

การสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วันเป็นแม่แบบ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วุ้นเป็นแม่แบบ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF CALCIUM OXIDE USING AGAROSE GEL
AS A TEMPLATE



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วุ้นเป็นแม่แบบ
โดย นายกิตติชัย พรพงษ์ไพศาลกุล รหัสนักศึกษา 53010106
นางสาวกัญญาภัทร ศรีณวัชร รหัสนักศึกษา 53010184
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....
.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

.....
.....กรรมการ
(ดร.ธีรพร สุธีวงศ์)

.....
.....กรรมการ
(ดร. กุลนันทน์ เกียรติกิตติพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วุ้นเป็นแม่แบบ		
โดย	นายกิตติชัย	พรพงษ์ไพศาลกุล	รหัสนักศึกษา 53010106
	นางสาวกัญญาภัทร	ศรณวัชร	รหัสนักศึกษา 53010184
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ปีการศึกษา	2556		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วุ้นเป็นแม่แบบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะของแคลเซียมออกไซด์ การสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์เริ่มจากการเตรียมวุ้นที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก ผสมกับแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 โมลต่อลิตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยการแช่ในน้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาอบที่เครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อทำการไล่น้ำออกบางส่วน จะได้คอมโพสิตของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และวุ้น จากนั้นนำคอมโพสิตไปเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สออกซิเจนที่อัตราไหล 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ที่ภายใต้สภาวะ คือ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 4.0 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นแคลเซียมออกไซด์และกำจัดวุ้นในเวลาเดียวกัน การดูดซับไนโตรเจนทำให้ทราบว่าได้พื้นที่ผิวสูงสุดของแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้เป็น 18.43 ตารางเมตรต่อกรัม โดยมีปริมาตรรูพรุนทั้งหมดเป็น 0.042 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน เป็น 9.16 นาโนเมตร นอกจากนี้ ผลการทดลองเบื้องต้นนี้ทำให้ทราบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการลดความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และการเพิ่มความเข้มข้นของวุ้น และมีความเป็นไปได้ที่จะควบคุมโครงสร้างของรูพรุนด้วยการลดความเข้มข้นของวุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	SYNTHESIS OF CALCIUM OXIDE USING AGAROSE GEL AS A TEMPLATE		
By	Mr. Kittichai Pornpongpaisarnkul	ID. 53010106	
	Miss. Khanyaphat Sornvatchara	ID. 53010184	
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Chemical Engineering		
Year	2013		
Advisor	Asst. Prof. Kriangsak Kraiwattanawong		

ABSTRACT

This research studies about the synthesis of calcium oxide using agarose gel as a template to increase the specific surface area of calcium oxide. The synthesis of calcium oxide starts from the preparation of agarose gel at 1.0 %wt , 1.5 %wt and 2.0 %wt, which mixed with calcium chloride about 1.0 and 2.0 mol/l. Later the mixtures were mixed with sodium hydroxide solution for 72 hours and then washed by water for 72 hours. The samples were dried in the oven at a temperature of 40.0°C to eliminate water partially and the composites of calcium hydroxide and agarose gel was then obtained. Then composites were calcined under nitrogen atmospheres with the flow rate of 50 cm³/min at 700 °C and the ramping rate of 4 °C/min for 3 hours to convert calcium hydroxide to calcium oxide and eliminate agar simultaneously. Nitrogen adsorption revealed that the maximum specific surface area of calcium oxide prepared was 18.43 m²/g having 0.042 cm³/g of total pore volume and 9.16 nm of mean average pore diameter. Furthermore, this preliminary study understood the probability to increase the surface area by the decrease of calcium chloride concentration with the increase of agar concentration and the probability to control the pore structure by decreasing agarose gel concentration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ให้ความช่วยเหลือดังนี้

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะ แก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้คำปรึกษาและประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้ดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ ดร. อีรพร สุธีวงศ์ ผู้เป็นกรรมการสอบปริญญาโทและให้คำปรึกษาและข้อชี้แนะต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์ ผู้เป็นกรรมการสอบปริญญาโทและกรุณาให้คำแนะนำและข้อชี้แนะต่างๆ แก่คณะผู้ดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนเงิน สาระเคมี และการตรวจสอบสำหรับการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ สำหรับการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำระหว่างการทำงานวิจัยตลอดมา

อนึ่งยังมีผู้มีพระคุณอีกหลายท่านที่คณะผู้จัดทำยังไม่ได้กล่าวนาม และหากปริญญาโทฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอน้อมรับและกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

กิตติชัย พรพงษ์ไพศาลกุล

กัญญาภัทร ศรณวิวัชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	ix
สารบัญรูป.....	x
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide: CaO)	3
2.1.1 ลักษณะของแคลเซียมออกไซด์.....	3
2.1.2 การใช้งานแคลเซียมออกไซด์.....	3
2.1.3 กระบวนการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์.....	4
2.2 ฐัน.....	5
2.2.1 คุณสมบัติของฐัน.....	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 โครงสร้างของวุ้นเมื่อผ่านกระบวนการโพลีเมอร์ไรซ์เซชัน ณ ความเข้มข้นต่างๆ.....	6
2.2.3 กระบวนการทำให้แห้งเพื่อกำจัดน้ำออก.....	7
2.3. การดูดซับ.....	8
2.3.1 กลไกการดูดซับ.....	9
2.3.2 สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ.....	10
2.4 กระบวนการดูดซับก๊าซไนโตรเจน (BET Theory)	10
2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ.....	14
2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานหรือวิธีการทดลอง.....	19
3.1 การเตรียมสารตัวอย่างจากวุ้น.....	19
3.1.1 สารเคมี.....	19
3.1.2 อุปกรณ์.....	19
3.1.3 วิธีการทดลอง.....	20
3.2 การเผาสารตัวอย่าง (Calcination process)	23
3.2.1 สารเคมี.....	23
3.2.2 อุปกรณ์.....	23
3.2.3 วิธีการทดลอง.....	23
3.2.4 ขั้นตอนของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแคลซิเนชัน.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองเบื้องต้น.....	25
4.1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจากการตรวจสอบด้วยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน.....	25
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้น.....	26
4.2.1 การวิเคราะห์กราฟไอโซเทอร์มจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้น.....	26
4.2.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของรูพรุนจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้น.....	27
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์.....	28
4.3.1 การวิเคราะห์กราฟไอโซเทอร์มจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์.....	28
4.3.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของรูพรุนจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์.....	30
4.4 การเปรียบเทียบพื้นที่ผิวระหว่างงานวิจัยอื่นและงานวิจัยนี้.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
ภาคผนวก.....	34
ก ข้อมูลดิบที่เกี่ยวข้องกับวิธีปียีที.....	35
ก.1 ตัวอย่างที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตรและความเข้มข้นของวุ้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	35
ก.1.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 1.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 36 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

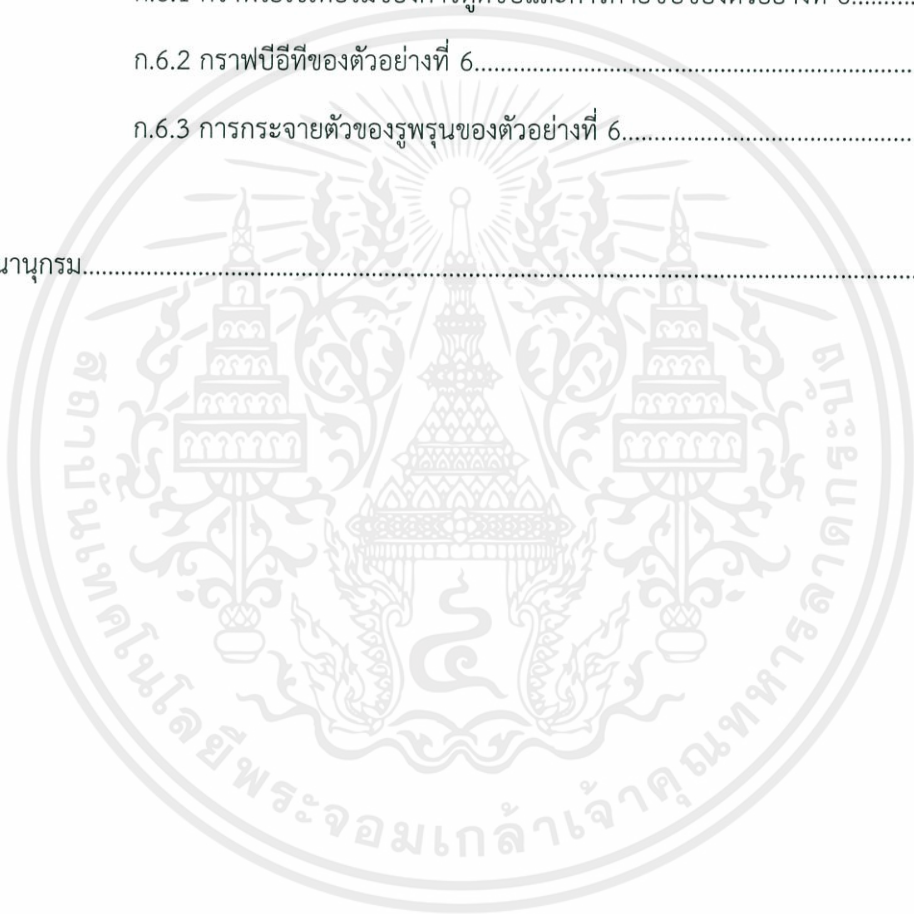
ก.1.3 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 1.....	37
ก.2 ตัวอย่างที่ 2 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	38
ก.2.1 กราฟไอโซกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 2.....	38
ก.2.2 กราฟบีอีทีของตัวอย่างที่ 2.....	39
ก.2.3 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 2	40
ก.3 ตัวอย่างที่ 3 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	41
ก.3.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 1.....	41
ก.3.2 กราฟบีอีทีของตัวอย่างที่ 3.....	42
ก.3.3 การกระจายตัวของรูพรุนตัวอย่างที่ 3.....	43
ก.4 ตัวอย่างที่ 4 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	44
ก.4.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 4.....	44
ก.4.2 กราฟบีอีทีของตัวอย่างที่ 4.....	45
ก.4.3 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 4.....	46
ก.5 ตัวอย่างที่ 5 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	47
ก.5.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 5.....	47
ก.5.2 กราฟบีอีทีของตัวอย่างที่ 5.....	48
ก.5.3 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 5.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ก.6 ตัวอย่างที่ 6 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	50
ก.6.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 6.....	50
ก.6.2 กราฟบีอีทีของตัวอย่างที่ 6.....	51
ก.6.3 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 6.....	52
บรรณานุกรม.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 วิธีการเตรียมตัวเร่ง (แคลเซียมออกไซด์).....	6
ตารางที่ 2.2 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและข้อมูลอื่นๆ	7
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของแคลเซียมออกไซด์	7
ตารางที่ 2.4 พื้นที่ผิวของแคลเซียมออกไซด์จากวัฏดุติบและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	8
ตารางที่ 3.1 การเตรียมสารตัวอย่างโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสาร	21
ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนทั้งหมดและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนของตัวอย่าง ที่สังเคราะห์ได้.....	25
ตารางที่ 4.2 สารที่ใช้ในการเตรียม สภาวะในการเผา และพื้นที่ผิวที่ได้.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของแคลเซียมออกไซด์.....	3
รูปที่ 2.2 สาหร่ายแดง Gracilaria.....	5
รูปที่ 2.3 ผงวุ้นบริสุทธิ์.....	5
รูปที่ 2.4 การเกิดเจลของวุ้น.....	6
รูปที่ 2.5 ภาพจากกล้อง SEM ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	6
รูปที่ 2.6 ภาพจากกล้อง SEM ที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	7
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งในระยะเวลาสั้น.....	7
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งในเวลานานขึ้น.....	8
รูปที่ 2.9 (ก) การดูดซับแบบชั้นเดียว (ข) การดูดซับแบบหลายชั้น.....	8
รูปที่ 2.10 กลไกการดูดซับ.....	9
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/W[(P_0/P)-1]$ กับ P/P_0	11
รูปที่ 2.12 เครื่องวิเคราะห์ขนาดและพื้นที่ผิวจำเพาะ.....	13
รูปที่ 3.1 แผนผังสำหรับกระบวนการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อเข้าสู่กระบวนการเผา.....	22
รูปที่ 3.2 กระบวนการเผา.....	23
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกระบวนการแคลซิเนชัน.....	24
รูปที่ 4.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร.....	26
รูปที่ 4.2 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร.....	26
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของรูพรุนที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร.....	27
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของรูพรุนที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของวัน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	28
รูปที่ 4.6 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของวัน 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	28
รูปที่ 4.7 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของวัน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	29
รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของรูพรุน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	30
รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของรูพรุน 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	30
รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของรูพรุน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	31
รูปที่ ก.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 1.....	35
รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 1.....	36
รูปที่ ก.3 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 1.....	37
รูปที่ ก.4 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 2.....	38
รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 2.....	39
รูปที่ ก.6 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 2.....	40
รูปที่ ก.7 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 3.....	41
รูปที่ ก.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 3.....	42
รูปที่ ก.9 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 3.....	43
รูปที่ ก.10 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 4.....	44
รูปที่ ก.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 4.....	45
รูปที่ ก.12 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 4.....	46
รูปที่ ก.13 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 5.....	47
รูปที่ ก.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 5.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.15 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 5.....	49
รูปที่ ก.16 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 6.....	50
รูปที่ ก.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 6	51
รูปที่ ก.18 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 6.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุถือเป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน ได้แก่ การเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น การเพิ่มปริมาณรูพรุนของตัวดูดซับจะทำให้ความสามารถในการดูดซับดียิ่งขึ้น การทำให้ขนาดอนุภาคของปูนเล็กลงจะทำให้ปูนมีความเรียบเนียนยิ่งขึ้น ฯลฯ ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก จึงได้มีการจัดทำโครงการเพื่อศึกษาหาวิธีการการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุ ซึ่งในที่นี้เลือกใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นต้นแบบโดยการใช้แคลเซียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสารทั้งสองตัวนี้เป็นสารที่หาได้ง่ายและราคาไม่แพงมากนัก และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคการใช้แม่แบบนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมคุณสมบัติทางโครงสร้างซึ่งประกอบไปด้วย ลักษณะภายนอก รูพรุนภายใน พื้นที่ผิว เป็นต้น ซึ่งวัสดุมีลักษณะเป็นเจล สามารถกำจัดออกได้ที่อุณหภูมิสูง อีกทั้งยังสามารถกำหนดปริมาณรูพรุนหรือพื้นที่ผิวได้จากการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของวัสดุตัวอย่างที่ได้มีการศึกษาและทดลอง นั่นคือ การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์จากการใช้วัสดุเป็นแม่แบบ ซึ่งการทดลองนี้สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวได้มากขึ้นจาก 28 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 66 ตารางเมตรต่อกรัม [1]

การทำโครงการครั้งนี้เป็นการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากการใช้วัสดุเป็นแม่แบบเพื่อเพิ่มที่ผิวให้มากขึ้นเพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น การดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้นและนานขึ้น อีกทั้งการสังเคราะห์ครั้งนี้ถือเป็นต้นแบบต่อการสังเคราะห์สารชนิดอื่นๆได้อีกด้วย ผลที่คาดหวังสำหรับโครงการครั้งนี้คือ การเพิ่มพื้นที่ผิวของแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากแคลเซียมคลอไรด์ให้ได้มากกว่า 5 ตารางเมตรต่อกรัม [2]

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วัสดุเป็นแม่แบบ
- 2) สังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นจากการเตรียมด้วยแคลเซียมคลอไรด์

1.3 ขอบเขตโครงการ

- 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบการทดลองและกำหนดตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และความเข้มข้นของวัสดุ

- 3) สังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วัสดุเป็นแม่แบบโดยกำหนดตัวแปรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) วิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิวด้วยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน
- 5) วิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของแคลเซียมออกไซด์ให้มากขึ้น
- 2) สามารถนำไปประยุกต์เพื่อเป็นต้นแบบในการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัสดุหรือสารอื่นๆได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide: CaO)

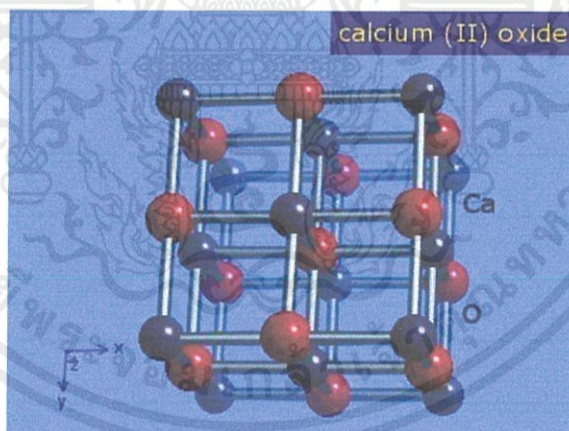
2.1.1 ลักษณะของแคลเซียมออกไซด์ [3]

เป็นสารที่มีราคาถูก วัตถุประสงค์การทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้แคลเซียมคาร์บอเนต จึงไม่พบในธรรมชาติแคลเซียมออกไซด์เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่า ปูนขาว หรือปูนเผา เป็นสารเคมีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นสีขาว เป็นเบส เป็นผลึกของแข็ง ที่อุณหภูมิห้อง

2.1.2 การใช้งานแคลเซียมออกไซด์

แคลเซียมออกไซด์ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

- 1) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นเบส ราคาถูก มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูง สามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และปฏิกิริยาการแตกตัว มีคุณสมบัติไม่กัดกร่อน ละลายน้ำได้น้อย สามารถแยกออกจากปฏิกิริยาได้ง่าย โครงสร้างผลึกดังรูปที่ 2.1



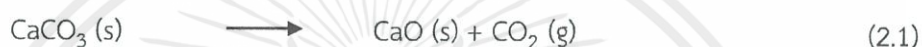
รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของแคลเซียมออกไซด์ [4]

- 2) ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในด้านการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้น เป็นต้น เป็นการทำให้กระบวนการนั้นบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น
- 3) ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งที่มีราคาแพงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวเร่งนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

