

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้กำหนดไว้ในบทที่ 3 ตามแผนการทดลองในตารางที่ 3.2 และ 3.3 เพื่อหาค่าสมบัติต่างๆของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ วัสดุสร้างความพรุน และชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยสมบัติของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการทดสอบ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความพรุน ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็งของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด และลักษณะโครงสร้างของชิ้นงาน

ดังนั้นจึงแบ่งผลการทดลอง และการวิเคราะห์ออกเป็นหัวข้อ ดังนี้

1. ผลการตรวจสอบสมบัติของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์
  - 1.1 ผลการตรวจสอบลักษณะเฟส
  - 1.2 ผลการตรวจสอบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค
  - 1.3 ผลการตรวจสอบลักษณะรูพรุน
2. ผลการตรวจสอบสมบัติของวัสดุสร้างความพรุน
  - 2.1 ผลการเลือกวัสดุสร้างความพรุนสำหรับการขึ้นรูป
  - 2.2 ผลการตรวจสอบอุณหภูมิที่วัสดุสร้างความพรุนละลายตัว
  - 2.3 ผลการตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงแบ่ง
  - 2.4 ผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของวัสดุสร้างความพรุน
3. ผลการตรวจสอบสมบัติของชิ้นงานตัวอย่าง
  - 3.1 เปอร์เซ็นต์ความพรุน
  - 3.2 ความหนาแน่นบัลค์
  - 3.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น
  - 3.4 ความแข็งของวัสดุ
  - 3.5 ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกด
  - 3.6 ลักษณะโครงสร้างของชิ้นงาน

## 4.1 ผลการตรวจสอบสมบัติของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์

### 4.1.1 ผลการตรวจสอบลักษณะเฟส

จากผลการตรวจสอบลักษณะรูปแบบเฟสของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) พบว่า ผงที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะเฟสที่ตรงกับรูปแบบเฟสของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์มาตรฐาน ดังนั้นผงที่สังเคราะห์ได้จึงจัดเป็นสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

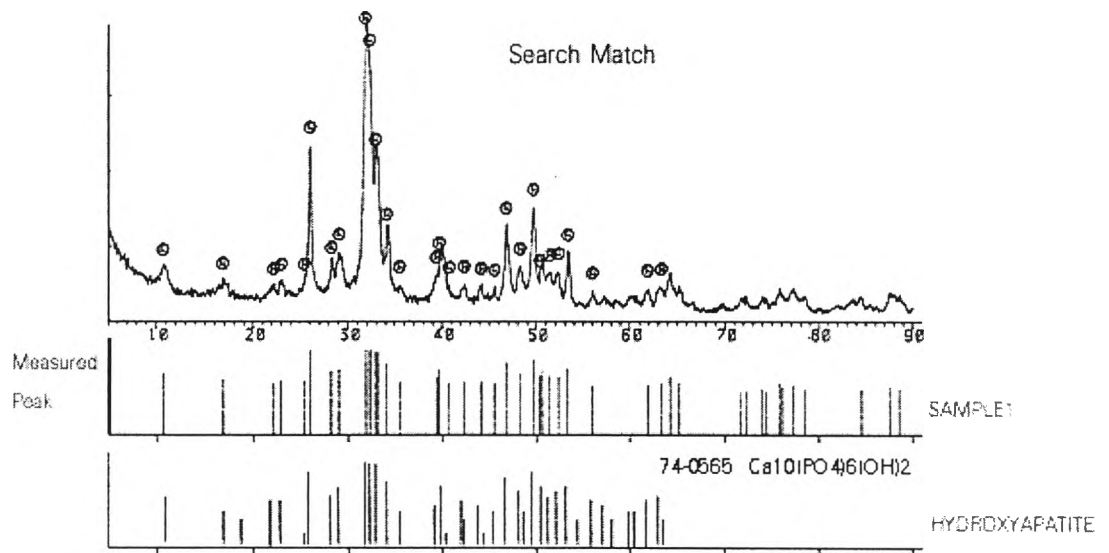
### 4.1.2 ผลการตรวจสอบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

จากการตรวจสอบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลอง ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer (PSA) สามารถแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของวัสดุ และจำนวนเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง

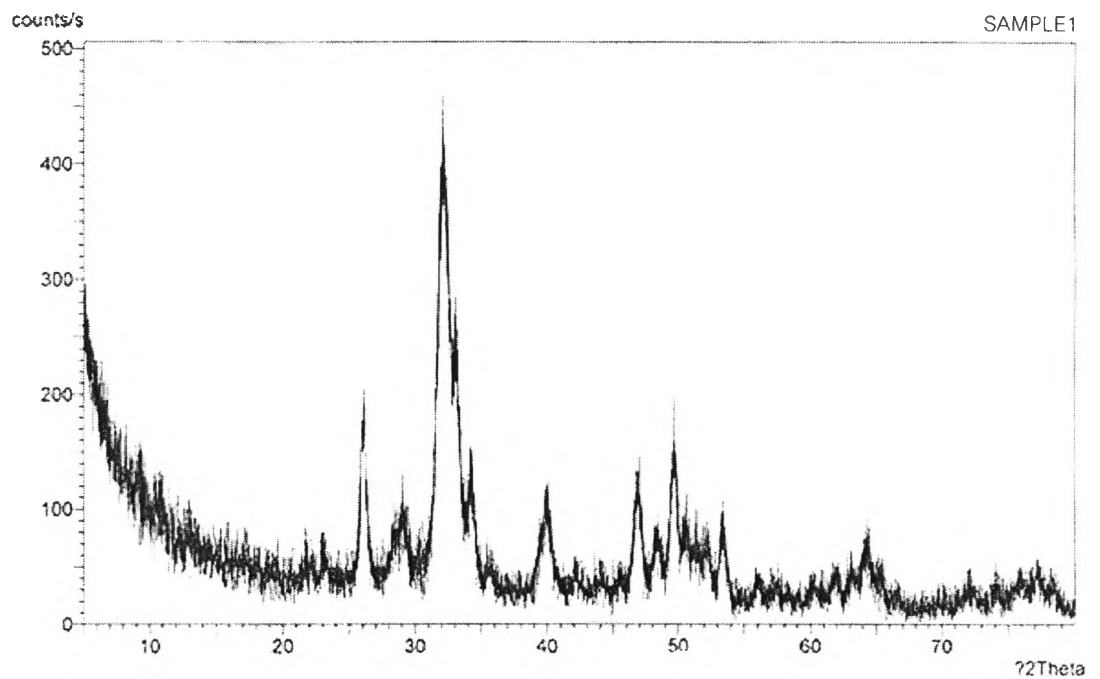
จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ขนาดของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ มีการกระจายของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงระหว่าง 4.19 - 1,192.56 ไมโครเมตร และมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค เท่ากับ 380.46 ไมโครเมตร มีค่ามัธยฐาน (D[v,0.5]) เท่ากับ 162.85 ไมโครเมตร และมีลักษณะการกระจายของอนุภาค ดังรูปที่ 4.3

### 4.1.3 ผลการตรวจสอบลักษณะรูปร่าง

จากภาพถ่ายของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ มีลักษณะรูปร่างเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ และมีขนาดของอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคประมาณ 100 ไมโครเมตร



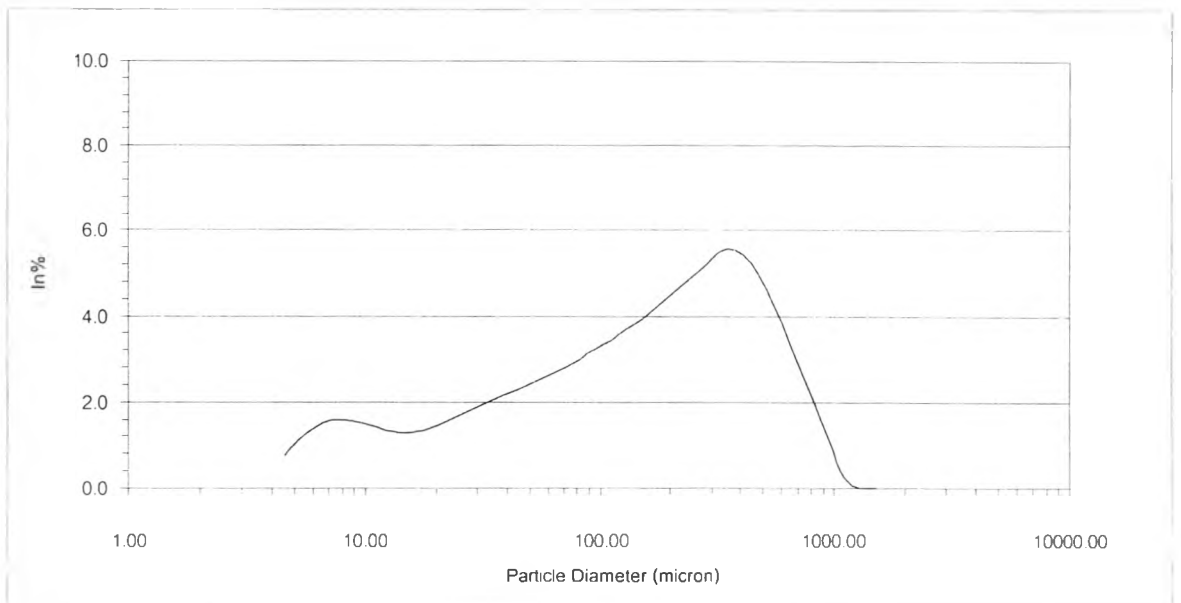
รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบเฟส XRD ของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลอง เทียบกับสารไฮดรอกซีอะพาไทต์มาตรฐาน



