

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

ผลการศึกษาการใช้เปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่ เป็นตัวกลางในการดูดซับความชื้นประกอบด้วย ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน ผลการศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับที่สามารถนำไปดูดซับความชื้น ผลการศึกษาปัจจัยของตัวดูดซับที่เหมาะสม โดยการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับความชื้นของตัวดูดซับแต่ละชนิด และผลการศึกษาปัจจัยของตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้น โดยการทดลองการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่ง (Fixed bed)

### 4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน

นำเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่มาทำความสะอาดโดยการล้างน้ำ และทำการลอกเยื่อที่ติดกับเปลือกออกแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดค้างออก จากนั้นนำเปลือกไข่ และเปลือกหอยแต่ละชนิดไปตากให้แห้ง และบดให้ละเอียด นำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของตัวดูดซับด้วย Brunauer, Emmett and Teller method (BET) ได้ผลดังตาราง

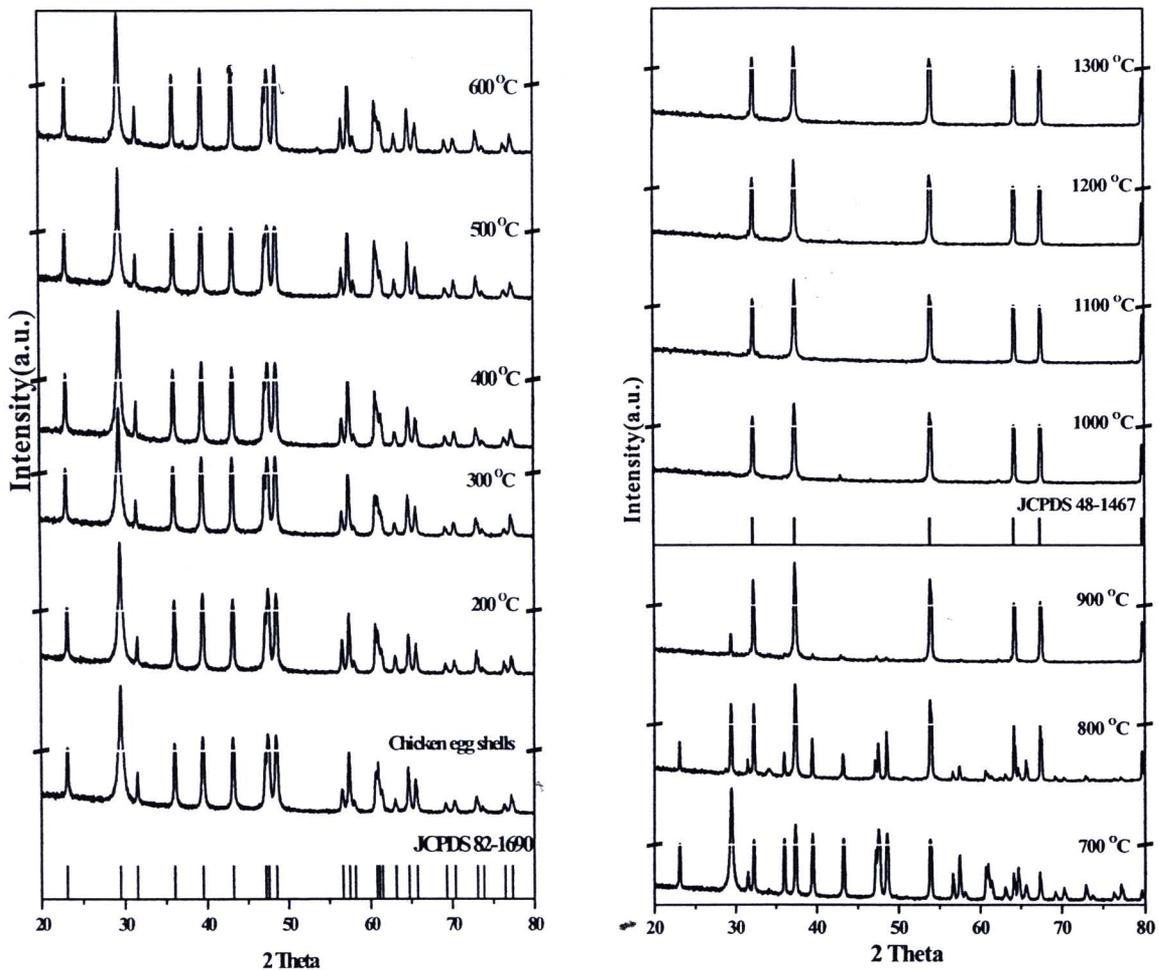
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน ของเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่

ตัวอย่าง	ลักษณะตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ ( $m^2/g$ )	ขนาดรูพรุน ( $\text{Å}$ )	ปริมาตรรูพรุน ( $cm^3/g$ )
เปลือกไข่ไก่	ผงสีครีม	2.6	$1.80 \times 10^2$	$1.17 \times 10^{-2}$
เปลือกไข่เป็ด	ผงสีขาวนวล	1.8	$2.63 \times 10^2$	$1.21 \times 10^{-2}$
เปลือกหอยแครง	ผงสีขาวนวล	1.4	$2.90 \times 10^2$	$9.71 \times 10^{-3}$
เปลือกหอยแมลงภู่	ผงสีเทา	1.6	$2.63 \times 10^2$	$1.04 \times 10^{-2}$

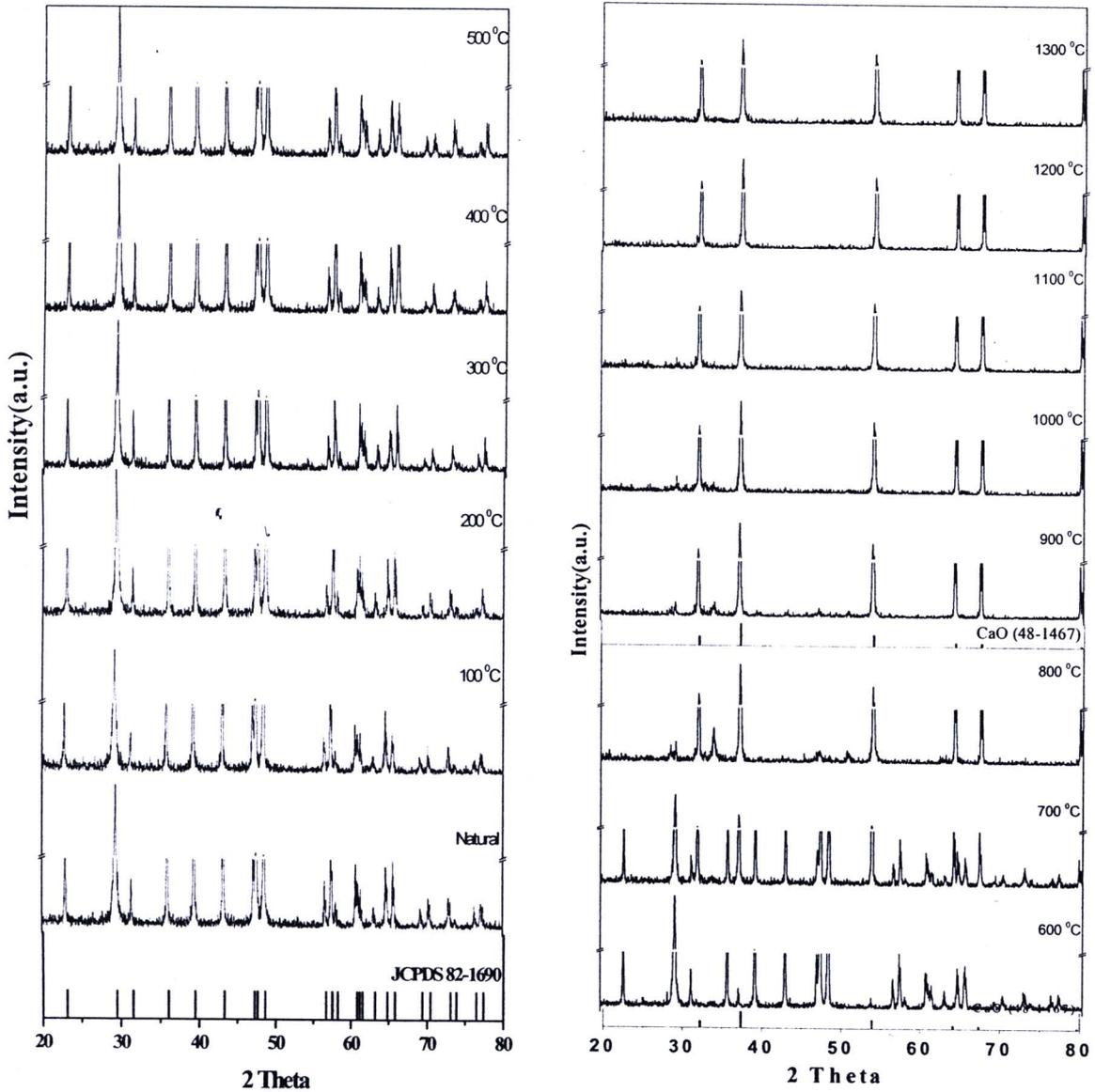
### 4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับที่สามารถนำไปดูดซับความชื้น

เปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่ มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ แคลเซียมคาร์บอเนต และเมื่อทำการตรวจหาองค์ประกอบของเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่ ด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่า เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด เป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต มีโครงสร้างเฟสเป็น แคลไซต์ โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของแฟ้ม Joint Committee on

Powder Diffraction Standard (JCPDS) หมายเลข 12-1690 เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 200 – 600 องศาเซลเซียส ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่า ทั้งเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ดเริ่มมีเฟสใหม่เกิดขึ้น โดยที่เฟสแคลไซต์เริ่มลดลง และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความสูงของพีคของเฟสใหม่นี้สูงขึ้น ในขณะที่ความสูงของพีคของเฟสแคลไซต์นั้นลดลง และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เฟสแคลไซต์หายไปมีแต่เฟสใหม่เพียงอย่างเดียว โดยเฟสใหม่ที่เกิดขึ้นนี้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของแฟ้ม JCPDS พบว่าตรงกับหมายเลข 48-1467 เป็นเฟสแคลเซียมออกไซด์ และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1300 องศาเซลเซียส พบว่า เฟสของแคลเซียมออกไซด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนเฟสนี้เกิดขึ้นเหมือนกัน ทั้งในเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



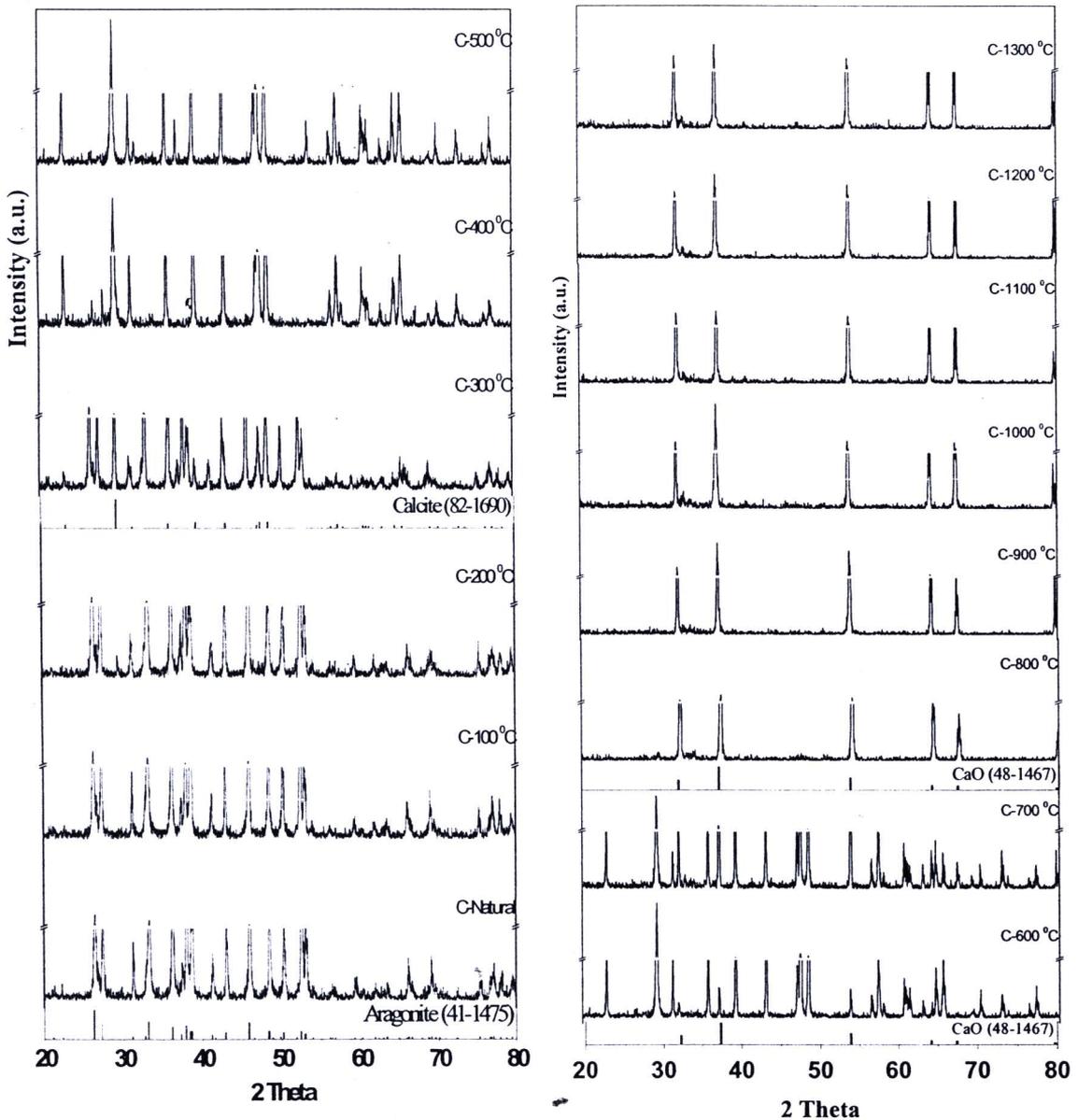
รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกไข่ไก่ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ



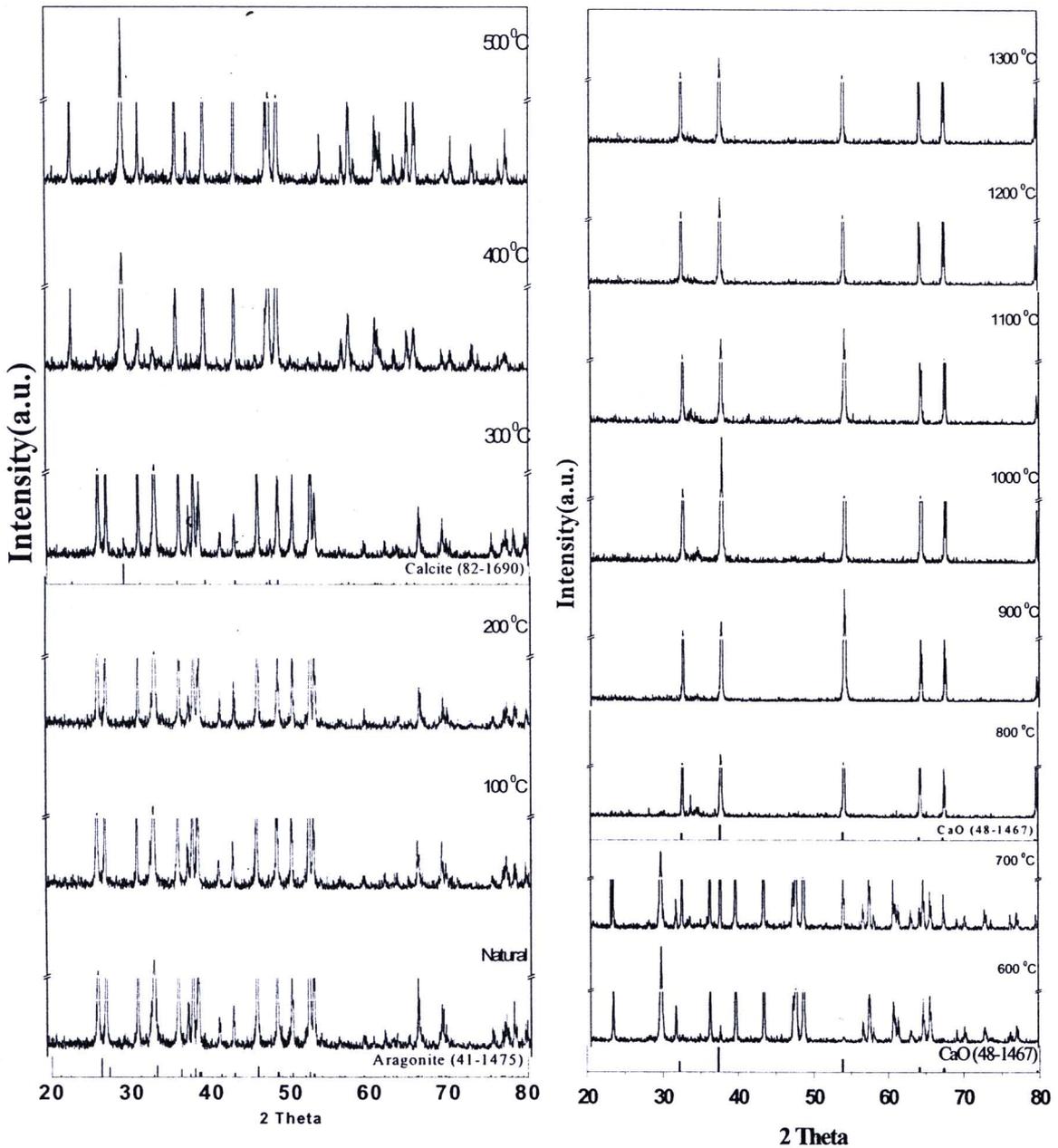
รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกไม้เปิดที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ