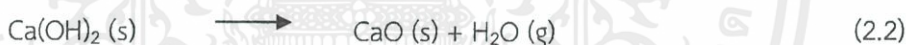
2.1.3 กระบวนการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์

ในปัจจุบันแคลเซียมออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่สังเคราะห์มาจากการเผา สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตที่อุดมภูมิมากกว่า 800 องศาเซลเซียส [5] เรียกว่าปฏิกิริยาแคลซิเนชัน โดยสารตั้งต้นของปฏิกิริยาแคลซิเนชันสามารถใช้ได้ทั้งวัตถุดิบเป็นสารประกอบของแคลเซียมที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ เปลือกหอยนางรม กระดองปู เปลือกไข่ไก่ หินปูน เป็นต้น ซึ่งไม่สามารถควบคุมคุณสมบัติต่างๆ เช่น ขนาดของรูพรุน พื้นที่ผิวและความหนาแน่น เป็นต้น แต่ถ้าหากต้องการควบคุมคุณสมบัติต่างๆ เราสามารถสังเคราะห์ สารประกอบของแคลเซียมขึ้นเองเพื่อเตรียมเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาแคลซิเนชันดังที่ได้ศึกษาในโครงการนี้ โดยสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบของแคลเซียมที่จะใช้ในปฏิกิริยาแคลซิเนชันจะถูกเตรียมในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคลอไรด์ เป็นต้น



จากสมการที่ (2.1) [5] เป็นปฏิกิริยาแคลซิเนชันของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยปกติแล้วจะผลิต แคลเซียมออกไซด์ได้จากการเผาวัสดุที่มีส่วนผสมของหินปูนเป็นองค์ประกอบ ณ อุดมภูมิมากกว่า 825 องศาเซลเซียส

การที่จะเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นแคลเซียมออกไซด์ได้นั้น จะต้องเผาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุดมภูมิ 512 องศาเซลเซียส [5] จะได้แคลเซียมออกไซด์ดังสมการ



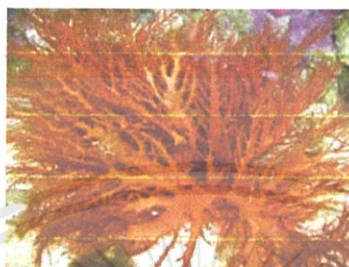
เมื่อนำผลิตภัณฑ์ผสมกับกับน้ำ จะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์คืนดั้งเดิม อีกทั้งยังให้ความร้อนออกมาค่อนข้างมากถึง -63.7 กิโลจูลต่อโมล ทำให้สามารถนำไปประยุกต์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนพกพาได้อีกด้วย ดังสมการ [5]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วุ้น

วุ้นเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) ได้จากการสกัดสาหร่ายแดง Gracilaria หน่วยย่อยพื้นฐานของวุ้นเป็นสารประกอบ Polysaccharide กลุ่ม Galactose



รูปที่ 2.2 สาหร่ายแดง Gracilaria [6]

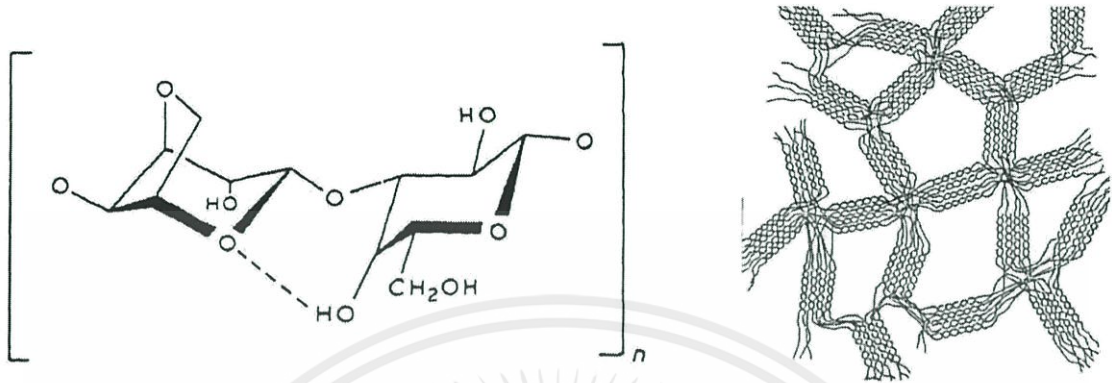


รูปที่ 2.3 ผงวุ้นบริสุทธิ์ [6]

2.2.1 คุณสมบัติของวุ้น [6]

วุ้นมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ให้สารคงรูปที่มีลักษณะแข็ง ยืดหยุ่น ที่เรียกว่า Gel เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 85-90 องศาเซลเซียส ก็จะหลอมละลายอยู่ในรูปของเหลว เมื่ออุณหภูมิลงมาที่ประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วุ้นเข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ

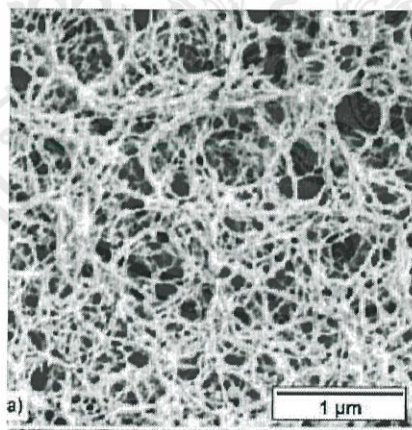
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเกิดเจลของวุ้น [7]

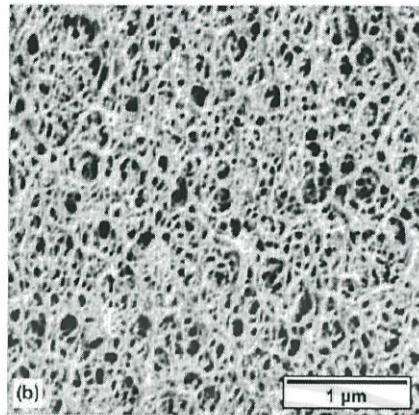
2.2.2 โครงสร้างของวุ้นเมื่อผ่านกระบวนการโพลีเมอร์ไรซ์เซชัน ณ ความเข้มข้นต่างๆ [8]

วุ้นได้มีการเตรียม ณ ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.5เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 2.0เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) แล้วนั้น จะสังเกตเห็นได้ว่า วุ้นที่มีความเข้มข้น 0.5เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นั้นมีรูพรุนค่อนข้างใหญ่และหลวม แต่วุ้นที่มีความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีรูพรุนเล็กและมาก ทำให้โครงสร้างของวุ้นนั้นมีความแข็งแรงมาก ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 ภาพจากกล้อง SEM ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [8]

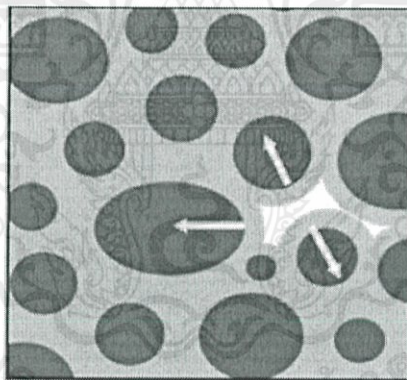
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ภาพจากกล้อง SEM ที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [8]

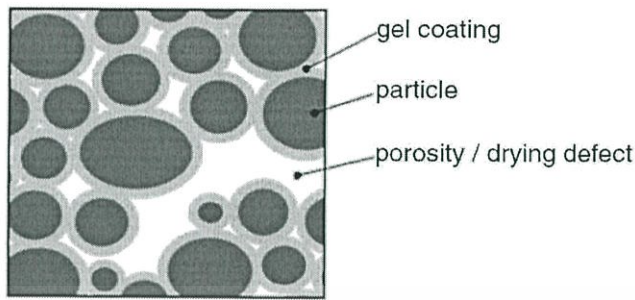
2.2.3 กระบวนการทำให้แห้งเพื่อกำจัดน้ำออก [7]

การกำจัดน้ำออกนั้นสามารถนำตัวอย่างนั้นมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งเมื่อตัวอย่างผ่านกระบวนการทำให้แห้งแล้ว น้ำจะถูกกำจัดออกไปเหลือแต่โครงสร้างขุ่นซึ่งจะหดตัวลง จึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาค ดังนั้นโครงสร้างของขุ่นจึงทำให้เกิดรูพรุนระหว่างอนุภาคได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งในระยะเวลาสั้น [7]

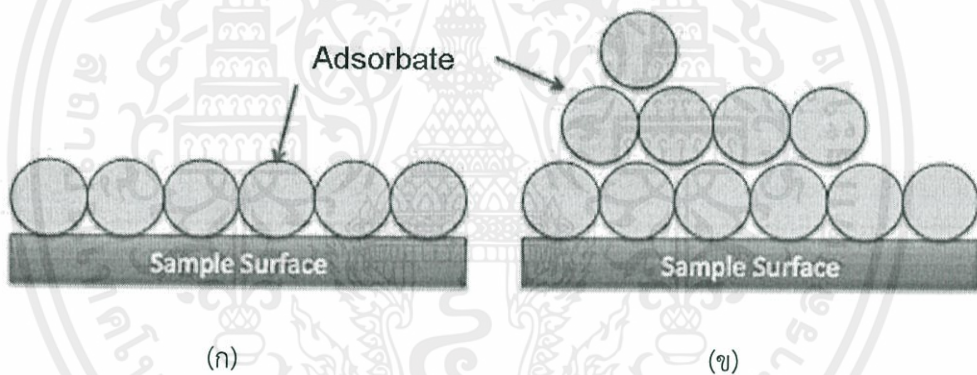
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งในเวลานานขึ้น [7]

2.3 การดูดซับ [9]

ปรากฏการณ์ที่ทำให้อนุภาคยึดติดกับผิวของสารดูดซับด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโดยไม่มีการรวมตัวของเนื้อสารระหว่างสารถูกดูดซับและสารดูดซับ ซึ่งการดูดซับจะเกิดแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.9

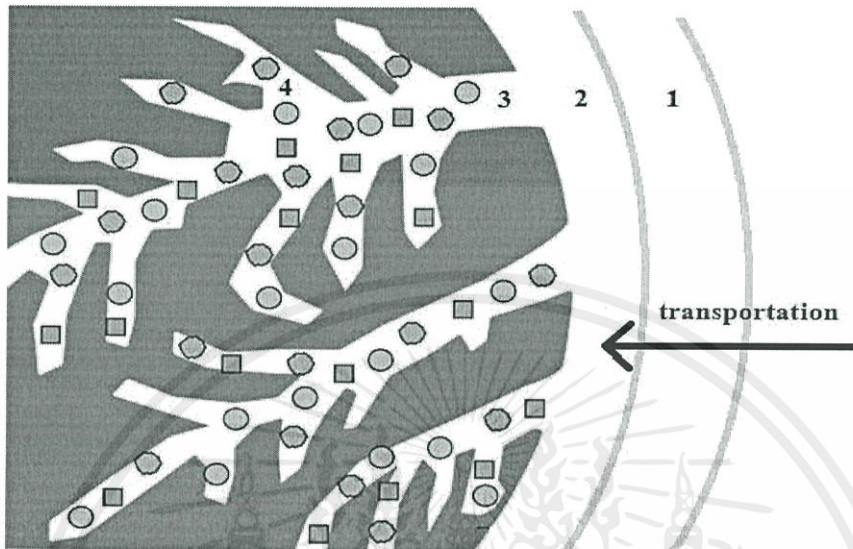


รูปที่ 2.9 (ก) การดูดซับแบบชั้นเดียว (ข) การดูดซับแบบหลายชั้น

การดูดซับเป็นการสะสมสารของวัสดุที่มีพื้นผิวสูงเกิดขึ้นที่สภาวะ 2 สภาวะใดๆ เช่น ผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง แต่ไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่ผิว หรือกระบวนการโพลิเมอร์ไรซ์เซชัน ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับ การตกตะกอนหรือเกิดกระบวนการโพลิเมอร์ไรซ์เซชัน ให้ใช้คำว่า ซอร์พชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กลไกการดูดซับ



รูปที่ 2.10 กลไกการดูดซับ

สำหรับกลไกการดูดซับนั้นจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

- 1) Bulk Transport เป็นขั้นตอนแรกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จาก Bulk Solution ไปยังผิวหน้าของฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ
- 2) External Diffusion or Film Diffusion การที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ข้ามผ่านฟิล์มน้ำ ไปยังพื้นผิวตัวดูดซับ
- 3) Intraparticle Diffusion or Pore Diffusion การที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านเข้าไปภายในรูพรุนของตัวดูดซับ
- 4) Adsorption เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่โมเลกุลของสารจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ [10]

สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับที่สำคัญ เช่น พื้นที่ผิว (surface area) ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ขนาดรูพรุน (Pore size) และการกระจายตัวของขนาดรูพรุน (Pore size distribution)

พื้นที่ผิว (Surface area) ของตัวดูดซับนั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถในการดูดซับของสาร การเพิ่มพื้นที่ผิวนั้นทำได้โดยการทำวัสดุให้พรุนโดยการทำให้เกิดโพรงเล็กๆ จำนวนมาก

ขนาดและจำนวนรูพรุน (Size and Number of Pores) สามารถบอกปริมาณพื้นที่ผิวภายในของตัวดูดซับ โดยตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวภายในสูงจะมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่อย่างหนาแน่น ซึ่งจะทำให้การกระจายตัวของตัวดูดซับสูง และขนาดของรูพรุนที่เลือกใช้ในการดูดซับจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับโมเลกุลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จึงทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับได้ดีที่สุด เนื่องจากขนาดของโพรงของตัวดูดซับมีความสำคัญต่อความสามารถในการดูดซับ ขนาดของรูพรุนแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

- 1) รูพรุนชนิดแมโครพอร์ (Macropore) เป็นกลุ่มที่มีขนาดของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร หรือรัศมีเฉลี่ยของรูพรุนใหญ่กว่า 25 นาโนเมตร
- 2) รูพรุนชนิดมีโซพอร์ (Mesopore) เป็นกลุ่มที่มีขนาดของรูพรุนระหว่าง 2 และ 50 นาโนเมตร หรือรัศมีเฉลี่ยของรูพรุนระหว่าง 1 และ 25 นาโนเมตร
- 3) รูพรุนชนิดไมโครพอร์ (Micropore) หรือรูพรุนระดับอะตอม เป็นกลุ่มที่มีขนาดของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร หรือรัศมีเฉลี่ยของรูพรุนน้อยกว่า 1 นาโนเมตร

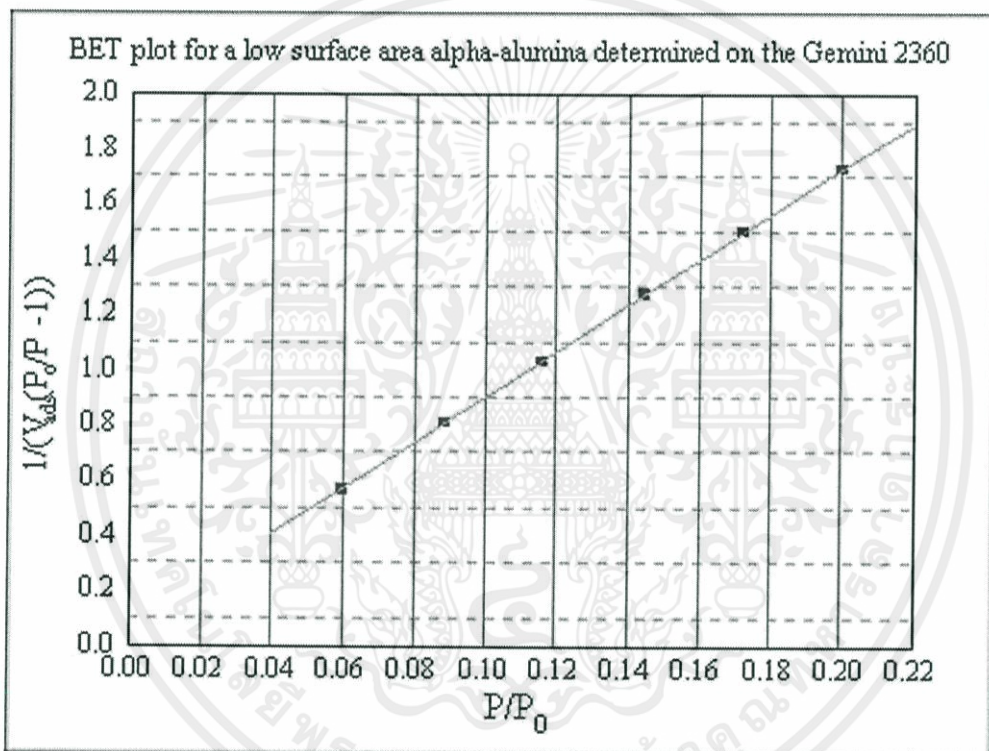
2.4 กระบวนการดูดซับก๊าซไนโตรเจน (BET Theory) [11]

ในปัจจุบันวิธีการหาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของวัสดุด้วยกันหลายวิธีแต่หนึ่งในวิธีที่ได้ผลแม่นยำและนิยมใช้กันมากที่สุดก็คือ “กระบวนการดูดซับแก๊สไนโตรเจน” เนื่องจากแก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยและกระบวนการทดสอบทำที่อุณหภูมิต่ำจึงมั่นใจได้ว่าตัวอย่างจะไม่ได้รับความเสียหายระหว่างทดสอบ (Non destructive test) ซึ่งกระบวนการนี้ถูกคิดค้นโดย บรูเนอร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ทั้งสามคนพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซับแบบโมโนเลเยอร์กับความดันสัมพัทธ์เป็นไปตาม “สมการของ BET” ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W \left[\frac{P_0}{P} - 1 \right]} = \frac{1}{W_M C} - \frac{C - 1}{W_M C} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- W คือ ปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ P/P_0
- W_m คือ ปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิววัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว
- P คือ ความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ขณะทำการทดลอง
- P_0 คือ ความดันอิ่มตัวของแก๊สไนโตรเจน
- C คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/W[(P_0/P)-1]$ กับ P/P_0

