

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษาการเตรียมผงแคลเซียมคาร์บอเนตโดยวิธีพ่นพองแก๊สแบ่งได้เป็น 5 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกเป็นผลการทดสอบความสามารถในการละลายของสารประกอบแคลเซียมในน้ำกลั่น ส่วนที่สองเป็นการศึกษาการเกิดคาร์บอนชั้นกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในสถานะนิ่ง ส่วนที่สามเป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเตรียมผงแคลเซียมคาร์บอเนตพองอากาศ ส่วนที่สี่เป็นการศึกษาผลของการเตรียมผงแคลเซียมคาร์บอเนตโดยวิธีพ่นพองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ และแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์แลในโตรเจน และในส่วนที่ห้าเป็นการเปรียบเทียบระหว่างผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้กับผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า

4.1. ความสามารถในการละลายของสารประกอบแคลเซียมในน้ำกลั่น

เนื่องจากสารประกอบแคลเซียมในงานวิจัยนี้มีลักษณะที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าการละลายต่ำ ขณะที่แคลเซียมคลอไรด์สามารถละลายน้ำได้ดี จึงขอแยกอธิบายผลการทดสอบการละลายของสารประกอบแคลเซียมทั้งสองชนิดออกจากกัน

4.1.1. ความสามารถในการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

จากการทดสอบการละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร พบว่าได้สารแขวนลอยสีขาวขุ่น และมีค่า pH 11 และเมื่อลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายให้น้อยลง โดยใช้ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.04 กรัม ละลายในน้ำ 150 ml หรือ ความเข้มข้น 0.0036 โมล/ลิตร พบว่าสารละลายที่ได้ใสขึ้นแต่ยังคงมีอนุภาคสีขาวขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในน้ำ และมีค่า pH เท่ากับ 10 จึงเติมน้ำกลั่นลงในสารละลายเพิ่มขึ้นอีก 50 ml เพื่อเจือจางความเข้มข้น พบว่าอนุภาคขนาดเล็กยังกระจายตัวอยู่เช่นเดิม จะเห็นว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการละลายที่ต่ำมาก

จะเห็นว่าการเตรียมสารละลายใสของแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ละลายทั้งหมดเป็นเรื่องยาก แต่มีสิ่งที่น่าสนใจ คือ ถึงแม้ว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะไม่สามารถละลายในน้ำได้ทั้งหมด แต่ค่า pH ของสารละลายที่มีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมล/ลิตร มีค่าสูงกว่า pH ของสารละลายที่มีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.0036 โมล/ลิตร นั่นแสดงว่ามีแคลเซียมไฮดรอกไซด์บางส่วนละลายในน้ำ และปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในน้ำของสารละลายทั้งสองชนิดมีค่าต่างกันด้วย

จากข้อสังเกตดังกล่าว จึงได้ทดลองเตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.2 และ 0.01 โมล/ลิตร แล้วกรองอนุภาคแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่แขวนลอยออกไป และเปรียบเทียบค่า pH ของสารละลายทั้งสอง พบว่าได้สารละลายใสที่มีค่า pH ที่ต่างกัน แสดงว่ามีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ละลายลงไป ในสารละลายทั้งสองชนิดในปริมาณที่ต่างกัน ผลการสังเกตแสดงในตารางที่ 4.1 จากการสังเกตพบว่าเมื่อตั้งสารละลายทิ้งไว้ จะเกิดฝ้าบนผิวหน้าของสารละลาย แสดงว่าเกิดคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และค่า pH

ปริมาณของ Ca(OH)_2 เริ่มต้น ในสารละลาย (mol/l)	ลักษณะของสารละลาย	pH
0.1	สารแขวนลอย	11
0.0036	สารแขวนลอย	10
0.01 ที่ผ่านการกรอง (S-0.01)	สารละลายใส	11
0.2 ที่ผ่านการกรอง (S-0.2)	สารละลายใส	12

จากค่า pH แสดงว่ามีการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น โดยปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายขึ้นกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์เริ่มต้น (ก่อนกรอง) จึงทดลองหาปริมาณของ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในน้ำด้วยวิธีไทเทรต (titration) เพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลาย พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย ของสารละลาย S-0.01 และ S-0.2 เท่ากับ 5.13×10^{-6} โมล/ลิตร และ 1.24×10^{-5} โมล/ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากการไทเทรต

ชนิดสารละลาย	ความเข้มข้น (โมล/ลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
S-0.01	4.88×10^{-6}	5.38×10^{-6}	5.13×10^{-6}
S-0.2	1.25×10^{-5}	1.22×10^{-5}	1.24×10^{-5}

4.1.2. ความสามารถในการละลายของแคลเซียมคลอไรด์

จากการทดลองพบว่าอนุภาคของแคลเซียมคลอไรด์เกิดการละลายทันทีที่เติมน้ำกลั่น และละลายได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำ วัตถุประสงค์ค่า pH ได้เท่ากับ 7 แต่พบว่าที่ความเข้มข้นสูงกว่า 0.1 โมล/ลิตร ได้สารละลายขุ่น (แต่มีความขุ่นน้อยกว่าสารแขวนลอยแคลเซียมไฮดรอกไซด์) และมีค่า pH สูงกว่า 7 ลักษณะของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้ สรุปไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการสังเกตสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ความเข้มข้น (mol/l)	ผลสังเกต		pH	
	เริ่มต้น	หลังจาก 24 ชั่วโมง	เริ่มต้น	หลังจาก 24 ชั่วโมง
0.005	ใส	ใส	7	7
0.01	ใส	ใส	7	7
0.05	ขุ่นเล็กน้อย	ใส	7	7
0.1	ขุ่น	ใส พบฝ้าสีขาวลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลาย และมีตะกอน	9	8
0.2	ขุ่น	ใส พบฝ้าสีขาวลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลาย และมีตะกอน	11	8

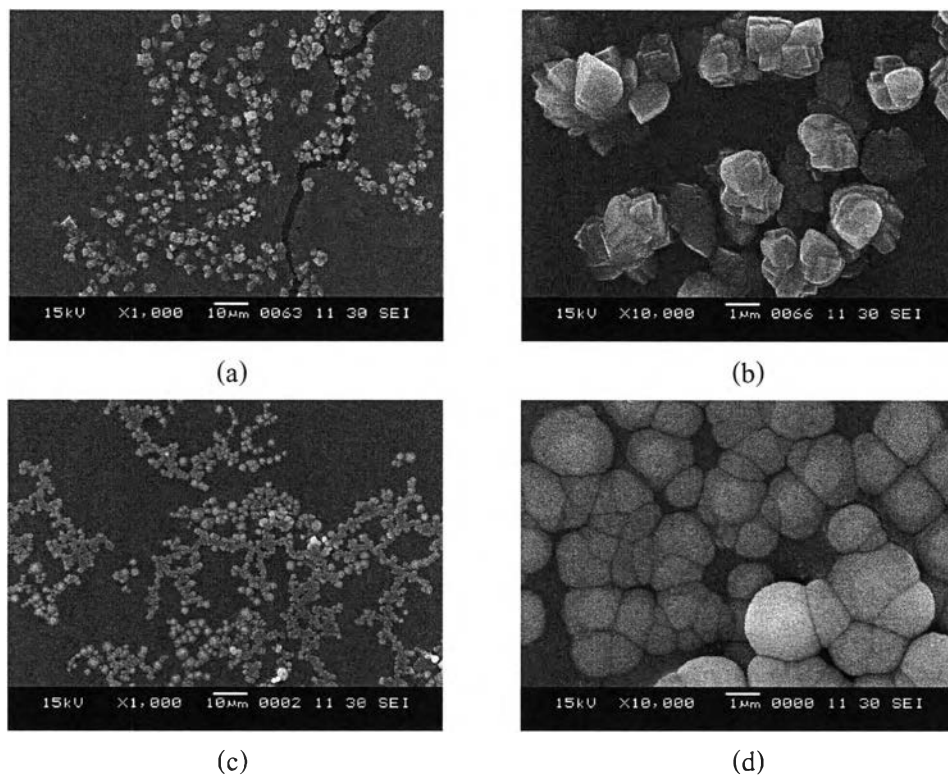
แคลเซียมคลอไรด์เป็นเกลือคลอไรด์ของโลหะหมู่ 2 จึงละลายน้ำได้ดี แต่เมื่อปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ในสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้นไปรบกวนการละลายของแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้เมื่อเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (> 0.05 โมล/ลิตร) จะได้สารละลายที่ขุ่น แต่เมื่อทิ้งสารละลายไว้ในอากาศจะเกิดการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ ทำให้สารละลายมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจึงช่วยให้แคลเซียมคลอไรด์ละลายได้ดี สารละลายจึงใสขึ้นหลังจากทิ้งไว้ในอากาศ การที่พบฝ้าสีขาวบนผิวหน้าของสารละลาย แสดงว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงสามารถเกิดคาร์บอนซันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้

4.2. การเกิดคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่สถานะนิ่ง

จากการทดสอบความสามารถในการละลายของสารประกอบแคลเซียมพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ S-0.01 และ S-0.2 ซึ่งเป็นสารละลายใส สังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายสามารถเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ จึงเลือกสารละลาย S-0.01 และ S-0.2 สำหรับทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน สำหรับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 โมล/ลิตร สามารถเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ แต่เนื่องจากการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยให้แคลเซียมคลอไรด์ละลายน้ำได้ดีขึ้น ลดการเกิดคาร์บอนเนชัน จึงเลือกสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่สถานะนิ่ง

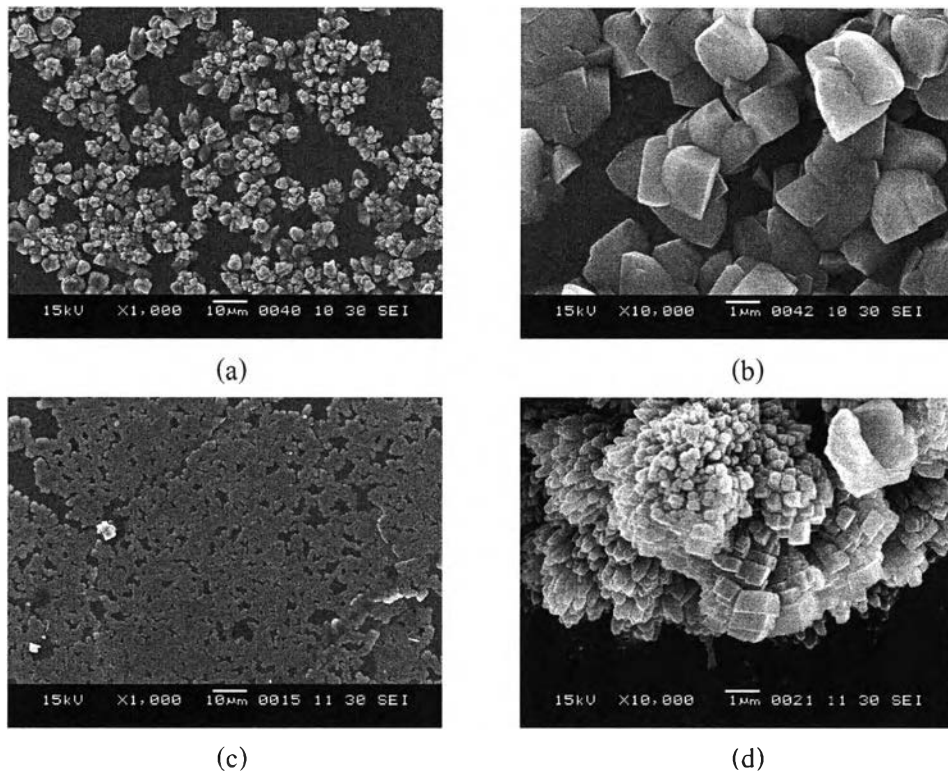
4.2.1. การเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่สถานะนิ่ง

จากการทดลองการเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ S-0.01 และ S-0.02 พบว่าเกิดฝ้าบนผิวของสารละลาย โดยสามารถเก็บฝ้าดังกล่าวได้ตั้งแต่วันที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของอนุภาคที่ได้จากฝ้าบนผิวหน้าของสารละลายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าลักษณะการเกิดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมด้วยปริมาณสารตั้งต้นที่ต่างกัน (S-0.01 และ S-0.2) ที่เวลา 5 นาทีแรก มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน



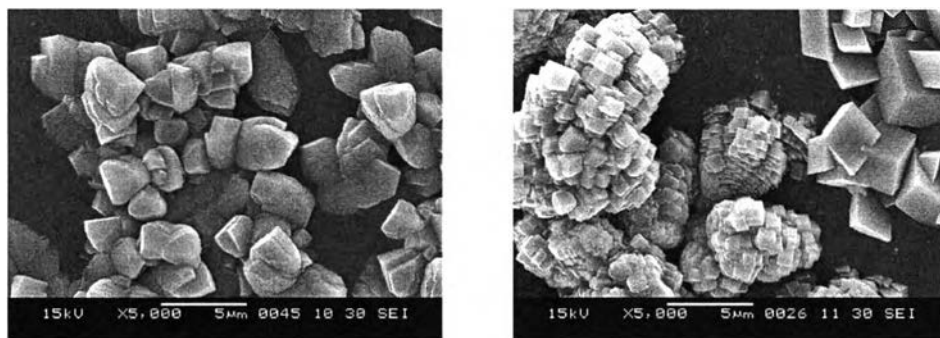
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจุลภาคของฝ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ เวลา 5 นาที (a), (b) จากสารละลาย S-0.01 และ (c), (d) จากสารละลาย S-0.2

จากรูปที่ 4.1 พบว่าลักษณะของอนุภาคที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลาย S-0.01 มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็กเกิดกระจาย ไม่เชื่อมต่อกัน (รูป 4.1a) แต่อนุภาคที่เกิดบนผิวหน้าของสารละลาย S-0.2 มีการเชื่อมต่อกันของอนุภาคเป็นแพ (รูป 4.1c) และเมื่อดูที่กำลังขยายที่สูงขึ้น จะเห็นว่าอนุภาคบนผิวหน้าของสารละลาย S-0.01 มีลักษณะคล้ายผลึกที่มีการโตขึ้นอย่างอิสระ (รูป 4.1b) ขณะที่อนุภาคบนผิวหน้าของสารละลาย S-0.2 มีลักษณะเป็นเม็ดกลมเชื่อมต่อกันคล้ายฟองสบู่



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจุลภาคของฝ้ายที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่
เวลา 30 นาที (a), (b) จากสารละลาย S-0.01 และ (c), (d) จากสารละลาย S-0.2

เมื่อเวลาผ่านไป พบว่าลักษณะของอนุภาคบนฝ้ายมีการเปลี่ยนแปลง คือ ที่เวลา 30 นาที อนุภาคบนผิวหน้าสารละลาย S-0.01 จะมีการเชื่อมต่อกัน (รูป 4.2a) การเชื่อมต่อที่เห็น เกิดจากการที่ผลึกการโตขึ้น (รูป 4.2b) ทำให้ลวดที่ว่างรอบๆ ตัวมันเอง จึงดูเหมือนว่าเกิดการเชื่อมกัน ขณะที่อนุภาคบนผิวหน้าของสารละลาย S-0.2 เชื่อมต่อกลายเป็นแผ่นเดียวกัน (รูป 4.2c) และเมื่อดูที่กำลังขยายที่สูงขึ้น พบว่าอนุภาคได้เปลี่ยนไปมีลักษณะเป็นผลึก rhombohedral ขนาดเล็ก (รูป 4.2d) ผลึกที่เกิดขึ้นจากสารละลายทั้งสองชนิดมีความแตกต่างอย่างมาก คือ ผลึกที่เกิดจากสารละลาย S-0.01 ยังคงมีลักษณะคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นเมื่อเวลา 5 นาที แต่ผลึกที่เกิดจากสารละลาย S-0.2 เปลี่ยนรูปร่างไปอย่างมาก เห็นเป็นรูปผลึกอย่างชัดเจนและเกิดการรวมกลุ่มกัน แต่สิ่งที่น่าสังเกต คือ ขนาดของเม็ดกลมในรูป 4.1d กลับมีขนาดใหญ่กว่าผลึกขนาดเล็กที่เชื่อมเกาะกลุ่มกันในรูป 4.2d



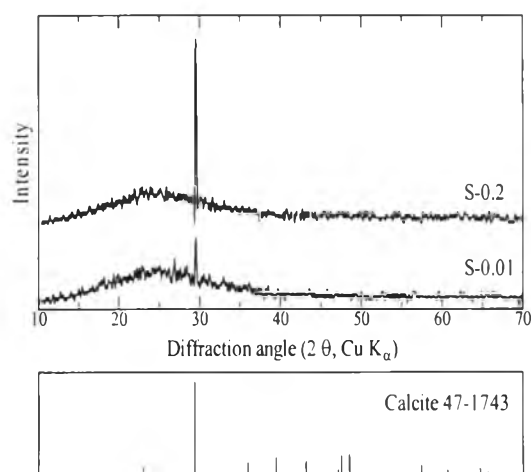
(a)

(b)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจุลภาคของฝ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เวลา 1 ชั่วโมง (a) จากสารละลาย S-0.01 และ (b) จากสารละลาย S-0.2

และเมื่อดั่งสารละลายทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงจะเห็นว่าผลึกที่เกิดขึ้นบนสารละลาย S-0.01 ยังคงมีลักษณะผลึกเช่นเดิมแต่ว่ามีขนาดใหญ่ขึ้นเท่านั้น (รูป 4.3a) ในขณะที่ผลึกที่เกิดขึ้นบนสารละลาย S-0.2 แสดงลักษณะของ rhombohedral ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของ calcite ออกมาอย่างชัดเจน (รูป 4.3b)

