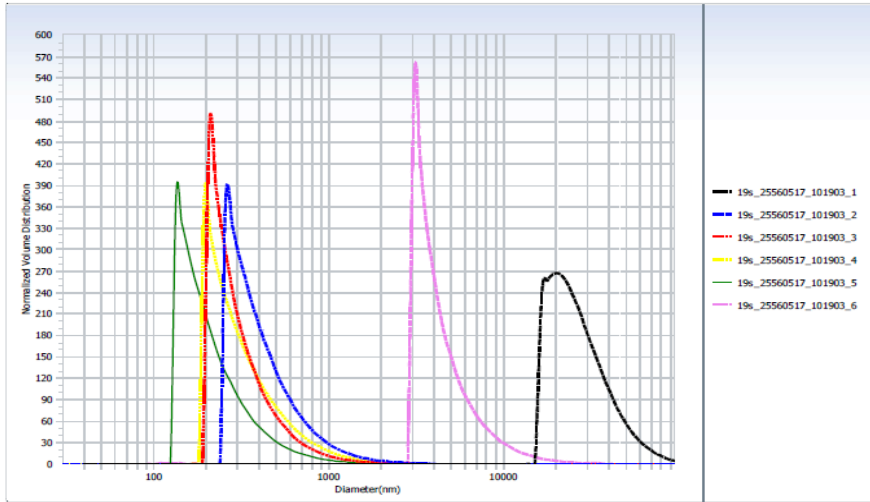
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 19s_25560517_101903_1 | 1 | NA | 4343.8 | 1.010 | 29785.0 | 44.1 | 46.7 | 51.0 |
| 2 | 19s_25560517_101903_2 | 2 | NA | 3221.8 | 0.886 | 10231.7 | 244.3 | 277.7 | 389.8 |
| 3 | 19s_25560517_101903_3 | 3 | NA | 5001.6 | 1.420 | 25106.2 | 195.2 | 218.8 | 297.4 |
| 4 | 19s_25560517_101903_4 | 4 | NA | 1781.3 | 0.542 | 3621.5 | 184.5 | 208.9 | 297.4 |
| 5 | 19s_25560517_101903_5 | 5 | NA | 1869.4 | 0.575 | 4180.2 | 127.1 | 144.2 | 202.4 |
| 6 | 19s_25560517_101903_6 | 6 | NA | 2698.1 | 0.913 | 11748.3 | 104.2 | 118.8 | 174.4 |
| Average : | | | | 3152.7 | 0.891 | 14112.1 | 149.9 | 169.2 | 235.4 |

รูปที่ จ25 : ระบบที่ 19

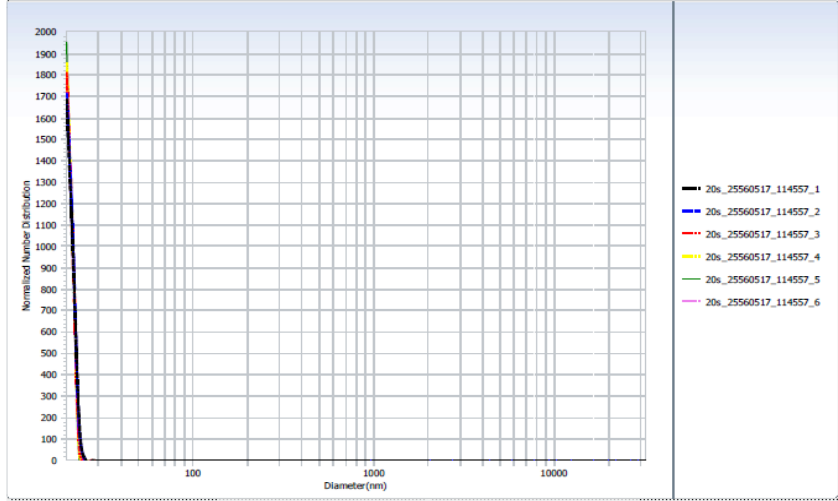
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 19s_25560517_101903_1 | 1 | NA | 4343.8 | 1.010 | 29785.0 | 16643.8 | 23759.6 | 43110.6 |
| 2 | 19s_25560517_101903_2 | 2 | NA | 3221.8 | 0.886 | 10231.7 | 253.1 | 347.2 | 710.6 |
| 3 | 19s_25560517_101903_3 | 3 | NA | 5001.6 | 1.420 | 25106.2 | 200.2 | 259.6 | 504.5 |
| 4 | 19s_25560517_101903_4 | 4 | NA | 1781.3 | 0.542 | 3621.5 | 191.3 | 268.1 | 586.9 |
| 5 | 19s_25560517_101903_5 | 5 | NA | 1869.4 | 0.575 | 4180.2 | 131.6 | 180.4 | 377.5 |
| 6 | 19s_25560517_101903_6 | 6 | NA | 2698.1 | 0.913 | 11748.3 | 2950.0 | 3722.0 | 7209.7 |
| Average : | | | | 3152.7 | 0.891 | 14112.1 | 3395.0 | 4756.1 | 8750.0 |

รูปที่ จ26 : ระบบที่ 19

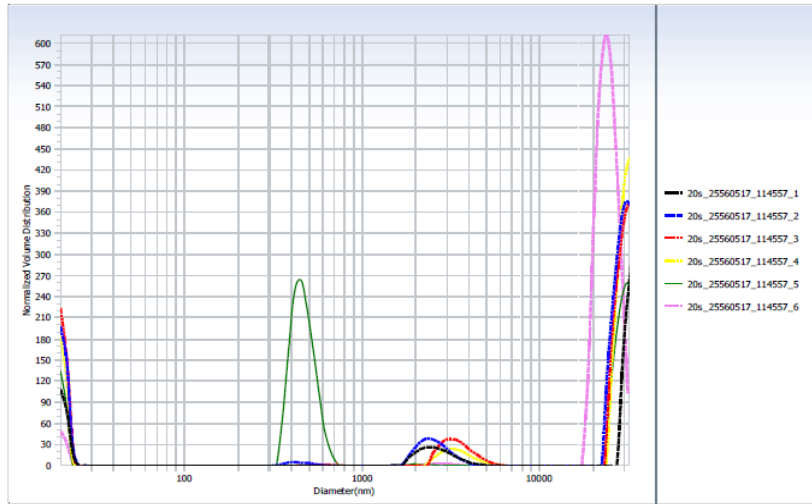
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 20s_25560517_114557_1 | 1 | NA | 2204.6 | 0.723 | 18980.0 | 21.7 | 21.7 | 21.7 |
| 2 | 20s_25560517_114557_2 | 2 | NA | 1763.4 | 0.593 | 10665.1 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |
| 3 | 20s_25560517_114557_3 | 3 | NA | 1808.1 | 0.623 | 10677.0 | 21.7 | 21.7 | 21.7 |
| 4 | 20s_25560517_114557_4 | 4 | NA | 1708.0 | 0.614 | 10641.1 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |
| 5 | 20s_25560517_114557_5 | 5 | NA | 1599.9 | 0.598 | 12919.0 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |
| 6 | 20s_25560517_114557_6 | 6 | NA | 1263.4 | 0.476 | 6743.8 | 21.5 | 21.5 | 21.5 |
| Average : | | | | 1724.6 | 0.605 | 11771.0 | 21.6 | 21.6 | 21.6 |

รูปที่ จ27 : ระบบที่ 20

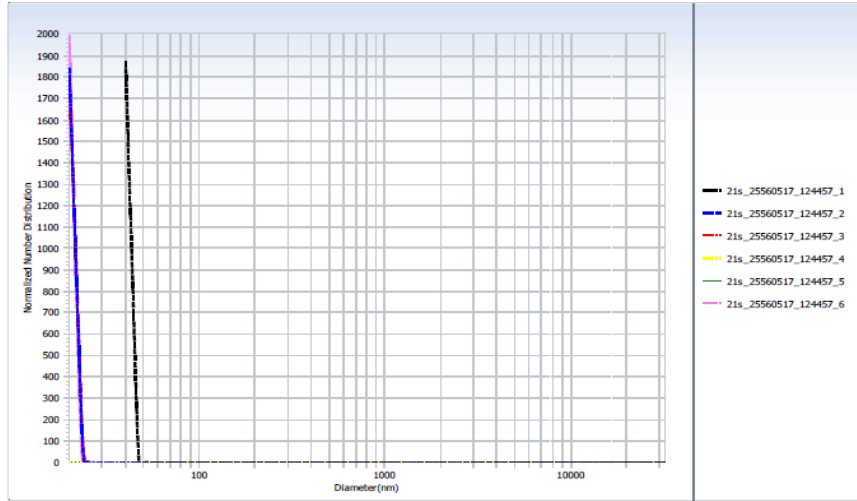
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 20s_25560517_114557_1 | 1 | NA | 2204.6 | 0.723 | 18980.0 | 2300.4 | 36914.3 | 50308.9 |
| 2 | 20s_25560517_114557_2 | 2 | NA | 1763.4 | 0.593 | 10665.1 | 21.6 | 28778.4 | 38305.9 |
| 3 | 20s_25560517_114557_3 | 3 | NA | 1808.1 | 0.623 | 10677.0 | 21.7 | 29702.5 | 39835.8 |
| 4 | 20s_25560517_114557_4 | 4 | NA | 1708.0 | 0.614 | 10641.1 | 21.6 | 30718.5 | 39505.4 |
| 5 | 20s_25560517_114557_5 | 5 | NA | 1599.9 | 0.598 | 12919.0 | 357.6 | 568.0 | 34926.6 |
| 6 | 20s_25560517_114557_6 | 6 | NA | 1263.4 | 0.476 | 6743.8 | 18964.8 | 22890.8 | 27535.3 |
| Average : | | | | 1724.6 | 0.605 | 11771.0 | 3614.6 | 24928.8 | 38403.0 |