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบเฟส XRD ของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลอง

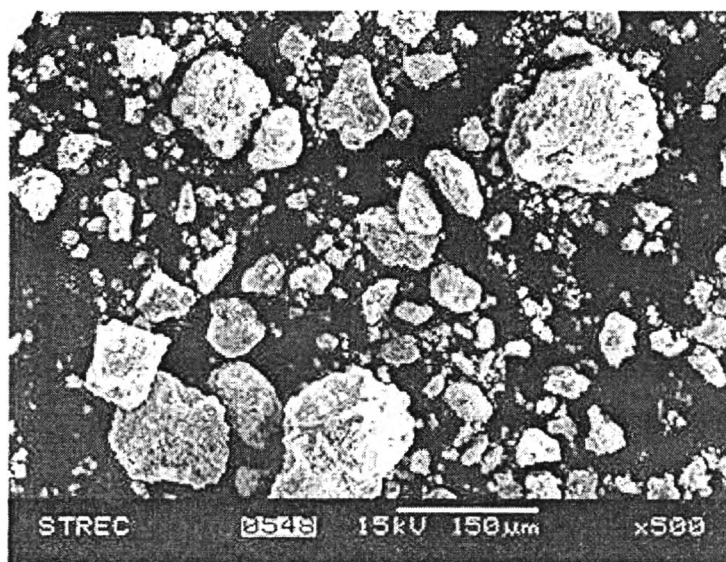
ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาคผงไฮดรอกซีอะพาไทด์สังเคราะห์

System Details							
Range Lens: 1000 mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler MS1		Obscuration: 21.6 %			
Presentation: 30HD	[Particle R.I.] = (1.5299, 0.1000)	Dispersant R.I. = 1.3300		Residual: 0.641 %			
Analysis Method: Polydispers	Modifications: None						
Result Statistics							
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.1354 %Vol	Density = 1.000 g/cub. cm	Specific S.A. = 0.1429 m <sup>2</sup> /g				
Mean Diameter:	D [v, 0.1] = 19.92 um	D [v, 0.5] = 162.85 um	D [v, 0.9] = 537.82 um				
D [4, 3] = 232.03 um	D [3, 2] = 41.68 um	Span = 3.345E+00	Uniformity = 1.056E+00				
Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Unobsc%	Size_Low (um)	P %	Size_High (um)	DF99%
4.16	0.76	4.33	0.76	120.67	3.70	149.58	46.19
4.88	1.14	5.09	1.90	140.68	3.96	163.77	50.15
5.60	1.43	6.03	3.32	163.77	4.25	190.90	54.40
6.63	1.56	7.72	4.90	190.80	4.55	222.28	58.85
7.72	1.60	9.00	6.56	222.29	4.80	258.85	63.81
8.90	1.52	10.49	8.02	258.96	5.10	301.60	68.89
10.48	1.41	12.21	9.43	301.68	5.45	351.46	74.48
12.21	1.33	14.22	10.76	351.48	5.53	409.45	80.01
14.22	1.30	16.57	12.06	409.45	5.25	477.01	85.26
15.57	1.36	19.31	13.42	477.01	4.64	555.71	89.90
18.31	1.49	22.49	14.91	555.71	3.82	647.41	93.72
22.49	1.65	26.20	16.57	647.41	2.92	754.23	96.04
26.20	1.62	30.53	18.39	754.23	2.02	878.87	98.66
30.53	1.90	35.56	20.38	878.67	1.12	1023.64	99.78
35.56	2.16	41.43	22.54	1023.66	0.72	1192.56	100.00
41.43	2.31	48.27	24.85	1192.56	0.00	1389.33	100.00
48.27	2.47	56.22	27.32	1389.33	0.00	1618.57	100.00
56.23	2.64	65.51	29.86	1618.57	0.00	1855.64	100.00
65.51	2.82	76.32	32.78	1855.64	0.00	2190.77	100.00
76.32	3.02	88.81	35.80	2190.77	0.00	2559.23	100.00
88.91	3.23	103.58	39.03	2559.23	0.00	2981.51	100.00
103.58	3.46	120.07	42.49	2981.51	0.00	3473.45	100.00