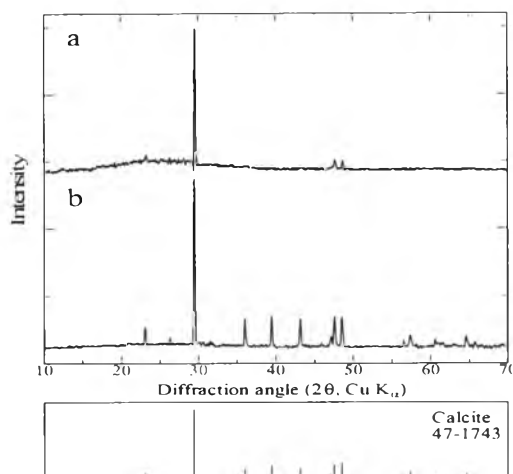
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นบนฝ้าที่เกิดขึ้นบนผิวสารละลาย S-0.01 และ S-0.2 อาจเป็นไปได้ว่าเป็นสารคนละชนิด จึงได้ตรวจสอบเฟสที่เกิดขึ้น ที่เวลา 20 นาที ด้วย XRD ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ของผลึกบนผิวของสารละลาย S-0.01 และ S-0.2 ที่เวลา 20 นาที

จากการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่า ถึงแม้ว่าผลึกที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันบนผิวของสารละลาย S-0.01 และ S-0.2 จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน แต่ผลึกที่เกิดขึ้นคือ calcite เหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบความสูงของ peak ที่ $2\theta = 29.40$ พบว่า ผลึกที่เกิดจาก

สารละลาย S-0.2 มีความสูงมากกว่า แสดงว่า ผลึกที่เกิดจากสารละลาย S-0.2 มีความเป็นผลึก (degree of crystallinity) มากกว่าผลึกที่เกิดจากสารละลาย S-0.01 และเมื่อปล่อยให้เกิดคาร์บอนชั้นนานขึ้น ผลึกที่เกิดจากสารละลาย S-0.01 จะมีความเป็นผลึกมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5



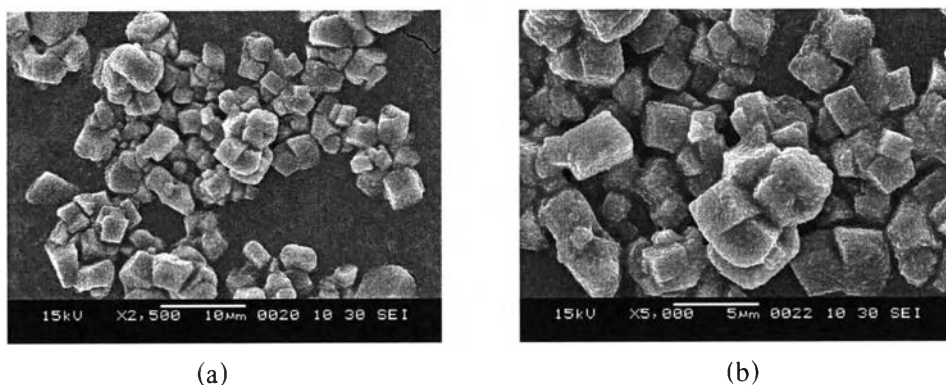
รูปที่ 4.5 เฟสของผลึกบนผิวของสารละลาย S-0.01 ที่เวลา (a) 24 ชั่วโมง และ (b) 6 วัน

จากการวัดค่า pH ของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทั้งคู่ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่า pH ค่อยๆ ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับขนาดและความหนาของฝ้าที่เกิดขึ้น เป็นการยืนยันว่า แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายทั้งคู่ทำปฏิกิริยาคาร์บอนชั้นกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ได้ดีถึงแม้ว่าจะไม่มีการพ่นเป็นฟองอากาศเข้าไปในสารละลายก็ตาม

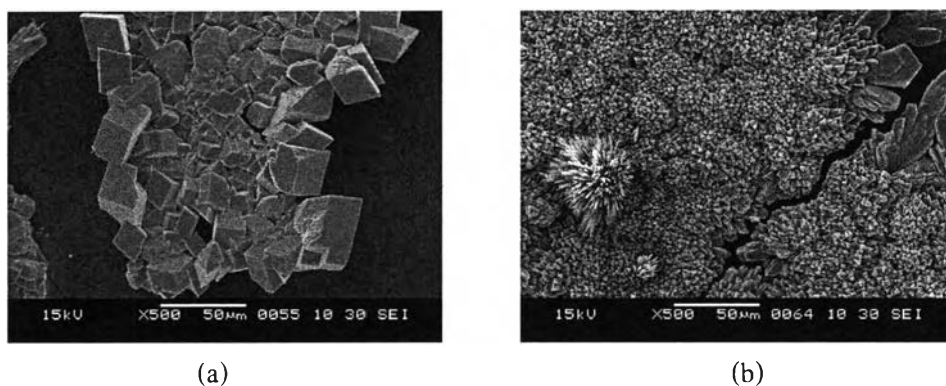
4.2.2. การเกิดคาร์บอนชั้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่สถานะนิ่ง

การเกิดคาร์บอนชั้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะต่างจากการเกิดคาร์บอนชั้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพราะแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าการละลายที่ต่ำกว่าแคลเซียมคลอไรด์มาก แคลเซียมไฮดรอกไซด์จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดคาร์บอนชั้นกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทันที การที่แคลเซียมคลอไรด์จะเกิดคาร์บอนชั้นได้ ต้องมีความเข้มข้นสูงมาก ดังนั้นจึงเลือกสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร เพียงความเข้มข้นเดียวเพื่อทดลองการเกิดคาร์บอนชั้นในสถานะนิ่ง

จากการทดลองพบว่าภายใน 24 ชั่วโมง เกิดฝ้าบนผิวของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แต่เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานขึ้น ขนาดและความหนาของฝ้าบนผิวของสารละลายไม่เพิ่มขึ้น แต่ขณะเดียวกันค่า pH ของสารละลายขณะเริ่มต้น (11) ลดลงเป็น 7 อย่างรวดเร็วภายในเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจุลภาคของฝ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.2 โมล/ลิตร หลังจากผ่านไป 1 เดือนที่ (a) กำลังขยาย 2,500 เท่า และ (b) 5,000 เท่า



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจุลภาคของฝ้าที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (a) S-0.01 หลังจากผ่านไป 6 วัน (b) S-0.2 หลังจากผ่านไป 5 วัน

เมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายจุลภาคของฝ้าผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.2 โมล/ลิตรหลังจากผ่านไป 1 เดือน และฝ้าที่เกิดจากสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 6 วัน และสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 5 วัน (รูป 4.6 และ 4.7) พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เกิดคาร์บอเนชันได้น้อยมากเมื่อเทียบกับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยสังเกตได้จากขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น ขนาดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดจากสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใช้เวลาน้อยกว่าแต่เกิดผลึกที่มีขนาดใหญ่กว่าผลึกที่เกิดขึ้นบนผิวของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และเมื่อสังเกตจากค่า pH ของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์พบว่าถึงแม้ค่า pH ของสารละลายจะลดลงจนเป็น 7 แต่ผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตบนสารละลายยังคงเพิ่มความหนา และค่า pH ยังคงลดลงจนต่ำกว่า 6 (สังเกตจากสารละลายแคลเซียมไฮดรอก

ไซค์ที่ทิ้งไว้นานกว่า 1 เดือน) แสดงว่าการเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะขึ้นกับปริมาณของ Ca^{2+} ที่มีอยู่ในสารละลาย ในขณะที่การเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ขึ้นกับค่า pH ของสารละลาย กล่าวคือ ขณะที่ Ca^{2+} ในสารละลายเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ขณะเดียวกันคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศก็ละลายลงในสารละลายด้วย เป็นผลให้ pH ของสารละลายสูงขึ้น ทำให้การละลายของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น Ca^{2+} ส่วนที่อยู่ในสารละลายจึงไม่เกิดคาร์บอนเนชันอีกเมื่อ pH เข้าใกล้ 7

4.3. การเกิดคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในสถานะที่มีการพ่นฟองอากาศ

ในการศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในสถานะที่มีการพ่นฟองอากาศแบ่งออกเป็น 8 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันเบื้องต้น ส่วนที่สองศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ถูกปรับค่า pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนที่สามศึกษาผลของการเก็บตะกอนระหว่างการดูดสารในระหว่างพ่นฟองแก๊ส และ ส่วนที่สี่ศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane ส่วนที่ห้าศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่านหลอดแก้วน้ำแก๊ส ส่วนที่หกศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันระหว่างสารละลาย S-0.2 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane ส่วนที่เจ็ดศึกษาการเกิดคาร์บอนเนชันระหว่างสารละลาย S-0.2 โดยการพ่นอากาศผ่านหลอดแก้วน้ำแก๊ส และส่วนที่แปดเป็นการเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อเฟส ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาค

4.3.1. การเกิดคาร์บอนเนชันเบื้องต้น

ผลการทดสอบในฉัดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง แสดงการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชันเบื้องต้นของสารละลาย S-0.2 และ S-0.01 และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร พบการเปลี่ยนแปลงในสารละลายโดยในช่วงแรกตัวอย่างทั้งสาม ปรากฏอนุภาคขาวขุ่นกระจายตัวอยู่แต่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เมื่อเวลาผ่านไปเมื่อค่า pH ลดลงจาก 11 เป็น 5 ไม่พบตะกอนและคราบขาวที่ผิวภาชนะและหลอดแก้วพ่นฟองอากาศ ในขณะที่สารละลาย S-0.01 และ S-0.2 เกิดตะกอนและคราบขาวเกาะตามผิวภาชนะและหลอดแก้วพ่นฟองอากาศแสดงให้เห็นว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถเกิดคาร์บอนเนชันกับอากาศได้ ในขณะที่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเกิดคาร์บอนเนชันกับอากาศเพียงเล็กน้อยในช่วงแรกเท่านั้นก่อนที่จะหายไป

ตารางที่ 4.4 การเกิดคาร์บอนเนชันกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศในสภาวะที่มีการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2, S-0.01 และ แคลเซียมคลอไรด์ 0.2 โมล/ลิตร

สารละลาย	ผลการสังเกต		
	ขณะพ่นฟองอากาศ	ความเปลี่ยนแปลง pH	ภายหลังพ่นฟองอากาศ
S-0.2	ขุ่น	ลดลง	เกิดตะกอน และมีคราบขาวที่ผิวภาชนะ
S-0.01	ขุ่น	ลดลง	เกิดตะกอน และมีคราบขาวที่ผิวภาชนะ
CaCl ₂ 0.2 โมล/ลิตร	ขุ่นเล็กน้อยขณะเริ่มพ่นฟอง แล้วใส	11-5	ไม่เกิดตะกอน และไม่เกิดคราบขาวที่ผิวภาชนะ

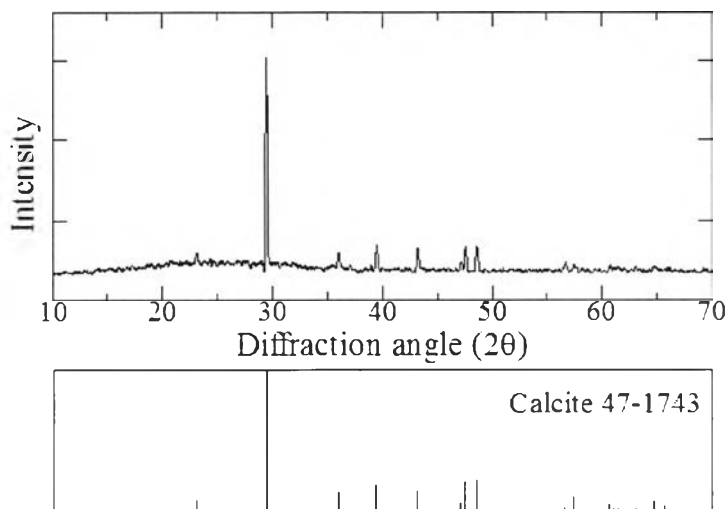
จากผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง เห็นได้ชัดเจนว่าสารละลายอิมตัวของ แคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถเกิดคาร์บอนเนชันโดยตรงกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศและได้แคลเซียมคาร์บอเนต แต่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ถึงแม้จะมีปริมาณของ Ca²⁺ ในสารละลายมากกว่า S-0.01 แต่ก็ไม่ได้เกิดคาร์บอนเนชันและจากผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง ถึงแม้ว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.2 โมล/ลิตร จะเกิดคาร์บอนเนชันได้ในสภาพหนึ่ง (สังเกตได้จากคราบบนผิวสารละลาย) แต่เมื่อพ่นฟองอากาศลงไปโดยสารละลายทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศละลายลงไปได้น้ำได้ดีขึ้น ทำให้สารละลายมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ช่วยให้แคลเซียมคลอไรด์ละลายได้ดีขึ้นในสารละลายและไม่เกิดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตในสารละลาย จึงไม่เกิดความขุ่น ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองการเกิดคาร์บอนเนชันในสภาพหนึ่ง คือเมื่อตั้งสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทิ้งไว้เป็นเวลานาน คราบบนผิวสารละลายไม่กลายเป็นคราบแข็ง ผิดกับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า (S-0.01)

4.3.2. การเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ถูกปรับค่า pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากผลการทดลองที่ 4.3.1 แสดงให้เห็นว่า ถ้าต้องการให้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เกิดคาร์บอนเนชัน จะต้องมีค่าควบคุมให้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีค่า pH เป็นเบส จึงใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 mol/l ปรับให้ pH ของสารละลายมีค่าเป็น 10 ก่อนพ่นฟองอากาศ

4.3.2.1. การตรวจเฟสที่เกิดขึ้น

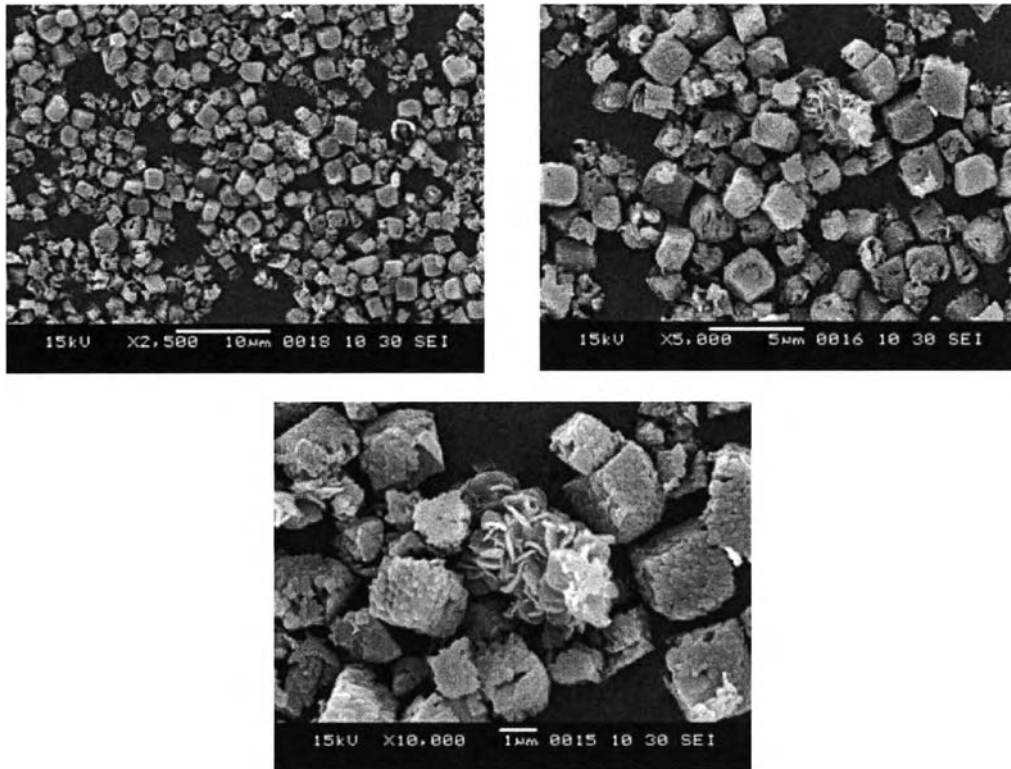
เฟสที่ได้จากการเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หลังจากพ่นฟองอากาศ โดยควบคุมให้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีค่า pH เป็นเบส แสดงใน รูปที่ 4.8 พบว่า ตะกอนที่เกิดเป็นผลึกแคลไซต์



รูปที่ 4.8 เฟสของตะกอนที่ได้จากการพ่นฟองอากาศด้วยหลอดแก้วนำแก๊ส 30 นาทีลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.05 โมล/ลิตร หลังจากปรับ pH ด้วย NaOH

4.3.2.2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาค

จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของตะกอนที่ได้จากการเตรียมจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ด้วยวิธีพ่นฟองอากาศ ต้องควบคุมให้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีค่า pH เป็นเบส (รูปที่ 4.9) พบว่าผลึกที่ได้มีลักษณะที่เป็นทรงเหลี่ยมแบบบรอมโบฮีดรอล แต่มีผิวที่ไม่เรียบ และพบผลึกลักษณะคล้ายกลีบดอกไม้