รูปที่ จ28 : ระบบที่ 20

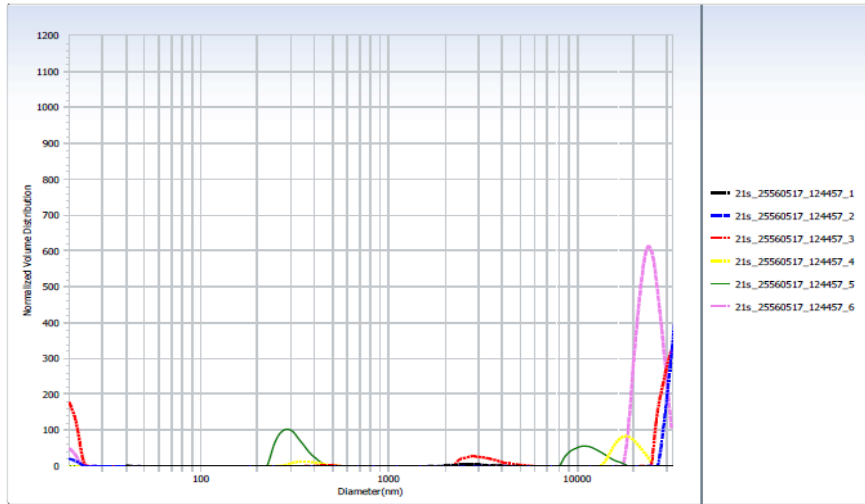
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 21s_25560517_124457_1 | 1 | NA | 3988.3 | 1.115 | 57168.4 | 43.5 | 43.5 | 43.5 |
| 2 | 21s_25560517_124457_2 | 2 | NA | 1870.3 | 0.671 | 15417.7 | 21.7 | 21.7 | 21.7 |
| 3 | 21s_25560517_124457_3 | 3 | NA | 1973.5 | 0.710 | 16645.0 | 21.7 | 21.7 | 21.7 |
| 4 | 21s_25560517_124457_4 | 4 | NA | 1059.7 | 0.420 | 5080.6 | 10.8 | 10.8 | 10.8 |
| 5 | 21s_25560517_124457_5 | 5 | NA | 859.6 | 0.352 | 3160.3 | 10.8 | 10.8 | 11.1 |
| 6 | 21s_25560517_124457_6 | 6 | NA | 1268.4 | 0.481 | 5979.2 | 21.5 | 21.5 | 21.5 |
| Average : | | | | 1836.6 | 0.625 | 17241.9 | 21.7 | 21.7 | 21.7 |

รูปที่ ๒๙ : ระบบที่ 21

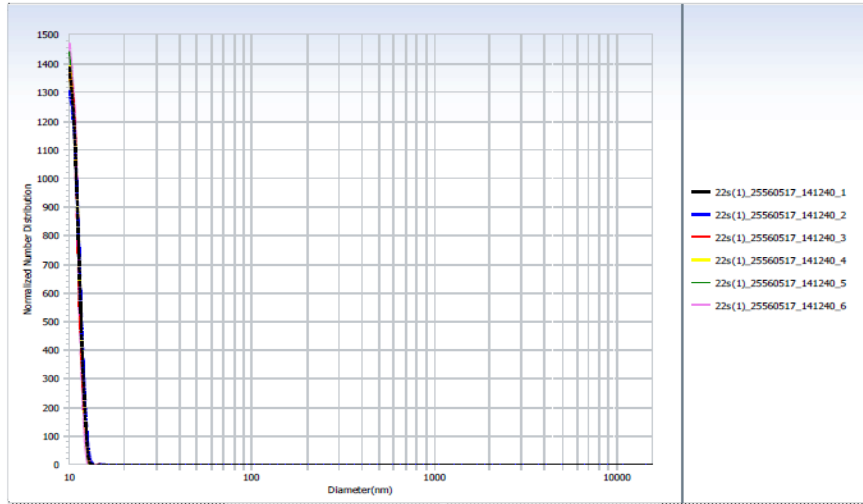
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 21s_25560517_124457_1 | 1 | NA | 3988.3 | 1.115 | 57168.4 | 62297.0 | 80360.8 | 108741.2 |
| 2 | 21s_25560517_124457_2 | 2 | NA | 1870.3 | 0.671 | 15417.7 | 29994.3 | 36919.6 | 46120.3 |
| 3 | 21s_25560517_124457_3 | 3 | NA | 1973.5 | 0.710 | 16645.0 | 21.7 | 33098.9 | 45241.6 |
| 4 | 21s_25560517_124457_4 | 4 | NA | 1059.7 | 0.420 | 5080.6 | 10.8 | 10.8 | 16290.4 |
| 5 | 21s_25560517_124457_5 | 5 | NA | 859.6 | 0.352 | 3160.3 | 10.8 | 10.8 | 9290.5 |
| 6 | 21s_25560517_124457_6 | 6 | NA | 1268.4 | 0.481 | 5979.2 | 19239.2 | 23218.7 | 27901.6 |
| Average : | | | | 1836.6 | 0.625 | 17241.9 | 18595.6 | 28936.6 | 42264.3 |

รูปที่ ๓๐ : ระบบที่ 21

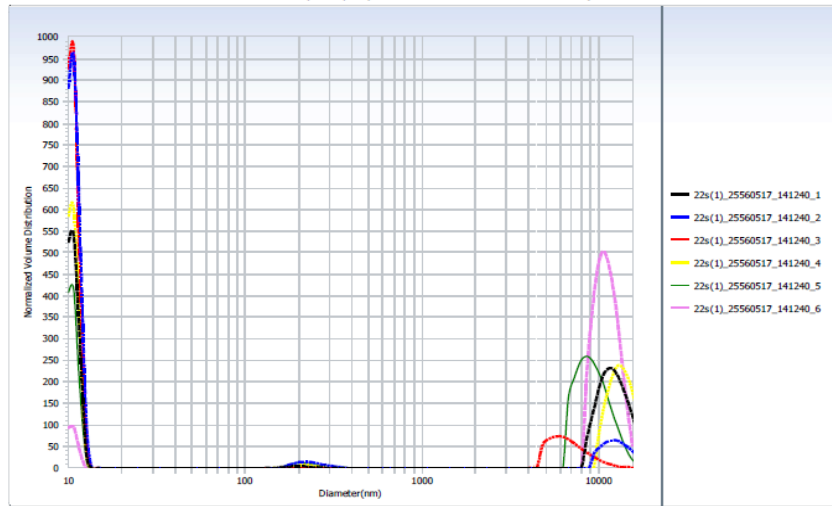
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 22s(1)_25560517_141240_1 | 1 | NA | 921.8 | 0.362 | 3774.6 | 10.8 | 10.8 | 11.2 |
| 2 | 22s(1)_25560517_141240_2 | 2 | NA | 939.4 | 0.366 | 3839.0 | 10.8 | 10.8 | 11.3 |
| 3 | 22s(1)_25560517_141240_3 | 3 | NA | 821.5 | 0.337 | 2269.5 | 10.8 | 10.8 | 11.2 |
| 4 | 22s(1)_25560517_141240_4 | 4 | NA | 923.1 | 0.360 | 3915.2 | 10.8 | 10.8 | 11.1 |
| 5 | 22s(1)_25560517_141240_5 | 5 | NA | 800.4 | 0.329 | 2845.5 | 10.8 | 10.8 | 11.1 |
| 6 | 22s(1)_25560517_141240_6 | 6 | NA | 765.2 | 0.314 | 2424.3 | 10.8 | 10.8 | 11.1 |
| Average : | | | | 861.9 | 0.345 | 3178.0 | 10.8 | 10.8 | 11.2 |

รูปที่ จ31 : ระบบที่ 22

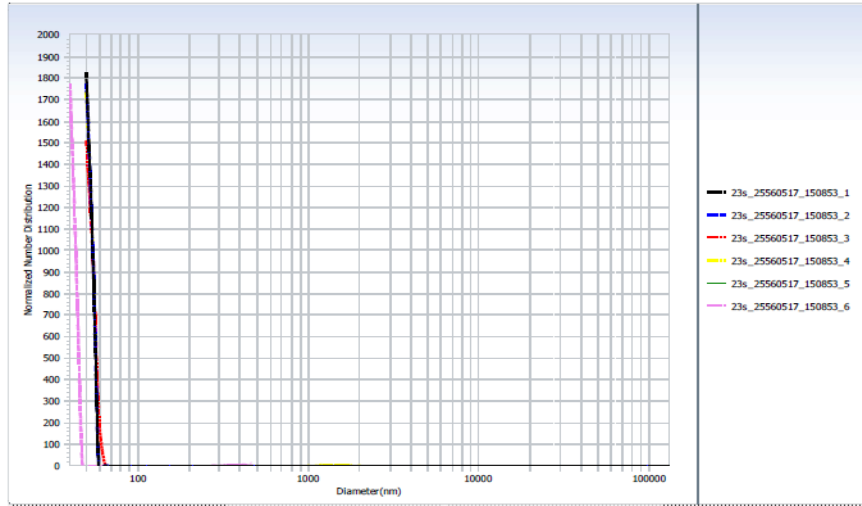
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 22s(1)_25560517_141240_1 | 1 | NA | 921.8 | 0.362 | 3774.6 | 10.8 | 8813.9 | 14079.7 |
| 2 | 22s(1)_25560517_141240_2 | 2 | NA | 939.4 | 0.366 | 3839.0 | 10.8 | 10.8 | 10941.2 |
| 3 | 22s(1)_25560517_141240_3 | 3 | NA | 821.5 | 0.337 | 2269.5 | 10.8 | 10.8 | 6157.5 |
| 4 | 22s(1)_25560517_141240_4 | 4 | NA | 923.1 | 0.360 | 3915.2 | 10.8 | 12.4 | 15029.1 |
| 5 | 22s(1)_25560517_141240_5 | 5 | NA | 800.4 | 0.329 | 2845.5 | 10.8 | 7403.3 | 11160.8 |
| 6 | 22s(1)_25560517_141240_6 | 6 | NA | 765.2 | 0.314 | 2424.3 | 8148.8 | 10298.6 | 12928.1 |
| Average : | | | | 861.9 | 0.345 | 3178.0 | 1367.1 | 4425.0 | 11716.1 |

รูปที่ จ32 : ระบบที่ 22

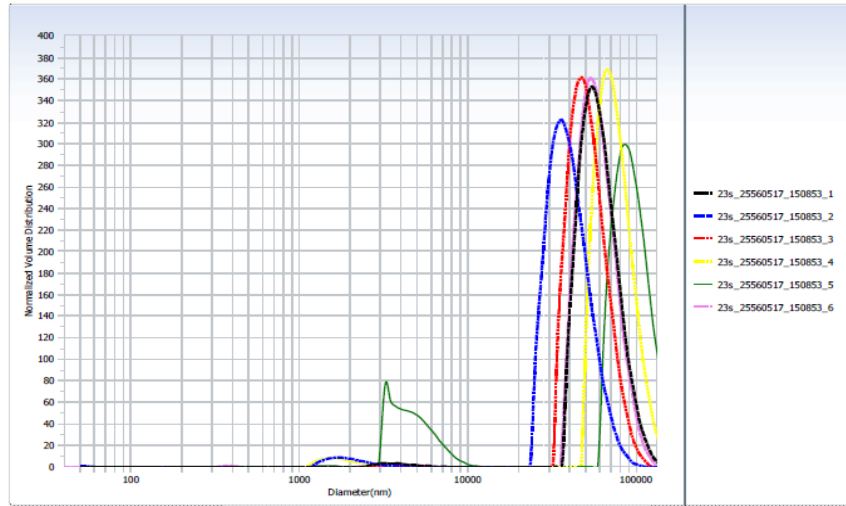
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 23s_25560517_150853_1 | 1 | NA | 4639.8 | 1.059 | 39857.6 | 54.3 | 54.3 | 54.3 |
| 2 | 23s_25560517_150853_2 | 2 | NA | 4829.1 | 1.123 | 33398.1 | 54.3 | 54.3 | 54.3 |
| 3 | 23s_25560517_150853_3 | 3 | NA | 5545.7 | 1.235 | 40164.4 | 54.4 | 54.4 | 54.4 |
| 4 | 23s_25560517_150853_4 | 4 | NA | 5195.1 | 1.067 | 52393.9 | 54.4 | 54.4 | 54.4 |
| 5 | 23s_25560517_150853_5 | 5 | NA | 5142.8 | 1.039 | 55301.2 | 54.3 | 54.3 | 54.3 |
| 6 | 23s_25560517_150853_6 | 6 | NA | 3689.1 | 0.939 | 39034.0 | 43.4 | 43.4 | 43.4 |
| Average : | | | | 4840.3 | 1.077 | 43358.2 | 52.5 | 52.5 | 52.5 |