จากนั้นนำสมการ BET มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/W[(P_0/P)-1]$ กับ P/P_0 จะได้กราฟเส้นตรงแสดงใน รูปที่ 2.11 ซึ่งกราฟจะมีความชัน $s = \frac{C-1}{W_{MC}}$ และจะมีจุดตัดแกน y ที่ $y = \frac{1}{W_{MC}}$ จากนั้นนำค่าความชันและจุดตัดแกน y มาแก้สมการจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c = \frac{s}{y} + 1 \quad (2.5)$$

$$W_M = \frac{1}{s + y} \quad (2.6)$$

นำค่า W_M มาหาค่าพื้นที่ผิวของวัสดุตามสูตร

$$S_t = \frac{W_M N A_{cs}}{M} \quad (2.7)$$

S_t คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ (ตารางเมตร)

W_M คือ เลขอาโวกราโดร (6.023×10^{23} โมเลกุลต่อโมล)

M คือ มวลโมเลกุลของไนโตรเจน (28 กรัมต่อโมล)

A_{cs} คือ พื้นที่หน้าตัดโมเลกุลของไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (16.2×10^{-23} ตารางเมตร)

ปริมาตรรูพรุนรวม (V_p) และขนาดรูพรุนเฉลี่ย (\bar{r}) คำนวณได้จากความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$V_p = \frac{W_s}{\rho} \quad (2.8)$$

$$\bar{r} = \frac{2V_p}{S_t} \quad (2.9)$$

W_s คือ ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิววัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ $P/P_0 \approx 1$

ρ คือ ความหนาแน่นของไนโตรเจนที่ความดันสัมพัทธ์ $P/P_0 \approx 1$

V_p คือ ปริมาตรรวมของรูพรุน (ลูกบาศก์เมตร)

\bar{r} คือ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุน จะใช้เซลล์สำหรับใส่ ตัวอย่าง จำนวน 2 เซลล์ เซลล์หนึ่งบรรจุวัสดุตัวอย่างที่ต้องการทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ ส่วนอีกเซลล์ไม่ใส่วัสดุตัวอย่าง แต่ทำหน้าที่เป็นเซลล์อ้างอิง ก่อนการทดสอบต้องให้ความร้อนแก่เซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้น และโมเลกุลของสารดูดซับชนิดอื่นให้ออกจากผิวหน้าของวัสดุตัวอย่าง จากนั้นทำให้เซลล์ทั้งสองเป็นสุญญากาศ เพื่อให้ภายในเซลล์ไม่มีโมเลกุลของแก๊สชนิดอื่น ก่อนจุ่มเซลล์ทั้ง 2 ลงในภาชนะที่บรรจุไนโตรเจนเหลวเพื่อให้เซลล์ ทั้งสองอยู่ใน ภาวะอุณหภูมิต่ำจากนั้นผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์ทั้ง 2 เซลล์ โดยแก๊สไนโตรเจนที่เข้ามา ในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่าง จะถูกดูดซับบนผิวของวัสดุทำให้ความดันภายในเซลล์ที่บรรจุ วัสดุตัวอย่างลดลงจนกระทั่ง คงที่ (P) ในขณะที่เซลล์ที่ไม่มี วัสดุตัวอย่างความดันของแก๊สไนโตรเจนจะคงที่ (P_0) ข้อมูลที่เครื่องบันทึกผล คือค่าความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) และปริมาณของ แก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (W) โดยวัสดุตัวอย่าง จากนั้นเครื่อง จะปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้ามาอีกเช่นเดียวกับครั้งแรก และ แก๊สไนโตรเจนถูกดูดซับจนความดันคงที่อีกเป็นเช่นนี้ จนกระทั่ง ความดันภายในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่างไม่ลดลง ($P/P_0 \approx 1$) แสดงว่า ไม่เกิดการดูดซับแก๊สไนโตรเจนอีก แล้ว จากข้อมูลค่าความดันสัมพัทธ์และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ได้ เครื่องจะทำการประมวลผลโดย ใช้โปรแกรมตามสมการของ BET แสดงผล ออกมาเป็น ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุน



รูปที่ 2.12 เครื่องวิเคราะห์ขนาดและพื้นที่ผิวจำเพาะ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ [13]

ในสภาวะสมดุลของการดูดซับนั้นจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการถูกดูดซับเท่ากับอัตราการหลุดออกจากผิวของตัวถูกดูดซับ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นเส้นที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับในตัวดูดซับ และปริมาณตัวถูกดูดซับที่ยังไม่ถูกดูดซับซึ่งอาจแสดงอยู่ในรูป ความเข้มข้น ความดัน หรืออาจแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นตามจุดมุ่งหมายของผู้ศึกษาความสัมพันธ์นั้นๆ ซึ่งทุกจุดบนกราฟล้วนเป็นสภาวะสมดุลต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิเท่ากันทั้งสิ้น โดยทั่วไปแล้วจะมีสมการที่ใช้อธิบายดังนี้ สมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ โดยมีสมมติฐานคือ มีการดูดซับแบบชั้นเดียว โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งดูดซับที่แน่นอน ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น

$$q_e = \frac{q_0 b C_e}{1 + C_e} \quad (2.10)$$

- q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักต่อตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล
- C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
- q_0 คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับที่เกิดจากการปกคลุมพื้นผิวแบบชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์
- b คือ ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

สมการไอโซเทอร์มของฟรอยด์ลิค โดยมีสมมติฐานคือ มีการดูดซับแบบหลายชั้น โดยปริมาณการดูดซับจะขึ้นกับค่าความเข้มข้น และใช้ไม่ได้ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูง

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (2.11)$$

- q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักต่อตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล
- C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
- k_f, n คือ ค่าคงที่ฟรอยด์ลิคที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bai Hai-Xin และคณะ [2] ได้ศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล แคลเซียมออกไซด์ในรูปไมโครสเฟียร์ถูกสังเคราะห์โดยการเผาแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งพบว่าสารตั้งต้น คือ แคลเซียมคลอไรด์และโซเดียมคาร์บอเนต โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการผสม Na_2CO_3 0.33 โมลต่อลิตร และ CaCl_2 0.33 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้องกวนด้วยเครื่องกวนประมาณ 30 วินาที หลังจากนั้นปล่อยให้ทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอน ล้างด้วยน้ำเปล่าและอะซิโตน 3 ครั้งและปล่อยให้แห้ง นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อเปลี่ยนจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ ดังปฏิกิริยาที่ (2.13)

จากการตรวจสอบด้วย Nitrogen Adsorption-Desorption Analysis พบว่าขนาดของรูพรุนของแคลเซียมออกไซด์นั้น มีขนาด 15-100 นาโนเมตร พื้นที่ผิวสูงถึง 5.3 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนทั้งหมด 0.0249 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

Jingfang Zhou และคณะ [14] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำปูนมาเป็นแม่แบบในการก่อรูปให้เป็นโครงสร้างของโลหะออกไซด์ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น โดยใช้ปูนที่มีความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต้มในน้ำ หลังจากนั้นนำไปใส่ในแม่แบบเพื่อพิมพ์ให้เป็นรูปร่าง และนำโลหะออกไซด์ใส่ลงไปปูน เพื่อให้เกิดการแพร่ของสารละลายสู่รู ทิ้งไว้ประมาณ 16 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดปูนและเกิดการตกผลึกของโลหะออกไซด์

จากบทวิจัยนี้ การสังเคราะห์ครั้งนี้สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวจาก 28 เป็น 66 ตารางเมตรต่อกรัม

Michael Sommer และคณะ [7] ได้ศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างในการผลิตคาร์บอนโดยการเพิ่มความเข้มข้นของปูน อีกทั้งความแข็งแรงของปูนจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเติมโพแทสเซียมเตตระโบเรตลงในสารละลาย และเมื่ออบให้แห้งพบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างนี้เพิ่มขึ้นจาก 60% เป็น 83%

วัลย์รัตน์ จันทรอัมพร และคณะ [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งมาสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียผลการทดลองแสดงว่าเมื่อเปลือกหอยนางรมถูกเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อยที่อุณหภูมิสูง (>873 เคลวิน) แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยนางรมจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ โดยชนิดของแก๊สและอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและค่าความจุฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้ ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ หรือ ฟรุนดลิช ทั้งนี้ค่าคงที่ในแบบจำลองขึ้นกับสภาวะที่ทำการสังเคราะห์ วัสดุดูดซับที่มีค่าความจุฟอสเฟตสูงเตรียมได้จากการเผาเปลือกหอยนางรมภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่ 873 เคลวิน โดยมีค่าเท่ากับ 583.5 มิลลิกรัมของฟอสเฟตต่อกรัม

Aminu H. Isa และคณะ [16] ได้ศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากขอล้กที่มาจาก Adamawa เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นตัวเร่งนั้น ซึ่งการทดลอง คือ นำขอล้กที่มีส่วนผสมเป็นแคลเซียมส่วนใหญ่และมีส่วนประกอบของแมกนีเซียม สังกะสี เป็นส่วนน้อย หลังจากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 700, 900, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาตรวจสอบด้วย BET พบว่ามีพื้นที่ผิว 3.04, 4.31, 9.73, 8.36 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

Kornkanok และคณะ [17] ได้ศึกษากระบวนการอิธานโอไลซิสของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่ง โดยได้ทำการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วิธีการเตรียมตัวเร่ง (แคลเซียมออกไซด์)

ชื่อตัวอย่าง	การอบ		การเผา	
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)
CaO*	-	-	800	24
CaO*จากหินปูน	-	-	800	24
Ca(OH) ₂	-	-	800	24
3.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Ca(OH) ₂ /CaO*	100	12	800	24
9.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ Ca(OH) ₂ /CaO*	100	12	800	24
Ca(OH) ₂ การค้า	-	-	-	-
CaO การค้า	-	-	-	-

สำหรับตัวอย่างที่ 1-3 คือตัวเร่งที่อยู่ในรูปของแคลเซียมออกไซด์ที่เผาแล้ว หินปูนและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่ 4-5 คือตัวเร่งที่ได้รับความชื้นและมีการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ คือ 3.7 และ 9.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวอย่างที่เตรียมได้นั้นนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสตลอดคืน หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สุดท้ายตัวอย่างที่ 6-7 นั้นเป็นตัวเร่งที่อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมออกไซด์การค้า จากการตรวจสอบด้วยวิธีบีอีที พบว่าพื้นที่ผิวนั้นอยู่ในช่วง 2-8 ตารางเมตรต่อกรัม ดังตารางที่ 2.2

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและข้อมูลอื่นๆ

Catalyst	Total surface area ^a (m ² /g)	Pore volume ^a (cm ³ /g)	Average pore diameter ^a (nm)	Crystallite size ^b (nm)		Base sites ^c (mmole/g)
				CaO	Ca(OH) ₂	
CaO*	2.4	0.006	10	39	0	1,129
CaO* from limestone	5.9	0.016	11	33	15	2,966
Ca(OH) ₂ *	6.2	0.019	13	36	0	2,868
[3.7 wt% Ca(OH) ₂ /CaO]*	7.4	0.027	14	37	19	2,590
[9.3 wt% Ca(OH) ₂ /CaO]*	6.2	0.021	14	38	40	3,145
commercial Ca(OH) ₂	5.5	0.020	15	0	36	10,611

Thongthai Witoon [18] ได้ศึกษาลักษณะของแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่ที่เหลือทิ้ง และการนำไปเป็นตัวดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยนำเปลือกไข่ที่เก็บมาจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หลังจากนั้นนำมาล้างเพื่อนำสิ่งสกปรกออก นำตัวอย่างที่ได้นั้นไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และสุดท้ายนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วยแก๊สไนโตรเจน จากตารางที่ 2.3 พบว่าพื้นที่ผิวของแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผานั้นมีขนาด 13.45 ตารางเมตรต่อกรัม

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของแคลเซียมออกไซด์

Sample ^a	BET surface area (m ² /g)	Mesopore volume (cm ³ /g)	Macropore volume (cm ³ /g)	CaO crystallite size (nm)
DES	0.05	0.001	0.007	—
CES	13.45	0.007	0.021	44.3
CCA	19.04	0.030	0.001	102.1

^a Dried eggshell, calcined eggshell and calcined commercially available CaCO₃ are designated as DES, CES and CCA, respectively.

Atsushi และคณะ [19] ได้ศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้แคลเซียมออกไซด์ในการย่อยสลายไนตรัสออกไซด์ ซึ่งได้มีการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยตัวอย่างที่เตรียม นั้นเผา ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ตามตารางที่ 2.4 ภายใต้แก๊สฮีเลียม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 พื้นที่ผิวของแคลเซียมออกไซด์จากวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ต่างกัน

No.	Source material	Calcination temp./K	BET surface area/m ² g ⁻¹
1	CaCO ₃	1373	32.2
2	CaCO ₃	1173	32.7
3	CaCO ₃	1173	28.1
4	Ca(OH) ₂	1173	20.7
5	Ca(OH) ₂	1273	6.1
6	Ca(OH) ₂	1273	3.4
7	CaCO ₃ → Ca(OH) ₂ ^a	1173	24.0

จากตารางพบว่า พื้นที่ผิวของแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากแคลเซียมไฮดรอกไซด์นั้น มีพื้นที่ผิวประมาณ 6-20 ตารางเมตรต่อกรัม

Lietitia และคณะ [20] ได้ศึกษาการปรับปรุงตัวดูดซับแคลเซียมออกไซด์เพื่อนำไปดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากหินปูนที่มาจากธรรมชาติ หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นตัวพา โดยเผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากการตรวจสอบพบว่า มีพื้นที่ผิว 7.2 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรของรูพรุน 1.75 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานหรือวิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมสารตัวอย่างจากวัน

3.1.1 สารเคมี

- 1) ผงวันยี่ห้อโทรศัพท์
- 2) แคลเซียมคลอไรด์เกรดการค้า
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดการค้า
- 4) กรดไฮโดรคลอริกเกรดทดลอง 37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- 5) น้ำกลั่น

3.1.2 อุปกรณ์

- | | | |
|---|---|---------|
| 1) เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดนิยม 4 ตำแหน่ง | 1 | เครื่อง |
| 2) บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร | 2 | ใบ |
| 3) กระจกนาฬิกา | 6 | อัน |
| 4) แท่งแก้วคน | 2 | ใบ |
| 5) ถ้วยแก้วใช้เป็นแม่พิมพ์ | 6 | ใบ |
| 6) เทอร์โมมิเตอร์ | 1 | อัน |
| 7) หลอดดูดน้ำ | 2 | หลอด |
| 8) เตาให้ความร้อน | 1 | เตา |
| 9) ตู้อบ | 1 | ตู้ |
| 10) เครื่องวิเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน | 1 | เครื่อง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 วิธีการทดลอง

3.1.3.1 การเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

- 1) นำแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 300 กรัม มาอบแห้งแบบลดความดันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 0.4 บาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
- 2) ชั่งแคลเซียมคลอไรด์ 222 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร
- 3) นำสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้จำนวน 250 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

3.1.3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- 1) นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 120 กรัม มาอบแห้งแบบลดความดันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 0.6 ทอร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
- 2) ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ดูดความชื้นได้เร็วมากจึงต้องนำไปเทหตรกับกรดไฮโดรคลอริก เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอน (จากการเตรียมครั้งนี้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 1.86 โมลต่อลิตร)

3.1.3.3 การเตรียมตัวอย่าง

- 1) นำสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้ (1 โมลต่อลิตร) ปริมาณ 30 มิลลิลิตร เทใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งวุ้น (1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เทใส่ในสารละลาย
- 3) ต้มสารละลายจนกระทั่งมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- 4) เทสารละลายลงในถ้วยแก้วที่เตรียมไว้เป็นแม่พิมพ์
- 5) รอจนกระทั่งตัวอย่างแข็งตัว
- 6) นำหลอดมาตัดวุ้นให้เป็นแท่งทรงกระบอก

- 7) นำวุ้นมาใส่ในขวดแก้วที่เตรียมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

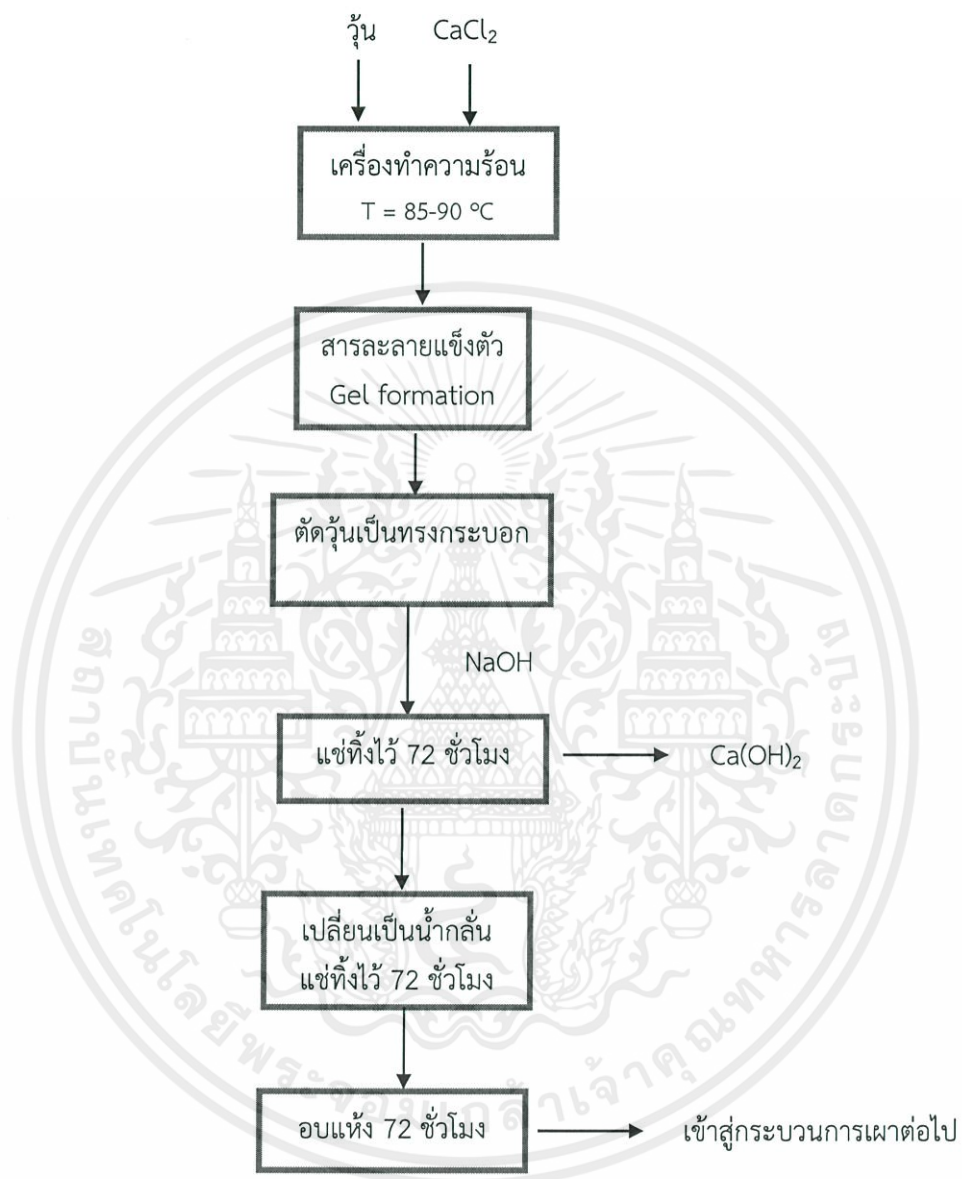
- 8) เทสสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในวุ้นที่อยู่ในขวดแก้ว
- 9) แช่ตัวอย่างไว้ในสารละลายไว้ 72 ชั่วโมง
- 10) เปลี่ยนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นน้ำกลั่นเพื่อล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 11) แช่ตัวอย่างไว้ในน้ำกลั่นไว้ 72 ชั่วโมง
- 12) นำตัวอย่างมาวางบนกระจกนาฬิกา นำเข้าเตาอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
- 13) นำตัวอย่างที่ได้ไปเผา
- 14) ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้นตามลำดับ