สำหรับเปลือกหอยแครง และหอยแมลงภู่ พบว่า เป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต มีโครงสร้างเฟสเป็น ออราโกไนต์ โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของแฟ้ม JCPDS ตรงกับหมายเลข 41-1475 เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง 300 องศาเซลเซียส พบว่า ทั้งเปลือกหอยแครง และหอยแมลงภู่ เริ่มมีเฟสใหม่เกิดขึ้น โดยที่เฟสออราโกไนต์ เริ่มลดลง และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 500 องศาเซลเซียส ความสูงของพีคของเฟสใหม่นี้สูงขึ้น ในขณะที่ความสูงของพีคของเฟสออราโกไนต์นั้นลดลง โดยเฟสใหม่ที่เกิดขึ้นนี้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของแฟ้ม JCPDS พบว่าตรงกับหมายเลข 82-1690 เป็นเฟสแคลไซต์ และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พีคของเฟสแคลไซต์เริ่มหายไป มีเฟสใหม่เพิ่มขึ้นมาอีก และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เฟสแคลไซต์หายไปมีแต่เฟสใหม่เพียงอย่าง

เดี่ยว โดยเฟสใหม่ที่เกิดขึ้นนี้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของแฟ้ม JCPDS พบว่าตรงกับหมายเลข 48-1467 เป็นเฟสแคลเซียมออกไซด์ และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1300 องศาเซลเซียส พบว่า เฟสของแคลเซียมออกไซด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนเฟสนี้เกิดขึ้นเหมือนกัน ทั้งในเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแครงที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ

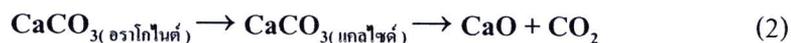


รูปที่ 4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการศึกษาการนำเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่มะพร้าว มาเผาที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 100 ถึง 1300 องศาเซลเซียส สามารถเขียนสมการการเปลี่ยนเฟสของเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด ได้ดังสมการ



สำหรับเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่นั้น มีเฟสเริ่มต้นต่างจากเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด ซึ่งสามารถเขียนสมการ ได้ดังนี้



ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เฟสเริ่มต้นของเปลือกทั้ง 4 ชนิด มีสารประกอบชนิดเดียวกันแต่มีเฟสที่แตกต่างกัน โดยเปลือกไข่ไก่และไข่เป็ด มีเฟสเริ่มต้นเป็น แคลไซต์ ในขณะที่เปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่นั้น มีเฟสเริ่มต้นเป็น อราโกไนต์ เมื่อนำเปลือกหอยแครงและหอยแมลงภู่นั้นมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนเป็นเฟสแคลไซต์ เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น พบว่า เปลือกทั้ง 4 ชนิดจะมีการเปลี่ยนเฟสเป็น แคลไซต์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิเดียวกันคือประมาณ 700 องศาเซลเซียส และเป็นเฟสแคลไซต์ออกไซด์โดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าเปลือกทั้ง 4 ชนิดเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีก แต่แคลไซต์ออกไซด์ของเปลือกทั้ง 4 ชนิดก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นั่นหมายถึง เปลือกทั้ง 4 ชนิดจะให้สารที่เป็นแคลไซต์ออกไซด์เหมือนกัน ซึ่งคุณสมบัติของแคลไซต์ออกไซด์จากเปลือกทั้ง 4 ชนิด จะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ได้ทำการศึกษาต่อในหัวข้อต่อไป

### 4.3 ผลการศึกษาปัจจัยของตัวดูดซับที่เหมาะสมโดยการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับความชื้นของตัวดูดซับแต่ละชนิด

ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการดูดซับความชื้นของตัวดูดซับ โดยนำตัวดูดซับความชื้น ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่ ไปดูดซับความชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ภายในกล่องอติลิก โดยทำการบันทึกค่าความชื้นที่ลดลงทุกๆ 20 นาที จนกระทั่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องอติลิก ลดลงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

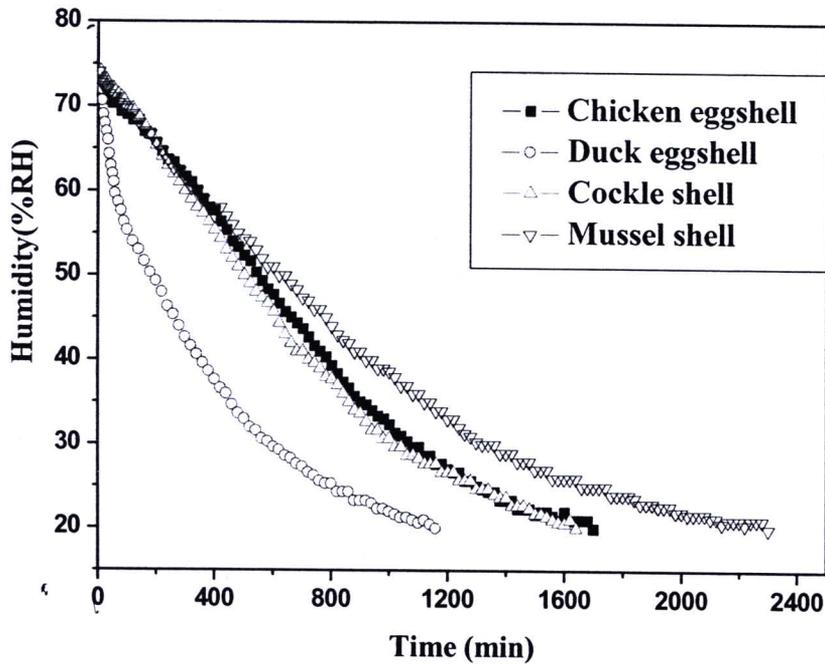
ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาการดูดซับความชื้นของเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครงและหอยแมลงภู่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ชนิดตัวดูดซับ	น้ำหนัก (g)	อัตราการดูดซับความชื้น (%RH/min)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ไข่ไก่ ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20	0.0322	0.0348	0.0364	0.0345
	35	0.0387	0.0368	0.0392	0.0382
	50	0.0398	0.0423	0.0410	0.0410
ไข่ไก่ ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20	0.0482	0.0458	0.0394	0.0445
	35	0.0529	0.0500	0.0561	0.0530
	50	0.0654	0.0573	0.0611	0.0612
ไข่เป็ด ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20	0.0485	0.0500	0.0474	0.0486
	35	0.0500	0.0491	0.0528	0.0506
	50	0.0509	0.0482	0.0539	0.0510
ไข่เป็ด ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20	0.0525	0.0432	0.0498	0.0485
	35	0.0561	0.0466	0.0528	0.0518
	50	0.0574	0.0611	0.0661	0.0615

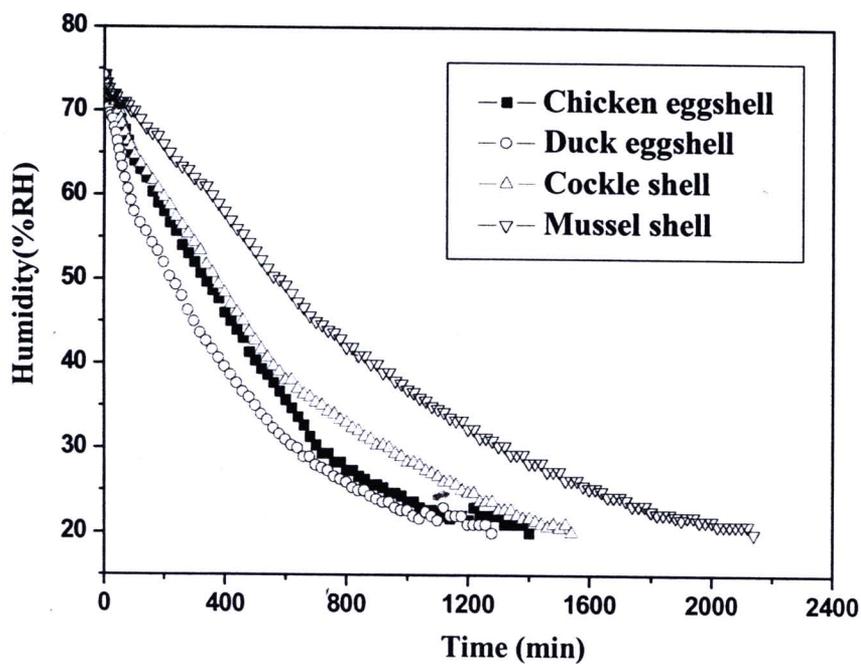
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการศึกษาการดูดซับความชื้นของเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครงและหอยแมลงภู่  
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ชนิดตัวดูดซับ	น้ำหนัก (g)	อัตราการดูดซับความชื้น (%RH/min)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
หอยแครง ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20	0.0335	0.0348	0.0343	0.0342
	35	0.0366	0.0392	0.0362	0.0373
	50	0.0392	0.0429	0.0404	0.0408
หอยแครง ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20	0.0357	0.0376	0.0366	0.0366
	35	0.0382	0.0362	0.0398	0.0380
	50	0.0398	0.0423	0.0436	0.0419
หอยแมลงภู่ ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20	0.0239	0.0257	0.0247	0.0247
	35	0.0254	0.0262	0.0252	0.0256
	50	0.0277	0.0289	0.0275	0.0280
หอยแมลงภู่ ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20	0.0289	0.0272	0.0257	0.0272
	35	0.0286	0.0312	0.0305	0.0301
	50	0.0323	0.0335	0.0343	0.0334