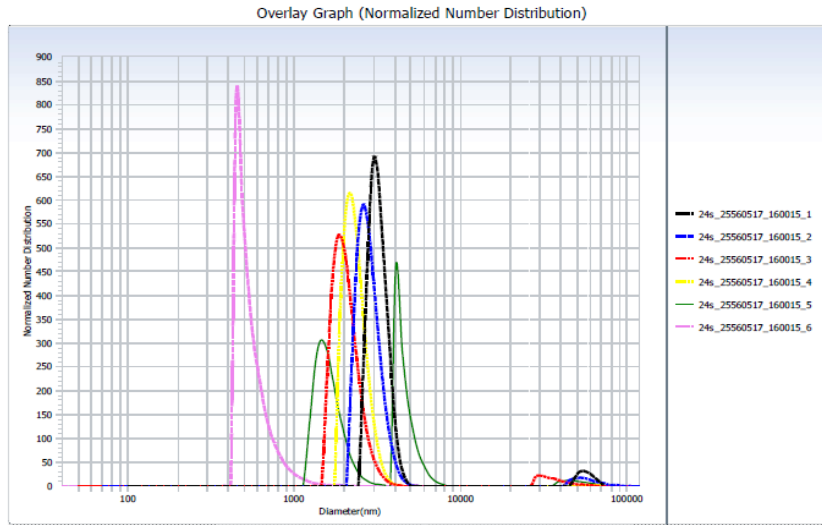
รูปที่ จ33 : ระบบที่ 23

Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



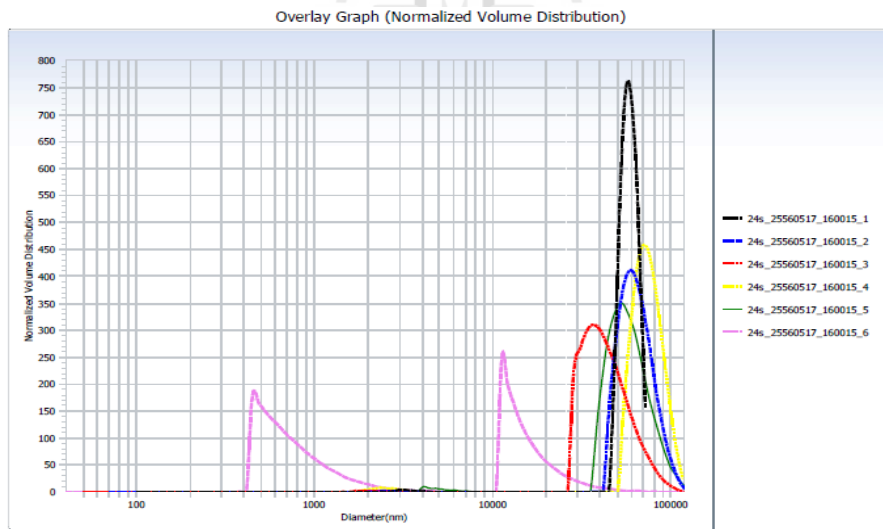
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 23s_25560517_150853_1 | 1 | NA | 4639.8 | 1.059 | 39857.6 | 41370.3 | 55310.9 | 80323.9 |
| 2 | 23s_25560517_150853_2 | 2 | NA | 4829.1 | 1.123 | 33398.1 | 26292.0 | 36357.5 | 54714.0 |
| 3 | 23s_25560517_150853_3 | 3 | NA | 5545.7 | 1.235 | 40164.4 | 36008.8 | 47705.1 | 68734.2 |
| 4 | 23s_25560517_150853_4 | 4 | NA | 5195.1 | 1.067 | 52393.9 | 51567.2 | 68078.9 | 97235.8 |
| 5 | 23s_25560517_150853_5 | 5 | NA | 5142.8 | 1.039 | 55301.2 | 4288.2 | 80759.7 | 119353.7 |
| 6 | 23s_25560517_150853_6 | 6 | NA | 3689.1 | 0.939 | 39034.0 | 40937.6 | 54344.4 | 77884.7 |
| Average : | | | | 4840.3 | 1.077 | 43358.2 | 33410.7 | 57092.8 | 83041.1 |

รูปที่ จ34 : ระบบที่ 23



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 24s_25560517_160015_1 | 1 | NA | 4434.3 | 0.202 | 8977.8 | 2636.2 | 3057.8 | 3793.4 |
| 2 | 24s_25560517_160015_2 | 2 | NA | 4859.2 | 0.465 | 27726.6 | 2238.9 | 2650.4 | 3437.6 |
| 3 | 24s_25560517_160015_3 | 3 | NA | 4183.9 | 0.604 | 22898.5 | 1591.8 | 1923.1 | 2637.7 |
| 4 | 24s_25560517_160015_4 | 4 | NA | 4262.2 | 0.574 | 31125.5 | 1850.2 | 2173.2 | 2730.3 |
| 5 | 24s_25560517_160015_5 | 5 | NA | 4368.0 | 0.772 | 34404.6 | 1291.7 | 1931.2 | 4906.2 |
| 6 | 24s_25560517_160015_6 | 6 | NA | 3586.7 | 0.811 | 15087.8 | 425.4 | 487.8 | 703.4 |
| Average : | | | | 4282.4 | 0.571 | 23370.1 | 1672.4 | 2037.2 | 3034.8 |

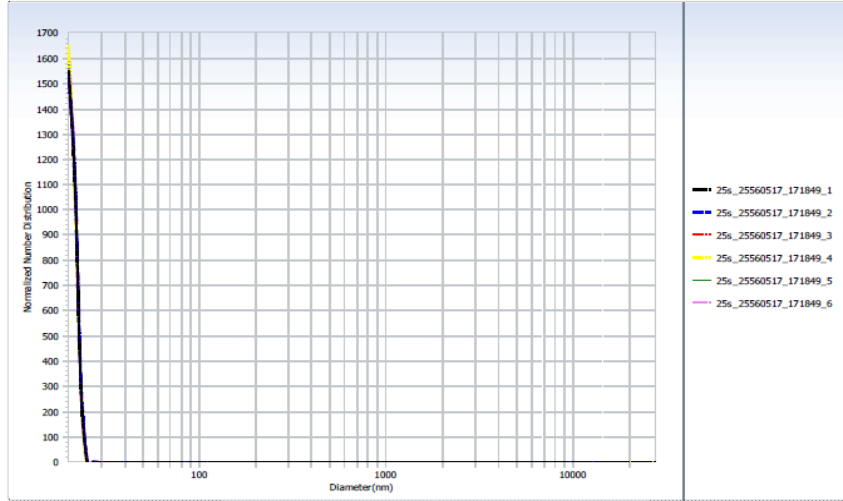
รูปที่ 35 : ระบบที่ 24



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 24s_25560517_160015_1 | 1 | NA | 4434.3 | 0.202 | 8977.8 | 48651.9 | 56025.9 | 65084.8 |
| 2 | 24s_25560517_160015_2 | 2 | NA | 4859.2 | 0.465 | 27726.6 | 46784.4 | 60003.8 | 81731.0 |
| 3 | 24s_25560517_160015_3 | 3 | NA | 4183.9 | 0.604 | 22898.5 | 29075.9 | 39655.8 | 61817.8 |
| 4 | 24s_25560517_160015_4 | 4 | NA | 4262.2 | 0.574 | 31125.5 | 55605.2 | 70063.8 | 90963.6 |
| 5 | 24s_25560517_160015_5 | 5 | NA | 4368.0 | 0.772 | 34404.6 | 40117.5 | 53752.4 | 78206.9 |
| 6 | 24s_25560517_160015_6 | 6 | NA | 3586.7 | 0.811 | 15087.8 | 472.8 | 1363.9 | 18235.9 |
| Average : | | | | 4282.4 | 0.571 | 23370.1 | 36784.6 | 46810.9 | 66006.7 |

รูปที่ 36 : ระบบที่ 24

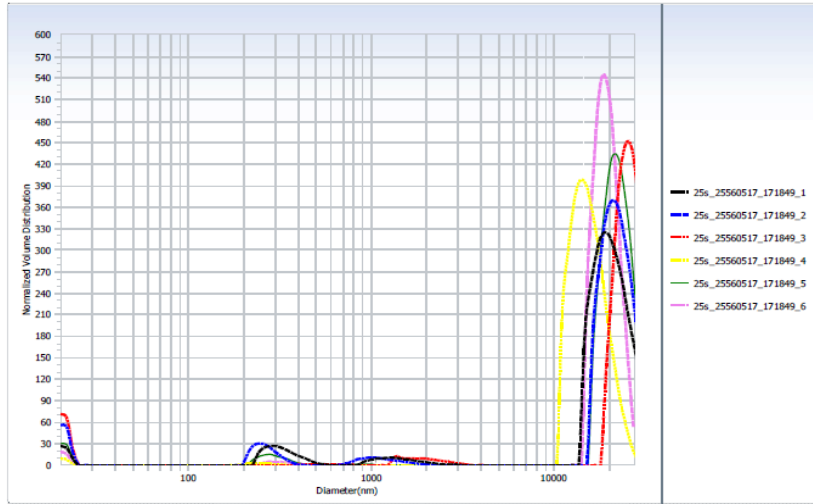
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 25s_25560517_171849_1 | 1 | NA | 1713.6 | 0.503 | 7553.6 | 21.6 | 21.6 | 21.7 |
| 2 | 25s_25560517_171849_2 | 2 | NA | 1515.9 | 0.478 | 7122.3 | 21.6 | 21.6 | 21.8 |
| 3 | 25s_25560517_171849_3 | 3 | NA | 1495.9 | 0.514 | 8741.1 | 21.6 | 21.6 | 21.8 |
| 4 | 25s_25560517_171849_4 | 4 | NA | 1226.8 | 0.424 | 5191.2 | 21.5 | 21.5 | 21.6 |
| 5 | 25s_25560517_171849_5 | 5 | NA | 1397.7 | 0.480 | 8047.8 | 21.6 | 21.6 | 21.7 |
| 6 | 25s_25560517_171849_6 | 6 | NA | 1172.5 | 0.412 | 5704.1 | 21.5 | 21.5 | 21.6 |
| Average : | | | | 1420.4 | 0.468 | 7060.0 | 21.6 | 21.6 | 21.7 |