จากการเตรียมสารตัวอย่าง สามารถปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และความเข้มข้นของวุ้นได้ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเตรียมสารตัวอย่างโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสาร

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมทรอไซด์ (โมลต่อลิตร)	ความเข้มข้นของวุ้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
1	1	1
2	1	1.5
3	1	2
4	2	1
5	2	1.5
6	2	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังสำหรับกระบวนการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อเข้าสู่กระบวนการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเผาสารตัวอย่าง (Calcination process)

3.2.1 สารเคมี

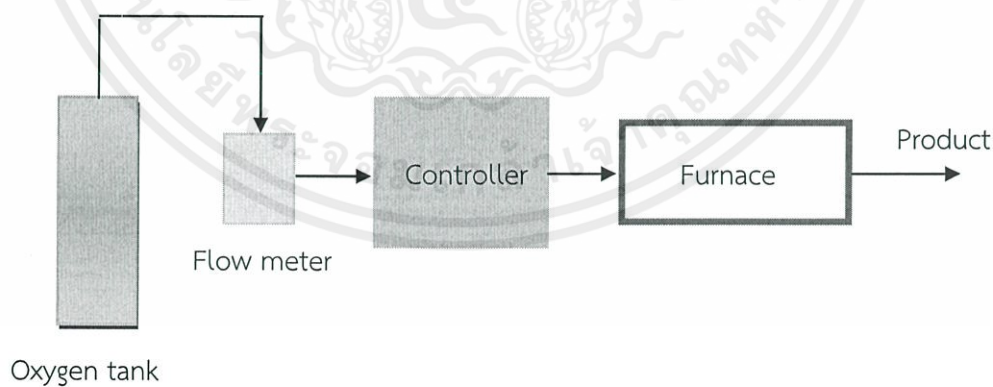
- 1) ตัวอย่างที่เตรียมไว้

3.2.2 อุปกรณ์

- 1) ถังแก๊สออกซิเจน
- 2) เตาเผา
- 3) ภาชนะสำหรับการเผา
- 4) ชุดควบคุม

3.2.3 วิธีการทดลอง

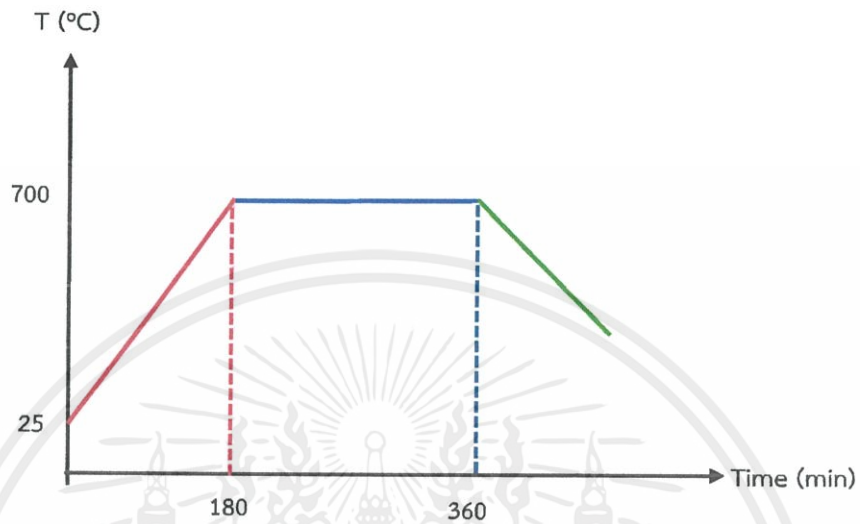
- 1) นำวุ้นที่ผ่านการอบมาใส่ในภาชนะสำหรับเผา
- 2) นำไปเผาในเตาเผาภายใต้บรรยากาศออกซิเจน โดยใช้อัตราการป้อนแก๊สออกซิเจนเข้าสู่เตาเผา 50 มิลลิลิตรต่อนาที
- 3) ตั้งอุณหภูมิในการเผาที่ชุดควบคุม
- 4) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาบรรจุในขวดที่กันความชื้นเพื่อรอการตรวจสอบต่อไป



รูปที่ 3.2 กระบวนการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ขั้นตอนของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแคลซิเนชัน



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกระบวนการแคลซิเนชัน

จากรูปที่ 3.3 เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแคลซิเนชัน ซึ่งจะเริ่มจากการเผาที่อุณหภูมิห้องค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปจนถึง 700 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3.89 องศาเซลเซียสต่อนาที (ใช้เวลาทั้งหมด 180 นาที) จากนั้นคงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ต่ออีก 180 นาที สุดท้ายระบบจะปิดเพื่อปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นลงเองตามธรรมชาติ ซึ่งใช้เวลาโดยประมาณ 90 นาที (1 ½ ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองเบื้องต้น

4.1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจากการตรวจสอบด้วยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน

โครงการนี้ได้ทำการทดลองโดยการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับโครงสร้าง จากการตรวจสอบตัวอย่างด้วยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนทั้งหมดและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

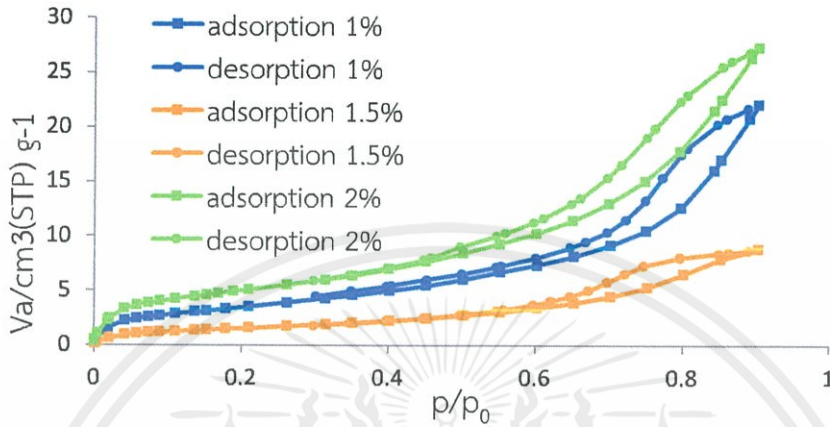
ชื่อตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ (โมลต่อลิตร)	ความเข้มข้นของวุ้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (ลบ.ซม.ต่อกรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (นาโนเมตร)
1A	1	1	13.22	0.0341	10.30
1B	1	1.5	5.97	0.0136	9.14
1C	1	2	18.43	0.0422	9.16
2A	2	1	14.13	0.0312	8.83
2B	2	1.5	11.13	0.0265	9.52
2C	2	2	13.54	0.0310	9.16

จากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงถึงพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนทั้งหมดและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสารที่สังเคราะห์ได้นั้น พบว่าพื้นที่ผิวของแคลเซียมออกไซด์นั้นมีค่าประมาณ 6-18 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรของรูพรุนประมาณ 0.01-0.04 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 9-10 นาโนเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าตัวอย่างที่ 1C ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้นมีพื้นที่ผิวมากที่สุด คือ 18.43 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด 0.0422 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย คือ 9.16 นาโนเมตร

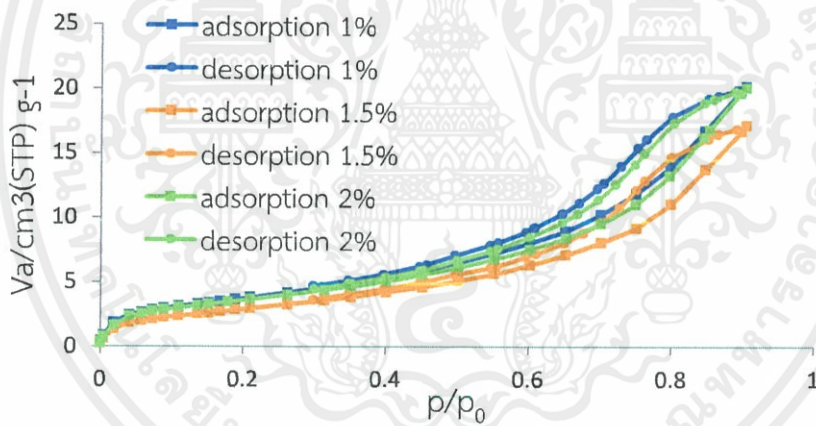
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้น

4.2.1 การวิเคราะห์กราฟไอโซเทอร์มจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้น



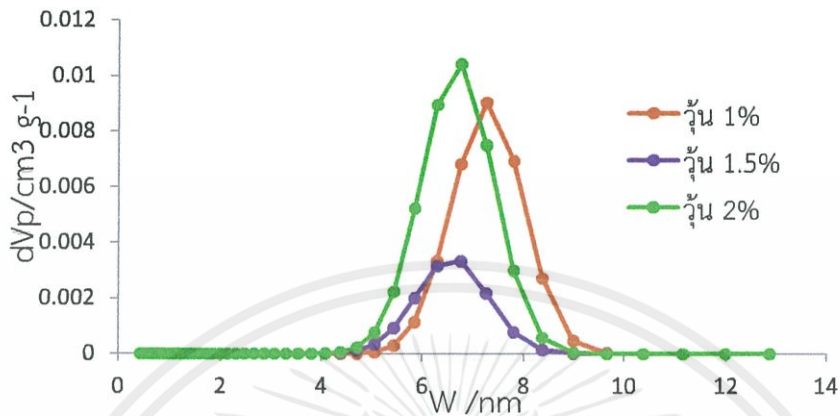
รูปที่ 4.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร



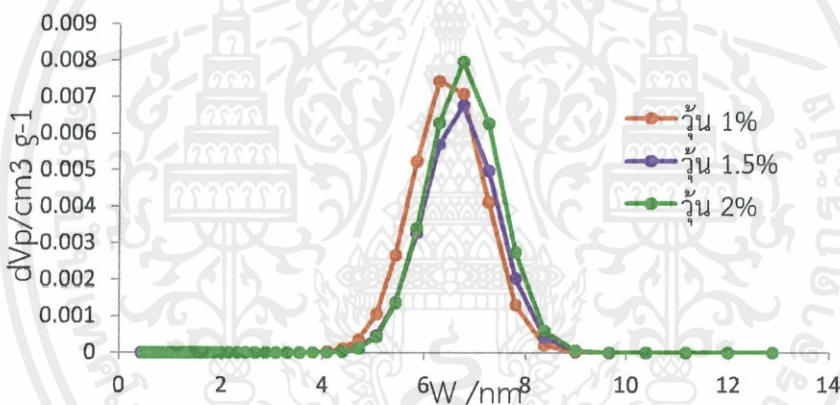
รูปที่ 4.2 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของแก๊สไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 และ 2 โมลต่อลิตร พบว่าการดูดซับแก๊สไนโตรเจนที่ความดันย่อยสูงๆ นั้นจะมีรูพรุนแบบมีโซเพอร์ค่อนข้างชัดเจน แต่เมื่อใช้การดูดซับที่ความดันย่อยต่ำๆ จะพบรูพรุนแบบไมโครพอร์ น้อยมาก จากรูป 4.2 ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร การเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้นนั้น จะสังเกตเห็นได้ว่ากราฟไอโซเทอร์มนั้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร การสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์นั้นไม่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้เมื่อทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้น ไม่ว่าจะเพิ่มหรือลดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของรูพรุนจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้น



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของรูพรุนที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของรูพรุนที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร

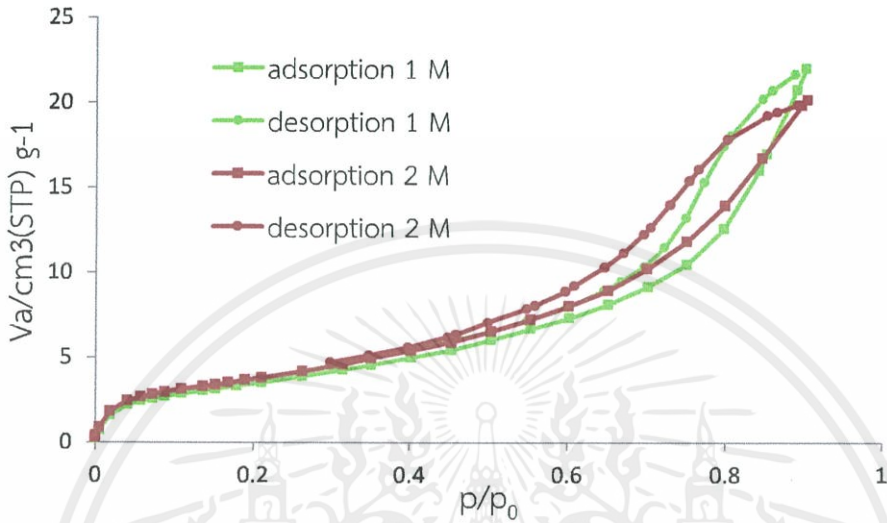
จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวของรูพรุนที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 และ 2 โมลต่อลิตร พบว่าจากรูปที่ 4.3 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้นจะมีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน แต่เนื่องจากที่ความเข้มข้นของวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีข้อผิดพลาด อาจเกิดจากการเตรียมตัวอย่างหรือการตรวจสอบ จึงไม่นำมาร่วมวิเคราะห์ผลในครั้งนี้ และจากรูป 4.4 พบว่าถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของวุ้นก็ตาม แต่ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของรูพรุนและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตรมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและการกระจายตัวของรูพรุนโดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของวุ้นได้มากกว่าที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร

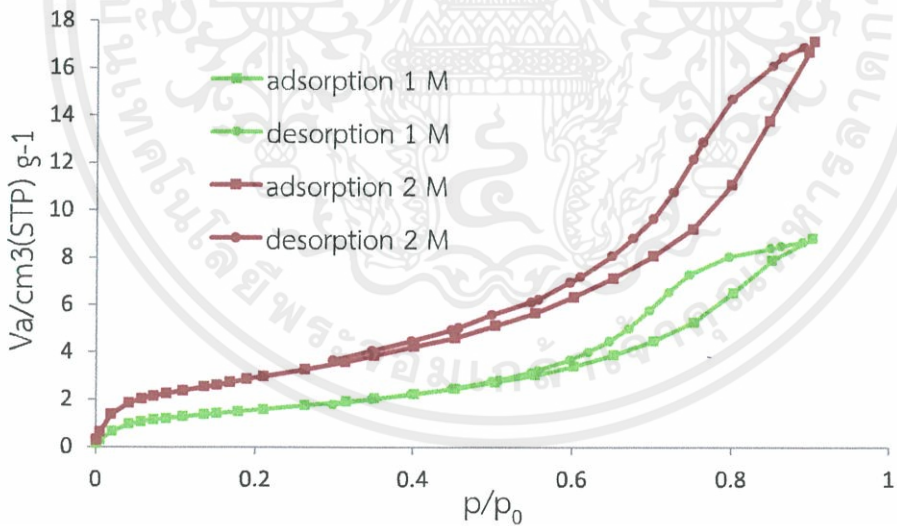
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

4.3.1 การวิเคราะห์กราฟไอโซเทอร์มจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

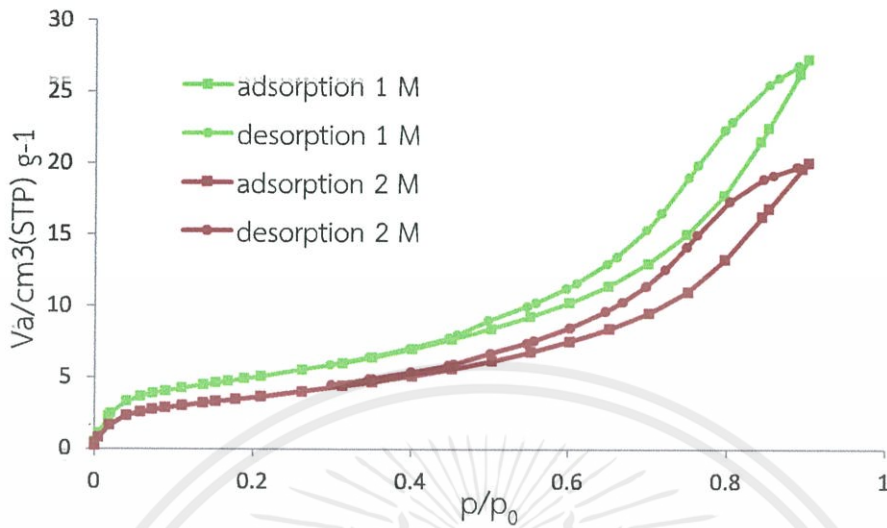


รูปที่ 4.5 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของวุ้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.6 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับที่ความเข้มข้นของวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