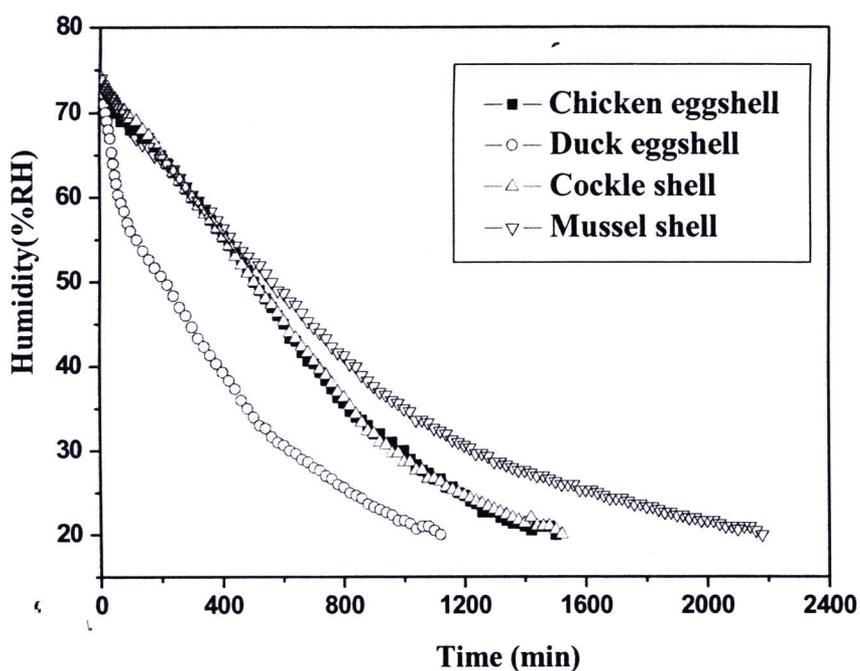
จากตารางที่ 4.2 เมื่อนำมวล 20 35 และ 50 กรัม กับขนาดตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร และ เล็กกว่า 250 ไมโครเมตร มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 4.5 – 4.10



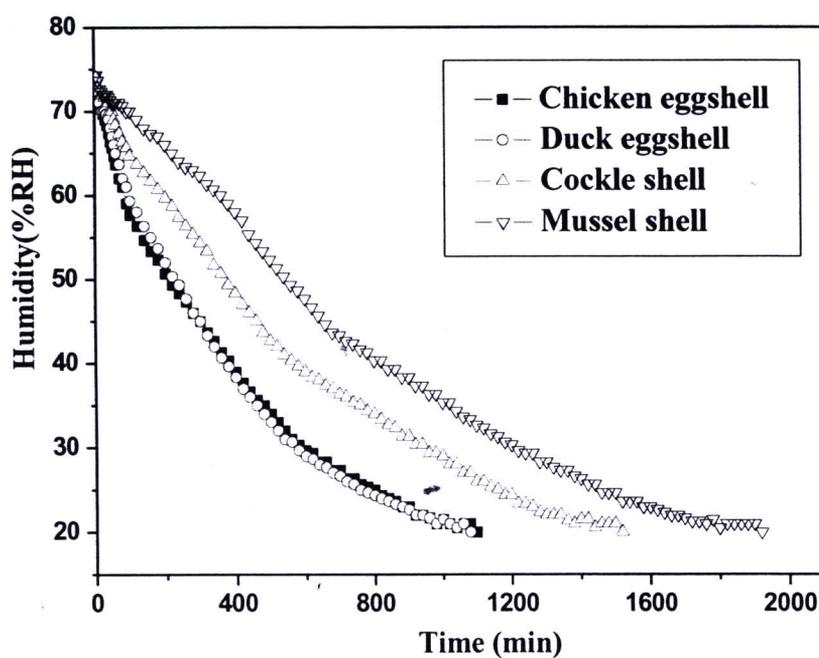
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 500 ไมโครเมตร น้ำหนัก 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



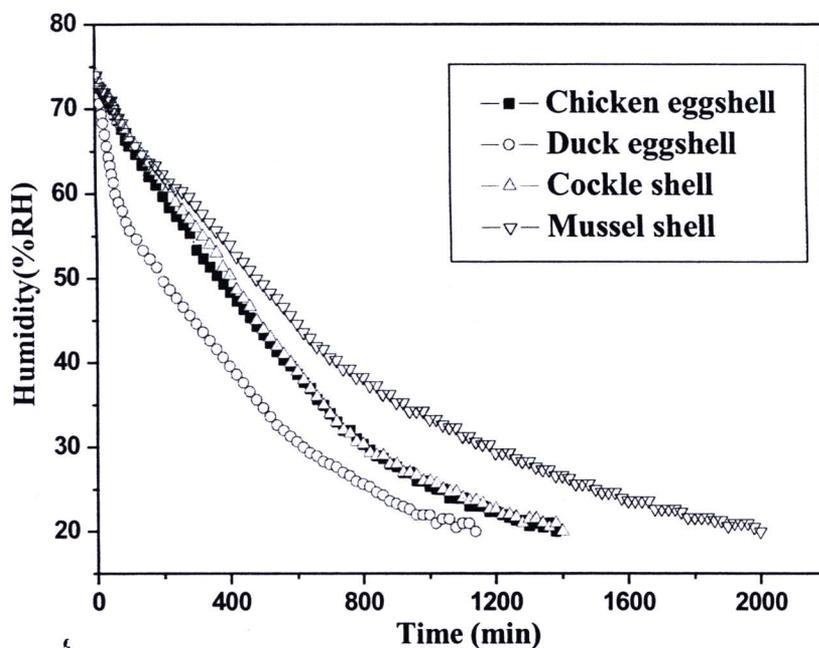
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



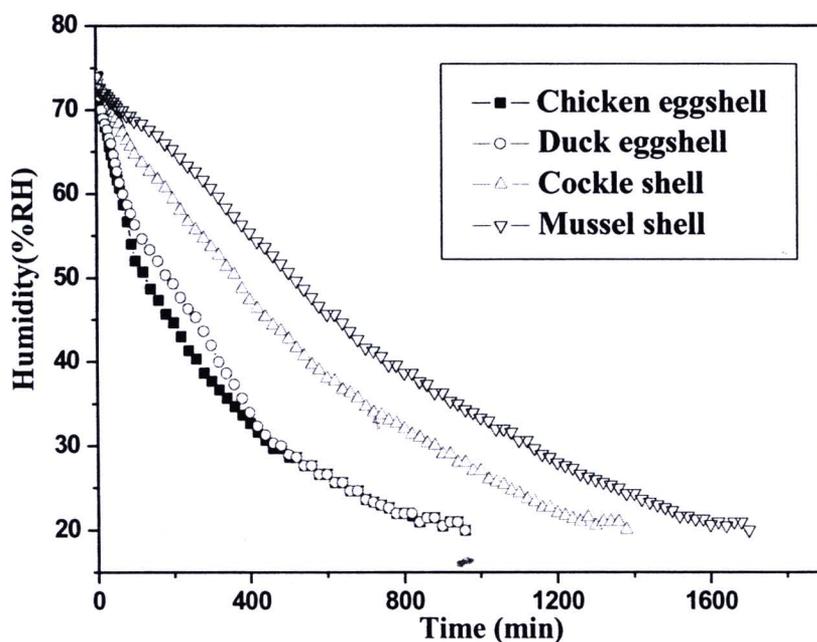
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร น้ำหนัก 35 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 35 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 500 ไมโครเมตร น้ำหนัก 50 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 50 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลา พบว่า ตัวดูดซับที่เป็นเปลือกไข่เปิดจะดูดได้เร็วกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการดูดความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วที่มวลและขนาดต่างๆ ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า จะมีอัตราในการดูดซับความชื้นได้เร็วกว่าขนาดของตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวดูดซับความชื้นจากเปลือกไข่ไก่ ไข่เปิด หอยแครงและหอยแมลงภู่ ที่มีมวลเท่ากัน ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร จะมีอัตราการดูดซับความชื้นได้เร็วกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร และเมื่อพิจารณาตัวดูดซับที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีมวลต่างกัน จะมีอัตราการดูดซับความชื้นแตกต่างกัน โดยตัวดูดซับที่มีมวลมากกว่า จะมีอัตราในการดูดซับความชื้นได้เร็วกว่าตัวดูดซับที่มีมวลน้อย ซึ่งอัตราการดูดซับของตัวดูดซับที่มีมวล 50 35 และ 20 กรัม จะมีอัตราในการดูดซับได้เร็วกว่า ตามลำดับ