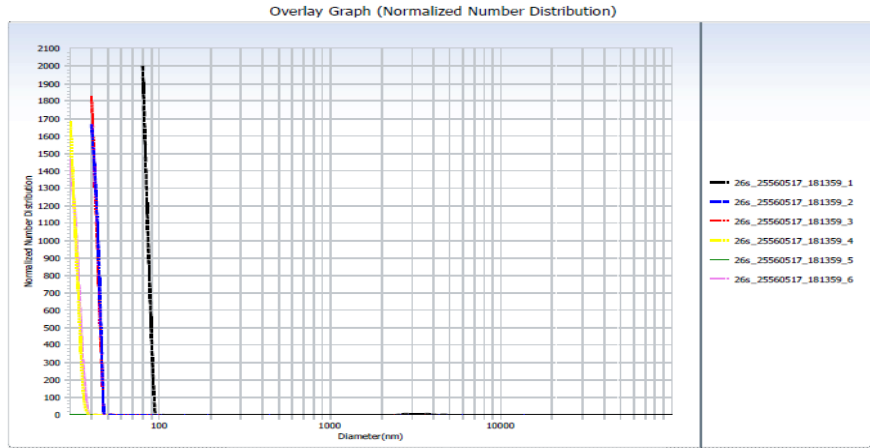
รูปที่ จ37 : ระบบที่ 25

Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



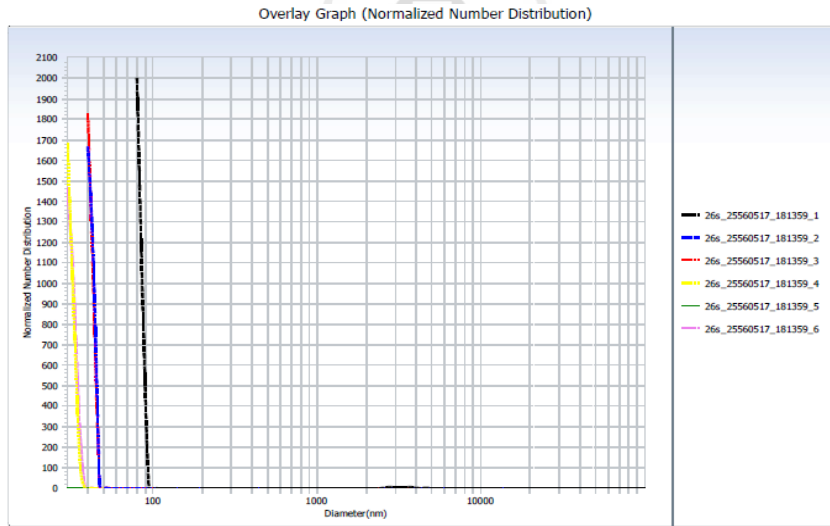
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 25s_25560517_171849_1 | 1 | NA | 1713.6 | 0.503 | 7553.6 | 1358.3 | 18949.4 | 27618.2 |
| 2 | 25s_25560517_171849_2 | 2 | NA | 1515.9 | 0.478 | 7122.3 | 845.9 | 20338.7 | 27778.4 |
| 3 | 25s_25560517_171849_3 | 3 | NA | 1495.9 | 0.514 | 8741.1 | 18339.3 | 24359.6 | 31302.7 |
| 4 | 25s_25560517_171849_4 | 4 | NA | 1226.8 | 0.424 | 5191.2 | 11249.0 | 14468.5 | 19889.2 |
| 5 | 25s_25560517_171849_5 | 5 | NA | 1397.7 | 0.480 | 8047.8 | 16245.5 | 21003.7 | 27434.0 |
| 6 | 25s_25560517_171849_6 | 6 | NA | 1172.5 | 0.412 | 5704.1 | 15122.4 | 18325.8 | 22735.8 |
| Average : | | | | 1420.4 | 0.468 | 7060.0 | 10526.7 | 19574.3 | 26126.4 |

รูปที่ จ38 : ระบบที่ 25



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 26s_25560517_181359_1 | 1 | NA | 7547.8 | 0.983 | 48815.2 | 86.8 | 86.8 | 86.8 |
| 2 | 26s_25560517_181359_2 | 2 | NA | 4107.8 | 0.978 | 48049.8 | 43.5 | 43.5 | 43.5 |
| 3 | 26s_25560517_181359_3 | 3 | NA | 3807.5 | 1.025 | 27946.1 | 43.4 | 43.4 | 43.4 |
| 4 | 26s_25560517_181359_4 | 4 | NA | 3113.2 | 0.871 | 23963.8 | 32.6 | 32.6 | 32.6 |
| 5 | 26s_25560517_181359_5 | 5 | NA | 1901.0 | 0.627 | 3991.9 | 21.7 | 21.7 | 22.1 |
| 6 | 26s_25560517_181359_6 | 6 | NA | 2919.8 | 0.881 | 35061.9 | 32.6 | 32.6 | 32.8 |
| Average : | | | | 3899.5 | 0.894 | 31304.8 | 43.4 | 43.4 | 43.5 |

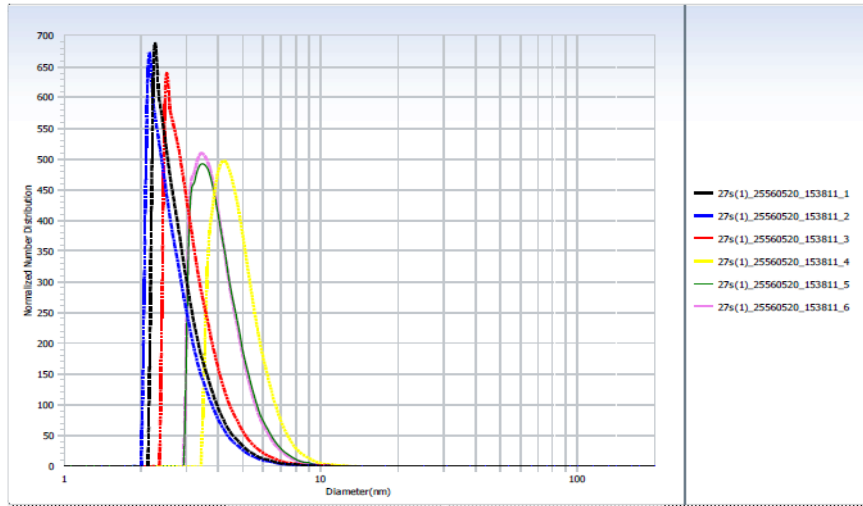
รูปที่ จ39 : ระบบที่ 26



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 26s_25560517_181359_1 | 1 | NA | 7547.8 | 0.983 | 48815.2 | 86.8 | 86.8 | 86.8 |
| 2 | 26s_25560517_181359_2 | 2 | NA | 4107.8 | 0.978 | 48049.8 | 43.5 | 43.5 | 43.5 |
| 3 | 26s_25560517_181359_3 | 3 | NA | 3807.5 | 1.025 | 27946.1 | 43.4 | 43.4 | 43.4 |
| 4 | 26s_25560517_181359_4 | 4 | NA | 3113.2 | 0.871 | 23963.8 | 32.6 | 32.6 | 32.6 |
| 5 | 26s_25560517_181359_5 | 5 | NA | 1901.0 | 0.627 | 3991.9 | 21.7 | 21.7 | 22.1 |
| 6 | 26s_25560517_181359_6 | 6 | NA | 2919.8 | 0.881 | 35061.9 | 32.6 | 32.6 | 32.8 |
| Average : | | | | 3899.5 | 0.894 | 31304.8 | 43.4 | 43.4 | 43.5 |

รูปที่ จ40 : ระบบที่ 26

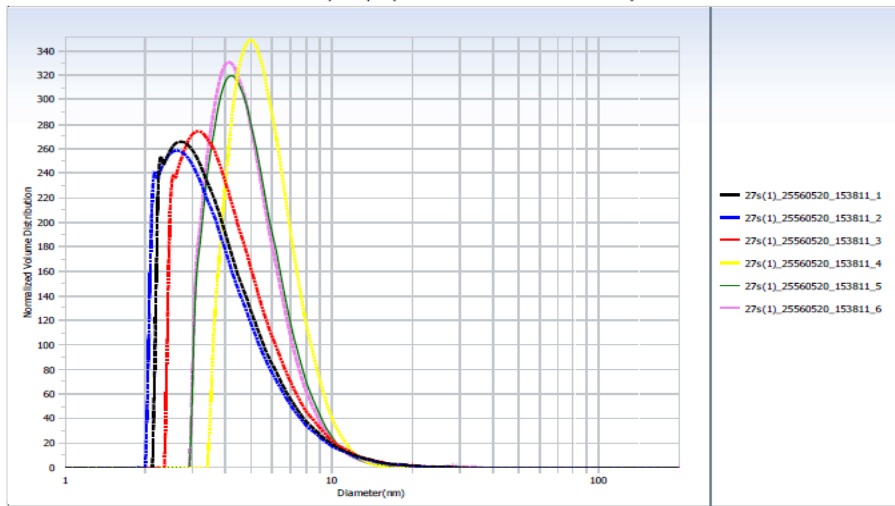
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 27s(1)_25560520_153811_1 | 1 | NA | 11.0 | 0.191 | 12.3 | 2.2 | 2.6 | 3.7 |
| 2 | 27s(1)_25560520_153811_2 | 2 | NA | 10.8 | 0.206 | 12.3 | 2.1 | 2.5 | 3.6 |
| 3 | 27s(1)_25560520_153811_3 | 3 | NA | 11.0 | 0.169 | 12.9 | 2.4 | 2.9 | 4.2 |
| 4 | 27s(1)_25560520_153811_4 | 4 | NA | 10.7 | 0.226 | 23.4 | 3.7 | 4.4 | 6.1 |
| 5 | 27s(1)_25560520_153811_5 | 5 | NA | 10.6 | 0.221 | 19.3 | 3.1 | 3.7 | 5.2 |
| 6 | 27s(1)_25560520_153811_6 | 6 | NA | 10.9 | 0.188 | 16.9 | 3.1 | 3.7 | 5.1 |
| Average : | | | | 10.8 | 0.200 | 16.2 | 2.8 | 3.3 | 4.6 |