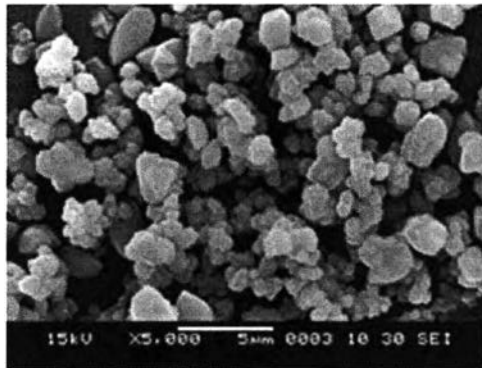


รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจุลภาคตะกอนที่ได้จากการฟุ้งฟองอากาศด้วยหลอดแก้วน้ำแก๊ส 30 นาทีลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.05 โมล/ลิตร ที่ปรับ pH ด้วย NaOH

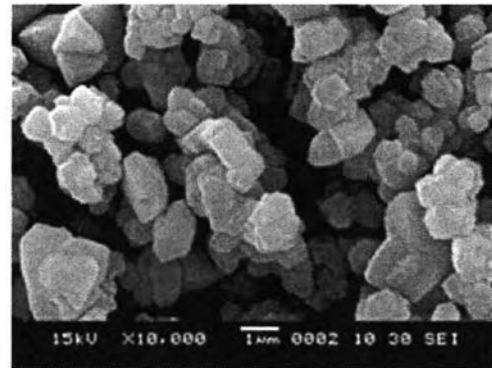
4.3.3. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตจากการฟุ้งอากาศด้วยวิธีการเก็บตะกอนที่ต่างกัน

ในช่วง 5-10 นาทีแรกของปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน (รูปที่ 4.10, รูปที่ 4.11, รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการเกิดคาร์บอเนชันของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสถานะนิ่ง ที่สามารถเกิดคราบบนผิวหน้าได้ตั้งแต่ 5 นาทีแรก จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายจุลภาคของตัวอย่างที่เตรียมโดยการหยดของเหลวบนกระจกแล้วซับให้แห้งก่อนนำไปอบ และตัวอย่างที่เตรียมโดยล้างตะกอน เพื่อกำจัดสารตั้งต้นที่หลงเหลือหลังจากการฟุ้งฟองอากาศที่เวลา 5 และ 10 นาที พบว่าตัวอย่างที่เตรียมด้วยการหยดของเหลวบนกระจก มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างที่เตรียมด้วยการล้างตะกอน เนื่องจากการหยดของเหลวบนกระจก ถึงแม้ว่าจะมีการซับสารละลายส่วนที่ตกค้าง แต่ก็ยังมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณเล็กน้อยตกค้างบนผิวอนุภาคซึ่งยังคงเกิดคาร์บอเนชันต่อไปได้ก่อนที่อนุภาคจะแห้งสนิท และนอกจากนี้ การซับของเหลวด้วยการแตะกระดาษบนผิวของเหลว ยังไม่สามารถกำจัดของเหลวบนผิวกระจกได้หมด สังเกตได้จากรูปที่ 4.12 (a), (b) พบว่ามีคราบคล้ายกับที่พบในผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง (a) สำหรับตัวอย่างที่

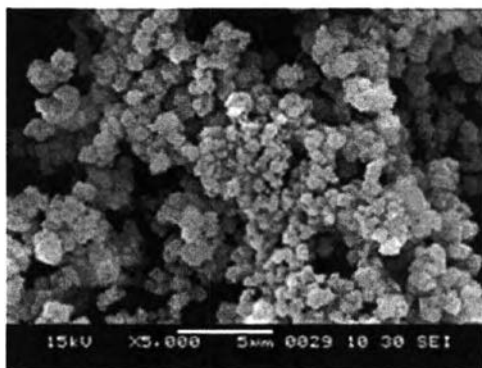
เวลา 1 ชั่วโมง (รูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.14) พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยการหยดของเหลวบนกระจก และการล้างตะกอนมีขนาดใกล้เคียงกัน เพราะแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายเริ่มน้อยลงมาก สังเกตได้จากค่า pH ของสารละลายที่ลดลงอย่างมากจนมีค่าเข้าใกล้ น้ำกลั่นที่ใช้ล้างตะกอน



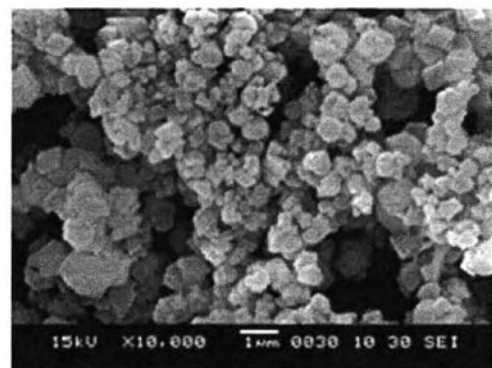
(a)



(b)

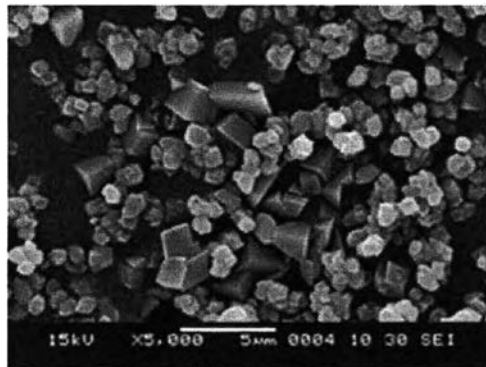


(c)

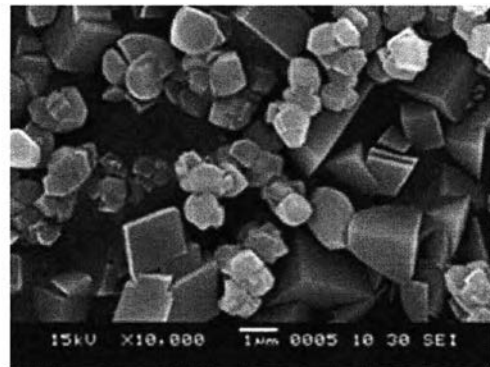


(d)

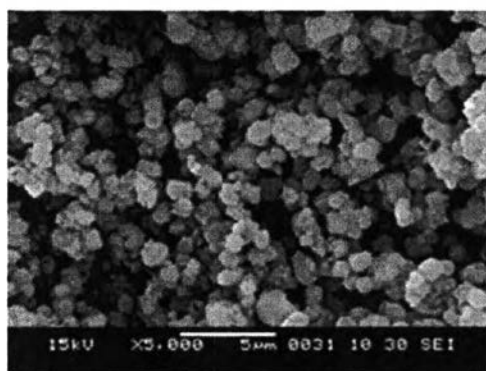
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายจุลภาคที่เกิดขึ้นจากที่ได้จากการฟุ้งฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ที่เวลา 5 นาที (a), (b) อนุภาคที่ได้จากการดูดสารละลายโดยตรง และ (c), (d) อนุภาคที่ได้จากการล้างตะกอน



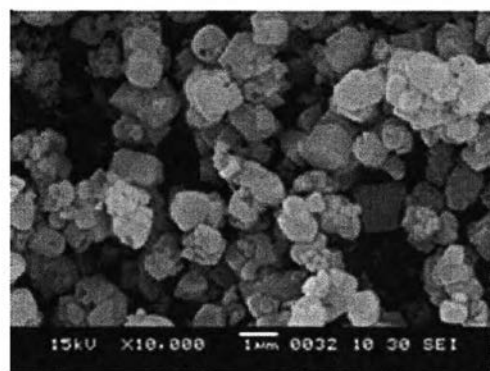
(a)



(b)

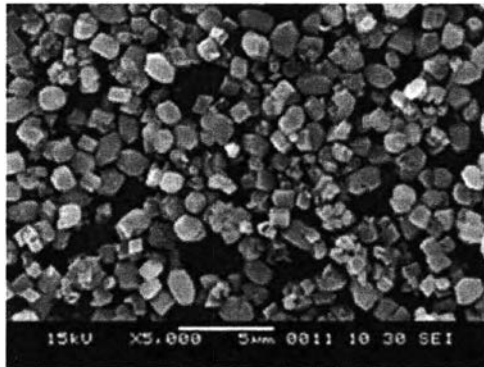


(c)

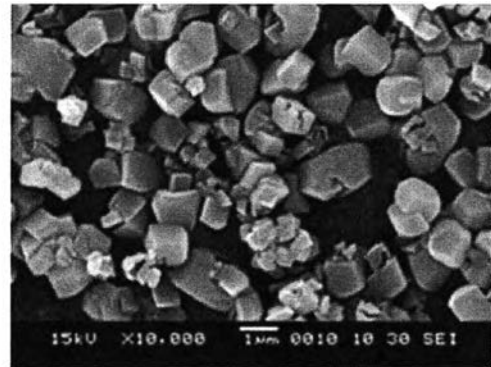


(d)

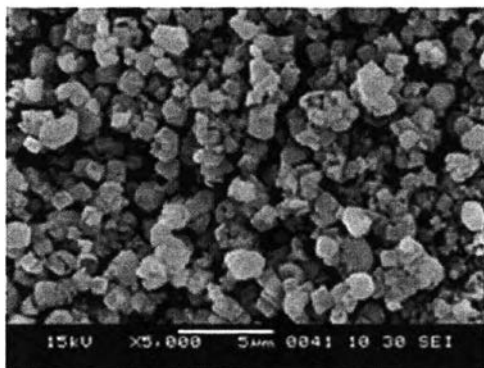
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจุลภาคที่เกิดขึ้นจากที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ที่เวลา 10 นาที (a), (b) อนุภาคที่ได้จากการดูดสารละลายโดยตรง และ (c), (d) อนุภาคที่ได้จากการล้างตะกอน



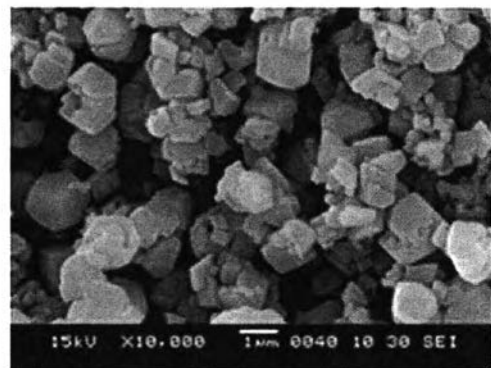
(a)



(b)

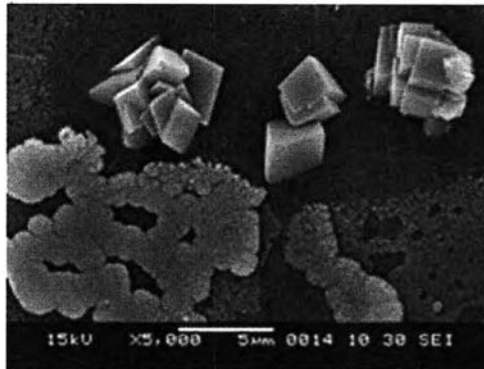


(c)

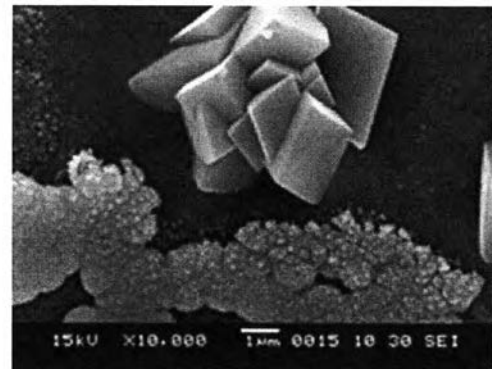


(d)

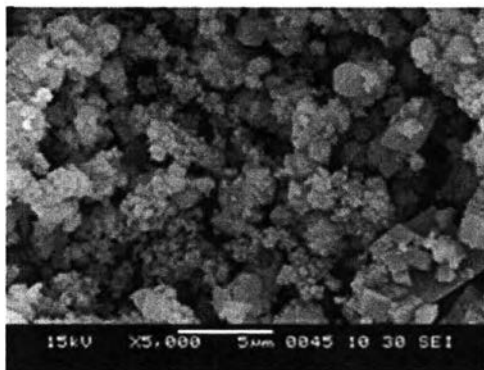
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายจุลภาคที่เกิดขึ้นจากที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ที่เวลา 1 ชั่วโมง (a), (b) อนุภาคที่ได้จากการดูดสารละลายโดยตรง และ (c), (d) อนุภาคที่ได้จากการล้างตะกอน



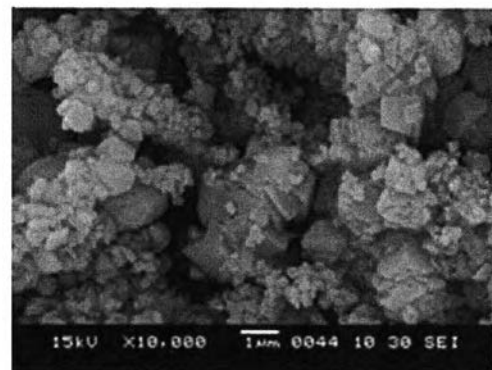
(a)



(b)

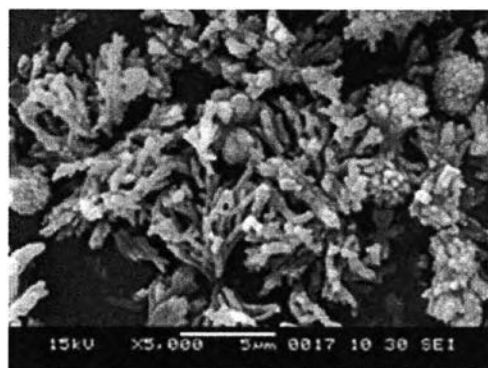


(c)

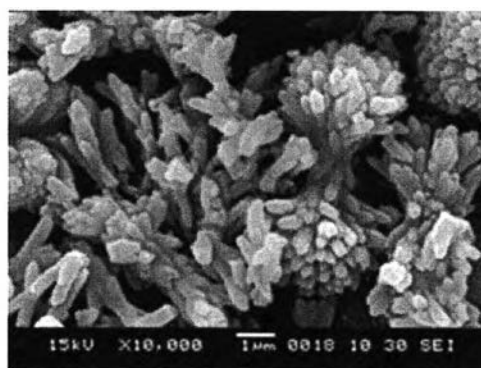


(d)

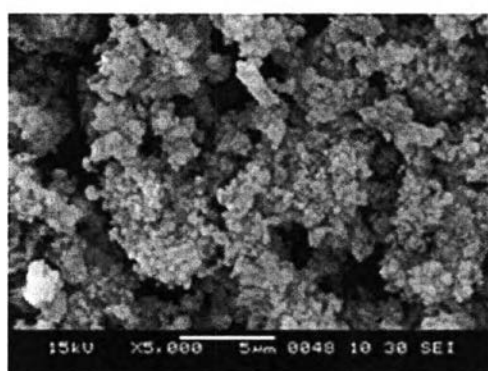
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายจุลภาคที่เกิดขึ้นจากที่ได้จากการพ่นพองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ที่เวลา 5 นาที (a), (b) อนุภาคที่ได้จากการดูดสารละลายโดยตรง และ (c), (d) อนุภาคที่ได้จากการล้างตะกอน



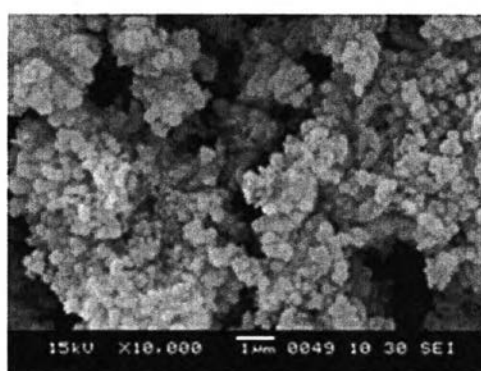
(a)



(b)

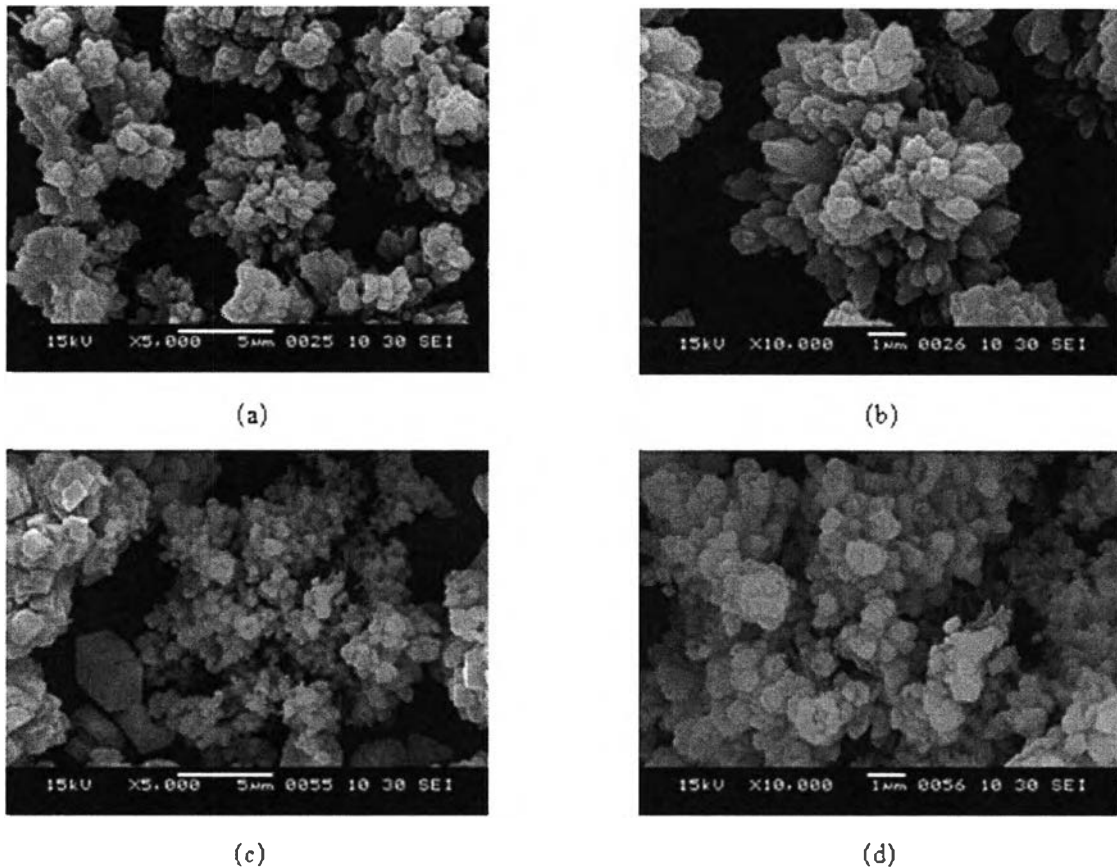


(c)