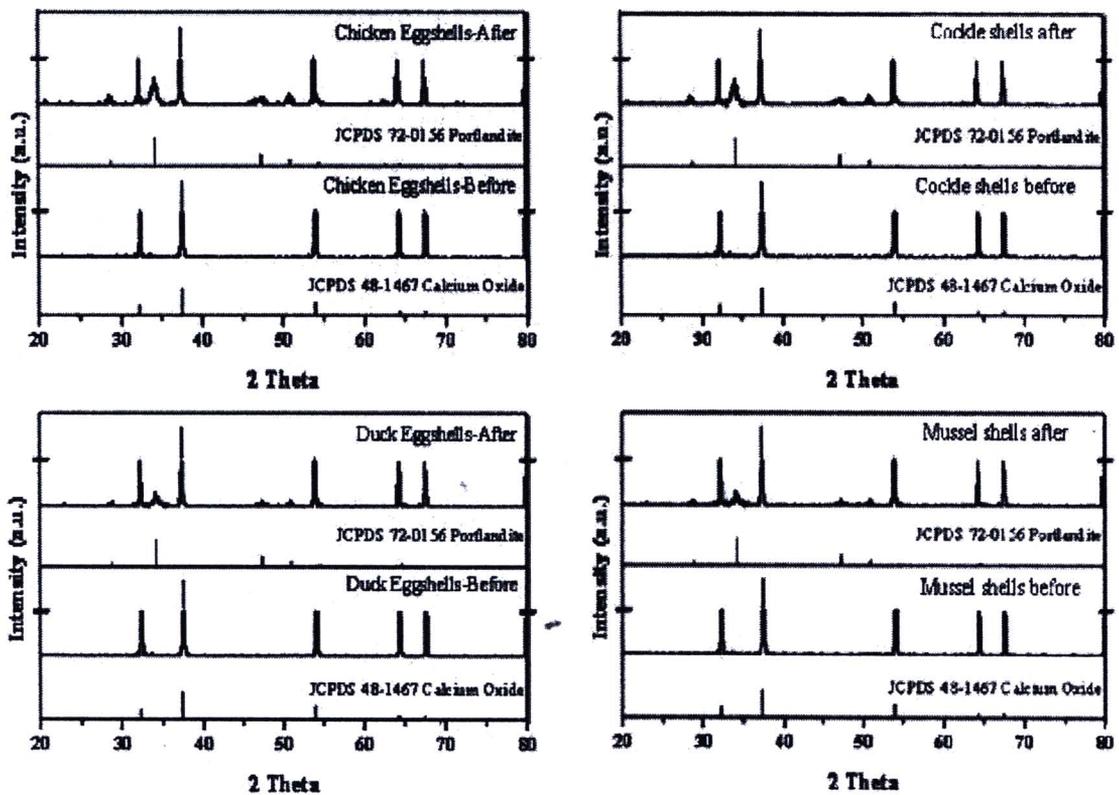
เมื่อนำตัวดูดซับแต่ละชนิดที่ผ่านการทดลองมาชั่งน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนทำการทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** แสดงค่ามวลก่อนและหลังทำการทดลองอัตราการดูดซับความชื้น

ชนิดตัวดูดซับ	น้ำหนัก (g)	
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
ไข่ไก่ ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20.0000	20.6420
	35.0000	36.0980
	50.0000	51.1542
ไข่ไก่ ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20.0000	20.5324
	35.0000	35.8865
	50.0000	50.8954
ไข่เปิด ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20.0000	20.8216
	35.0000	35.7412
	50.0000	50.8480
ไข่เปิด ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20.0000	20.6450
	35.0000	35.6120
	50.0000	50.7820
หอยแครง ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20.0000	20.6215
	35.0000	35.7140
	50.0000	50.8996

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่ามวลก่อนและหลังทำการทดลองอัตราการดูดซับความชื้น

ชนิดตัวดูดซับ	น้ำหนัก (g)	
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
หอยแครง ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20.0000	20.4385
	35.0000	35.5892
	50.0000	50.7906
หอยแมลงภู่ ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร	20.0000	20.7843
	35.0000	35.6954
	50.0000	50.8426
หอยแมลงภู่ ขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร	20.0000	20.5416
	35.0000	35.6179
	50.0000	50.6842



รูปที่ 4.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครงและหอยแมลงภู่ ก่อนและหลังทำการทดลองอัตราการดูดซับความชื้น

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบมวลก่อนและหลังการทดลอง พบว่า มวลหลังการทดลองของตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร มวลของตัวดูดซับมีมวลเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักหลังการทดลองของตัวดูดซับต่างๆ ที่มีมวลและขนาดเท่ากันนั้นจะเห็นว่าน้ำหนักของตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อนำตัวดูดซับแต่ละชนิดหลังจากทำการทดลองไปศึกษาด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพื่อศึกษาเฟสของตัวดูดซับหลังการทดลอง ได้ผลดังรูปที่ 4.11

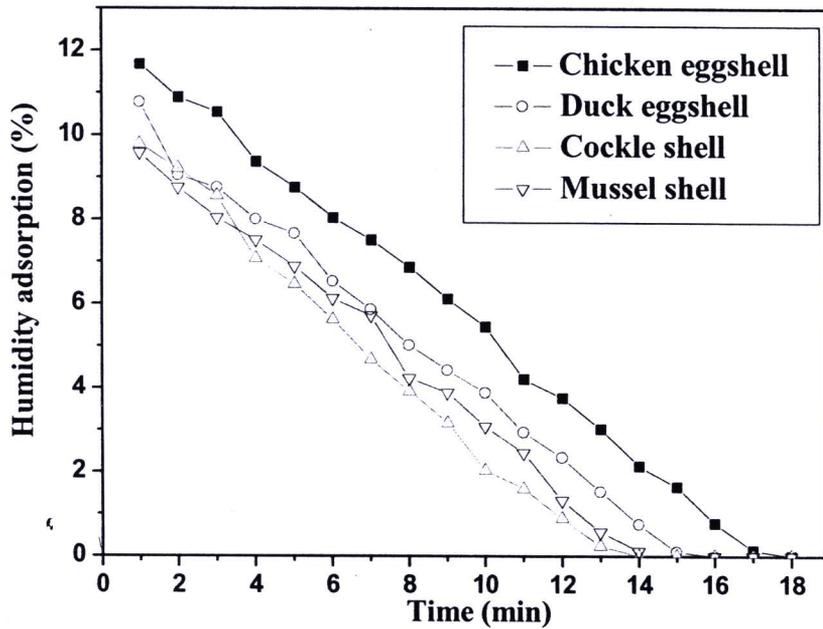
จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าตัวดูดซับของเปลือกทั้ง 4 ชนิด เมื่อผ่านการทดลองการดูดซับความชื้น พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ มีพีคของเฟสใหม่เกิดขึ้นที่ไม่ใช่พีคของแคลเซียมออกไซด์ และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของแฟ้ม JCPDS ซึ่งตรงกับหมายเลข 72-0156 เป็นเฟสของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide :  $\text{Ca(OH)}_2$ ) ซึ่งแสดงว่า ความชื้นจะเข้าไปรวมหรือทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ จากเปลือกทั้ง 4 ชนิด เกิดเป็นสารใหม่เกิดขึ้น นั่นคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



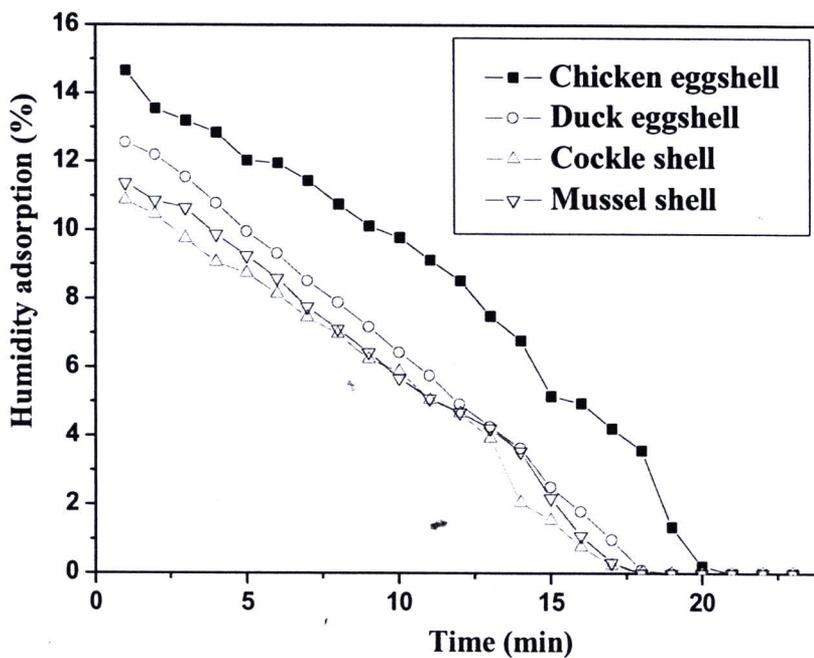
นอกจากนี้ จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวดูดซับหลังการทดลองการดูดซับความชื้นทั้ง 4 ชนิด ไม่ใช่เกิดเฟสของแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว แต่ยังคงมีเฟสของแคลเซียมออกไซด์รวมอยู่ด้วย แสดงว่า แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกทั้ง 4 ชนิด ไม่ได้เปลี่ยนเฟสไปทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของเฟสของแคลเซียมออกไซด์ กับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์นั้น จะเห็นได้ว่า เฟสของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีน้อยกว่าเฟสของแคลเซียมออกไซด์

#### 4.4 ผลการศึกษาปัจจัยของตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้น โดยการทดลองการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่ง