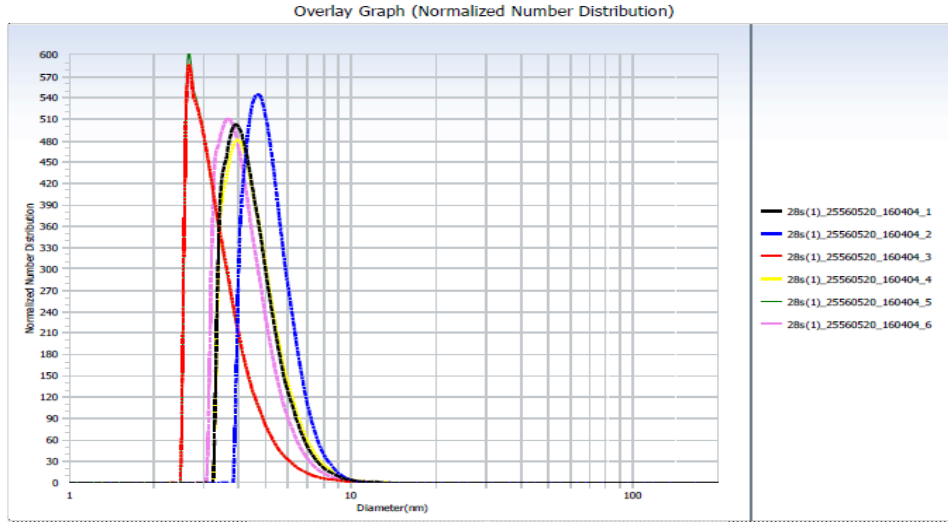
รูปที่ จ41 : ระบบที่ 27

Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



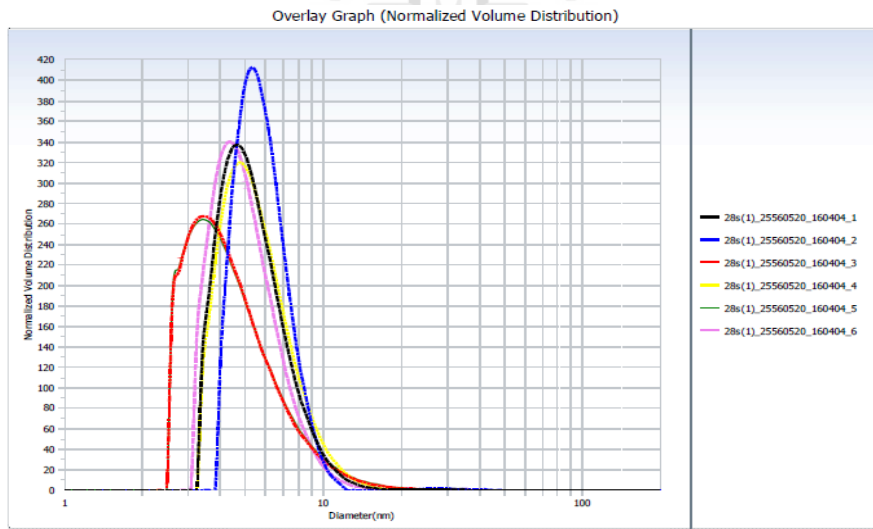
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 27s(1)_25560520_153811_1 | 1 | NA | 11.0 | 0.191 | 12.3 | 2.3 | 3.3 | 6.3 |
| 2 | 27s(1)_25560520_153811_2 | 2 | NA | 10.8 | 0.206 | 12.3 | 2.2 | 3.2 | 6.1 |
| 3 | 27s(1)_25560520_153811_3 | 3 | NA | 11.0 | 0.169 | 12.9 | 2.6 | 3.7 | 6.6 |
| 4 | 27s(1)_25560520_153811_4 | 4 | NA | 10.7 | 0.226 | 23.4 | 3.9 | 5.2 | 7.8 |
| 5 | 27s(1)_25560520_153811_5 | 5 | NA | 10.6 | 0.221 | 19.3 | 3.3 | 4.5 | 7.1 |
| 6 | 27s(1)_25560520_153811_6 | 6 | NA | 10.9 | 0.188 | 16.9 | 3.3 | 4.4 | 6.9 |
| Average : | | | | 10.8 | 0.200 | 16.2 | 2.9 | 4.0 | 6.8 |

รูปที่ จ42 : ระบบที่ 27



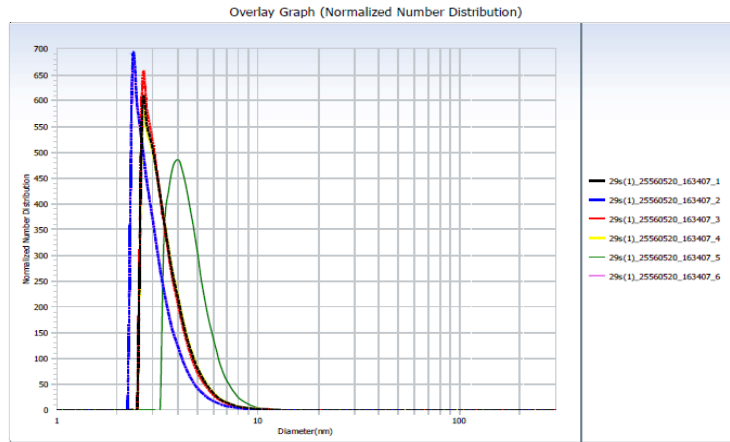
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 28s(1)_25560520_160404_1 | 1 | NA | 11.2 | 0.181 | 19.2 | 3.4 | 4.2 | 5.7 |
| 2 | 28s(1)_25560520_160404_2 | 2 | NA | 11.2 | 0.160 | 17.3 | 4.1 | 4.9 | 6.4 |
| 3 | 28s(1)_25560520_160404_3 | 3 | NA | 11.5 | 0.173 | 12.8 | 2.6 | 3.1 | 4.5 |
| 4 | 28s(1)_25560520_160404_4 | 4 | NA | 11.1 | 0.183 | 19.4 | 3.5 | 4.2 | 5.9 |
| 5 | 28s(1)_25560520_160404_5 | 5 | NA | 11.3 | 0.170 | 11.5 | 2.6 | 3.1 | 4.5 |
| 6 | 28s(1)_25560520_160404_6 | 6 | NA | 11.3 | 0.184 | 18.8 | 3.3 | 3.9 | 5.4 |
| Average : | | | | 11.3 | 0.175 | 16.5 | 3.2 | 3.9 | 5.4 |

รูปที่ ๑43 : ระบบที่ 28



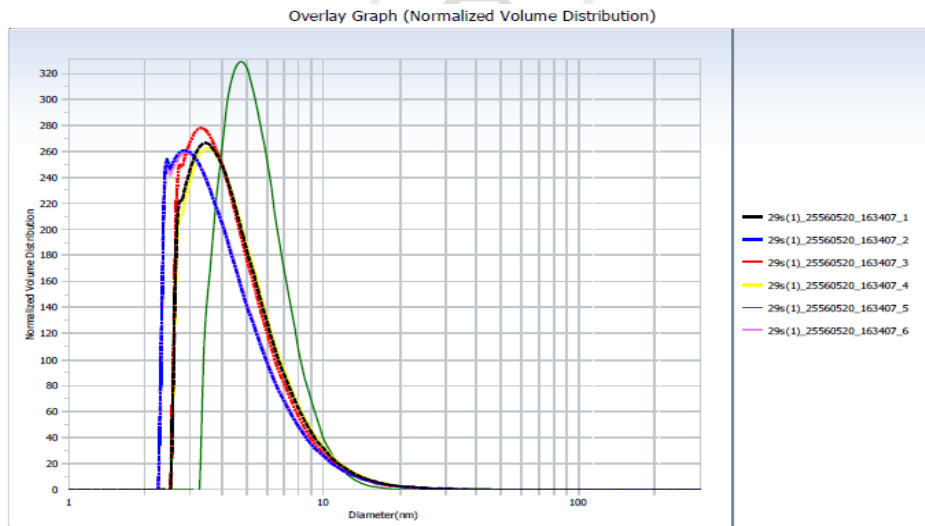
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 28s(1)_25560520_160404_1 | 1 | NA | 11.2 | 0.181 | 19.2 | 3.7 | 4.9 | 7.6 |
| 2 | 28s(1)_25560520_160404_2 | 2 | NA | 11.2 | 0.160 | 17.3 | 4.3 | 5.5 | 7.6 |
| 3 | 28s(1)_25560520_160404_3 | 3 | NA | 11.5 | 0.173 | 12.8 | 2.8 | 4.0 | 7.2 |
| 4 | 28s(1)_25560520_160404_4 | 4 | NA | 11.1 | 0.183 | 19.4 | 3.7 | 5.1 | 8.0 |
| 5 | 28s(1)_25560520_160404_5 | 5 | NA | 11.3 | 0.170 | 11.5 | 2.8 | 4.0 | 7.3 |
| 6 | 28s(1)_25560520_160404_6 | 6 | NA | 11.3 | 0.184 | 18.8 | 3.5 | 4.6 | 7.1 |
| Average : | | | | 11.3 | 0.175 | 16.5 | 3.5 | 4.7 | 7.5 |

รูปที่ ๑44 : ระบบที่ 28



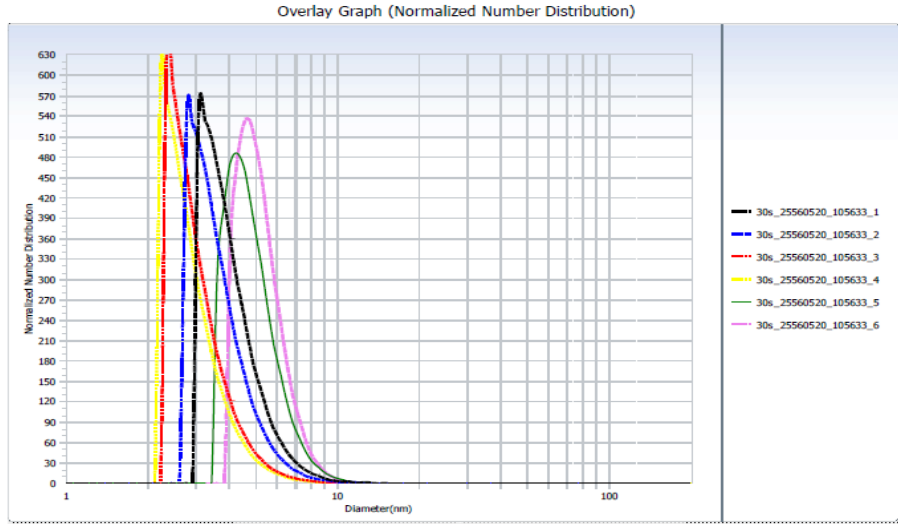
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 29s(1)_25560520_163407_1 | 1 | NA | 12.2 | 0.211 | 16.2 | 2.6 | 3.1 | 4.5 |
| 2 | 29s(1)_25560520_163407_2 | 2 | NA | 12.1 | 0.224 | 15.3 | 2.3 | 2.7 | 4.0 |
| 3 | 29s(1)_25560520_163407_3 | 3 | NA | 12.1 | 0.215 | 17.4 | 2.6 | 3.1 | 4.4 |
| 4 | 29s(1)_25560520_163407_4 | 4 | NA | 12.1 | 0.214 | 14.8 | 2.6 | 3.2 | 4.6 |
| 5 | 29s(1)_25560520_163407_5 | 5 | NA | 12.0 | 0.203 | 20.6 | 3.5 | 4.2 | 5.8 |
| 6 | 29s(1)_25560520_163407_6 | 6 | NA | 11.9 | 0.255 | 14.9 | 2.3 | 2.8 | 4.0 |
| Average : | | | | 12.1 | 0.220 | 16.5 | 2.6 | 3.2 | 4.6 |