(d)

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายจุลภาคที่เกิดขึ้นจากที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ที่เวลา 10 นาที (a), (b) อนุภาคที่ได้จากการดูดสารละลายโดยตรง และ (c), (d) อนุภาคที่ได้จากการล้างตะกอน



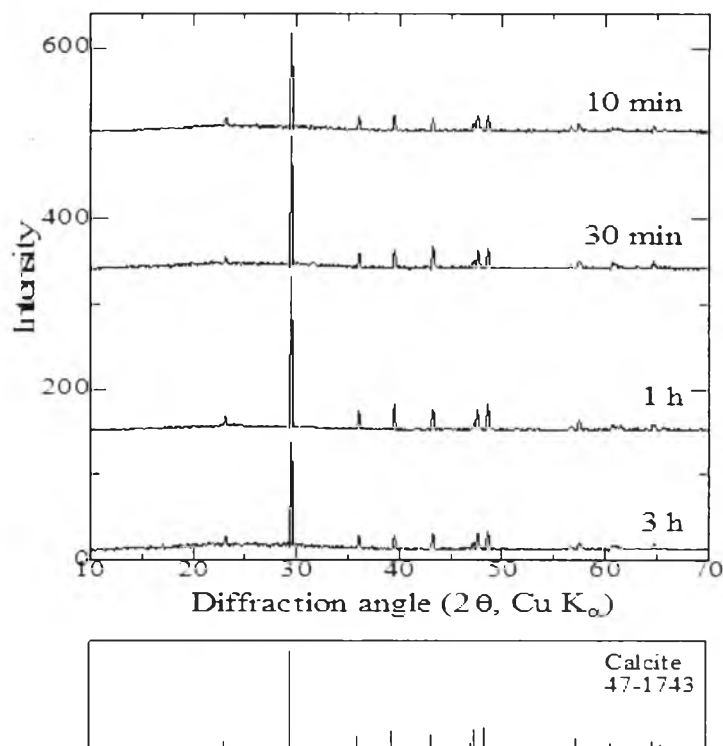
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจุลภาคที่เกิดขึ้นจากที่ได้จากการพ่นพองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ที่เวลา 1 ชั่วโมง (a), (b) อนุภาคที่ได้จากการดูดสารละลายโดยตรง และ (c), (d) อนุภาคที่ได้จากการล้างตะกอน

4.3.4. การเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane

การศึกษาถึงผลการเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนที่เวลาต่างๆ ไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงนำมาศึกษา

4.3.4.1. การตรวจเฟสที่เกิดขึ้น

การตรวจเฟสที่เกิดขึ้นของตะกอนที่ได้จากการเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane ที่เวลา 10, 30, 60 และ 180 นาที แสดงในรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าในการตกตะกอนโดยวิธีพ่นพองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ผ่าน porous glass membrane ได้ผลึกแคลไซต์ในทุกช่วงเวลา



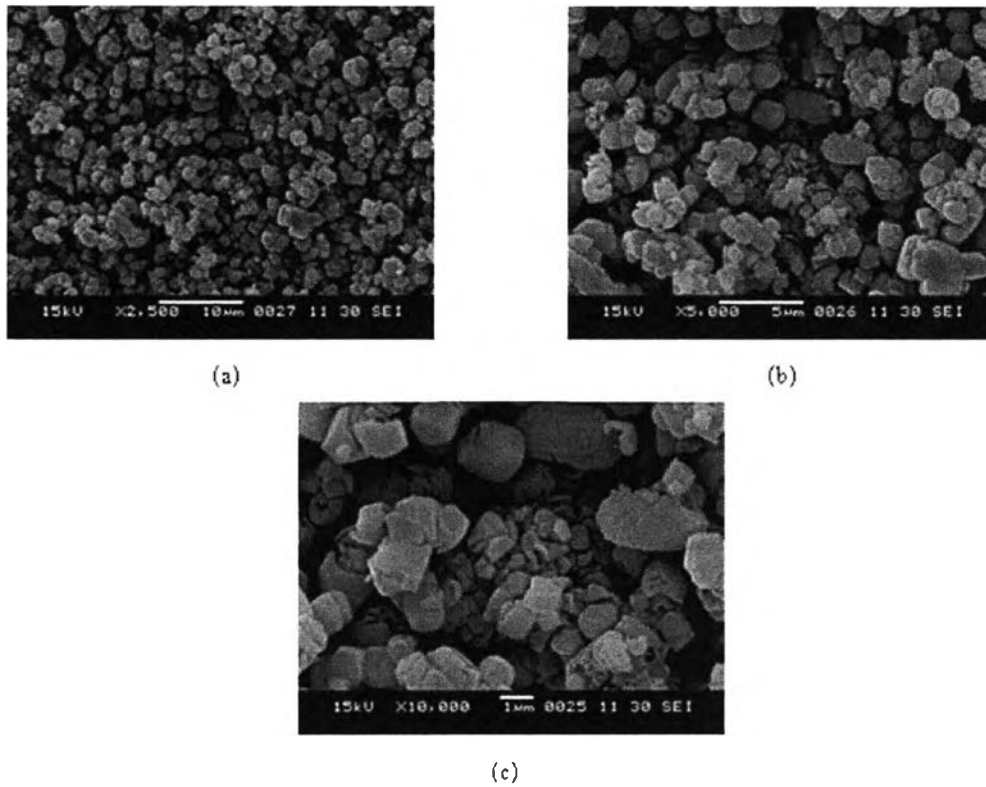
รูปที่ 4.16 เฟสของตะกอนที่ได้จากการฟ้นฟองอากาศลงใน S-0.01 ด้วย porous glass membrane

4.3.4.2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและการกระจายขนาดอนุภาค

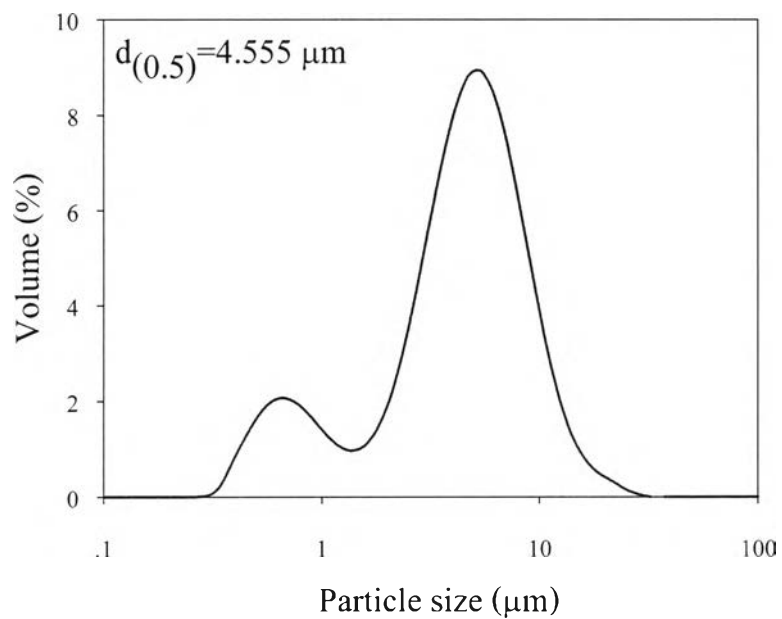
4.3.4.2.1. ตะกอนที่เวลา 1 ชั่วโมง

ภาพถ่ายทางจุลภาคของการฟ้นฟองอากาศผ่าน porous glass membrane ลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.17 และกราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาค แสดงในรูปที่ 4.18

จากรูปที่ 4.17 พบว่าอนุภาคมีลักษณะเหลี่ยม บางอนุภาคมีลักษณะกลม และพบอนุภาคที่มีขนาดประมาณ 1 ไมครอน – 5 ไมครอน เกาะเป็นกลุ่ม และเมื่อพิจารณาผลการกระจายอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.18) พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $d_{0.5}$ เท่ากับ 4.555 ไมครอน และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคพบการกระจายในช่วงแคบสังเกตจากการที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นยอดเดียวที่มีฐานแคบโดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน



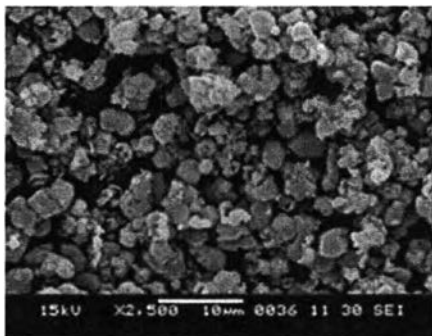
รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายจุลภาคที่ได้จากการฟ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



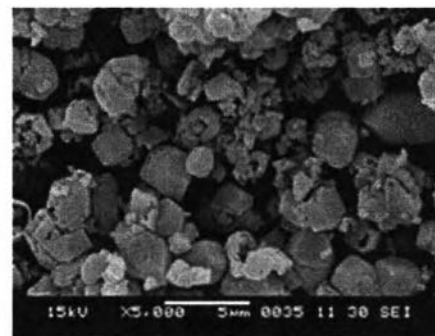
รูปที่ 4.18 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการฟ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.3.4.2.2. ตะกอนที่เวลา 3 ชั่วโมง

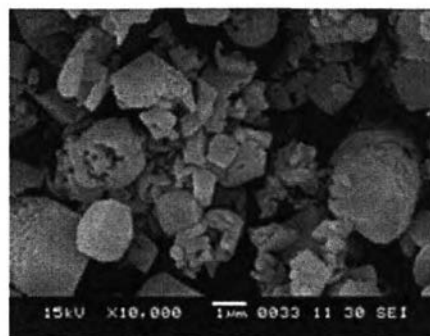
จากภาพถ่ายทางจุลภาคของการฟ้นฟองอากาศผ่าน porous glass membrane ลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (รูปที่ 4.19) และกราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.20) พบว่าอนุภาคมีลักษณะเหลี่ยมและขนาดอนุภาคตั้งแต่ 2 ไมครอน – 5 ไมครอน บางอนุภาคมีลักษณะกลมซึ่งเห็นได้จำนวนมากและชัดเจนกว่าตัวอย่างที่ได้จากการฟ้นฟองอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาผลการกระจายอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.20) พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $d_{0.5}$ เท่ากับ 6.212 ไมครอน และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคพบการกระจายในช่วงแคบสังเกตจากการที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นยอดเดียวที่มีฐานแคบโดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน



(a)

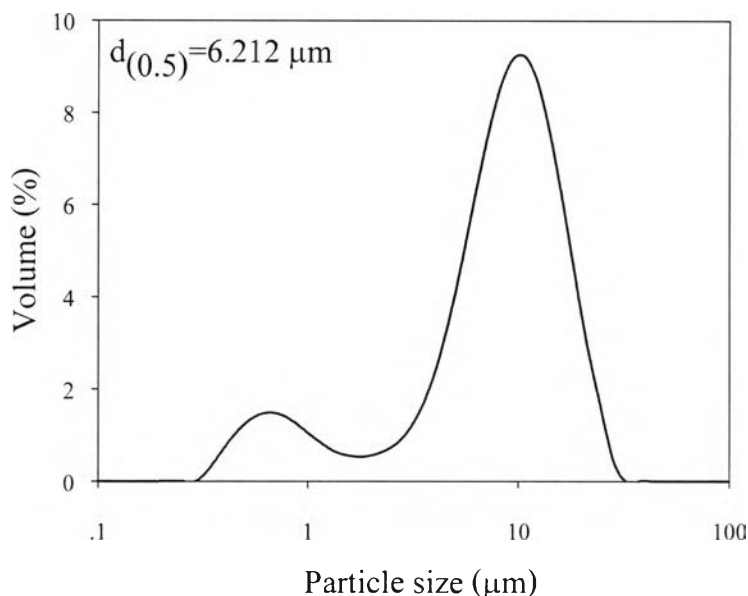


(b)



(c)

รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายจุลภาคที่ได้จากการฟ้นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



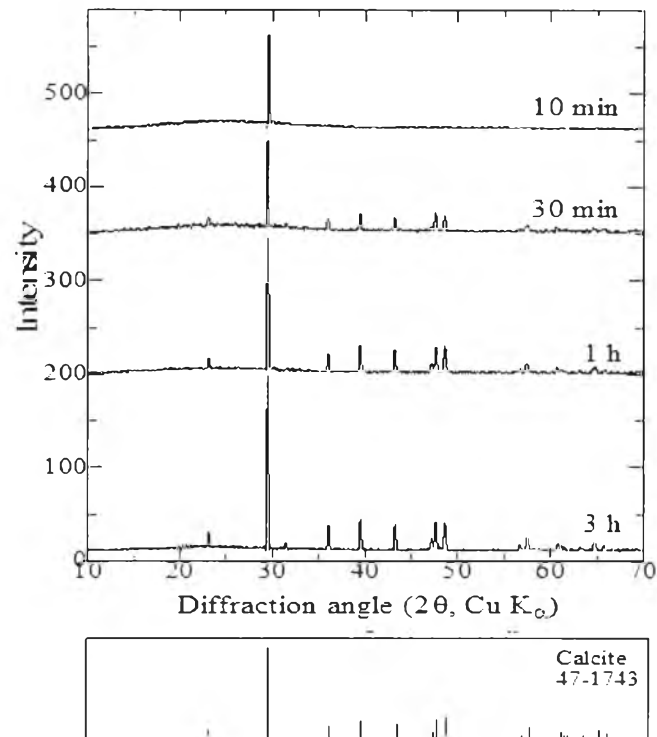
รูปที่ 4.20 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.3.5. การเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่านหลอดแก้วนำแก๊ส

การศึกษาถึงผลการเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่านหลอดแก้วนำแก๊ส ทำโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนที่เวลาต่างๆ ล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงนำมาศึกษา

4.3.5.1. การตรวจเฟสที่เกิดขึ้น

กราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ของตะกอนที่ได้จากการเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.01 โดยการพ่นอากาศผ่านหลอดแก้วนำแก๊สที่เวลา 10, 30, 60 และ 180 นาที แสดงในรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าเกิดผลึกของแคลไซต์ขึ้นในทุกช่วงเวลา แต่เมื่อช่วงเวลาเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มที่จะมีความเป็นผลึกสูงขึ้นสังเกตจากการที่กราฟช่วงเวลาเพิ่มขึ้นจะมียอดกราฟที่สมบูรณ์กว่า

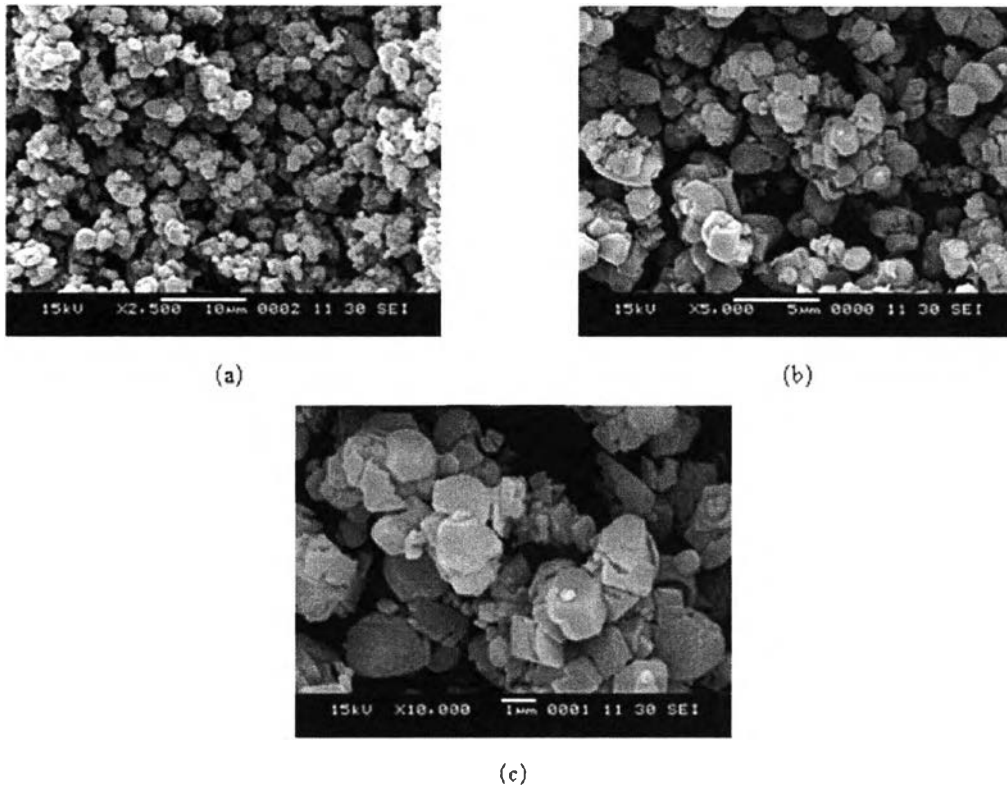


รูปที่ 4.21 กราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตะกอนที่เกิดจากการฟุ้งฟองอากาศ
ลงใน S-0.01 ด้วยหลอดแก้วน้ำแก๊ส