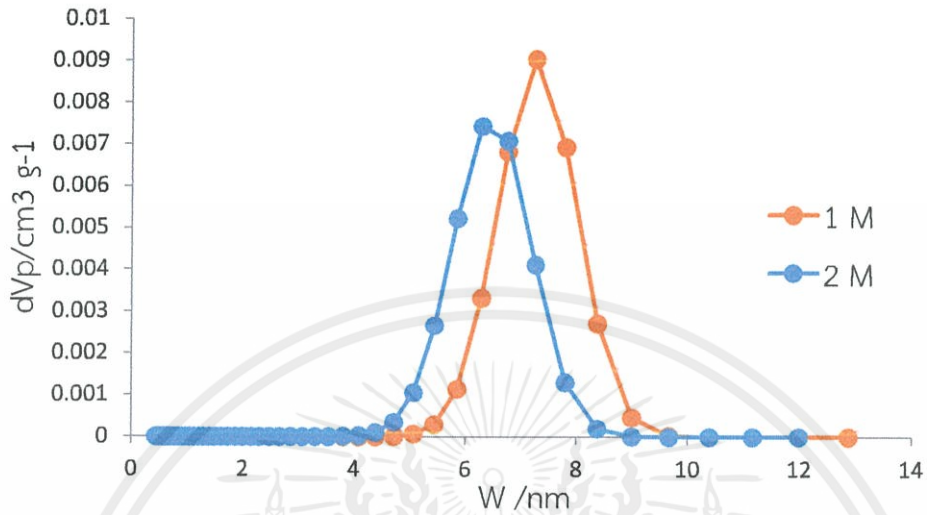


รูปที่ 4.7 กราฟไอโซเทอรัมของการดูดซับและการคายซับที่ความชื้นของวัน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

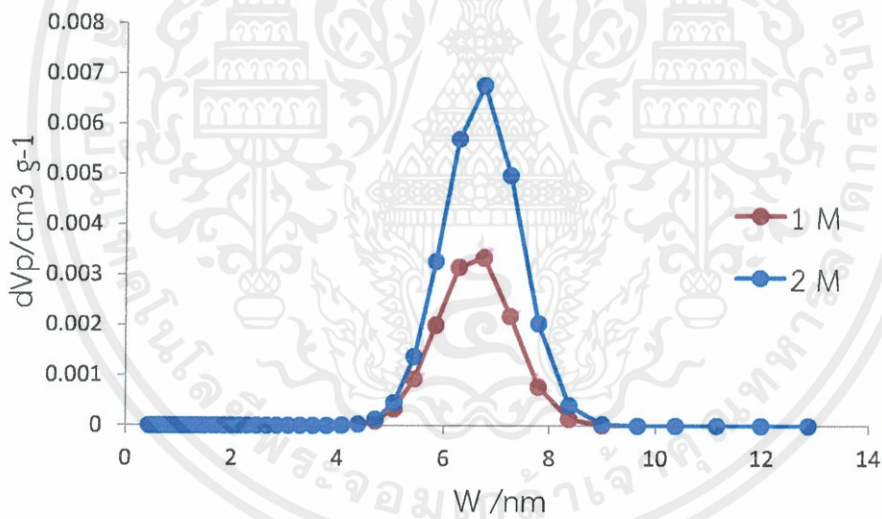
จากรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 แสดงถึงกราฟไอโซเทอรัมของการดูดซับและการคายซับที่ความชื้นของวัน 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าความชื้นของแคลเซียมคลอไรด์มีผลต่อโครงสร้างของตัวอย่างเมื่อตัวอย่างนั้นมีความชื้นของวัน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับรูปที่ 4.6 ไม่นำมาวิเคราะห์เนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดจากการเตรียมหรือการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของรูพรุนจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

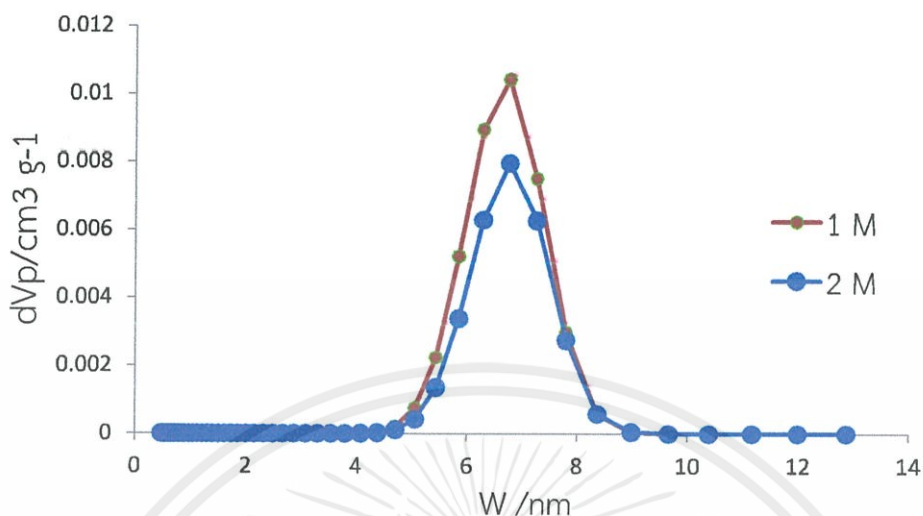


รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของรูพรุน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของรูพรุน 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของรูพรุน 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวของรูพรุนที่ความเข้มข้นของวุ้น 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก พบว่า ที่ความเข้มข้นของวุ้น 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เมื่อปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์จาก 1 เป็น 2 โมลต่อลิตร พบว่าสามารถที่จะควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและการกระจายตัวของรูพรุนได้ ดังรูปที่ 4.8 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวุ้นเป็น 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์นั้นแทบจะไม่มีผลต่อการกระจายตัวของรูพรุนเลย ดังนั้นจึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์ได้ ดังรูปที่ 4.10 สำหรับรูปที่ 4.9 นั้น ที่ความเข้มข้นของวุ้น 1.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักและความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตรนั้น ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นของวุ้นต่ำๆมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมโครงสร้างได้ โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปรียบเทียบพื้นที่ผิวระหว่างงานวิจัยอื่นและงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.2 สารที่ใช้ในการเตรียม สภาวะในการเผา และพื้นที่ผิวที่ได้

สารที่ใช้ในการเตรียม	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)
งานวิจัยอื่น			
CaCl ₂ + Na ₂ CO ₃	1,000	2	5.30
ซอสก์ จาก Adamawa	700	-	3.04
	900	-	4.31
เปลือกไข่	900	1	13.45
Ca(OH) ₂	1,000	2	6.10
Natural limestone	850	3	7.20
TiO ₂ + วัณ 0.5 %wt	450	10	28.00
TiO ₂ + วัณ 5 %wt	450	10	66.00
งานวิจัยครั้งนี้			
CaCl ₂ + NaOH + วัณ	700	3	5.97-18.43

จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงสารที่ใช้ในการเตรียม สภาวะในการเผาและพื้นที่ผิวที่ได้ จากงานวิจัยที่กล่าวมานั้น พบว่าสารตั้งต้นที่ใช้ใช้นำมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ พื้นที่ผิวที่ได้ขึ้นอยู่กับประมาณ 5.30-13.45 ตารางเมตรต่อกรัม และสำหรับการนำวัณมาใช้เป็นแม่แบบกับโลหะออกไซด์ นั่นคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์นั้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของวัณ 0.5 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าพื้นที่ผิวที่ได้ นั้น คือ 28 และ 66 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1 และ 2 โมลต่อลิตรผสมอยู่ในวัณที่ความเข้มข้น 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อให้เกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าพื้นที่ผิวที่ได้ขึ้นอยู่กับประมาณ 6-18 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับพื้นที่ผิวที่ได้มากที่สุด คือ 18.43 ตารางเมตรต่อกรัม นั้น มาจากความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวัณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งยังถือได้ว่าพื้นที่ผิวที่ได้ นั้นมากกว่างานวิจัยอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์โดยใช้วันเป็นแม่แบบเพื่อปรับปรุงโครงสร้างให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น โดยเตรียมตัวอย่างจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 และ 2 โมลต่อลิตร ผสมกับวันที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปแช่กับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพื่อให้เกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และแช่ด้วยน้ำกลั่นอีก 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์

จากการทดลองโดยเปลี่ยนตัวแปร คือความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์และความเข้มข้นของวัน เมื่อทำการตรวจสอบด้วยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจนพบว่า พื้นที่ผิวที่ได้อยู่ที่ประมาณ 5-18 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนทั้งหมดประมาณ 0.02-0.04 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยประมาณ 8-10 นาโนเมตร นอกจากนี้เมื่อศึกษากราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับ และการกระจายตัวของรูพรุน พบว่าถ้าต้องการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวอย่าง ควรใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์น้อยและความเข้มข้นของวันมาก แต่ถ้าต้องการควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนหรือการกระจายตัวของรูพรุนแล้ว ควรใช้ความเข้มข้นของวันน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองครั้งนี้ควรควบคุมกระบวนการทำแห้งจากการใช้เตาอบธรรมดาเป็นวิธีอื่น เพื่อป้องกันการหดตัวของตัวอย่าง
2. สำหรับตัวอย่าง 1B นั้นจำเป็นต้องทำการทดลองและตรวจสอบอีกครั้งเพื่อความแม่นยำ เนื่องจากพื้นที่ผิวที่ได้มีค่าแตกต่างจากตัวอย่างอื่นมาก ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดระหว่างเตรียมสารหรือการตรวจสอบ
3. การที่จะควบคุมพื้นที่ผิวและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนสามารถปรับค่าได้ต่อเมื่อใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ต่ำ และความเข้มข้นของวันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



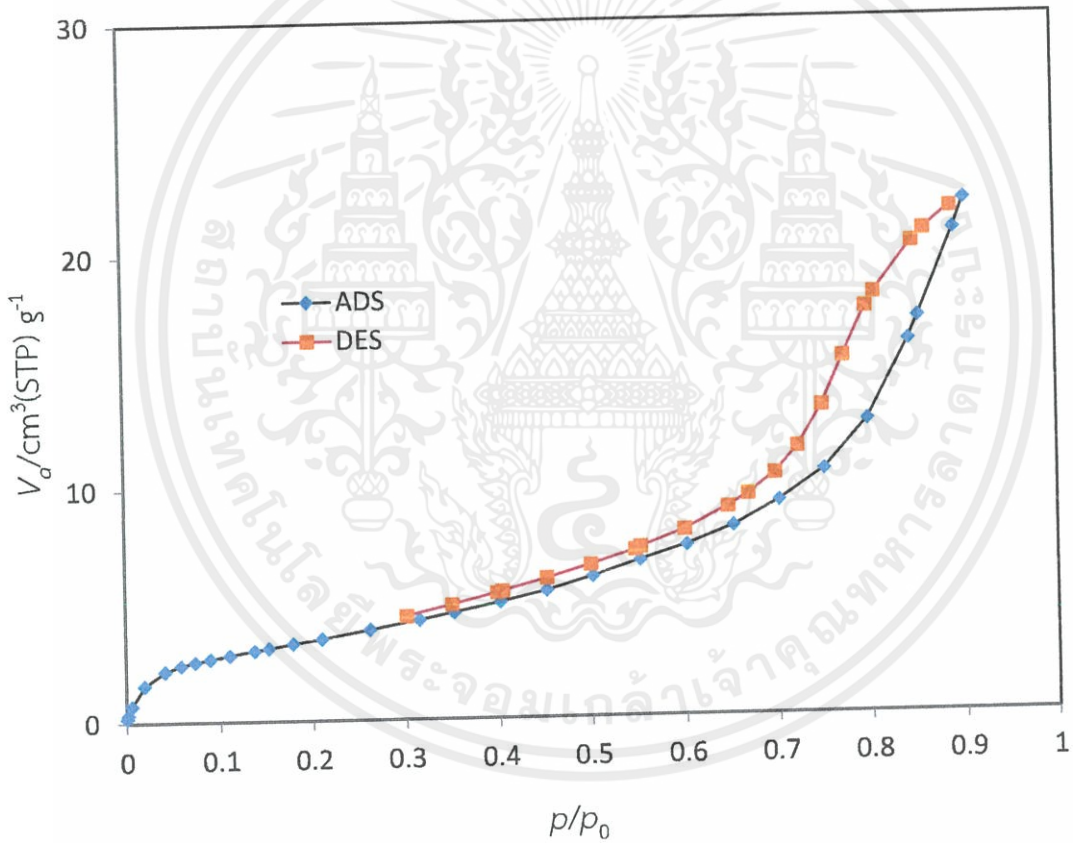
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบที่เกี่ยวข้องกับวิธีบีบอัด

ก.1 ตัวอย่างที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

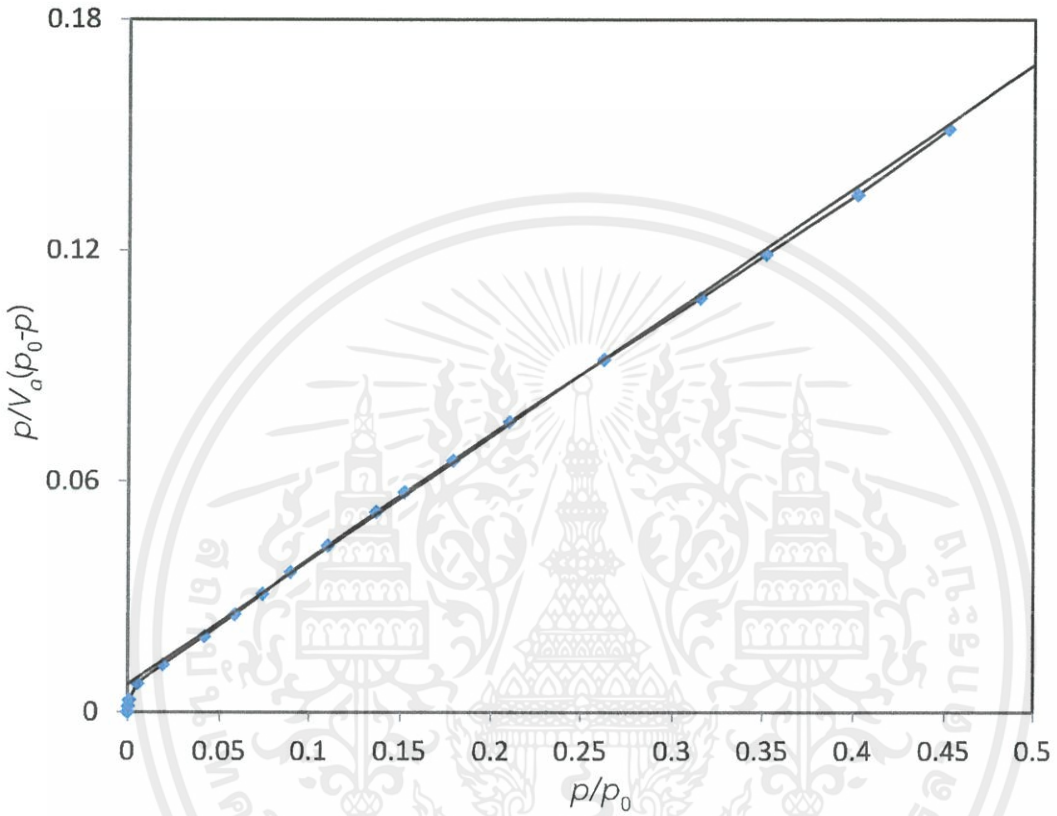
ก.1.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ก.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 1

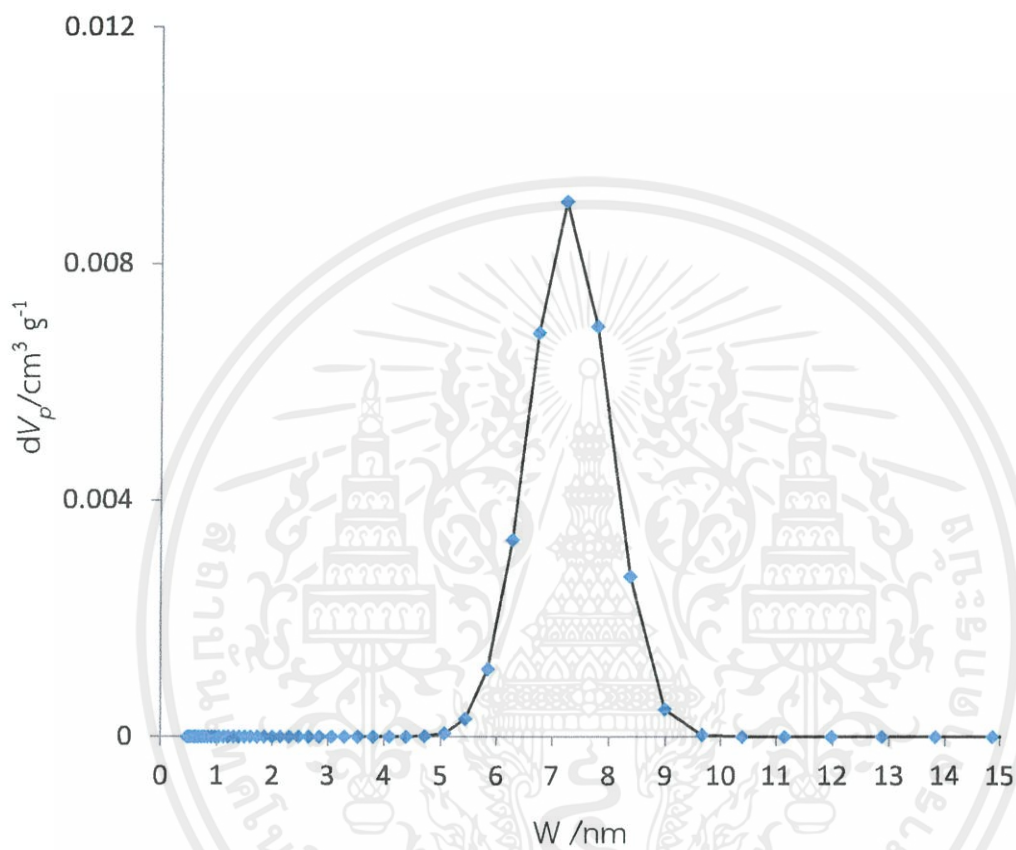
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.2 กราฟป๊อ์ทึของตัวอย่างที่ 1

รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.3 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 1

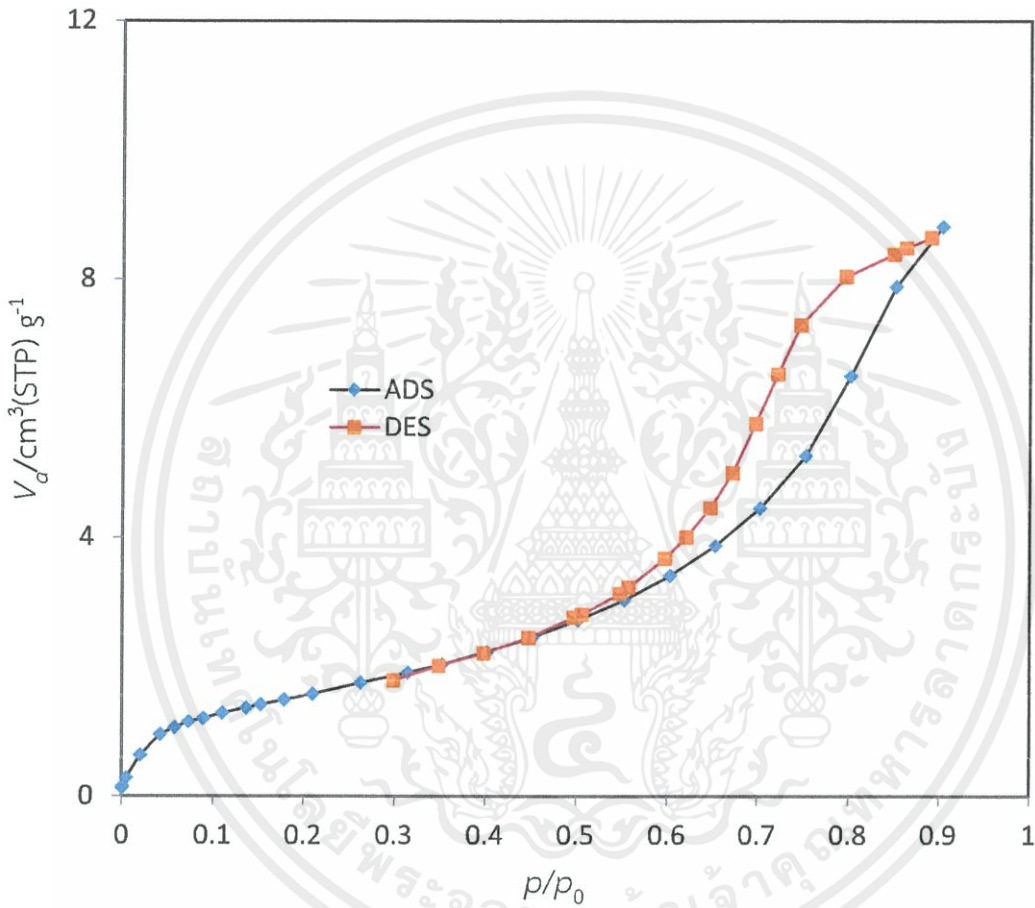


รูปที่ ก.3 การกระจายของรูพรุนของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 ตัวอย่างที่ 2 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

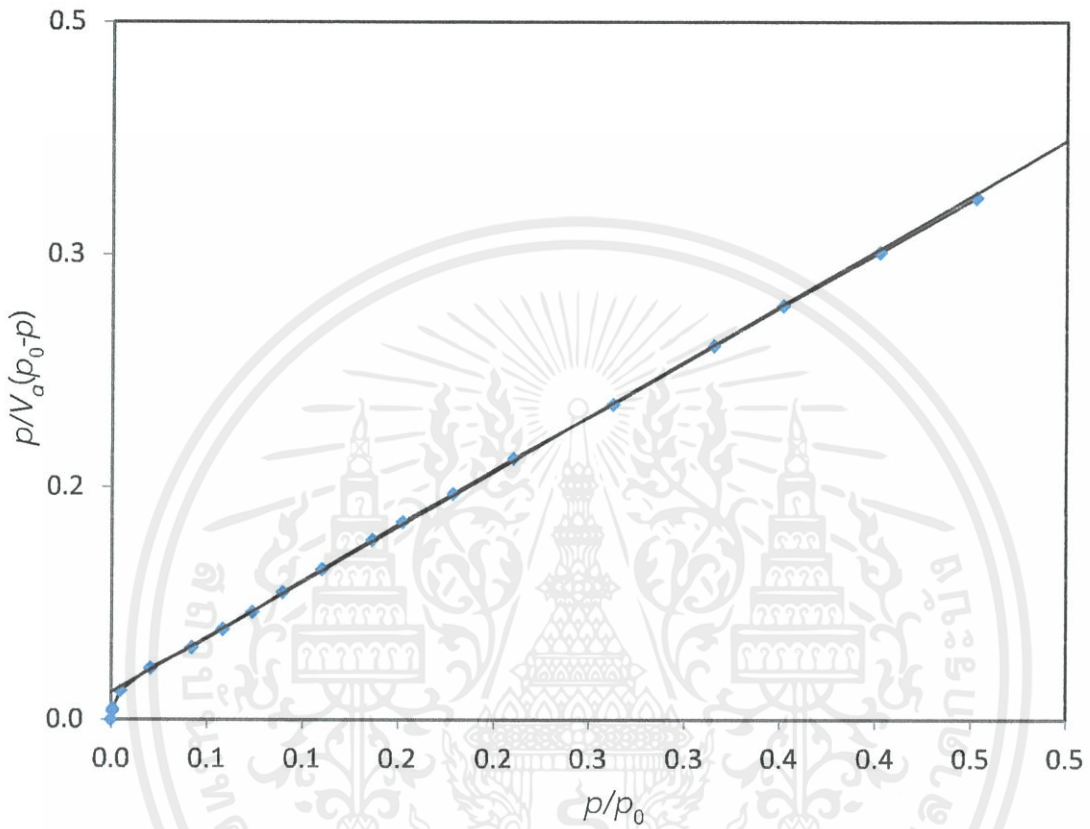
ก.2.1 กราฟไอโซกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 2



รูปที่ ก.4 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 2

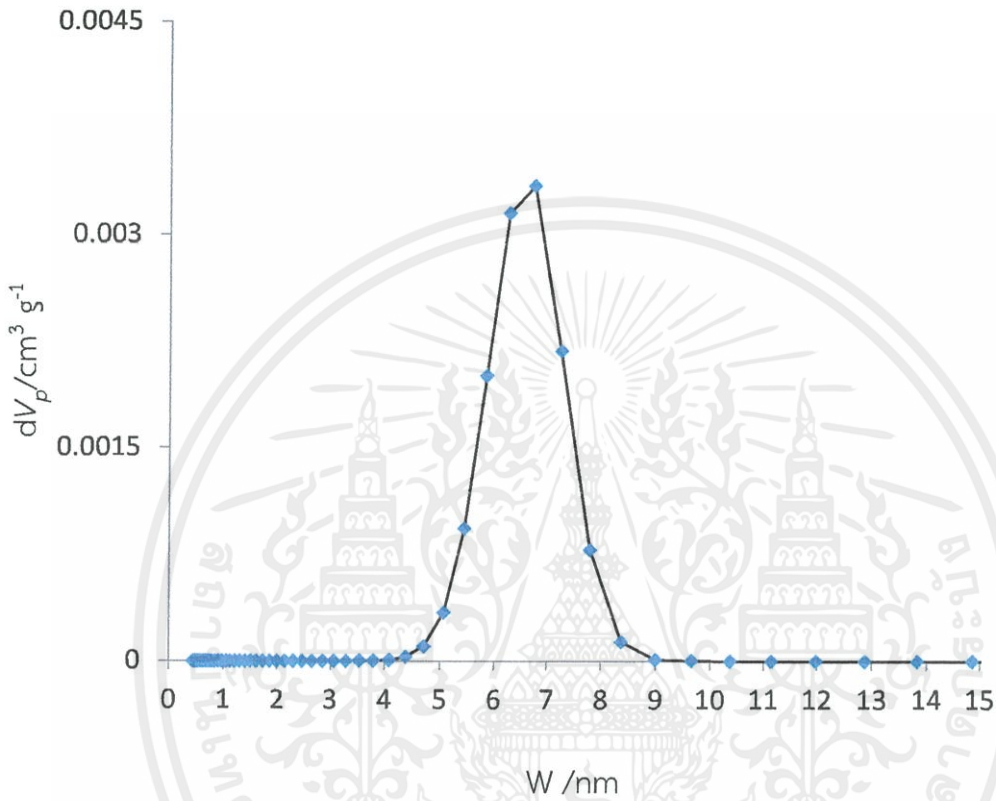
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.2 กราฟบีบี่ทึของตัวอย่างที่ 2

รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2.3 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 2

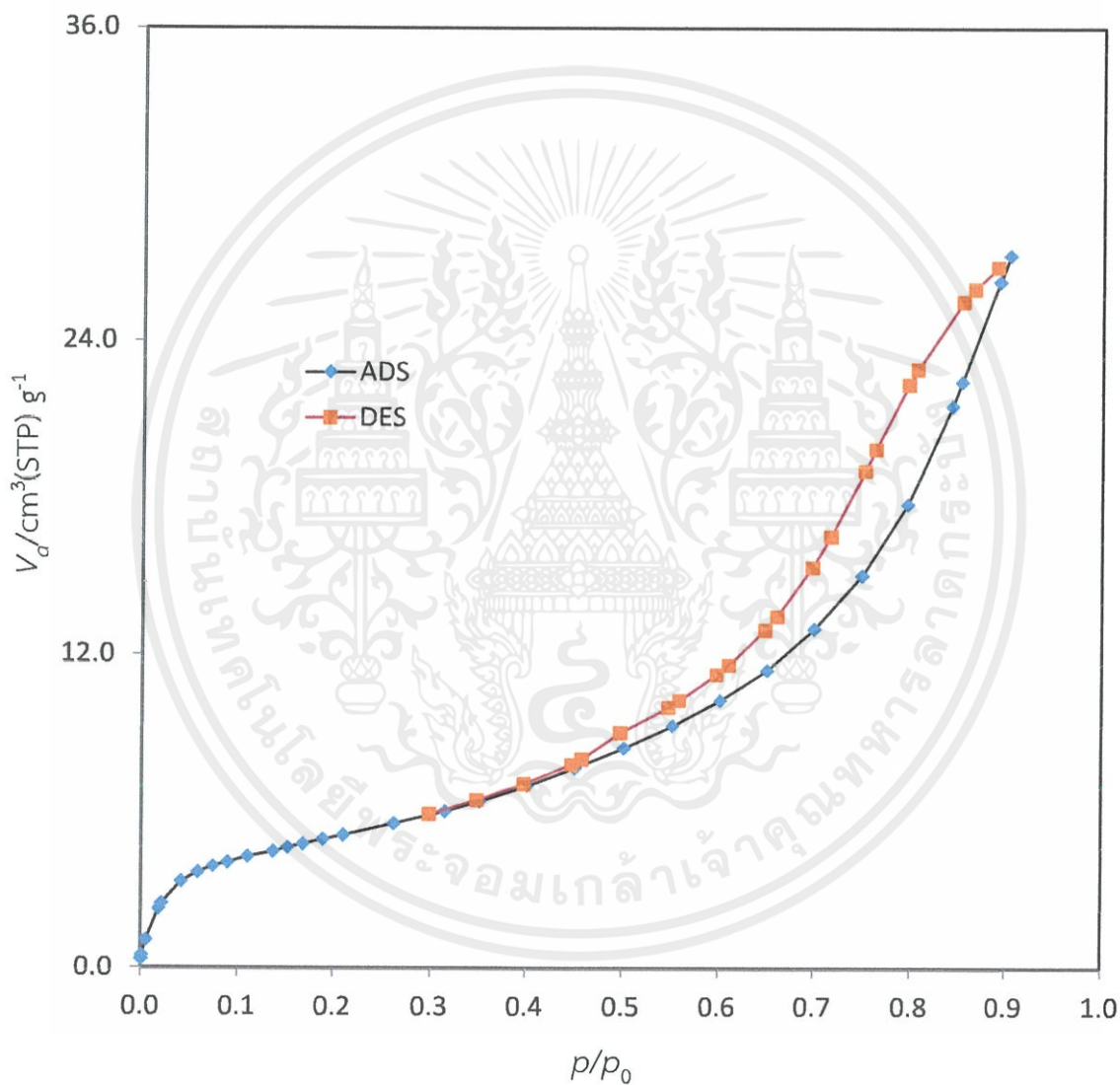


รูปที่ ก.6 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 ตัวอย่างที่ 3 - ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

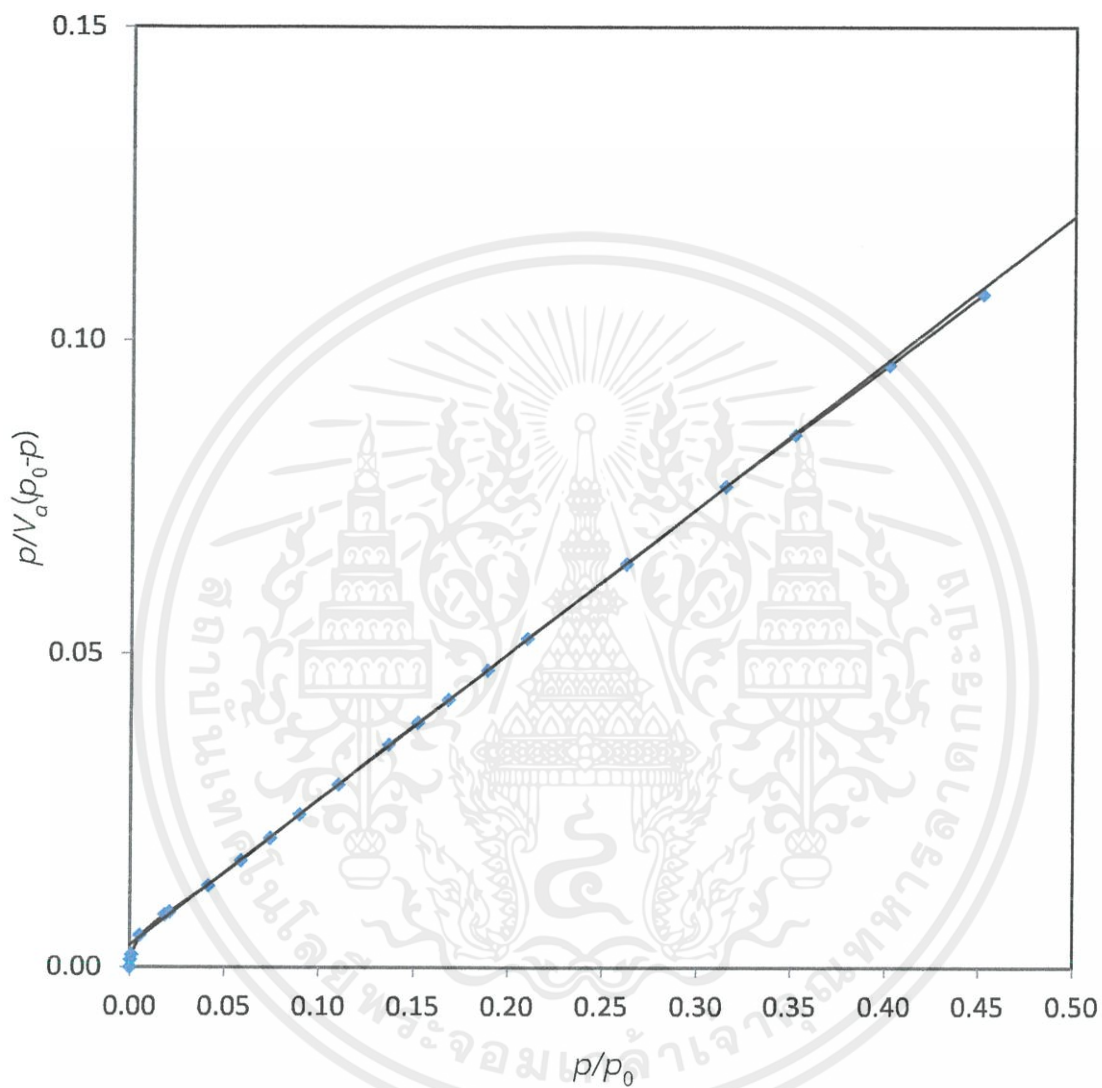
ก.3.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ก.7 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 3

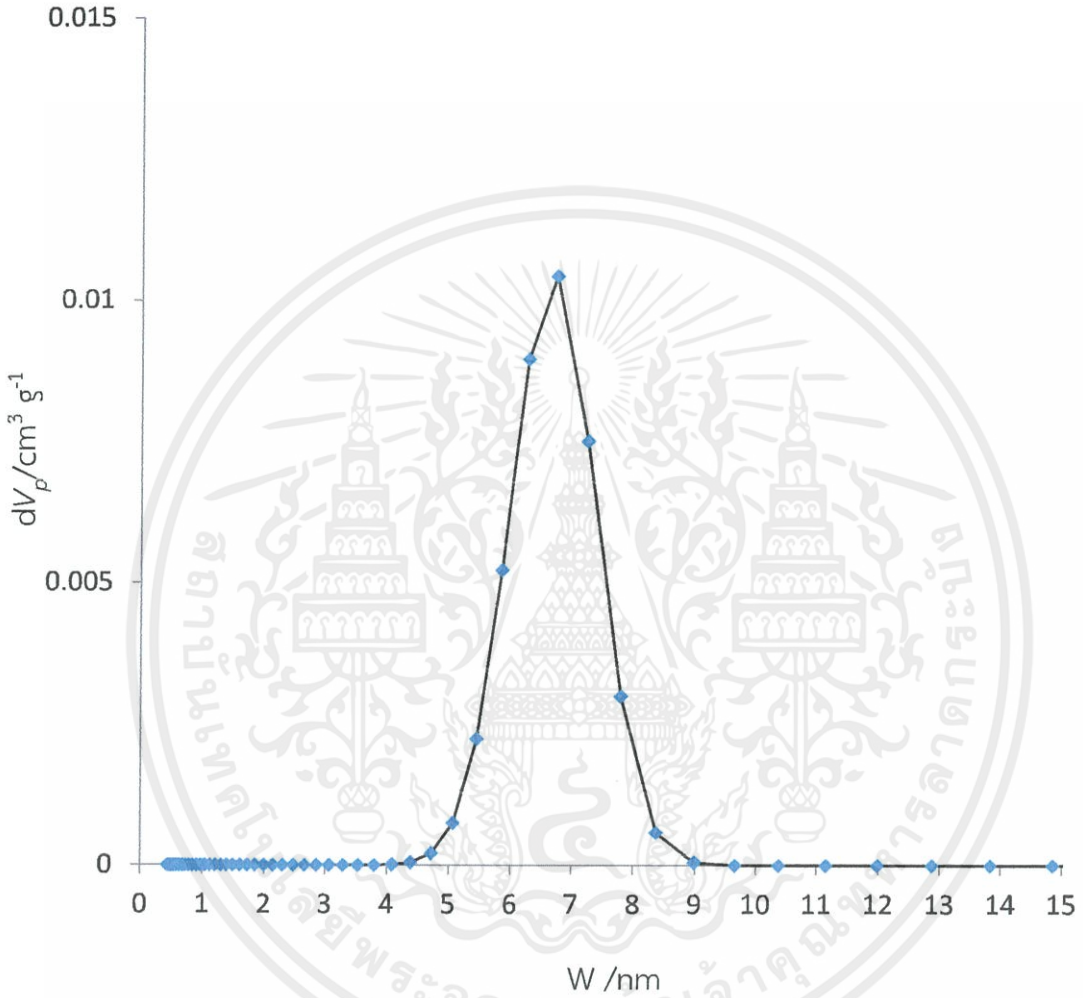
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 3.2.กราฟบีอีทีของตัวอย่างที่ 3