รูปที่ จ45 : ระบบที่ 29



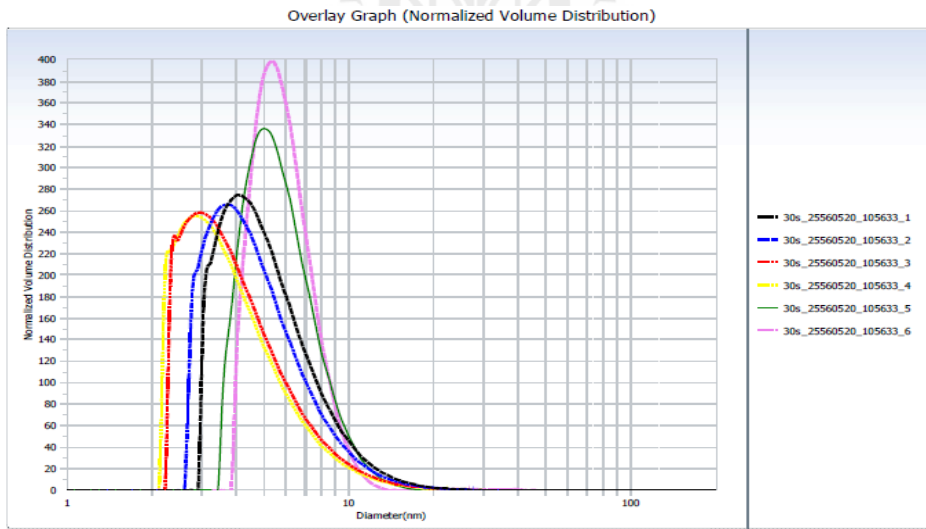
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 29s(1)_25560520_163407_1 | 1 | NA | 12.2 | 0.211 | 16.2 | 2.8 | 4.0 | 7.3 |
| 2 | 29s(1)_25560520_163407_2 | 2 | NA | 12.1 | 0.224 | 15.3 | 2.5 | 3.6 | 6.9 |
| 3 | 29s(1)_25560520_163407_3 | 3 | NA | 12.1 | 0.215 | 17.4 | 2.8 | 3.9 | 7.1 |
| 4 | 29s(1)_25560520_163407_4 | 4 | NA | 12.1 | 0.214 | 14.8 | 2.8 | 4.1 | 7.4 |
| 5 | 29s(1)_25560520_163407_5 | 5 | NA | 12.0 | 0.203 | 20.6 | 3.7 | 5.1 | 7.8 |
| 6 | 29s(1)_25560520_163407_6 | 6 | NA | 11.9 | 0.255 | 14.9 | 2.5 | 3.6 | 6.9 |
| Average : | | | | 12.1 | 0.220 | 16.5 | 2.8 | 4.0 | 7.2 |

รูปที่ จ46 : ระบบที่ 29



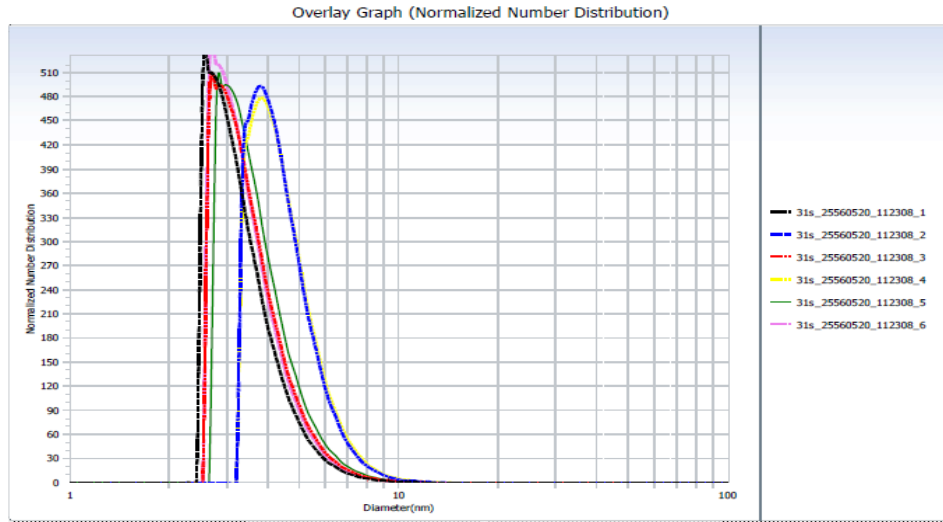
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 30s_25560520_105633_1 | 1 | NA | 11.1 | 0.128 | 10.5 | 3.0 | 3.7 | 5.2 |
| 2 | 30s_25560520_105633_2 | 2 | NA | 10.8 | 0.115 | 10.4 | 2.7 | 3.3 | 4.8 |
| 3 | 30s_25560520_105633_3 | 3 | NA | 10.7 | 0.164 | 11.3 | 2.3 | 2.8 | 4.0 |
| 4 | 30s_25560520_105633_4 | 4 | NA | 10.4 | 0.216 | 11.2 | 2.2 | 2.6 | 3.8 |
| 5 | 30s_25560520_105633_5 | 5 | NA | 10.7 | 0.158 | 20.2 | 3.7 | 4.5 | 6.2 |
| 6 | 30s_25560520_105633_6 | 6 | NA | 10.4 | 0.128 | 17.0 | 4.1 | 4.9 | 6.4 |
| Average : | | | | 10.7 | 0.152 | 13.4 | 3.0 | 3.6 | 5.1 |

รูปที่ ๑๔๗ : ระบบที่ 30



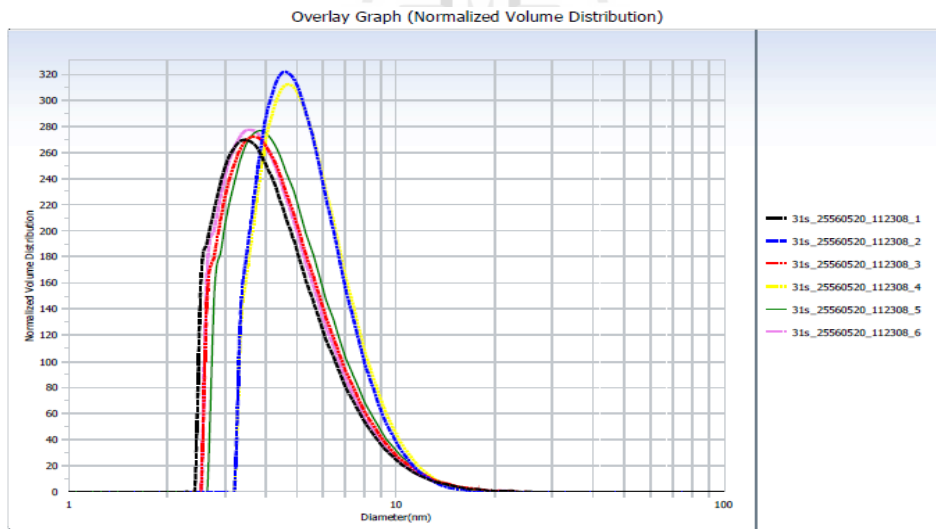
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 30s_25560520_105633_1 | 1 | NA | 11.1 | 0.128 | 10.5 | 3.3 | 4.6 | 8.1 |
| 2 | 30s_25560520_105633_2 | 2 | NA | 10.8 | 0.115 | 10.4 | 2.9 | 4.2 | 7.5 |
| 3 | 30s_25560520_105633_3 | 3 | NA | 10.7 | 0.164 | 11.3 | 2.5 | 3.6 | 6.7 |
| 4 | 30s_25560520_105633_4 | 4 | NA | 10.4 | 0.216 | 11.2 | 2.4 | 3.4 | 6.4 |
| 5 | 30s_25560520_105633_5 | 5 | NA | 10.7 | 0.158 | 20.2 | 4.0 | 5.3 | 8.1 |
| 6 | 30s_25560520_105633_6 | 6 | NA | 10.4 | 0.128 | 17.0 | 4.3 | 5.5 | 7.8 |
| Average : | | | | 10.7 | 0.152 | 13.4 | 3.2 | 4.4 | 7.4 |

รูปที่ ๑๔๘ : ระบบที่ 30



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 31s_25560520_112308_1 | 1 | NA | 9.1 | 0.084 | 8.7 | 2.5 | 3.1 | 4.4 |
| 2 | 31s_25560520_112308_2 | 2 | NA | 8.6 | 0.072 | 7.6 | 3.4 | 4.1 | 5.7 |
| 3 | 31s_25560520_112308_3 | 3 | NA | 8.6 | 0.058 | 8.6 | 2.7 | 3.2 | 4.7 |
| 4 | 31s_25560520_112308_4 | 4 | NA | 8.8 | 0.065 | 8.0 | 3.4 | 4.1 | 5.8 |
| 5 | 31s_25560520_112308_5 | 5 | NA | 8.7 | 0.071 | 8.5 | 2.8 | 3.4 | 4.9 |
| 6 | 31s_25560520_112308_6 | 6 | NA | 8.7 | 0.070 | 8.4 | 2.7 | 3.2 | 4.6 |
| Average : | | | | 8.8 | 0.070 | 8.3 | 2.9 | 3.5 | 5.0 |