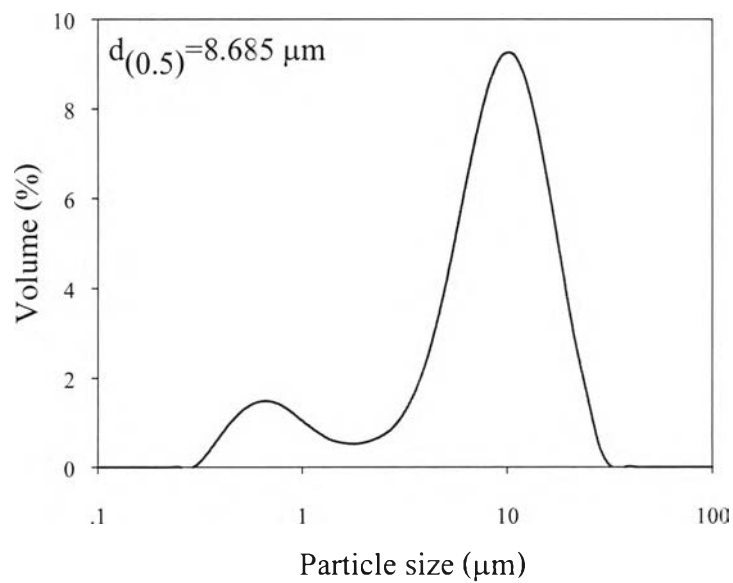
4.3.5.2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและการกระจายตัวขนาดอนุภาค

4.3.5.2.1. ที่เวลา 3 ชั่วโมง

จากรูปภาพถ่ายทางจุลภาคของการฟุ้งฟองอากาศผ่านหลอดแก้วน้ำแก๊ส ลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (รูปที่ 4.22) พบว่าอนุภาคมีลักษณะเหลี่ยมและมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการรวมมวลเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาผลการกระจายอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.23) พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $d_{0.5}$ เท่ากับ 8.685 ไมครอน และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคพบการกระจายในช่วงแคบสังเกตจากการที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นยอดเดียวที่มีฐานแคบโดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน แต่มีอนุภาคขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายจุลภาคที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ด้วยหลอดแก้วนำแก๊สเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



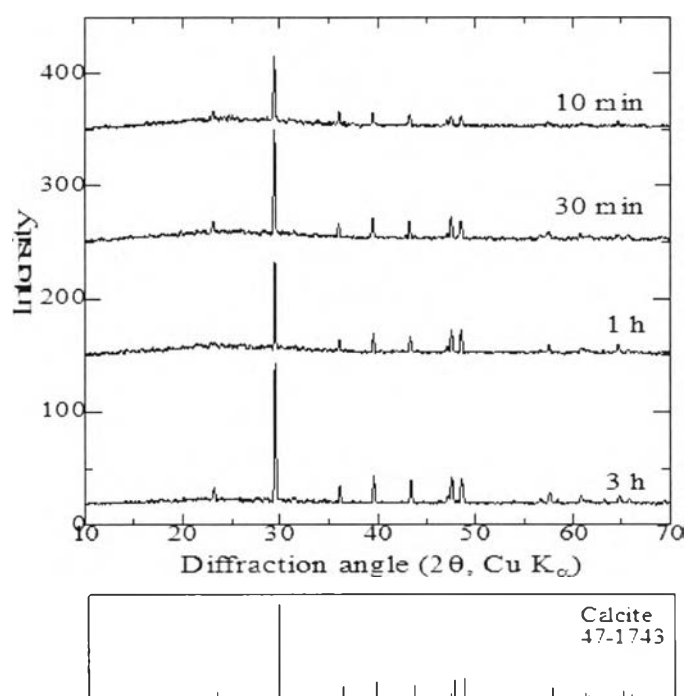
รูปที่ 4.23 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 ด้วยหลอดแก้วนำแก๊สเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.3.6. การเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.2 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane

การศึกษาถึงผลการเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.2 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane ทำโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนที่ช่วงเวลาต่างๆ ไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงนำมาศึกษา

4.3.6.1. การตรวจเฟสที่เกิดขึ้น

กราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ของตะกอนที่ได้จากการเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.2 โดยการพ่นอากาศผ่าน porous glass membrane ที่เวลา 10, 30, 60 และ 180 นาที จากรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่าเกิดผลึกแคลไซต์ขึ้นในทุกช่วงเวลา และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นด้วย



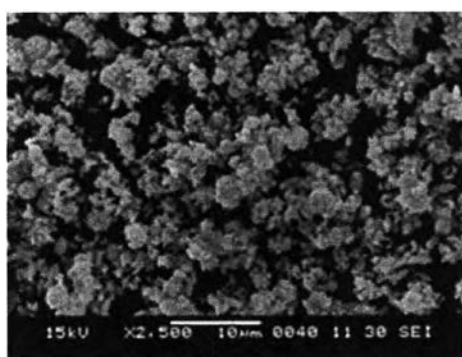
รูปที่ 4.24 เฟสของตะกอนที่เกิดจากการพ่นฟองอากาศลงใน S-0.2 ด้วย porous glass membrane

4.3.6.2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและการกระจายขนาดอนุภาค

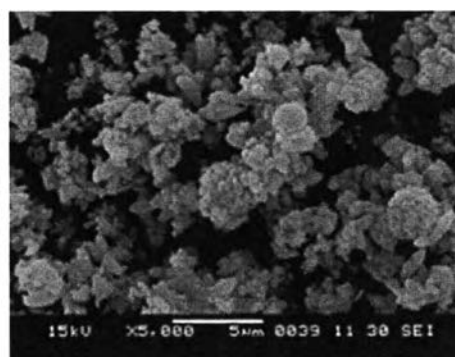
4.3.6.2.1. ตะกอนที่เวลา 1 ชั่วโมง

จากรูปภาพถ่ายทางจุลภาคของการพ่นฟองอากาศผ่าน porous glass membrane ลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (รูปที่ 4.25) พบว่าผลึกมีขนาดอนุภาคต่ำกว่า

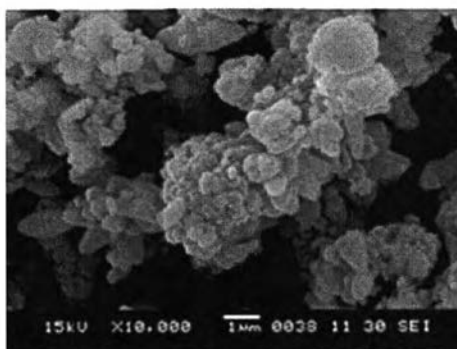
1 ไมครอน มีลักษณะเกาะกลุ่มกันจำนวนมาก ไม่พบลักษณะอนุภาคที่กลวง และเมื่อพิจารณาผลการกระจายอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.26) พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $d_{c,5}$ เท่ากับ 5.178 ไมครอน และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคพบการกระจายในช่วงแคบสังเกตจากการที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นยอดเดียวที่มีฐานแคบโดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน



(a)

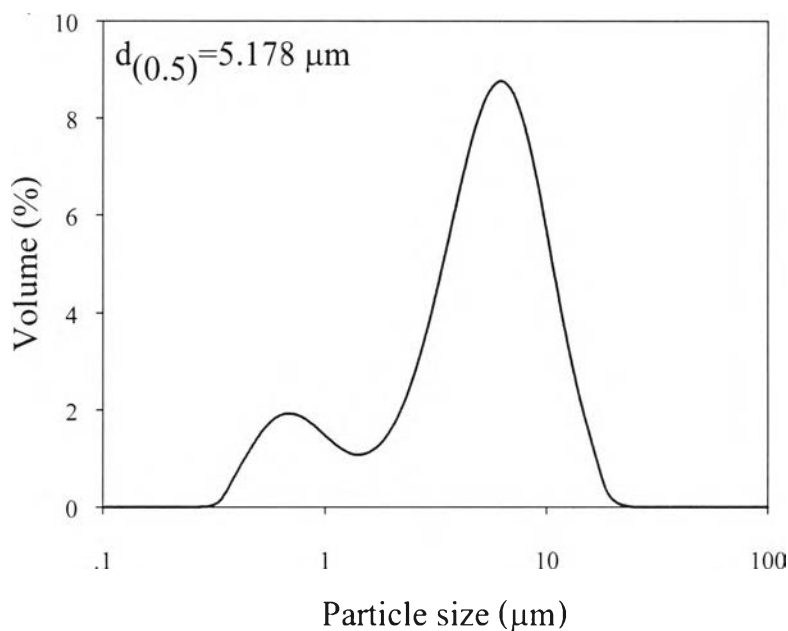


(b)



(c)

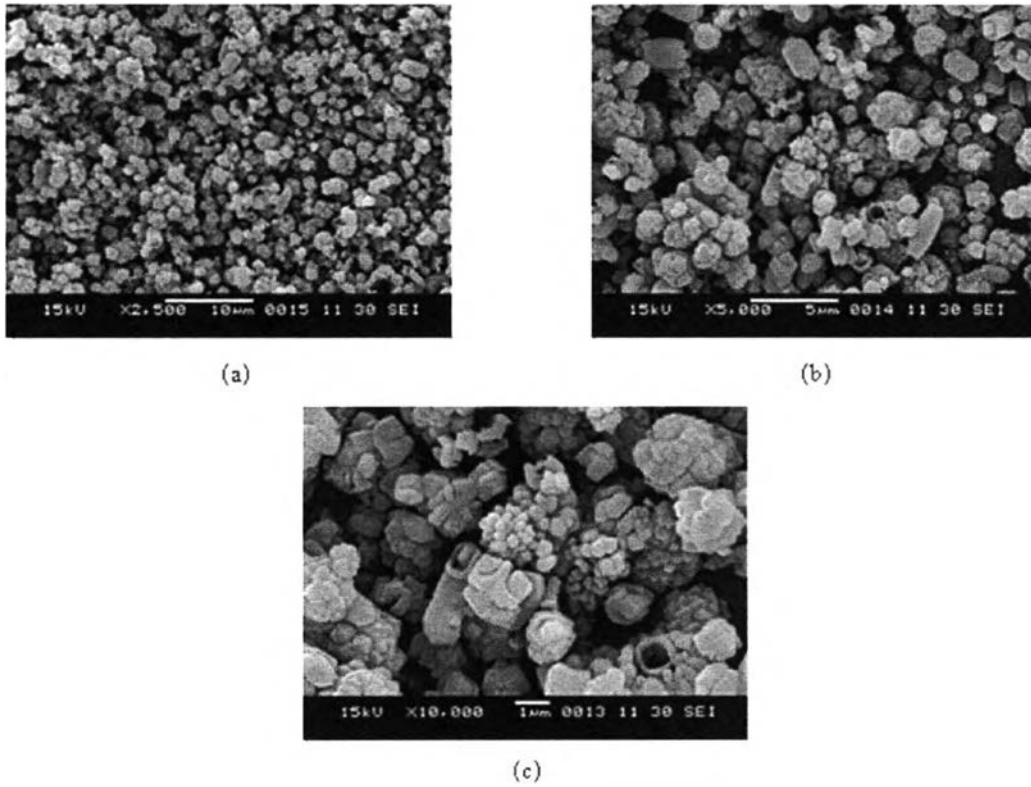
รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายจุลภาคแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ได้จากการฟุ้งฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



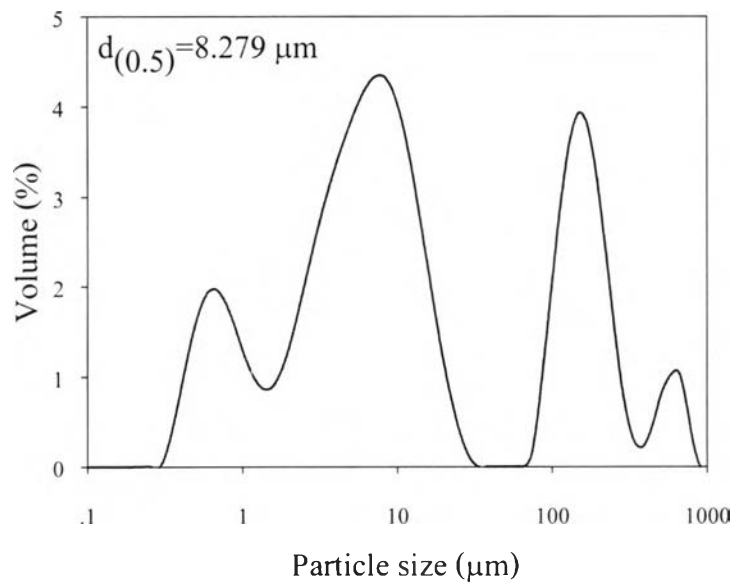
รูปที่ 4.26 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการฟุ้งฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.3.6.2.2. ตะกอนที่เวลา 3 ชั่วโมง

จากรูปภาพถ่ายทางจุลภาคของการฟุ้งฟองอากาศผ่าน porous glass membrane ลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (รูปที่ 4.27) พบว่ามีขนาดอนุภาคแตกต่างกันจำนวนมากแสดงให้เห็นถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้น อันน่าจะมีสาเหตุจากการที่มีสารตั้งต้นเหลืออยู่มากในสารละลาย สังเกตได้จากการที่มี pH ของน้ำล้างตะกอนลดลงในขณะที่ล้างตะกอนในการล้างตะกอนทำให้เกิดการรวมมวลขึ้น และในขณะเดียวกันก็พบอนุภาคที่มีลักษณะกลวงเล็กน้อย ซึ่งจากผลของ XRD ยืนยันว่าเป็นเฟสของแคลไซต์ เมื่อพิจารณาผลการกระจายอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.28) พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $d_{0.5}$ เท่ากับ 8.279 ไมครอน และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคพบว่าการที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นยอดหลายยอด แสดงให้เห็นว่ามีช่วงการกระจายตัวที่กว้าง แต่อย่างไรก็ดีอนุภาคเฉลี่ยยังมีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน



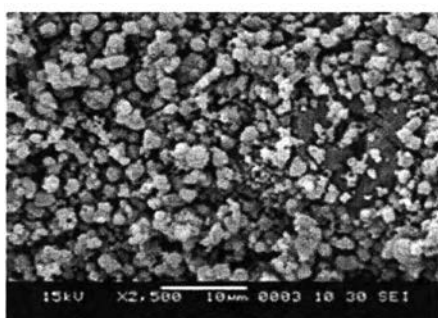
รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายจุลภาคแคลเซียมคาร์บอนेट ที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



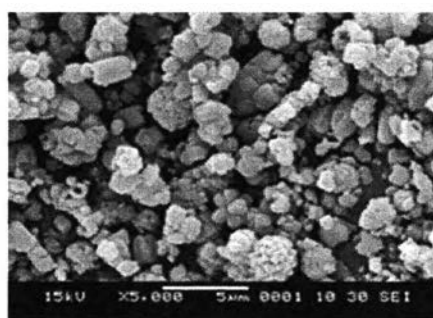
รูปที่ 4.28 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอนेटที่เตรียมได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.3.6.2.3. ตะกอนที่เวลา 6 ชั่วโมง

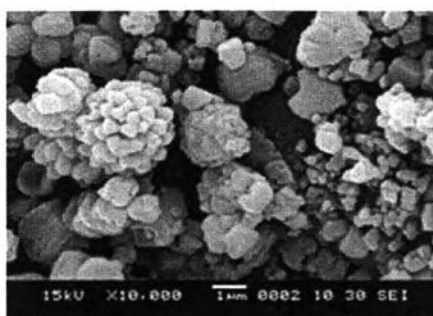
จากรูปภาพถ่ายทางจุลภาคของการฟั่นฟองอากาศผ่าน porous glass membrane ลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (รูปที่ 4.29) พบว่ามีอนุภาครูปทรงเหลี่ยม มีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 1 ไมครอน มีลักษณะเกาะกลุ่มกัน และพบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน พบอนุภาคที่มีลักษณะกลวง จากการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่าเป็นเฟสของแคลไซต์ และเมื่อพิจารณาผลการกระจายอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.30) พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $d_{0.5}$ เท่ากับ 4.526 ไมครอน และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคพบการกระจายในช่วงแคบตั้งแต่เกิดจากการที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นยอดเดียวที่มีฐานแคบโดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน แต่มียอดขนาดเล็กในช่วงอนุภาคต่ำกว่า 1 ไมครอนเกิดขึ้นสอดคล้องกับภาพถ่ายจุลภาค



(a)