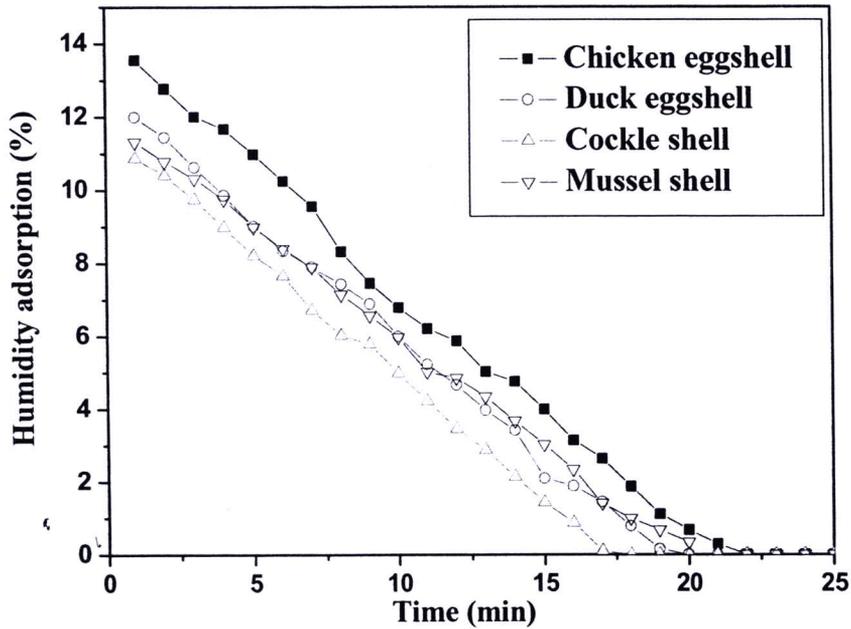
ผลการทดลองการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่ง โดยการนำตัวดูดซับความชื้น ซึ่งได้แก่เปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่ ซึ่งบดเป็นผงแล้วนำไปอัดเม็ด เพื่อดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่ง ซึ่งกำหนดให้ความชื้นขาเข้าอยู่ที่ระหว่าง 90-99 %RH ความเร็วของอากาศที่ป้อนเข้าสู่หอดูดซับเท่ากับ 1 ลิตรต่ออนาที ที่ความดัน 1 บรรยากาศ โดยทำการวัดความชื้นขาออกทุกๆ 1 นาที จนกระทั่ง ความชื้นขาเข้าและขาออกมีค่าเท่ากัน นำข้อมูลที่ได้คำนวณประสิทธิภาพการดูดซับความชื้น จากการทดลองสามารถเขียนกราฟแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.12 – 4.17



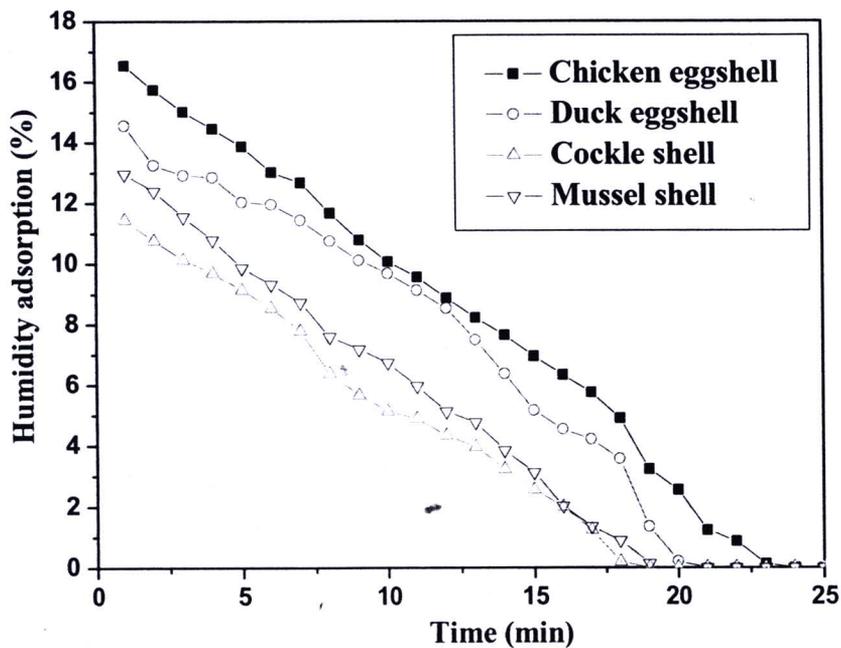
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่มีขนาดระหว่าง 500 - 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 70 กรัม



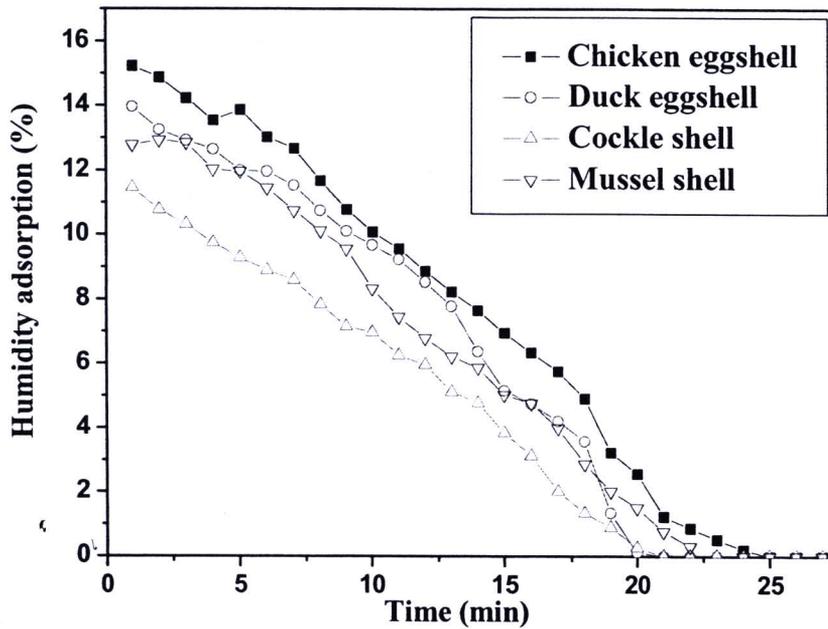
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 70 กรัม



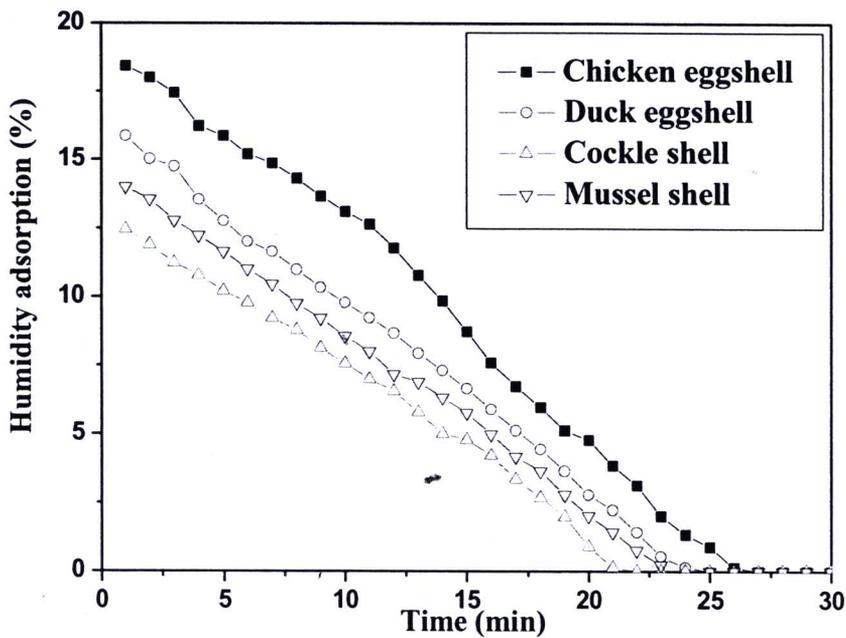
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่มีขนาดระหว่าง 500 - 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 100 กรัม



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 100 กรัม



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่มีขนาดระหว่าง 500 - 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 130 กรัม

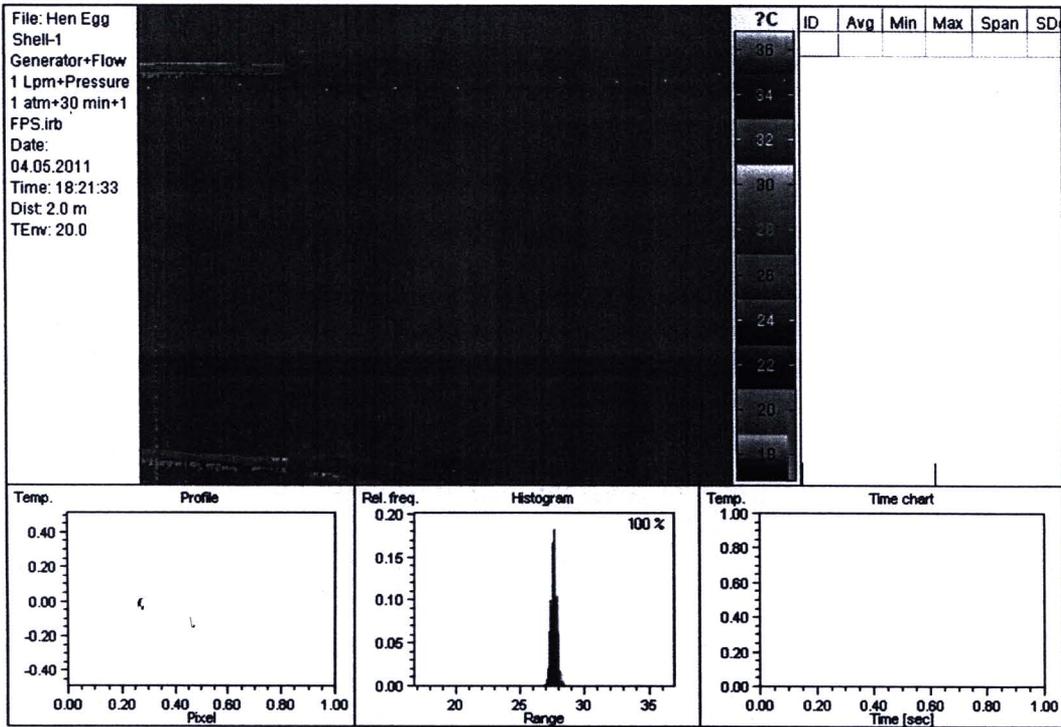


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ของตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร น้ำหนัก 130 กรัม