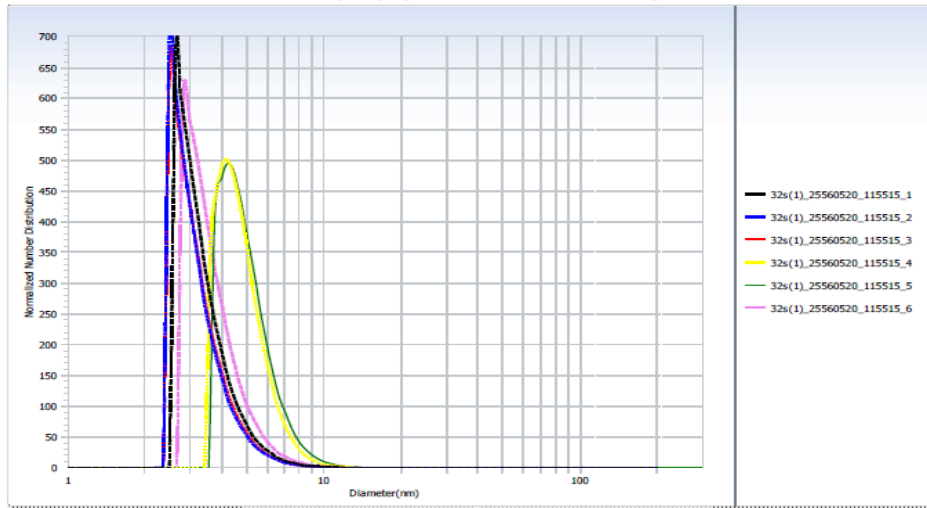
รูปที่ ๔๙ : ระบบที่ 31



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 31s_25560520_112308_1 | 1 | NA | 9.1 | 0.084 | 8.7 | 2.7 | 3.9 | 6.8 |
| 2 | 31s_25560520_112308_2 | 2 | NA | 8.6 | 0.072 | 7.6 | 3.6 | 4.9 | 7.7 |
| 3 | 31s_25560520_112308_3 | 3 | NA | 8.6 | 0.058 | 8.6 | 2.9 | 4.1 | 7.1 |
| 4 | 31s_25560520_112308_4 | 4 | NA | 8.8 | 0.065 | 8.0 | 3.7 | 5.0 | 7.9 |
| 5 | 31s_25560520_112308_5 | 5 | NA | 8.7 | 0.071 | 8.5 | 3.0 | 4.3 | 7.3 |
| 6 | 31s_25560520_112308_6 | 6 | NA | 8.7 | 0.070 | 8.4 | 2.9 | 4.0 | 6.9 |
| Average : | | | | 8.8 | 0.070 | 8.3 | 3.1 | 4.4 | 7.3 |

รูปที่ ๕๐ : ระบบที่ 31

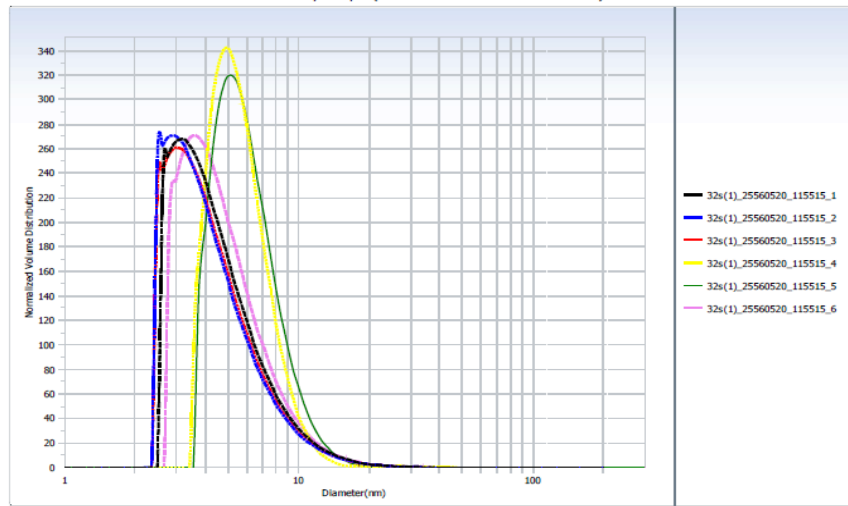
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 32s(1)_25560520_115515_1 | 1 | NA | 11.9 | 0.204 | 14.2 | 2.6 | 3.0 | 4.4 |
| 2 | 32s(1)_25560520_115515_2 | 2 | NA | 12.0 | 0.199 | 15.3 | 2.4 | 2.9 | 4.1 |
| 3 | 32s(1)_25560520_115515_3 | 3 | NA | 11.8 | 0.220 | 14.6 | 2.4 | 2.9 | 4.2 |
| 4 | 32s(1)_25560520_115515_4 | 4 | NA | 11.9 | 0.216 | 19.9 | 3.6 | 4.4 | 6.0 |
| 5 | 32s(1)_25560520_115515_5 | 5 | NA | 11.9 | 0.231 | 23.8 | 3.8 | 4.6 | 6.3 |
| 6 | 32s(1)_25560520_115515_6 | 6 | NA | 12.2 | 0.225 | 15.0 | 2.8 | 3.3 | 4.7 |
| Average : | | | | 11.9 | 0.216 | 17.1 | 2.9 | 3.5 | 4.9 |

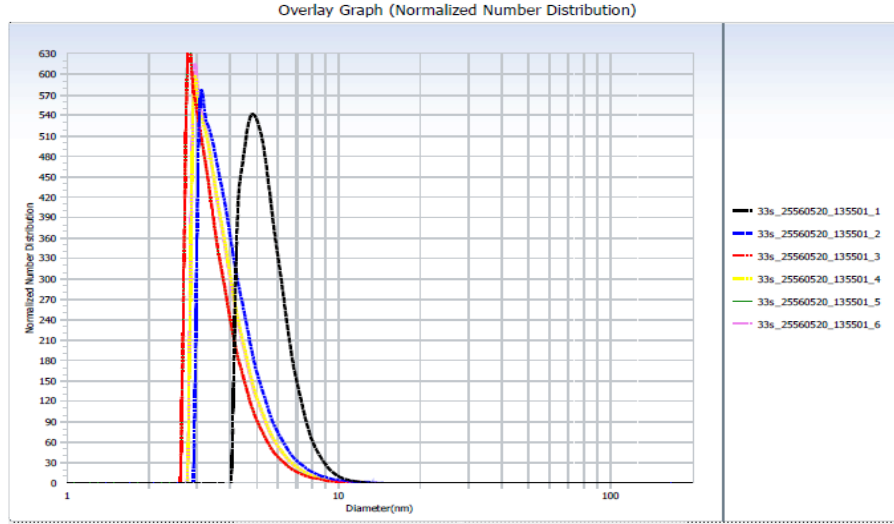
รูปที่ จ51 : ระบบที่ 32

Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



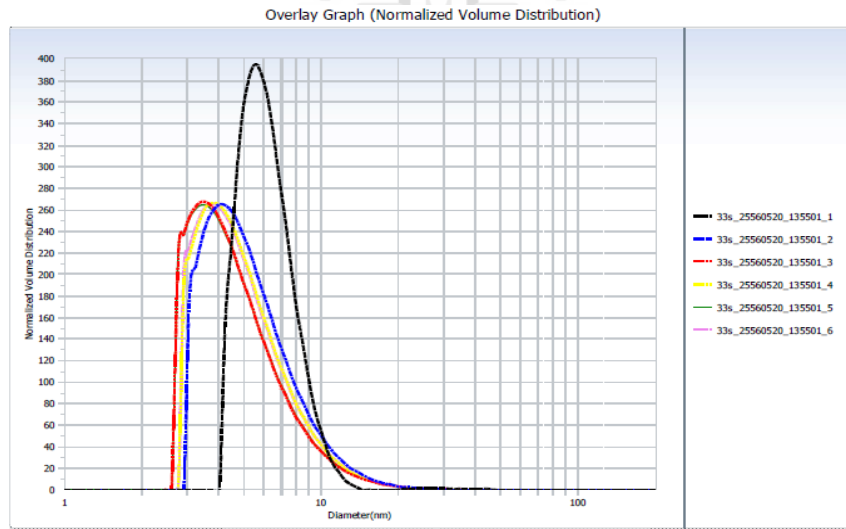
| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|--------------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 32s(1)_25560520_115515_1 | 1 | NA | 11.9 | 0.204 | 14.2 | 2.7 | 3.9 | 7.4 |
| 2 | 32s(1)_25560520_115515_2 | 2 | NA | 12.0 | 0.199 | 15.3 | 2.6 | 3.7 | 7.0 |
| 3 | 32s(1)_25560520_115515_3 | 3 | NA | 11.8 | 0.220 | 14.6 | 2.6 | 3.7 | 7.1 |
| 4 | 32s(1)_25560520_115515_4 | 4 | NA | 11.9 | 0.216 | 19.9 | 3.9 | 5.2 | 7.9 |
| 5 | 32s(1)_25560520_115515_5 | 5 | NA | 11.9 | 0.231 | 23.8 | 4.0 | 5.5 | 8.6 |
| 6 | 32s(1)_25560520_115515_6 | 6 | NA | 12.2 | 0.225 | 15.0 | 3.0 | 4.2 | 7.6 |
| Average : | | | | 11.9 | 0.216 | 17.1 | 3.1 | 4.4 | 7.6 |

รูปที่ จ52 : ระบบที่ 32



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 33s_25560520_135501_1 | 1 | NA | 11.2 | 0.146 | 17.1 | 4.3 | 5.1 | 6.8 |
| 2 | 33s_25560520_135501_2 | 2 | NA | 11.2 | 0.144 | 11.7 | 3.0 | 3.7 | 5.3 |
| 3 | 33s_25560520_135501_3 | 3 | NA | 11.3 | 0.146 | 13.2 | 2.7 | 3.2 | 4.7 |
| 4 | 33s_25560520_135501_4 | 4 | NA | 11.3 | 0.130 | 12.2 | 2.9 | 3.5 | 5.0 |
| 5 | 33s_25560520_135501_5 | 5 | NA | 11.2 | 0.124 | 13.0 | 2.7 | 3.2 | 4.7 |
| 6 | 33s_25560520_135501_6 | 6 | NA | 11.1 | 0.143 | 12.1 | 2.9 | 3.4 | 5.0 |
| Average : | | | | 11.2 | 0.139 | 13.2 | 3.1 | 3.7 | 5.3 |

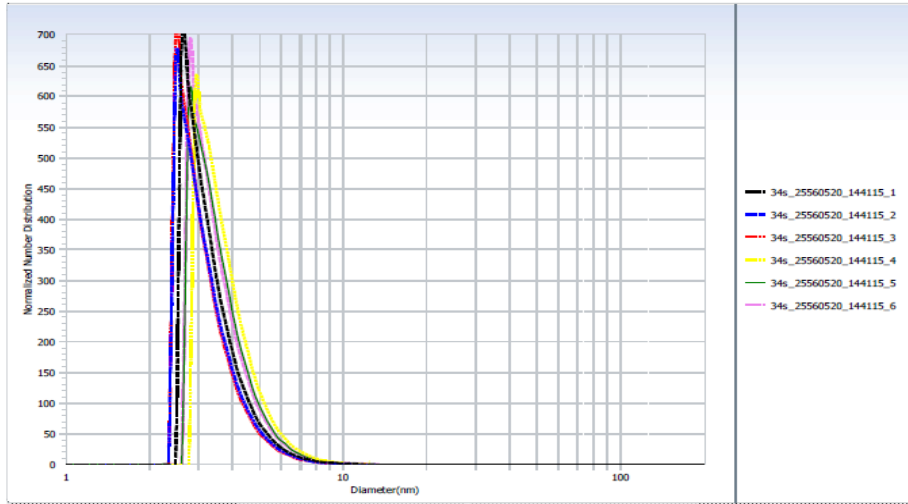
รูปที่ ๑53 : ระบบที่ 33



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 33s_25560520_135501_1 | 1 | NA | 11.2 | 0.146 | 17.1 | 4.5 | 5.8 | 8.2 |
| 2 | 33s_25560520_135501_2 | 2 | NA | 11.2 | 0.144 | 11.7 | 3.3 | 4.7 | 8.4 |
| 3 | 33s_25560520_135501_3 | 3 | NA | 11.3 | 0.146 | 13.2 | 2.9 | 4.1 | 7.6 |
| 4 | 33s_25560520_135501_4 | 4 | NA | 11.3 | 0.130 | 12.2 | 3.1 | 4.4 | 8.0 |
| 5 | 33s_25560520_135501_5 | 5 | NA | 11.2 | 0.124 | 13.0 | 2.9 | 4.2 | 7.7 |
| 6 | 33s_25560520_135501_6 | 6 | NA | 11.1 | 0.143 | 12.1 | 3.1 | 4.4 | 8.0 |
| Average : | | | | 11.2 | 0.139 | 13.2 | 3.3 | 4.6 | 8.0 |