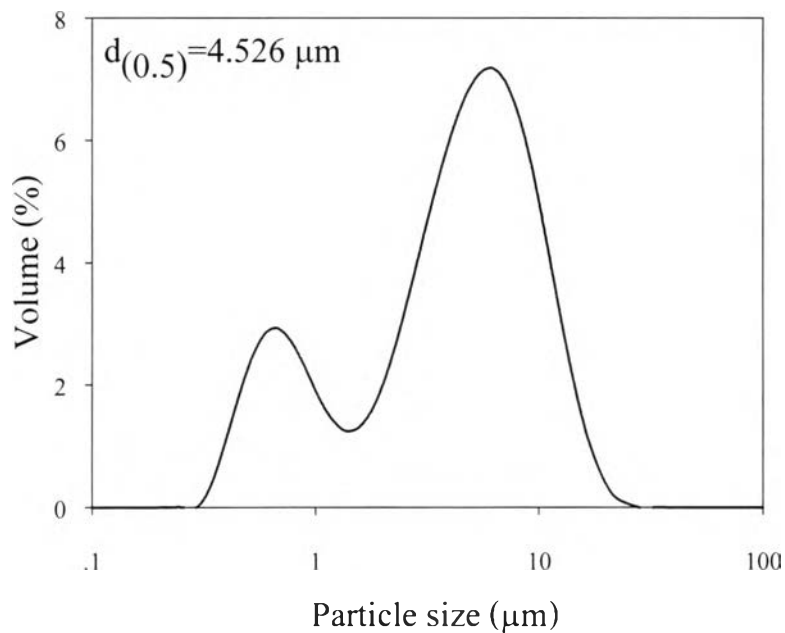


(b)



(c)

รูปที่ 4.29 ภาพถ่ายจุลภาคแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ได้จากการฟั่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

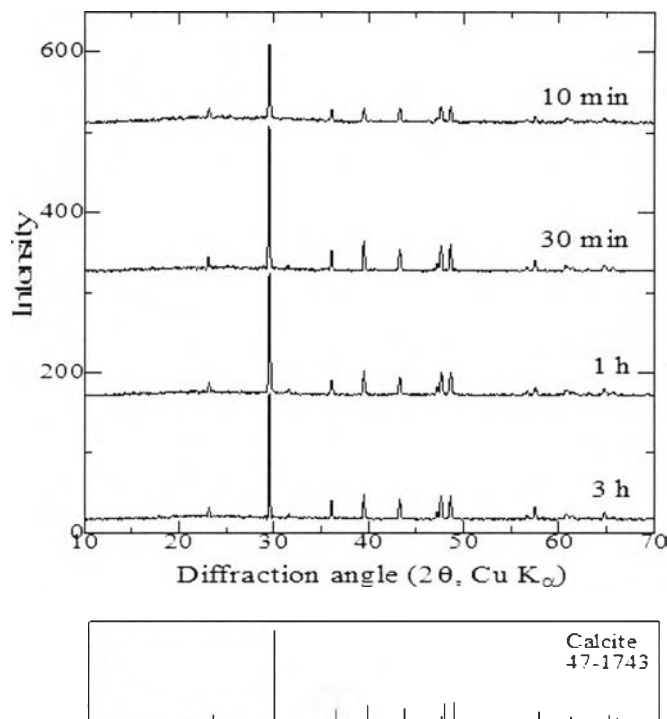


รูปที่ 4.30 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอนัตที่เตรียมได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.3.7. การเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.2 โดยการพ่นอากาศผ่านหลอดแก้วนำแก๊ส

4.3.7.1. การตรวจเฟสที่เกิดขึ้น

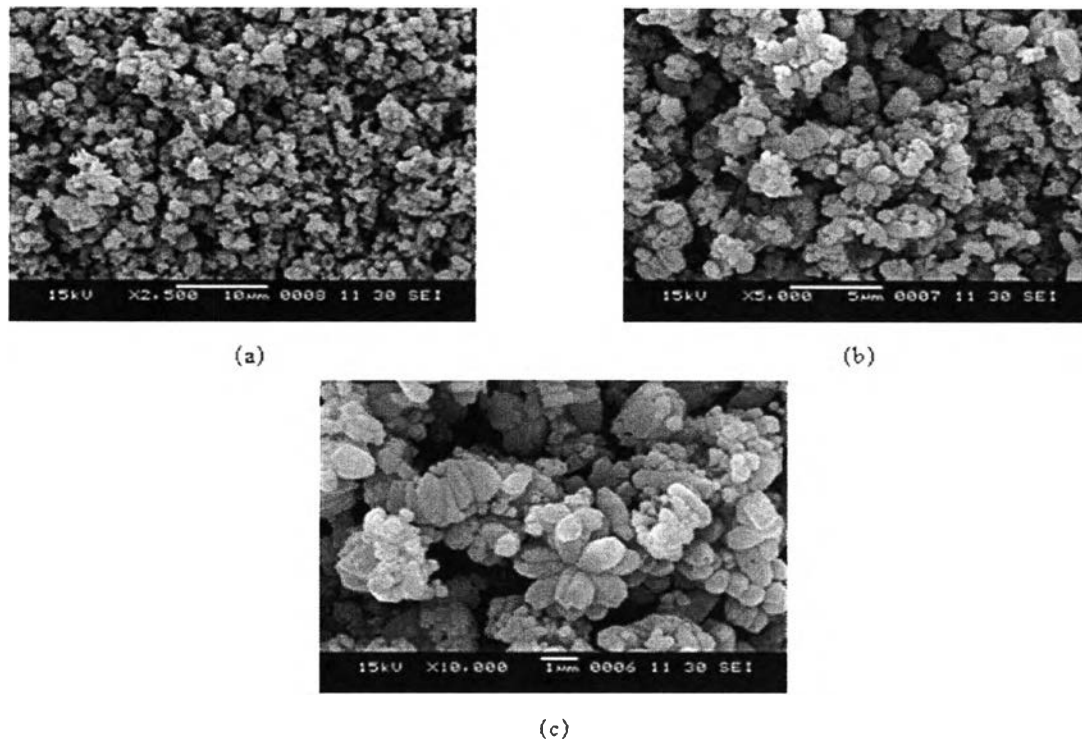
การตรวจเฟสที่เกิดขึ้นของเฟสตะกอนที่ได้จากการเกิดคาร์บอนชั้นระหว่างสารละลาย S-0.2 โดยการพ่นอากาศผ่านหลอดแก้วนำแก๊สที่เวลา 10, 30, 60 และ 180 นาที แสดงในรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าเฟสที่ได้จากการพ่นอากาศลงในอากาศลงในสารละลาย S-0.2 พบเฉพาะเฟสของแคลไซต์เพียงเฟสเดียว



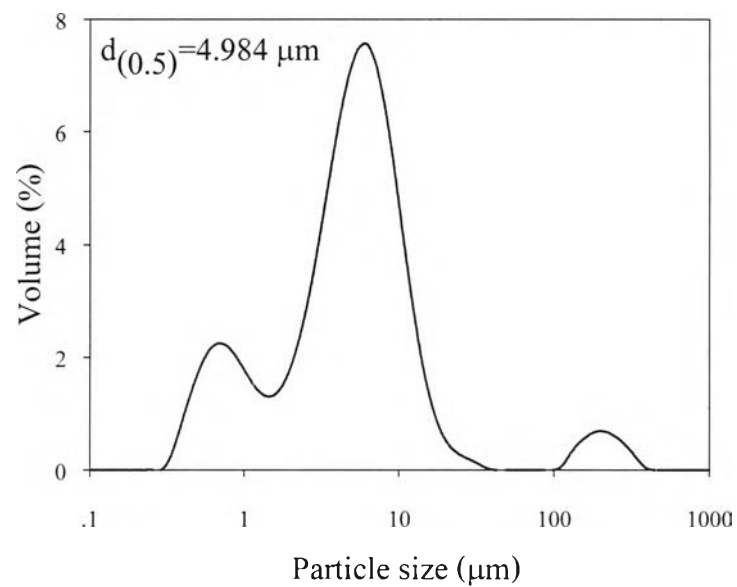
รูปที่ 4.31 กราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของตะกอนที่เกิดจากการฟุ้งฟองอากาศ
ลงใน S-0.2 ด้วยหลอดแก้วน้ำแก๊ส

4.3.7.2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและการกระจายขนาดอนุภาค

จากรูปภาพถ่ายทางจุลภาคของการฟุ้งฟองอากาศผ่านหลอดแก้วน้ำแก๊ส ลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (รูปที่ 4.32) พบว่าอนุภาคมีลักษณะรูปทรงที่ไม่เป็นเหลี่ยมชัดเจนแต่จากผลของ XRD ยืนยันว่าเป็นเฟสของแคลไซต์ อนุภาคที่เกิดขึ้นมีลักษณะมีขนาด 2 ไมครอน ที่มีการรวมมวลกันแต่เมื่อพิจารณาแล้วพบว่ามีความหนาแน่นของผลึกมากกว่าและขนาดผลึกมีขนาดเล็กกว่า และเมื่อพิจารณาผลการกระจายอนุภาคด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค (รูปที่ 4.33) พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย $d_{0.5}$ เท่ากับ 8.685 ไมครอน และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคพบการกระจายในช่วงแคบสังเกตจากการที่รูปกราฟมีลักษณะเป็นยอดเดียวที่มีฐานแคบ โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน แต่มีอนุภาคขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายจุลภาคเคลือบคาร์บอนที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วยหลอดแก้วนำแก๊สเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.33 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของเคลือบคาร์บอนที่เตรียมได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ด้วยหลอดแก้วนำแก๊สเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

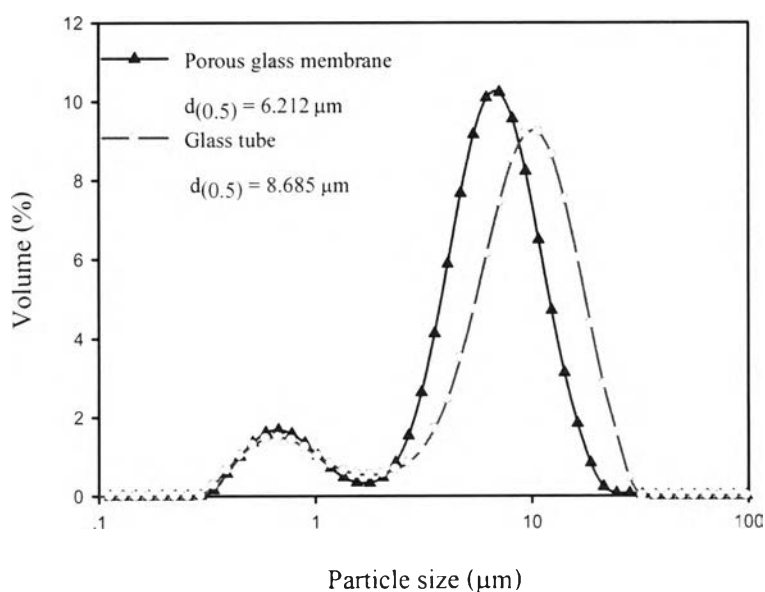
การพ่นฟองอากาศผ่าน porous glass membrane ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีลักษณะกลวงดังปรากฏใน รูปที่ 4.17, รูปที่ 4.19, รูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.29 พบว่าเกิดอนุภาครูปทรงเหลี่ยมของแคลไซต์ และพบอนุภาคที่มีลักษณะกลวงอันเนื่องมาจากการที่เกิดขึ้นคาร์บอนชั้นอย่างรวดเร็วและหุ้มฟองอากาศและปฏิกิริยาถูกหยุดก่อนจะมีการโตของผลึกจึงทำให้พบอนุภาคที่มีการกลวงและจะพบมากในสารละลาย S-0.01 ที่มีความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า เพราะปฏิกิริยาสิ้นสุดได้เร็วกว่าที่ความเข้มข้น S-0.2

จากการวัดการกระจายขนาดอนุภาคเมื่อพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 ในรูปที่ 4.26, รูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.30 พบว่าสามารถเตรียมแคลเซียมคาร์บอนเดียมให้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่ำกว่า 10 ไมครอน ที่มีการกระจายตัวในช่วงแคบได้โดยการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2

4.3.8. การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่มีที่มีผลต่อขนาดอนุภาค และ การกระจายขนาดอนุภาค

4.3.8.1. การเปรียบเทียบผลต่างของช่องเปิด

การเปรียบเทียบเพื่อศึกษาผลของช่องเปิดที่มีต่อลักษณะทางจุลภาค จากรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.22 พบว่าถึงแม้จะพ่นฟองอากาศด้วยหลอดแก้วนำแก๊สที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร แต่ก็พบว่าสามารถเตรียมอนุภาคของ แคลเซียมคาร์บอนเดียม ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนได้ นั่นคือขนาดของช่องเปิดไม่มีผลโดยตรงต่อขนาดของอนุภาคที่เตรียมได้ และเมื่อพิจารณาจากการวัดกระจายอนุภาคจากรูปที่ 4.34 พบว่าแม้จากรูปการกระจายอนุภาคจะแสดงให้เห็นความแตกต่างของขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) จะมีค่าที่ต่างกันอันเนื่องมาจากความต่างของขนาดช่องเปิดที่ต่างกันมาก โดยหลอดแก้วนำแก๊สที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตร ส่วน porous glass membrane มีขนาดช่องเปิดประมาณ 40 ไมครอน จึงถือว่าขนาดช่องเปิดมีผลน้อยมากต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค แต่จากการวัดค่า pH ของสารละลายก่อนและหลังปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน พบว่าขนาดของช่องเปิดของฟองอากาศ (เทียบจากขนาดช่องเปิดของหลอดแก้วนำแก๊สและ porous glass membrane) มีผลต่อค่า pH ที่เปลี่ยนไปซึ่งบ่งบอกถึงอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน ดังปรากฏใน **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง** เมื่อช่องเปิดมีขนาดเล็กลงพื้นที่ผิวสัมผัสของฟองแก๊สเพิ่มขึ้นทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถละลายได้มากขึ้นทำให้ CO_3^{2-} เพิ่มขึ้น จากสมการที่ 2.3 ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอนเดียมเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของช่องเปิดที่มีต่อการกระจายขนาดอนุภาค ในการพ่นอากาศลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

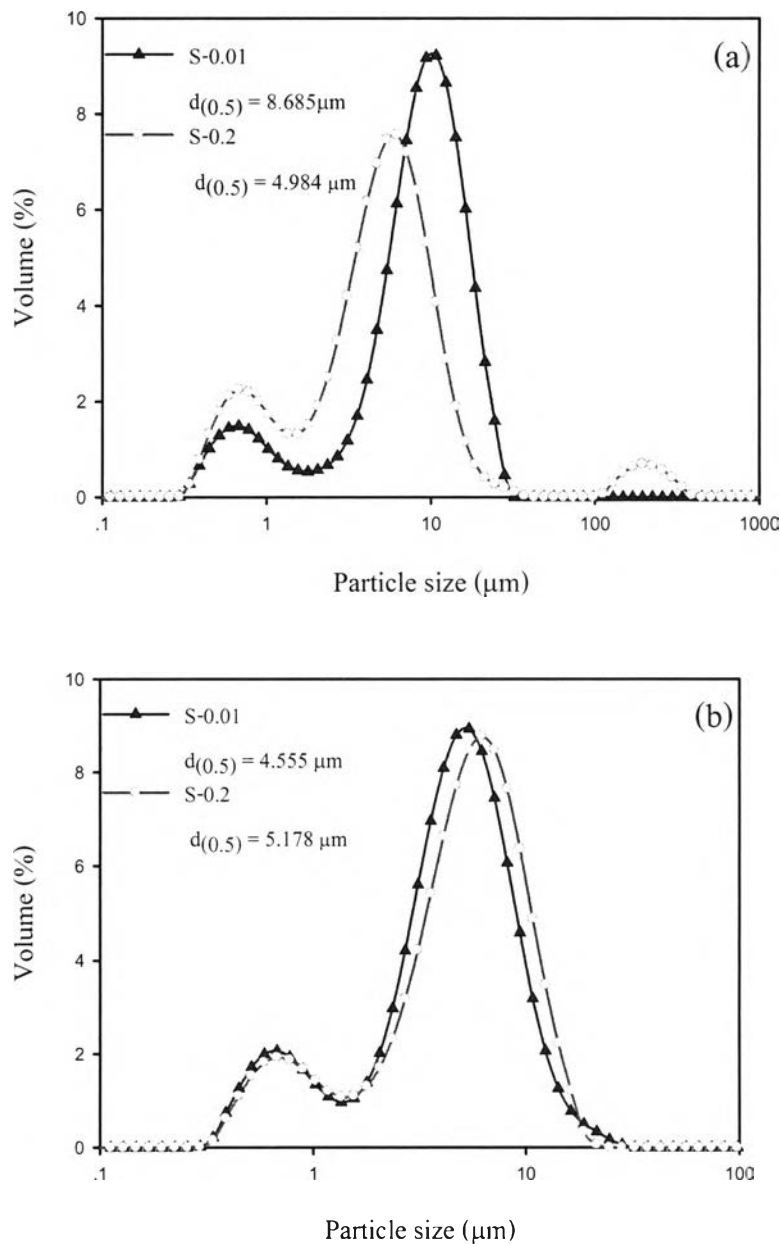
ตารางที่ 4.5 ความเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลาย S-0.01 และ S-0.2

ชนิดของสารละลาย	เวลา (ชั่วโมง)	วัสดุที่ใช้พ่นอากาศ	pH ก่อนพ่นอากาศ	pH หลังพ่นอากาศ
S-0.01	1	porous glass membrane	11	10
	3	porous glass membrane	11	5
	3	หลอดแก้วน้ำแก๊ส	11	10
S-0.2	1	porous glass membrane	13	11
	3	porous glass membrane	13	10
	3	หลอดแก้วน้ำแก๊ส	13	11
	6	porous glass membrane	13	6