รูปที่ ก.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3.3 การกระจายตัวของรูพรุนตัวอย่างที่ 3

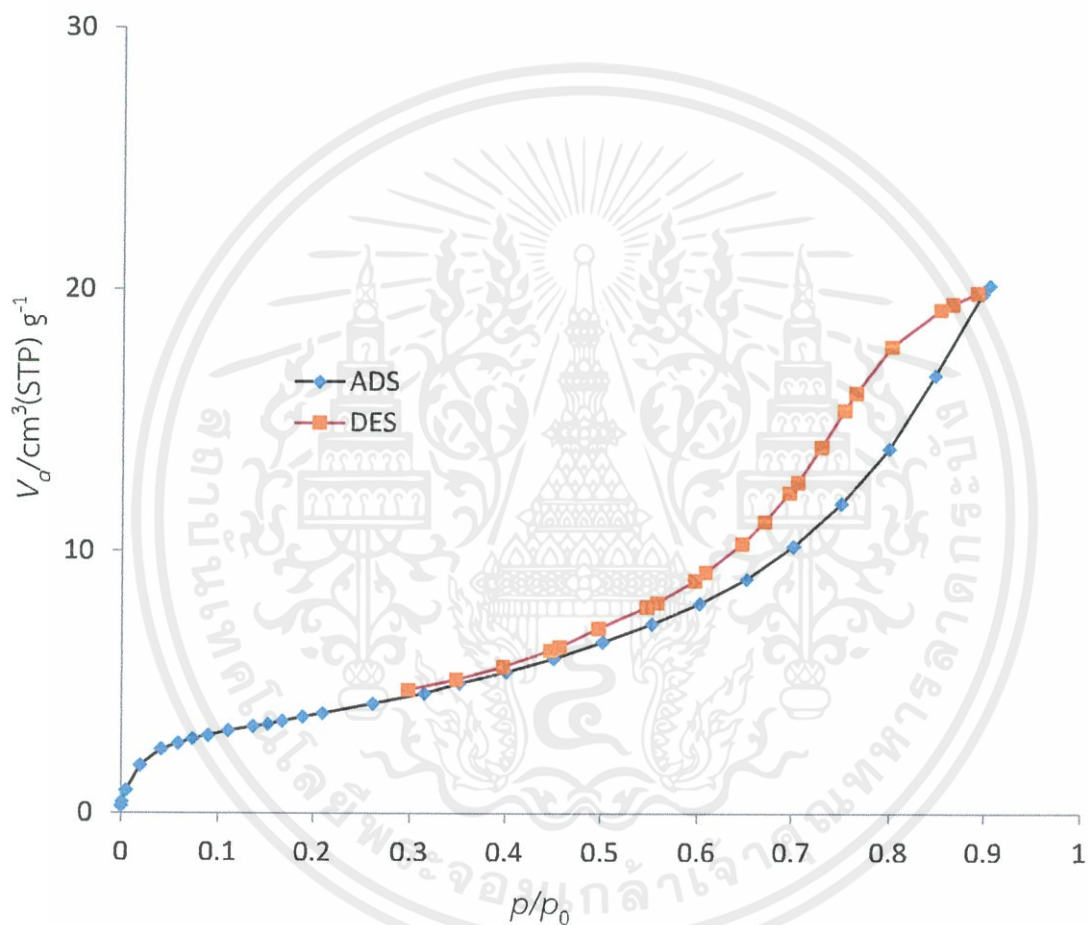


รูปที่ ก.9 การกระจายตัวของรูพรุนของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 ตัวอย่างที่ 4 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

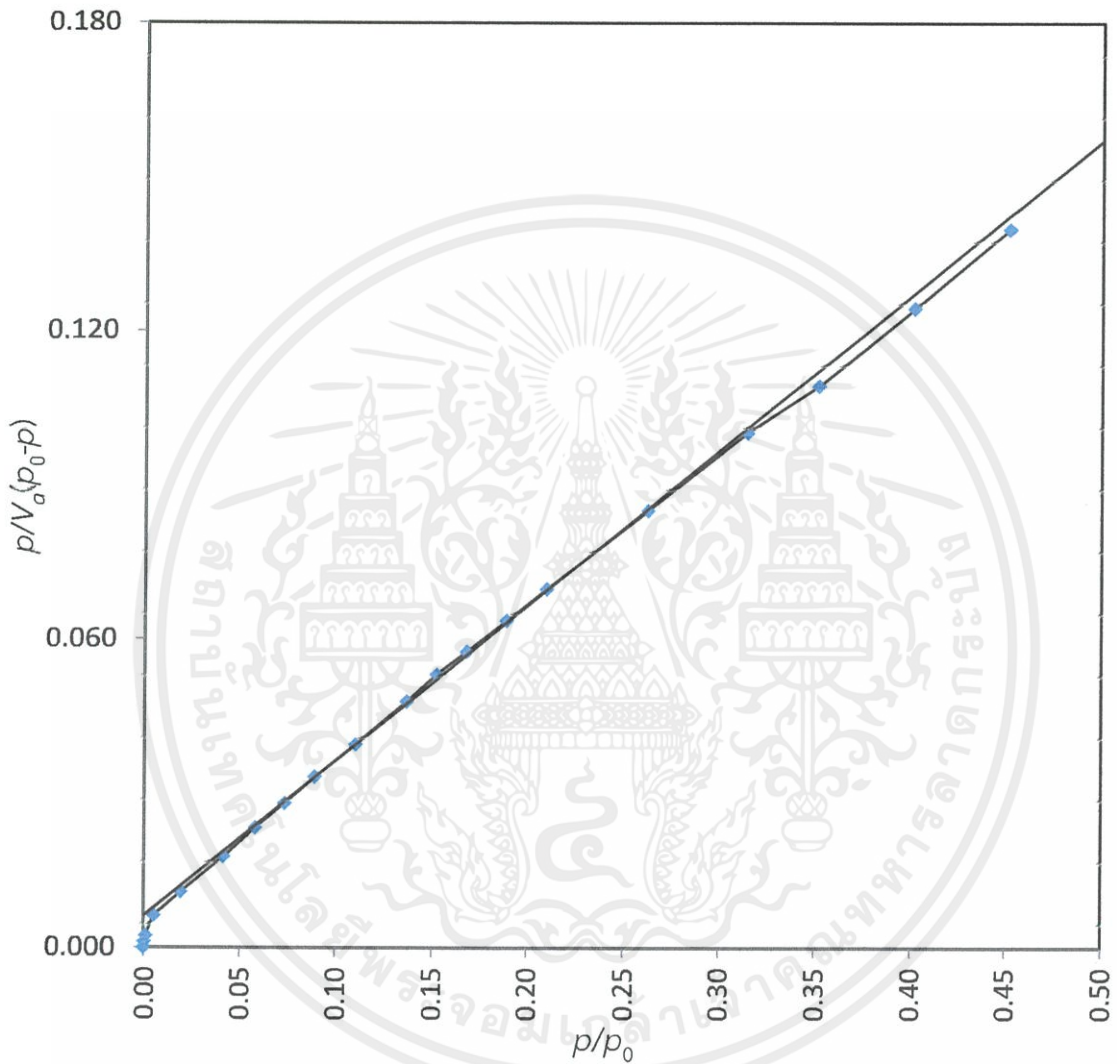
ก.4.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 4



รูปที่ ก.10 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 4

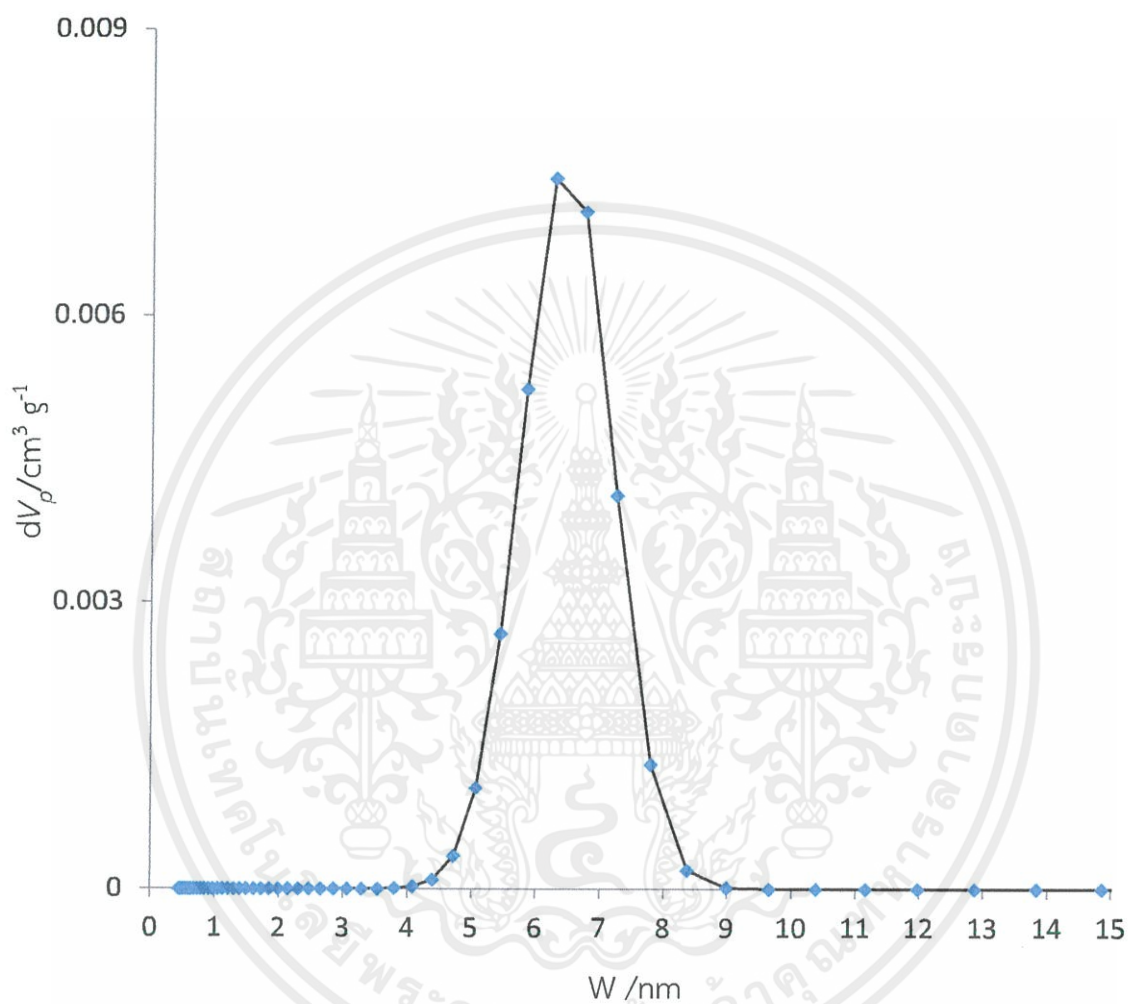
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4.2 กราฟพีอีทีของตัวอย่างที่ 4

รูปที่ ก.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4.3 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 4

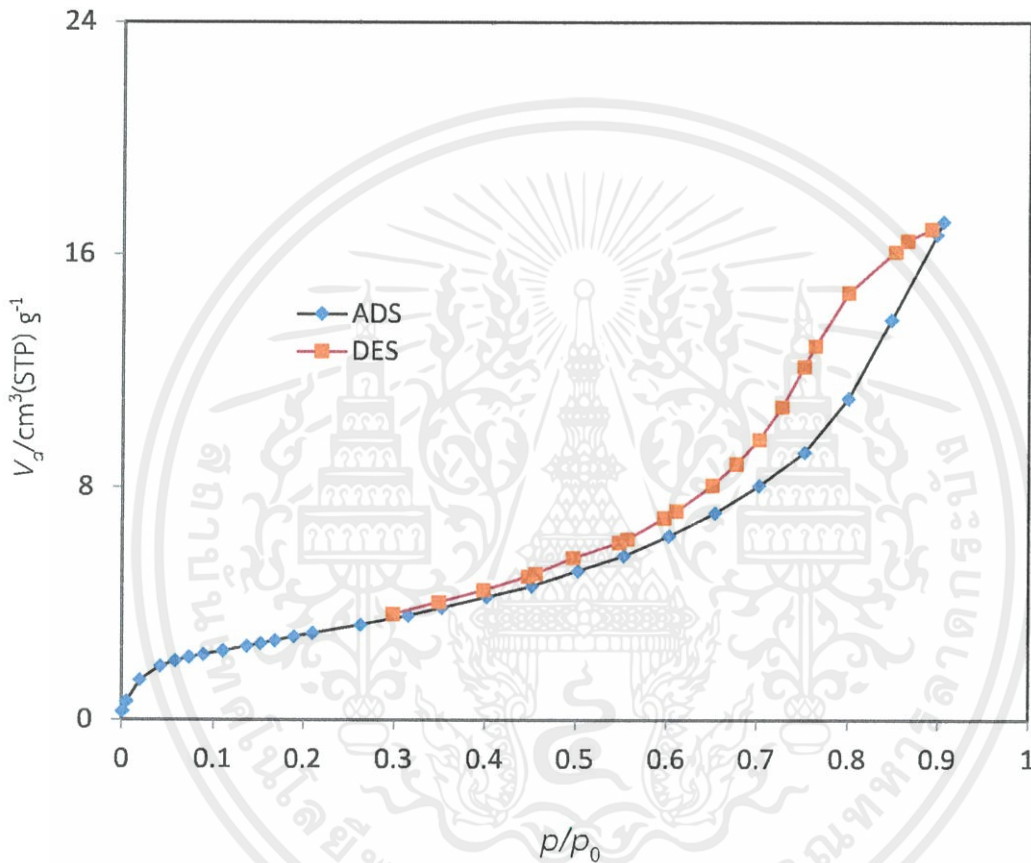


รูปที่ ก.12 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 ตัวอย่างที่ 5 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

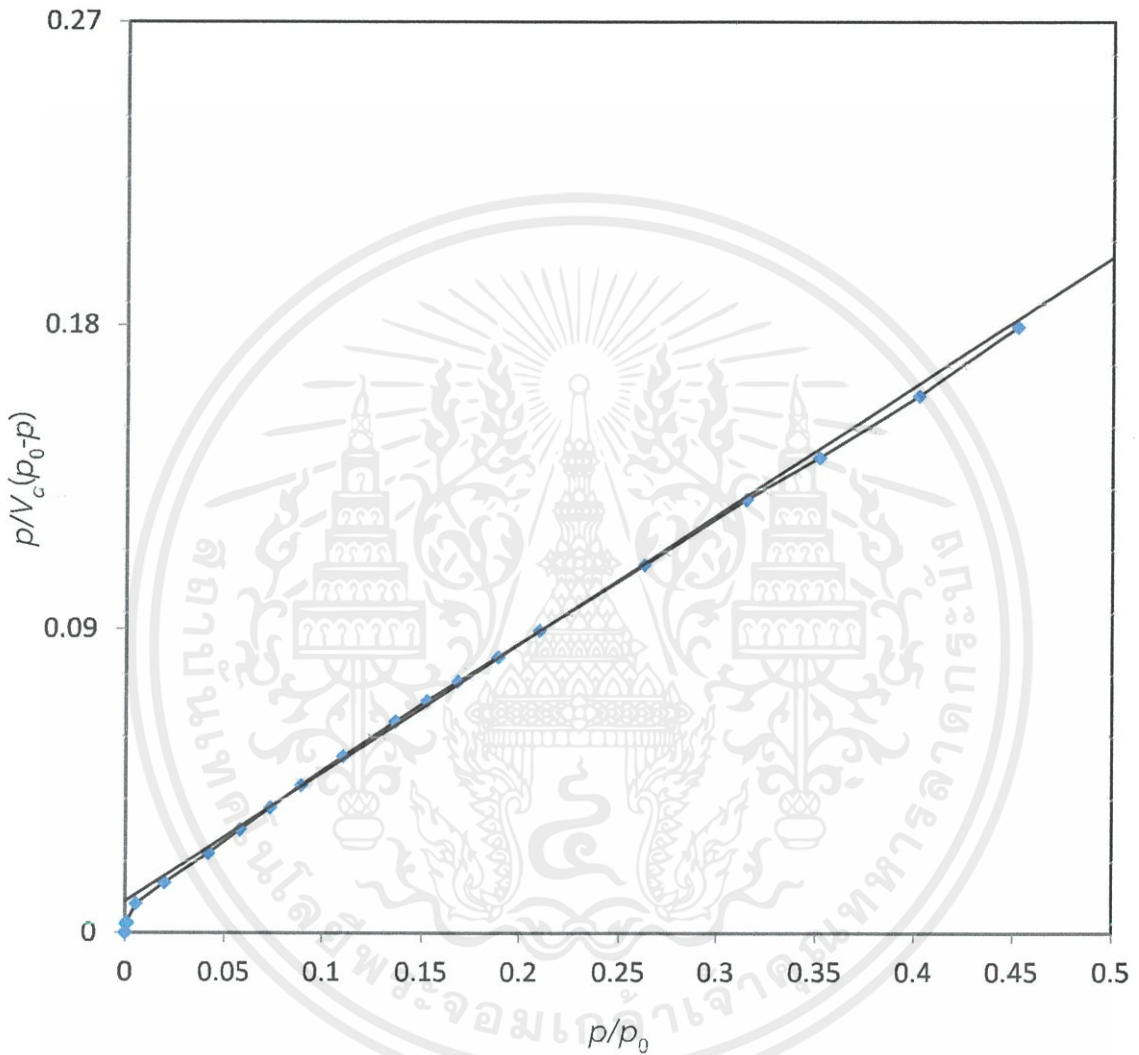
ก.5.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 5