รูปที่ ๑54 : ระบบที่ 33

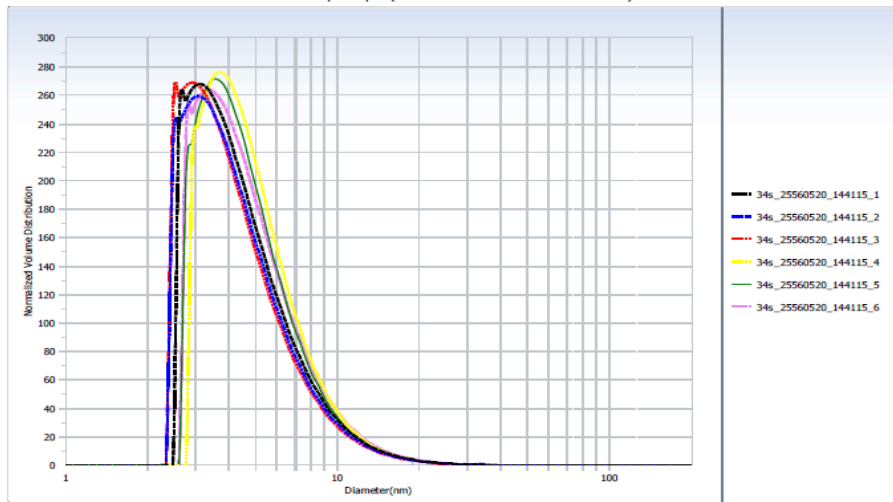
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 34s_25560520_144115_1 | 1 | NA | 12.1 | 0.185 | 15.1 | 2.6 | 3.0 | 4.4 |
| 2 | 34s_25560520_144115_2 | 2 | NA | 11.9 | 0.197 | 14.8 | 2.4 | 2.9 | 4.2 |
| 3 | 34s_25560520_144115_3 | 3 | NA | 12.1 | 0.203 | 14.8 | 2.4 | 2.9 | 4.1 |
| 4 | 34s_25560520_144115_4 | 4 | NA | 12.2 | 0.186 | 14.9 | 2.9 | 3.4 | 4.9 |
| 5 | 34s_25560520_144115_5 | 5 | NA | 12.1 | 0.193 | 15.6 | 2.7 | 3.3 | 4.7 |
| 6 | 34s_25560520_144115_6 | 6 | NA | 12.1 | 0.175 | 13.6 | 2.7 | 3.2 | 4.6 |
| Average : | | | | 12.1 | 0.190 | 14.8 | 2.6 | 3.1 | 4.5 |

รูปที่ ๖55 : ระบบที่ 34

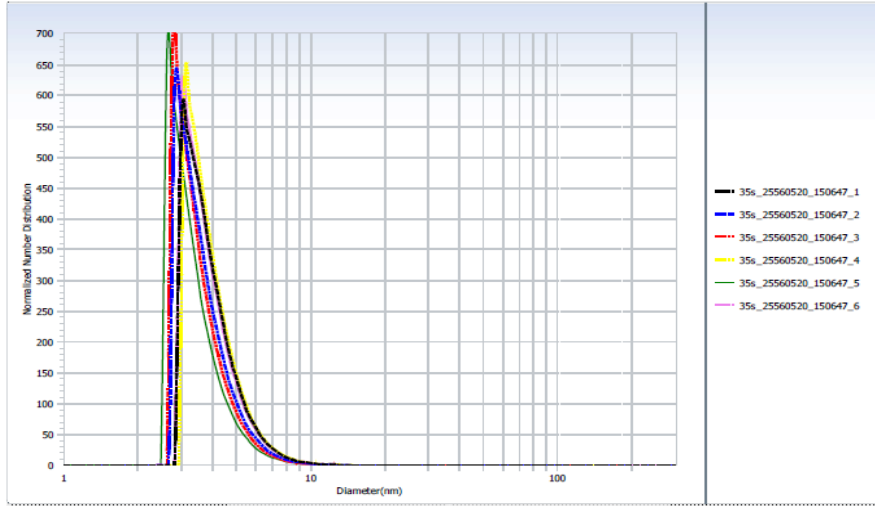
Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 34s_25560520_144115_1 | 1 | NA | 12.1 | 0.185 | 15.1 | 2.7 | 3.9 | 7.4 |
| 2 | 34s_25560520_144115_2 | 2 | NA | 11.9 | 0.197 | 14.8 | 2.6 | 3.8 | 7.2 |
| 3 | 34s_25560520_144115_3 | 3 | NA | 12.1 | 0.203 | 14.8 | 2.6 | 3.7 | 7.0 |
| 4 | 34s_25560520_144115_4 | 4 | NA | 12.2 | 0.186 | 14.9 | 3.1 | 4.3 | 7.8 |
| 5 | 34s_25560520_144115_5 | 5 | NA | 12.1 | 0.193 | 15.6 | 2.9 | 4.1 | 7.5 |
| 6 | 34s_25560520_144115_6 | 6 | NA | 12.1 | 0.175 | 13.6 | 2.9 | 4.1 | 7.8 |
| Average : | | | | 12.1 | 0.190 | 14.8 | 2.8 | 4.0 | 7.5 |

รูปที่ ๖56 : ระบบที่ 34

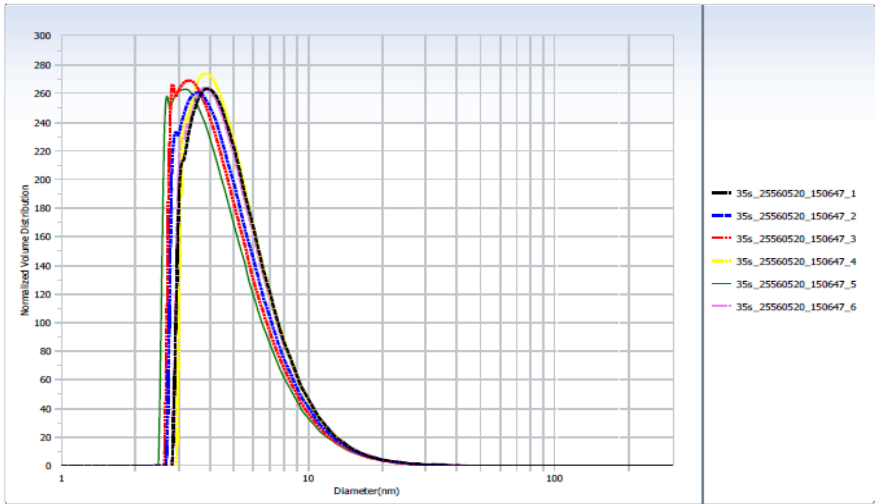
Overlay Graph (Normalized Number Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 35s_25560520_150647_1 | 1 | NA | 12.4 | 0.220 | 14.8 | 2.9 | 3.5 | 5.1 |
| 2 | 35s_25560520_150647_2 | 2 | NA | 12.6 | 0.206 | 15.6 | 2.8 | 3.3 | 4.8 |
| 3 | 35s_25560520_150647_3 | 3 | NA | 12.5 | 0.194 | 15.4 | 2.7 | 3.2 | 4.6 |
| 4 | 35s_25560520_150647_4 | 4 | NA | 12.7 | 0.181 | 15.7 | 3.0 | 3.6 | 5.1 |
| 5 | 35s_25560520_150647_5 | 5 | NA | 12.3 | 0.176 | 15.5 | 2.6 | 3.0 | 4.4 |
| 6 | 35s_25560520_150647_6 | 6 | NA | 12.4 | 0.216 | 15.5 | 2.9 | 3.5 | 5.0 |
| Average : | | | | 12.5 | 0.199 | 15.4 | 2.8 | 3.3 | 4.8 |

รูปที่ จ57 : ระบบที่ 35

Overlay Graph (Normalized Volume Distribution)



| No | Data | Repet. No | pH | Ave.Diameter(nm) | PD | Mean.(nm) | D (10%) (nm) | D (50%) (nm) | D (90%) (nm) |
|-----------|-----------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 35s_25560520_150647_1 | 1 | NA | 12.4 | 0.220 | 14.8 | 3.2 | 4.5 | 8.3 |
| 2 | 35s_25560520_150647_2 | 2 | NA | 12.6 | 0.206 | 15.6 | 3.0 | 4.3 | 8.0 |
| 3 | 35s_25560520_150647_3 | 3 | NA | 12.5 | 0.194 | 15.4 | 2.9 | 4.1 | 7.8 |
| 4 | 35s_25560520_150647_4 | 4 | NA | 12.7 | 0.181 | 15.7 | 3.2 | 4.6 | 8.3 |
| 5 | 35s_25560520_150647_5 | 5 | NA | 12.3 | 0.176 | 15.5 | 2.7 | 3.9 | 7.5 |
| 6 | 35s_25560520_150647_6 | 6 | NA | 12.4 | 0.216 | 15.5 | 3.1 | 4.5 | 8.3 |
| Average : | | | | 12.5 | 0.199 | 15.4 | 3.0 | 4.3 | 8.0 |

รูปที่ จ58 : ระบบที่ 35

ประวัติผู้วิจัย

ดร.อรรถพล มณีแดง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เกิดที่กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีการศึกษา 2548 และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีการศึกษา 2553 ในการศึกษาในระดับปริญญาเอกนั้น ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก รุ่นที่ 7 และทุนวิจัยเพิ่มเติมจาก Industrial Sponsors ของ School of Chemical, Biological and Materials Engineering จาก University of Oklahoma ทั้งนี้ ดร.อรรถพล มณีแดง มีความเชี่ยวชาญทางด้านการตกผลึกของสารลดแรงตึงผิวในเชิงอุณหพลศาสตร์และจลนพลศาสตร์ และการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวในกระบวนการทางวิศวกรรมเคมี โดยในปี 2556 นี้ ดร.อรรถพล มณีแดง ได้รับทุนสนับสนุนการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ในสถาบันอุดมศึกษา จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ในหัวข้อ พฤติกรรมการตกตะกอนของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มชนิดใหม่ในน้ำกระด้าง