4.3.8.2. การเปรียบเทียบผลต่างของความเข้มข้น

จากรูปที่ 4.35 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายมีผลแตกต่างกันเล็กน้อยมากในการเกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตโดยการพ่นฟองแก๊สผ่าน porous glass membrane เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยการกระจายอนุภาคของตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้สารละลาย S-0.01 มีขนาด

อนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) เท่ากับ 4.555 ไมครอน ต่ำกว่าการกระจายอนุภาคของตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้สารละลาย S-0.01 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) เท่ากับ 5.178 ไมครอน แต่เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลายโดยเปรียบเทียบจากสารละลายที่ฟุ้งฟองอากาศโดยผ่านหลอดแก้วนำแก๊สที่ 3 ชั่วโมง พบว่าที่ความเข้มข้น S-0.2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) เท่ากับ 4.984 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ของสารละลายที่ความเข้มข้น S-0.01 ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) เท่ากับ 8.685 ไมครอน ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกระจายขนาดอนุภาคแปรผกผันกับเวลา เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ผลของความเข้มข้นที่มีต่อขนาดอนุภาคเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้าม



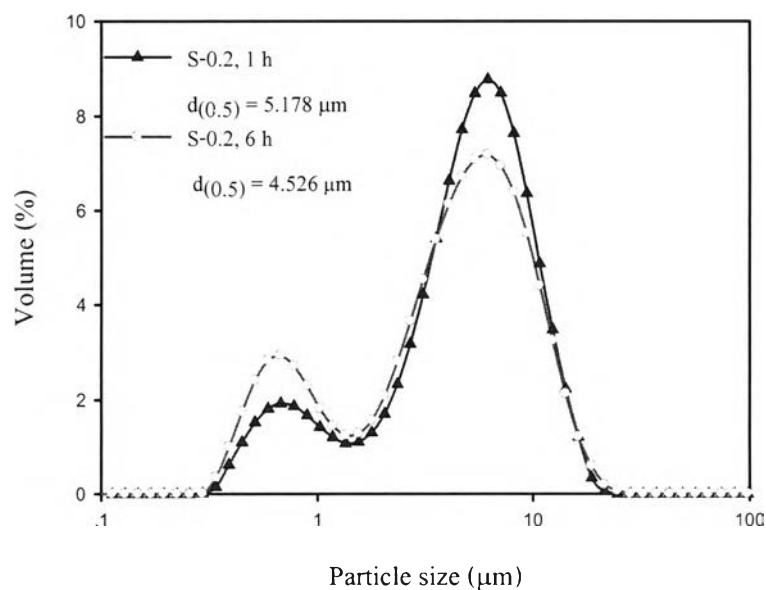
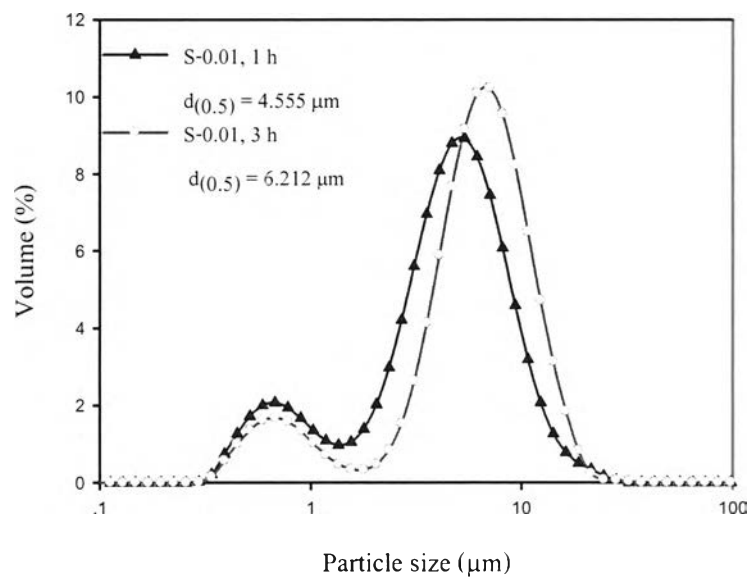
รูปที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นสารละลายที่มีต่อการกระจายขนาดอนุภาค

- (a) ในการผ่านอากาศด้วยหลอดแก้วนำแก๊สเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- (b) ในการผ่านอากาศด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.3.8.3. การเปรียบเทียบผลของระยะเวลา

เมื่อดูจากภาพถ่ายจุลภาคในเมื่อทำการเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการพ่นฟองแก๊สในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.19 สำหรับความเข้มข้น S-0.01 และรูปที่ 4.25 และ รูปที่ 4.29 สำหรับความเข้มข้น S-0.2 พบว่าลักษณะผลึกมีความสมบูรณ์มากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้

pH ลดลงดังแสดงในผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง และยืนยันผลจากการกระจายอนุภาค (รูปที่ 4.36) เมื่อพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง พบว่าอนุภาคมีแนวโน้มที่จะโตขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่ขณะที่เมื่อพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง พบว่าการกระจายอนุภาคไม่แตกต่างกัน และที่เวลา 6 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยอนุภาคที่เล็กกว่า

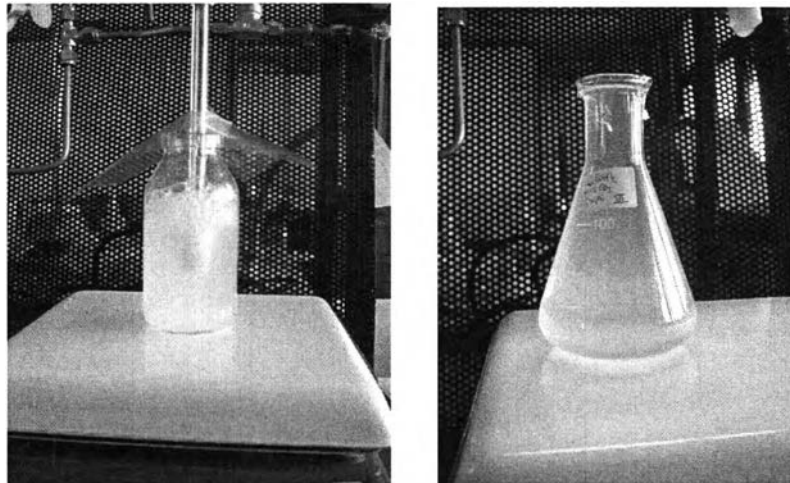


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของระยะเวลาในการพ่นแก๊สที่มีต่อการกระจายขนาดอนุภาค

4.4. การเกิดคาร์บอนเนชันของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์ และ ส่วนผสมของคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ในสถานะที่มีการพ่นฟองแก๊ส

4.4.1. การทดลองพ่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดลองพ่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย porous glass membrane ลงใน สารละลาย S-0.01 และ S-0.2 เป็นเวลา 5 นาที พบว่าในระหว่างการพ่นแก๊สสารละลายมีลักษณะขุ่น แต่เมื่อครบ 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ไม่พบตะกอนเกิดขึ้นดังแสดงใน รูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38 ซึ่งเกิด จากการที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต น้ำ และ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดแคลเซียมไบคาร์บอเนตซึ่งมีความสามารถในการละลายที่สูงดั่ง สมการ



รูปที่ 4.37 ภาพถ่ายการทดลองพ่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ลิตรต่อนาทีลงสารละลาย S-0.01

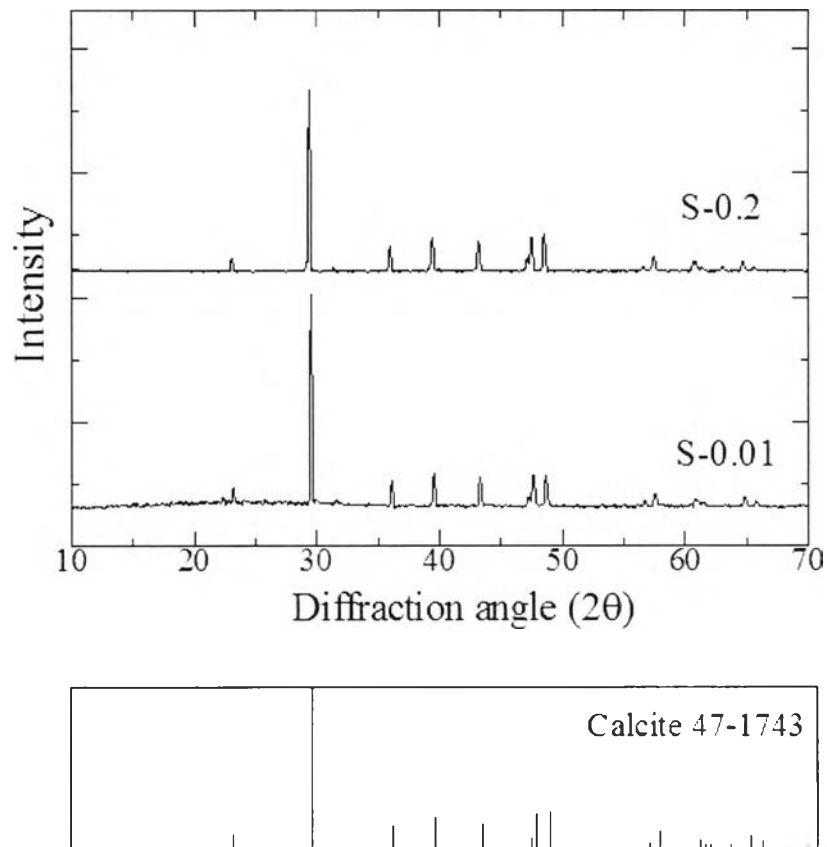


รูปที่ 4.38 ภาพถ่ายการล้างตะกอน และเมื่อทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
 1, 3 สารละลายที่ได้จากการพ่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ลิตรต่อหน้าที่ลง
 สารละลาย S-0.01 และ S-0.2 ตามลำดับ
 2, 4 สารละลายที่ได้จากการพ่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์: แก๊สไนโตรเจน
 สัดส่วน 1:1 ลิตรต่อหน้าที่ลงสารละลาย S-0.01 และ S-0.2 ตามลำดับ

4.4.2. การทดลองพ่นแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไนโตรเจน

4.4.2.1. การตรวจเฟสที่เกิดขึ้น

จากการตรวจเฟสที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นจากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไนโตรเจนในอัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อหน้าที่ลงในสารละลาย ความเข้มข้น S-0.01 และ S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 5 นาทีพบเพียงเฟสของ แคลไซต์เพียงเฟสเดียวดังแสดงในรูปที่ 4.39

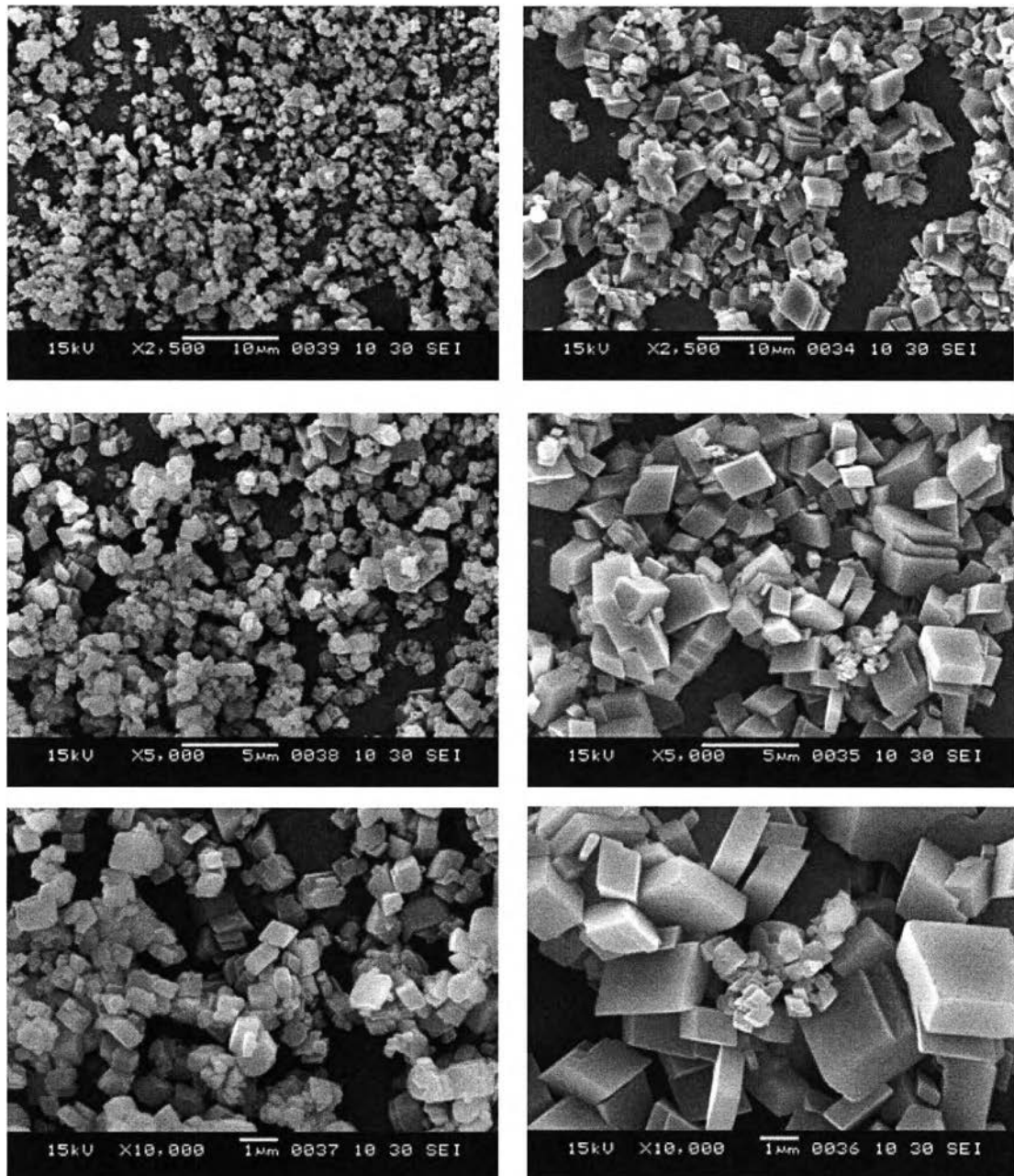


รูปที่ 4.39 กราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นใน S-0.01 และ S-0.2 หลังจากพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไนโตรเจน อัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

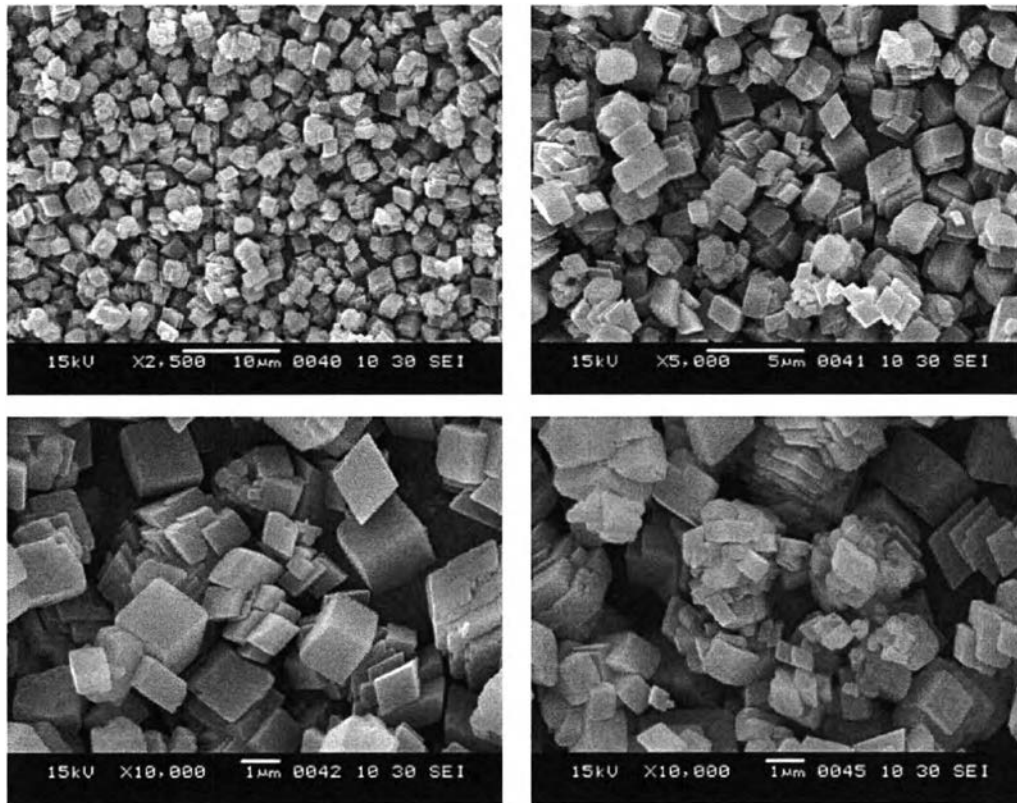
4.4.2.2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและการกระจายขนาดอนุภาค

ผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สไนโตรเจน อัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาทีลงในสารละลาย S-0.01 ในรูปที่ 4.40 ลักษณะผลึกแบบรอมโบฮีดรอล อนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดที่หลากหลายแต่ยังคงมีขนาดโดยรวมเล็กกว่า 10 ไมครอน และเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะอนุภาคที่เตรียมได้จากการพ่นอากาศลงในสารละลาย S-0.01 (รูปที่ 4.17, รูปที่ 4.19) จะเห็นได้ว่าผลึกที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สไนโตรเจนด้วย porous glass membrane นั้นมีลักษณะผลึกที่สมบูรณ์กว่าการพ่นด้วยอากาศ

พ. ๒๕๕๒
 เลขทะเบียน ๖๙๙๑
 10 ส.ค. 2560
 วันเดือนปี.....