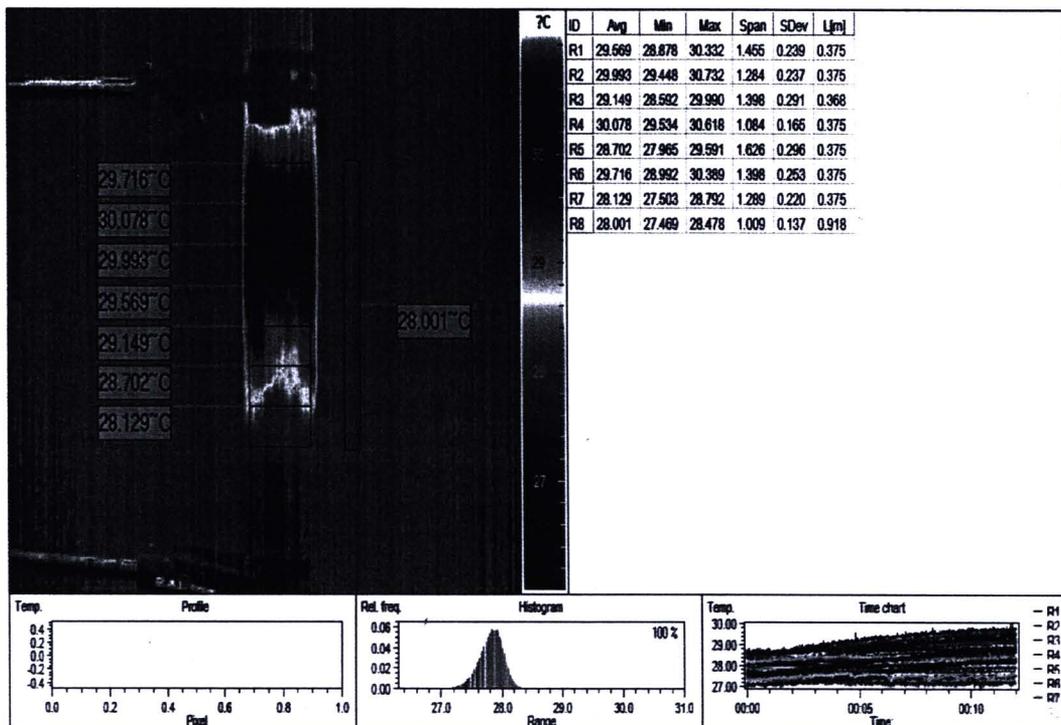
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลา ในหอดูดซับแบบเบดนิ่ง พบว่าตัวดูดซับจากเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นที่ดีที่สุด เนื่องจาก ตัวดูดซับจากเปลือกไข่ไก่ใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลต่อการดูดซับมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นกับเวลาของตัวดูดซับแต่ละชนิด พบว่า ตัวดูดซับจากเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นที่สูงกว่าตัวดูดซับจากเปลือกไข่เป็ด หอยแมลงภู่ และหอยแครง ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาพื้นที่ผิวของเปลือกทั้ง 4 ชนิดด้วย BET โดยพื้นที่ผิวของเปลือกไข่ไก่มีพื้นที่ผิวมากกว่าเปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยแครง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีมวลต่างกัน พบว่า ตัวดูดซับที่มีมวลมากกว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีมวลน้อยกว่า เนื่องจาก ตัวดูดซับที่มีมวลมากกว่าจะมีปริมาณตัวดูดซับมากกว่าตัวดูดซับที่มีมวลน้อยกว่า จึงมีเวลาในการดูดซับก่อนที่จะถึงจุดอิ่มตัวได้นานกว่านั่นเอง และเมื่อพิจารณาตัวดูดซับแต่ละชนิดที่มีขนาดต่างกันแต่มีมวลเท่ากัน พบว่า ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจาก ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่กว่า จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า

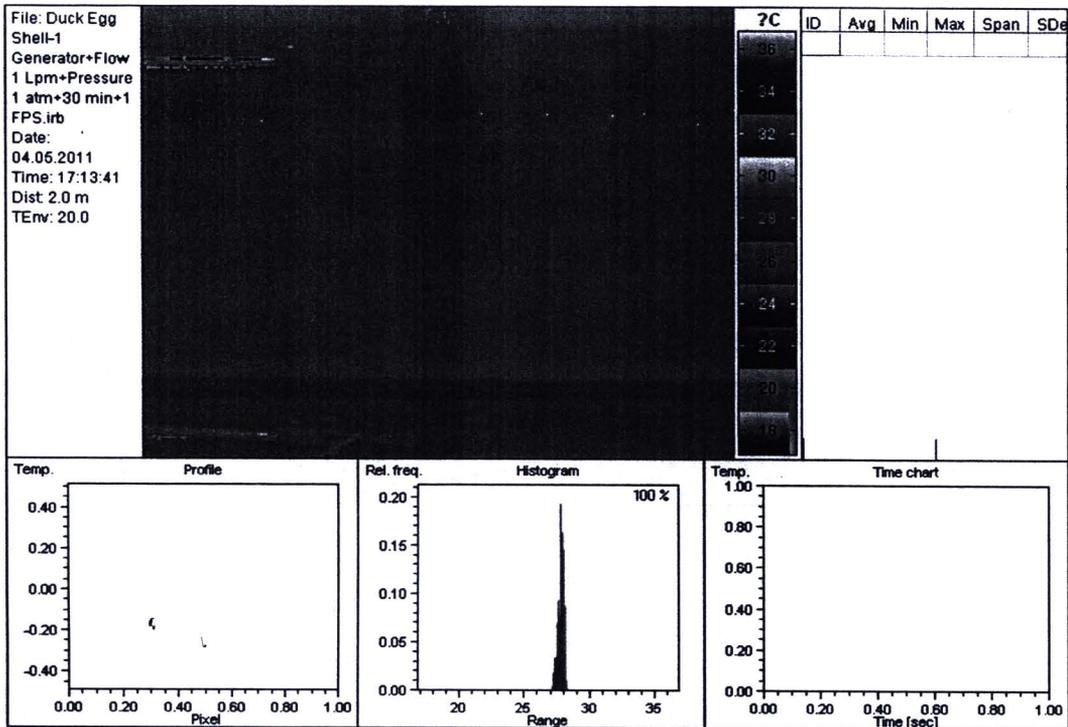
ในขณะที่ทำการทดลองการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่ง ตัวดูดซับจะดูดซับความชื้นโดยศึกษาอุณหภูมิของตัวดูดซับก่อนและหลังทำปฏิกิริยาของตัวดูดซับความชื้นด้วยกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง รุ่น Image IR 3300U จากการทดลองการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่ง โดยกำหนดให้ตัวดูดซับแต่ละชนิดมีน้ำหนัก 70 กรัมความชื้นขาเข้าอยู่ที่ระหว่าง 90-99 %RH ความเร็วของอากาศที่ป้อนเข้าสู่หอดูดซับเท่ากับ 1 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ใช้เวลา 30 นาที สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังรูป



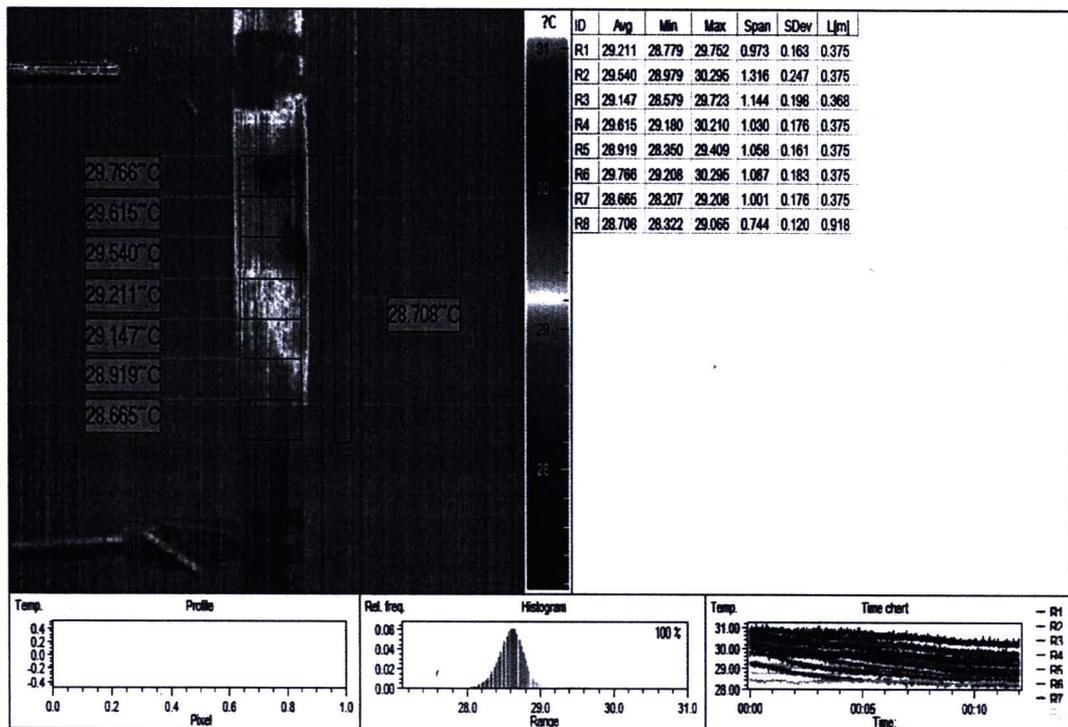
รูปที่ 4.18 ภาพจากกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง แสดงปฏิกิริยาความร้อนก่อนทำการทดลอง ประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นในหูดูดซับแบบเบดนิ่งของเปลือกไข่ไก่