รูปที่ ก.13 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 5

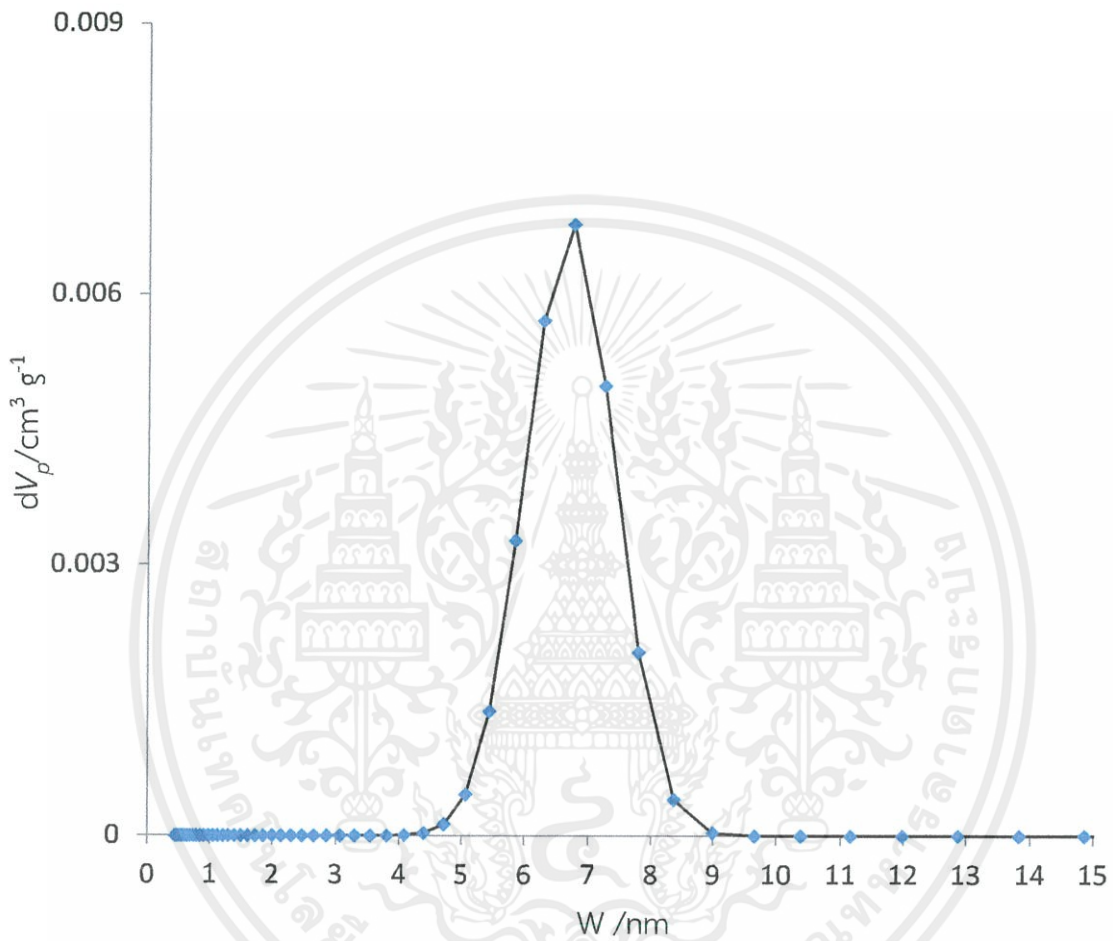
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5.2 กราฟบีบี่ทีของตัวอย่างที่ 5

รูปที่ ก.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_c(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5.3 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 5

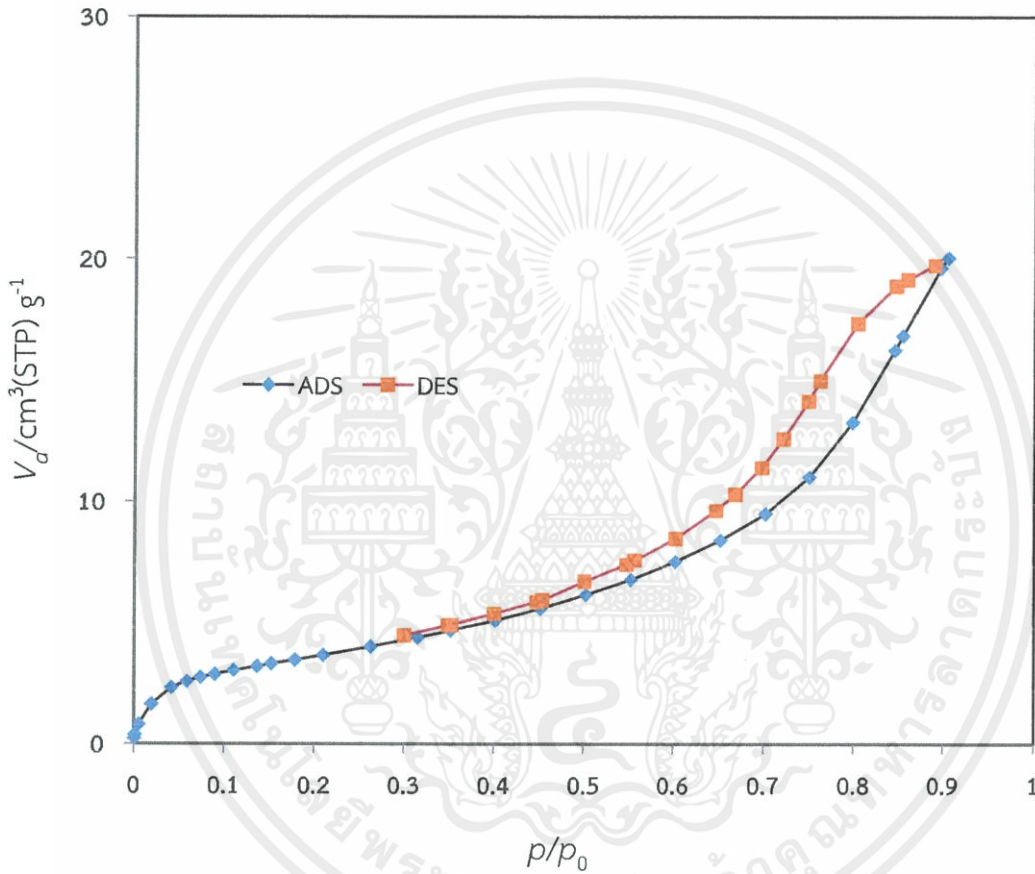


รูปที่ ก.15 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.6 ตัวอย่างที่ 6 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 2 โมลต่อลิตร และความเข้มข้นของวุ้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

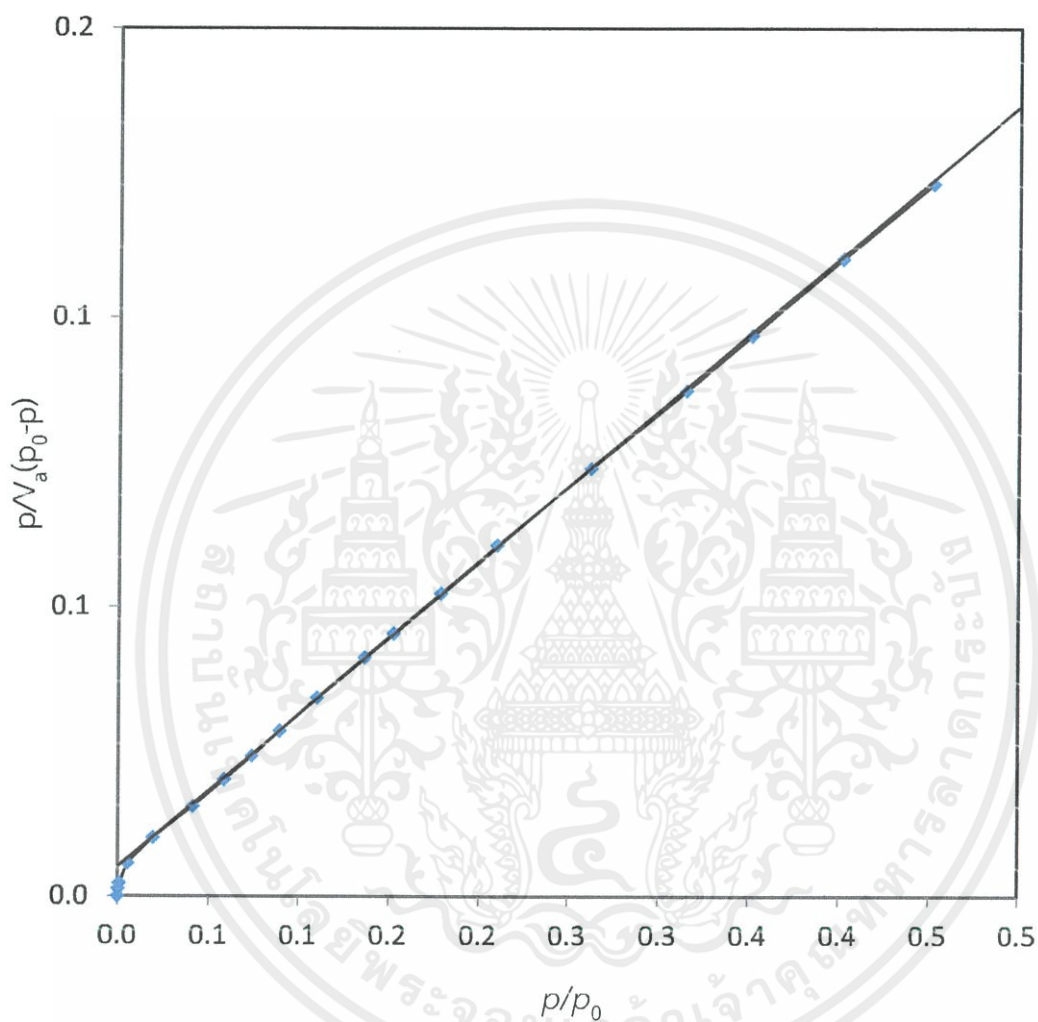
ก.6.1 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 6



รูปที่ ก.16 กราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับและการคายซับของตัวอย่างที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

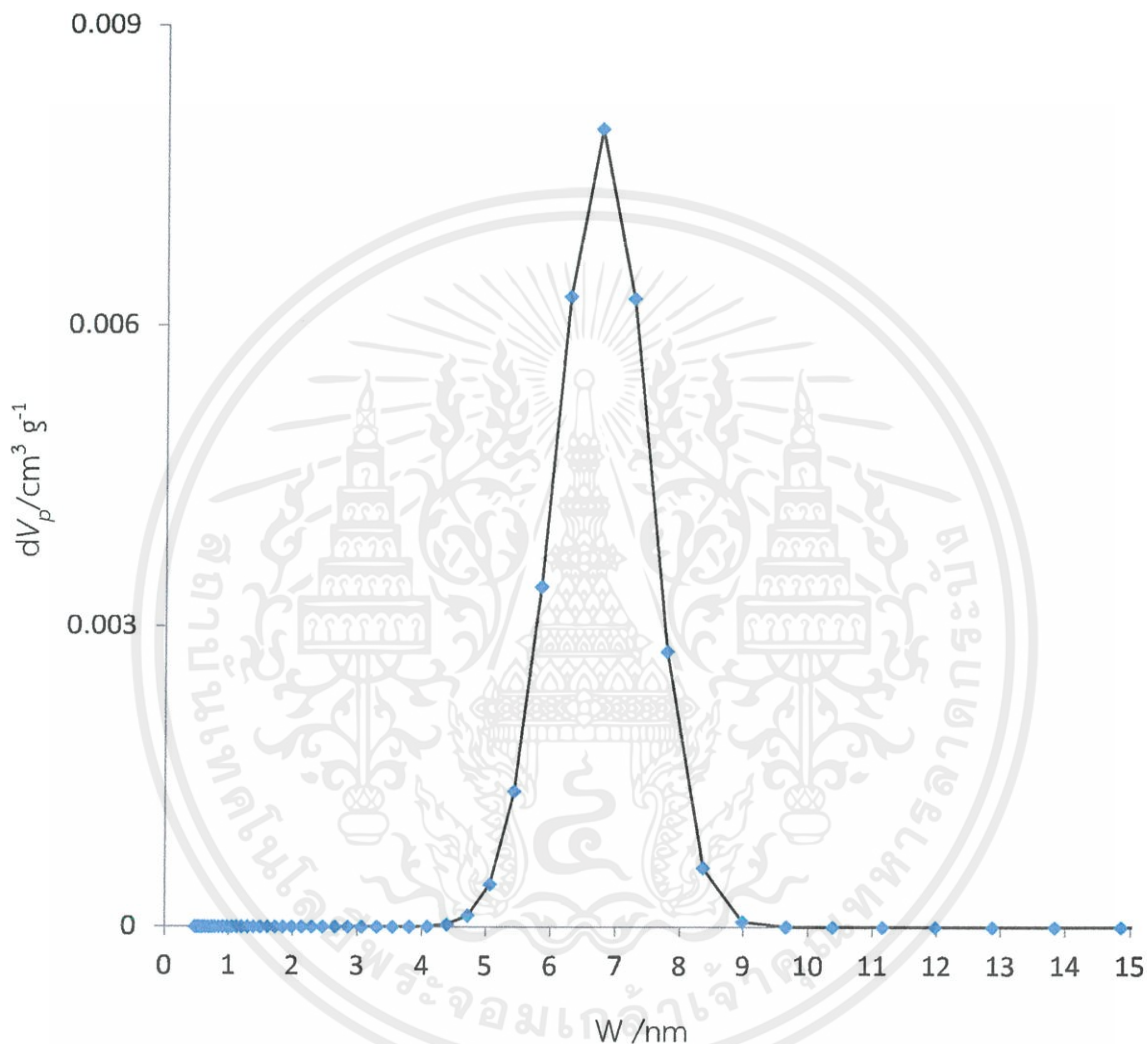
ก.6.2 กราฟป๊อทีของตัวอย่างที่ 6



รูปที่ ก.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p/V_a(p_0-p)$ และ P/P_0 ของตัวอย่างที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.6.3 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 6



รูปที่ ก.18 การกระจายตัวของรูปพรุนของตัวอย่างที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Jingfang Zhou, Meifang Zhou and Rachel A. Caruso. **Agarose Template for the Fabrication of Macroporous Metal Oxide Structures.** *Langmuir* (2006), 3332-3336.
- [2] Bai Hai-xin, SHEN-Xiao-zhen, LIU Xiao-hua and LIU Sheng-yong. **Synthesis of porous CaO microsphere and its application in catalyzing transesterification reaction for biodiesel.** *Trans.Nonferrous Met. Soc. China* 19(2009), 674-677.
- [3] MaterialsScientist. "CalciumOxide." [Online].
Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_oxide.
- [4] https://www.webelements.com/compounds/calcium/calcium_oxide.html
- [5] Satyendra. "Calcination of Limestone." [Online].
Available: <http://ispatguru.com/calcination-of-limestone/>.
- [6] <http://www.entrykitchen.com/index.php?lay=show&ac=article&id=538964971>
- [7] Michael Sommer, Karsten Kellermann, Robert F. Singer. **Production of mesophase carbon by PIM — Tailoring gel strength of agar binder.** *Powder Technology* 237(2013), 228-232.
- [9] ปกฉัตร นพพันธ์. (2553). "การปรับผิววัสดุโพลีโวลท์เตจด้วยฟิล์มเอ็ม ซี เอ็ม 41 เพื่อการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้". *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*.
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/Porosity>
- [11] สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล.สรร สาระ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์วิทยาการ* ปี 60(189), 22-24.
- [12] PradThaNa P. "กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)." [Online].
Available:<http://pradthana.wordpress.com/tag/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B8%8B%E0%B8%B1%E0%B8%9A/>
- ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] รณจักร. "Isotherm คืออะไร." [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/vcafe/97993>
- [14] Jingfang Zhou, Meifang Zhou and Rachel A. Caruso. Agarose Template for the Fabrication of Macroporous Metal Oxide Structures. *Langmuir* (2006), 3332-3336.
- [15] รัตนากร ยวงสวัสดิ์, วลัยรัตน์ จันทรัมย์พร และดวงกมล ณ ระนอง. การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย. *วิศวกรรมลาดกระบัง* ปีที่ 28, 31-37.
- [16] Aminu H.Isa, Funke W. Abdulrahman and Haruna D. Aliyu. BET Surface Area Determination of Calcium Oxide from Adamawa Chalk Mineral Using Water Adsorption Method, for Use as Catalyst. *Chemistry and Materials Research*.
- [17] Kornkanok Watcharathamrongkul, Bunjerd Jongsomjit and Muenduen Phisalaphong. Calcium oxide based catalysts for ethanolsis of soybean oil. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* Nov.-Dec. 2010, 627-634.
- [18] Thongthai Witton. Characterization of calcium oxide derived from waste eggshell and its application as CO₂ sorbent. *Ceramics International* 37 (2011), 3291-3298.
- [19] Atsushi Satsuma, Ryugo Akahori, Masatoshi Kato. Structure-sensitive reaction over calcium oxide decomposition of nitrous oxide. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 155 (2000), 81-88.
- [20] Laetitia Vieille, Alexandre Govin, Philippe Grosseau. Improvements of Calcium Oxide Based Sorbents for multiple CO₂ Capture cycles. *Powder Technology* 228(2012), 319-323.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้