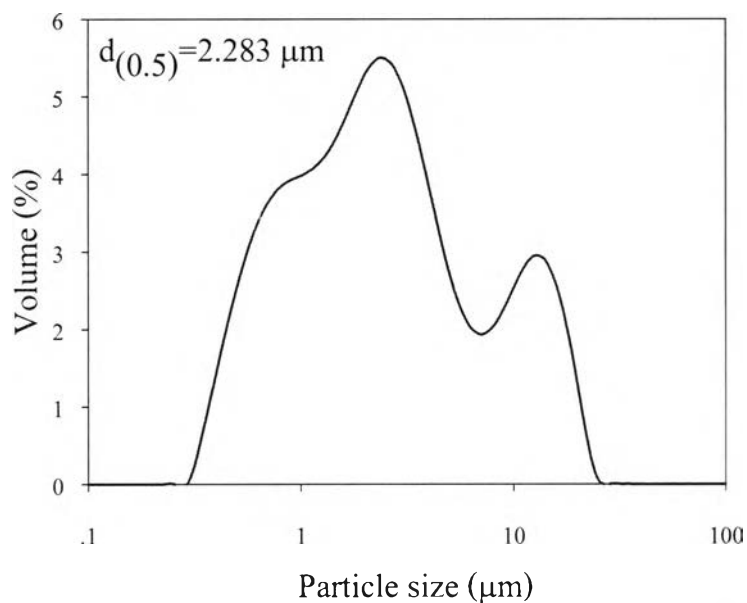


รูปที่ 4.40 ภาพถ่ายจุลภาคเคลือบคาร์บอนที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ผสมกับแก๊สไนโตรเจน อัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาที 5 นาทีลงในสารละลาย S-0.01 ด้วย porous glass membrane

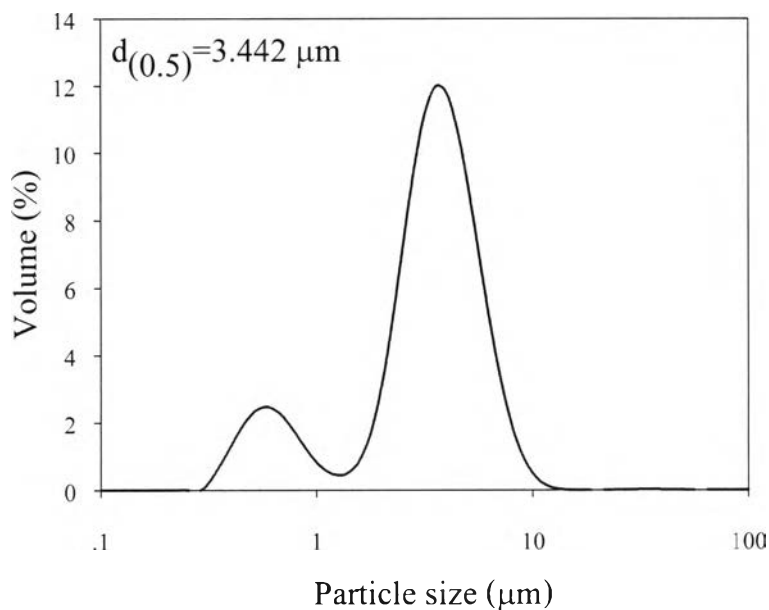


รูปที่ 4.41 ภาพถ่ายจุลภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับแก๊สไนโตรเจน อัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาที 5 นาทีลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane

เมื่อพิจารณาจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สไนโตรเจนอัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาทีลงในสารละลาย S-0.01 (รูปที่ 4.42) พบว่ามีการกระจายอนุภาคในช่วงกว้าง แต่ยังคงมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) เท่ากับ 2.283 ไมครอน ซึ่งค่าที่สุดในทุกการทดลองการที่ขนาดมีความแตกต่างกันมากน่าจะเกิดจากการโตของผลึก ในขณะที่กราฟการกระจายขนาดอนุภาคผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สไนโตรเจน อัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาทีลงในสารละลาย S-0.2 (รูปที่ 4.43) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) เท่ากับ 3.442 ไมครอนเป็นค่าเฉลี่ยอนุภาคที่น้อยเป็นอันดับสอง แต่มีการกระจายอนุภาคที่แคบกว่า



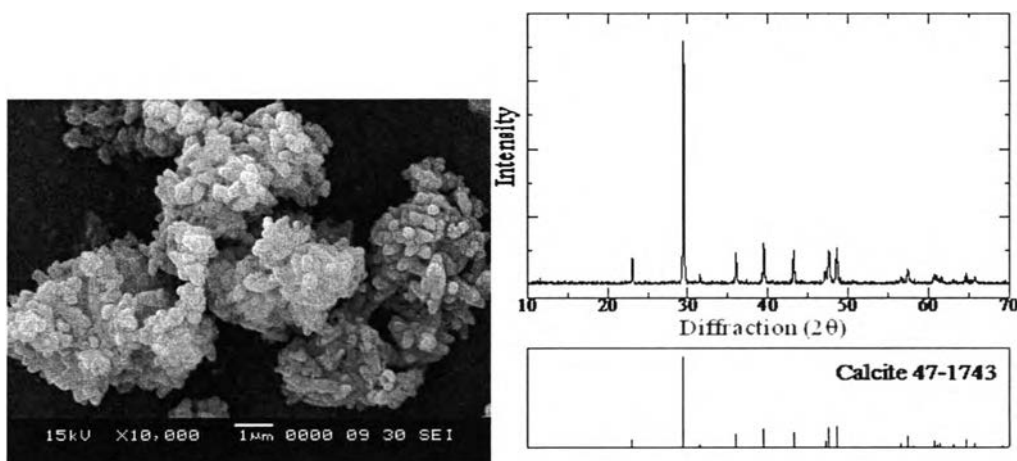
รูปที่ 4.42 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคสซีมคาร์บอนที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สผสมระหว่าง แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไนโตรเจนลงในสารละลาย S-0.01 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 5 นาที



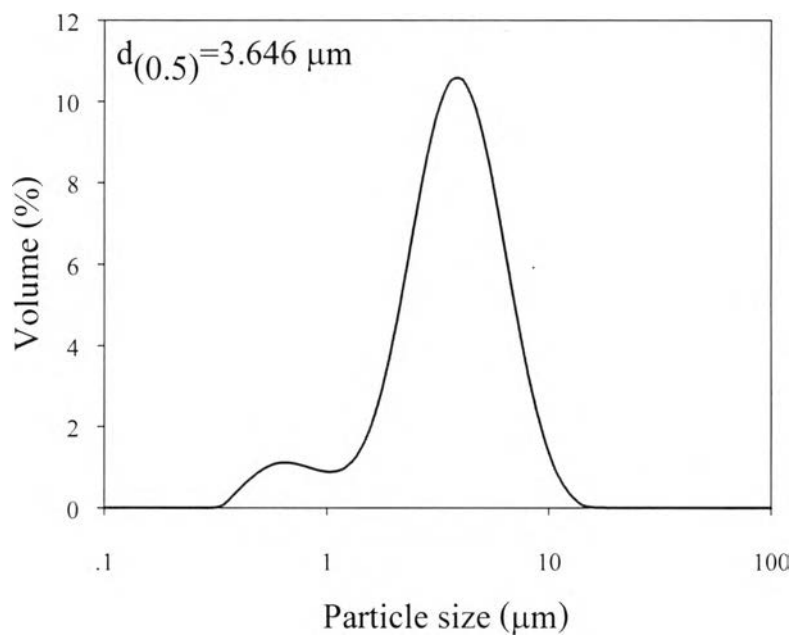
รูปที่ 4.43 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของแคสซีมคาร์บอนที่เตรียมได้จากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไนโตรเจนลงในสารละลาย S-0.2 ด้วย porous glass membrane เป็นเวลา 5 นาที

4.5. การเปรียบเทียบแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากงานวิจัยและผลิตภัณฑ์ทางการค้า

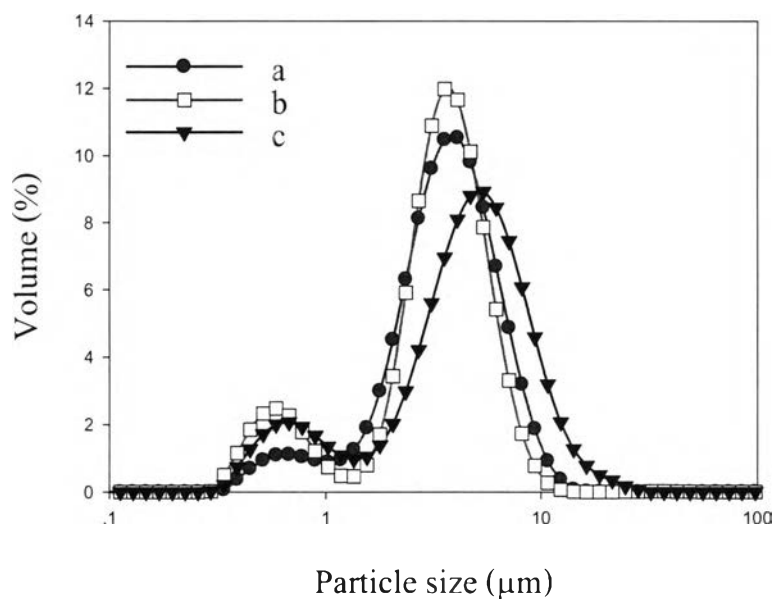
จากรูปที่ 4.44 และรูปที่ 4.45 จะเห็นว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนตในทางการค้า (Calopake® Extralight) มีเฟสเป็นแคลไซต์ขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ขณะเดียวกันก็มีการเกาะกลุ่มเป็นการรวมมวลขนาดใหญ่ และจากกราฟการกระจายขนาดอนุภาคมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{0.5}$) 3.646 ไมครอน ถ้าเปรียบเทียบเฉพาะขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้ากับผงแคลเซียมที่ได้จากงานวิจัยนี้ (รูปที่ 4.46) โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีเดียวกัน ตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดคือ ตัวอย่างที่จากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สไนโตรเจนอัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาทีลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 5 นาทีด้วย porous glass membrane ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.283 ไมครอน แต่มีการกระจายอนุภาคในช่วงกว้าง ขณะที่ตัวอย่างที่จากการพ่นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับแก๊สไนโตรเจนอัตราส่วน 1:1 ลิตรต่อนาทีลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 5 นาทีด้วย porous glass membrane มีการกระจายอนุภาคและขนาดเฉลี่ยอนุภาคเท่ากับ 3.442 ไมครอน ใกล้เคียงกับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าที่มีขนาด 3.646 ไมครอน และ ตัวอย่างที่ได้จากการพ่นพองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 6 ชั่วโมงและตัวอย่างที่จากการพ่นพองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วย porous glass membrane ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.526 ไมครอน และ 4.555 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งยังมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า และเมื่อมีลักษณะการกระจายขนาดอนุภาคกว้างกว่าด้วย



รูปที่ 4.44 ลักษณะของอนุภาคและ เฟสของผง แคลเซียมคาร์บอเนต ทางการค้า



รูปที่ 4.45 การกระจายขนาดอนุภาคของผงแคลเซียมคาร์บอเนต ทางการค้า

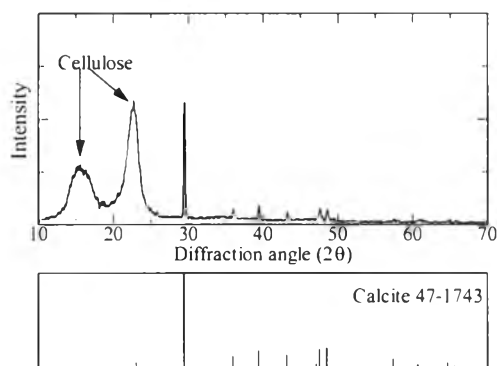


รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบการกระจายขนาดอนุภาคของผงแคลเซียมคาร์บอเนต

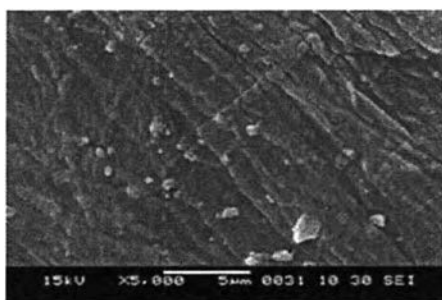
- a. commercial CaCO_3 , Calopake[®] Extralight, $d_{(0.5)} = 3.646$ ไมครอน
- b. S-0.2 / $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ / 5 min , $d_{(0.5)} = 3.442$ ไมครอน
- c. S-0.01 / Air / 1 h, $d_{(0.5)} = 4.555$ ไมครอน

สำหรับแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในผลิตภัณฑ์แล้ว ตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบ คือ กระจกดัดเบิ้ลเอ ซึ่งมีการใช้ precipitated calcium carbonate สำหรับการผลิตกระจก

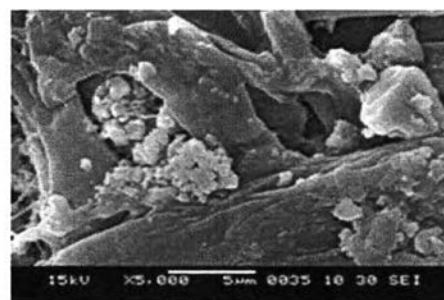
จากกราฟแสดงเฟสของกระจกดัดเบิ้ลเอ (รูปที่ 4.47) พบว่ามีเฟสของแคลเซียมคาร์บอเนตและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ และเมื่อพิจารณาภาพ ถ่ายจุลภาค ของผิวกระจก (รูปที่ 4.48) จะเห็นว่าผิวเรียบไม่พบร่องรอยของอนุภาค และเมื่อดูที่รอยฉีกจะเห็นว่ามีอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดเล็กมาก และอนุภาคขนาดใหญ่ (~ 5 ไมครอน) แทรกอยู่ตามเส้นใยเมื่อนำกระจกไปแช่ในสารละลายกรดแล้วล้างน้ำกลั่น (รูปที่ 4.49) แล้วนำไปถ่ายภาพจุลภาคใหม่พบว่า มองเห็นเส้นใยกระจกชัดเจน นั่นคือผิวกระจกที่ดูเหมือนเรียบจนแทบไม่ค่อพบอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่จริงแล้วมีแคลเซียมคาร์บอเนตแทรกไปในเนื้อของเส้นใยกระจก (รูปที่ 4.48) และแคลเซียมคาร์บอเนตที่พบในเนื้อกระจกมีทั้งส่วนที่ละเอียดและหยาบแทรกปะปนกันไป



รูปที่ 4.47 กราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันของกระจกดัดเบิ้ลเอ



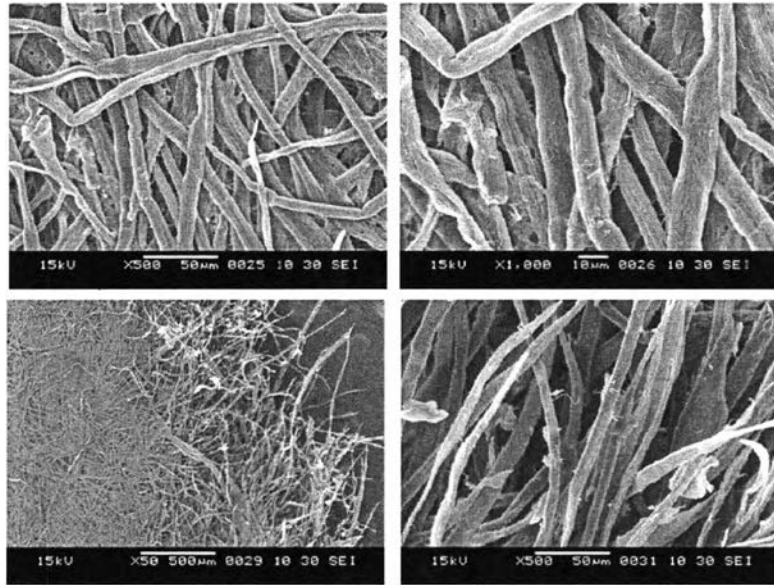
(a)



(b)

รูปที่ 4.48 ภาพถ่ายจุลภาคของอนุภาค แคลเซียมคาร์บอเนต ในกระจก

(a) ผิวกระจก และ (b) รอยฉีกในเนื้อกระจก



รูปที่ 4.49 ภาพถ่ายจุลภาคผิวกระดาษเมื่อกัดด้วยกรด

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้กับแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในกระดาษ จะเห็นว่าลักษณะของตัวอย่างที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.2 เป็นเวลา 6 ชั่วโมงและตัวอย่างที่ได้จากการพ่นฟองอากาศลงในสารละลาย S-0.01 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วย porous glass membrane ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.526 ไมครอน และ 4.555 ไมครอน ตามลำดับ มีลักษณะที่เหมาะสมจะใช้เป็นตัวเติมในกระดาษมากกว่า