รูปที่ 4.19 ภาพจากกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง แสดงปฏิกิริยาความร้อนหลังทำการทดลอง ประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นในหูดูดซับแบบเบดนิ่งของเปลือกไข่ไก่

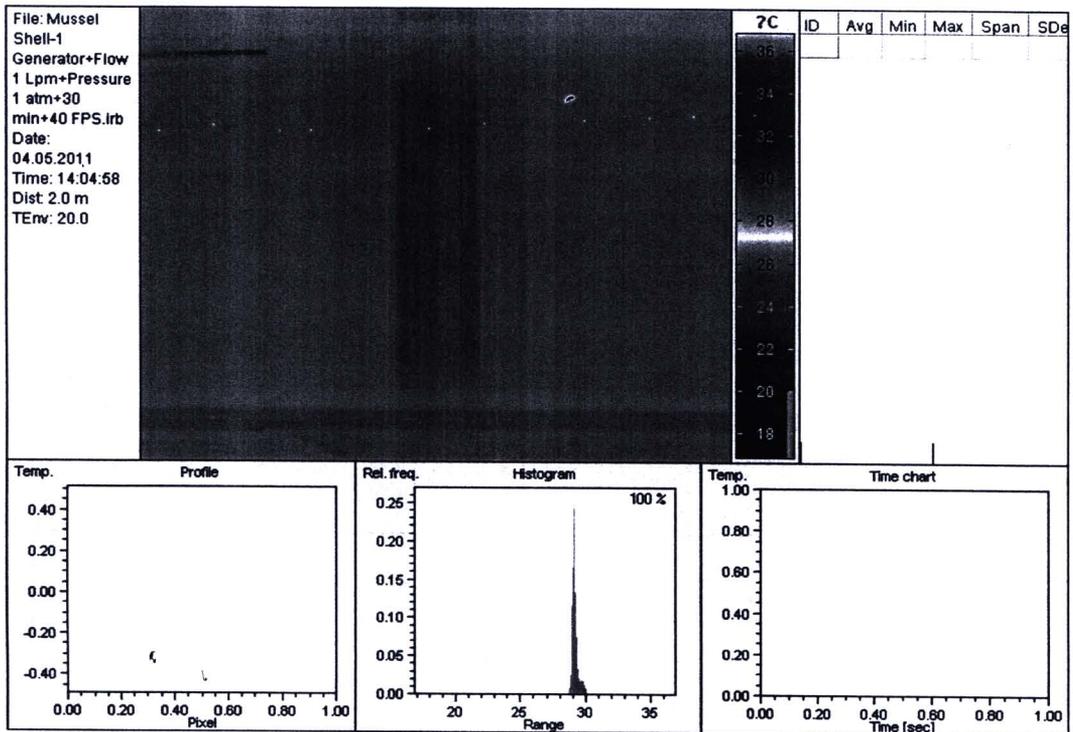


รูปที่ 4.20 ภาพจากกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง แสดงปฏิกิริยาความร้อนก่อนทำการทดลอง ประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นในหอคูล์บแบบเบดนิ่งของเปลือกไข่เป็ด

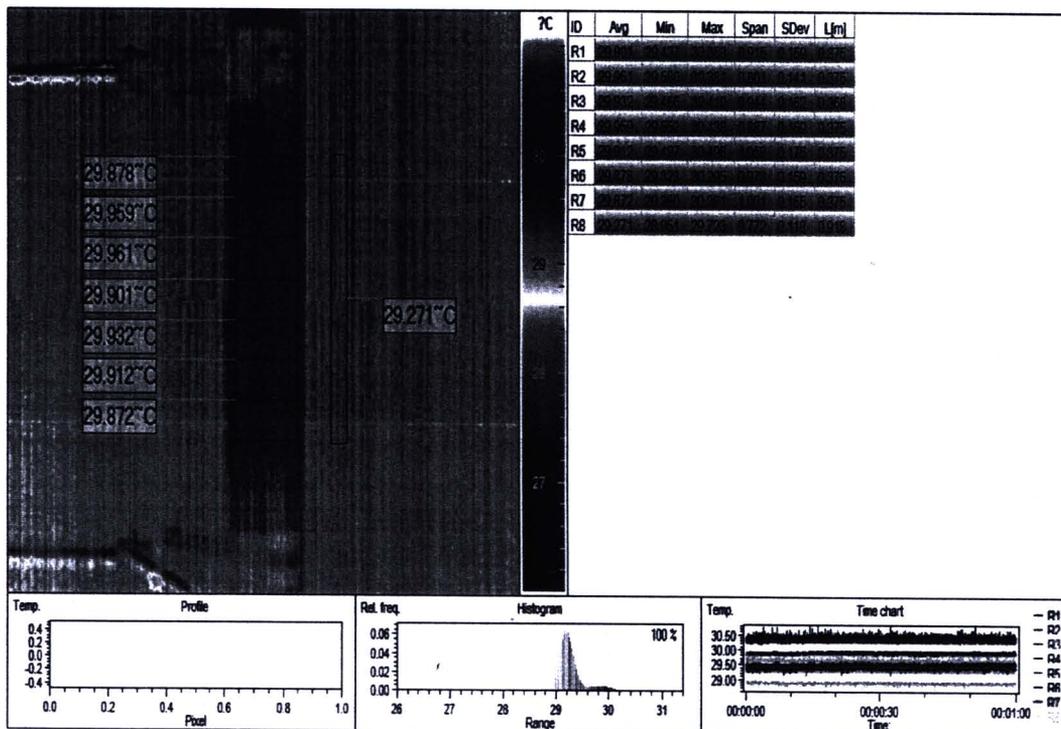


รูปที่ 4.21 ภาพจากกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง แสดงปฏิกิริยาความร้อนหลังทำการทดลอง ประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นในหอคูล์บแบบเบดนิ่งของเปลือกไข่เป็ด





รูปที่ 4.24 ภาพจากกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง แสดงปฏิกิริยาความร้อนก่อนทำการทดลอง ประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่งของเปลือกหอยแมลงภู



รูปที่ 4.25 ภาพจากกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง แสดงปฏิกิริยาความร้อนหลังทำการทดลอง ประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบดนิ่งของเปลือกหอยแมลงภู

เมื่อเปรียบเทียบภาพจากกล้องอินฟราเรด ความเร็วสูง รุ่น Image IR 3300U ของตัวดูดซับในหอดูดซับ ก่อนและหลังทำการทดลองการดูดซับความชื้นในหอดูดซับแบบเบคกิ้ง พบว่า อุณหภูมิภายในหอดูดซับหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองการดูดซับความชื้น นั่นคือ ในขณะที่มีการดูดซับความชื้นของตัวดูดซับความชื้น ได้มีปฏิกิริยาคายความร้อนออกมานั่นเอง และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอดูดซับแต่ละส่วน พบว่า อุณหภูมิแต่ละส่วนไม่เท่ากัน เมื่อป้อนความชื้นเข้าสู่หอดูดซับจากส่วนล่างขึ้นสู่ส่วนบน ตัวดูดซับจากส่วนล่างทำการดูดซับความชื้นก่อนและได้มีปฏิกิริยาคายความร้อนออกมา ทำให้อุณหภูมิในส่วนล่างของหอดูดซับสูงขึ้น จากนั้น เมื่อตัวดูดซับส่วนล่างเกิดการอิ่มตัวทำให้ความชื้นผ่านไปยังส่วนด้านบนและเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนขึ้นในส่วนบน อุณหภูมิของหอดูดซับส่วนบนจึงสูงขึ้น ส่วนด้านล่างของหอดูดซับเมื่อเกิดการอิ่มตัว อุณหภูมิจึงลดลง ไปจนกว่าตัวดูดซับในหอดูดซับเกิดการอิ่มตัวจนหมด

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของบริเวณที่เกิดการคายความร้อนของตัวดูดซับแต่ละชนิด พบว่า ตัวดูดซับจากเปลือกไข่ไก่ มีอุณหภูมิภายในหอดูดซับ สูงกว่า ตัวดูดซับจากเปลือกไข่เป็ด หอยแมลงภู่ และหอยแครง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้น และ ผลการศึกษาพื้นที่ผิวของเปลือกทั้ง 4 ชนิดด้วย BET นั่นเอง