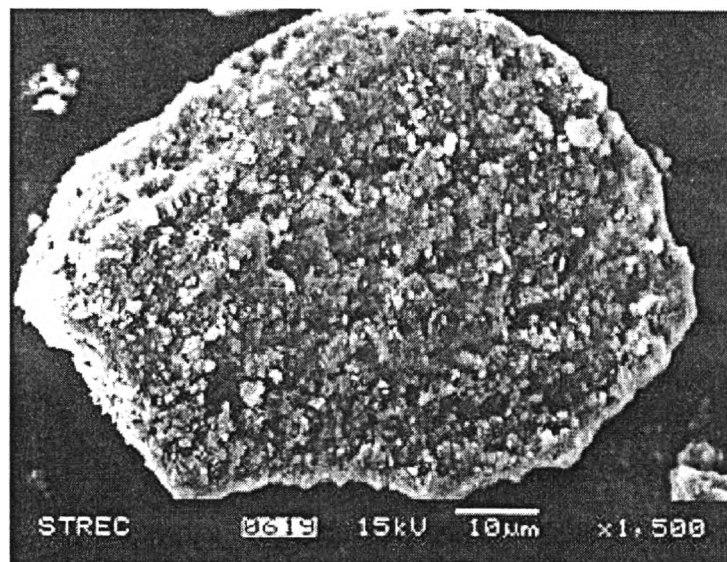


รูปที่ 4.3 การกระจายของขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทด์สังเคราะห์





รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์  
ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์  
ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

## 4.2 ผลการตรวจสอบสมบัติของวัสดุสร้างความปลอดภัย

### 4.2.1 ผลการเลือกวัสดุสร้างความปลอดภัยสำหรับการขึ้นรูป

จากผลการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างในเบื้องต้น โดยการผสมวัสดุสร้างความปลอดภัยชนิดต่างๆที่ได้คัดเลือกไว้ พบว่า มีเพียงวัสดุสร้างความปลอดภัย 2 ชนิดเท่านั้น ที่นำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแล้ว ไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายในระหว่างการเผา ได้แก่ ฟองน้ำสังเคราะห์ และผงแป้งข้าวเจ้า ดังนั้น วัสดุสร้างความปลอดภัยที่มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานในงานวิจัยนี้ คือ ฟองน้ำสังเคราะห์ และผงแป้งข้าวเจ้า

### 4.2.2 ผลการตรวจสอบอุณหภูมิที่วัสดุสร้างความปลอดภัยสลายตัว

จากการทดลองเผาวัสดุสร้างความปลอดภัยสองชนิด คือ ฟองน้ำ และแป้งข้าวเจ้า ในเตา Carbolite พบว่า ฟองน้ำ จะเผาไหม้เร็วกว่าแป้งข้าวเจ้าเล็กน้อย แต่วัสดุทั้งสองชนิดจะสลายตัวจนหมดที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.2

### 4.2.3 ผลการตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงแป้ง

จากการตรวจสอบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการทดลอง ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer (PSA) สามารถแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของวัสดุ และจำนวนเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ขนาดของผงแป้งข้าวเจ้า มีการกระจายของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงระหว่าง 0.07 – 280.32 ไมโครเมตร และมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค เท่ากับ 7.18 ไมโครเมตร มีค่ามัธยฐาน ( $D[v,0.5]$ ) เท่ากับ 10.97 ไมโครเมตร และมีลักษณะการกระจายของขนาดอนุภาค ดังรูปที่ 4.6

#### 4.2.4 ผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของวัสดุสร้างความพรุน

จากภาพถ่ายของวัสดุสร้างความพรุนทั้งสองชนิด คือ ฟองน้ำ และแป้งข้าวเจ้า ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ดังรูปที่ 4.7 พบว่า ฟองน้ำจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะโครงร่างตาข่าย ประกอบไปด้วย รูพรุนลักษณะรูปทรงเหลี่ยมที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 500 ไมโครเมตร

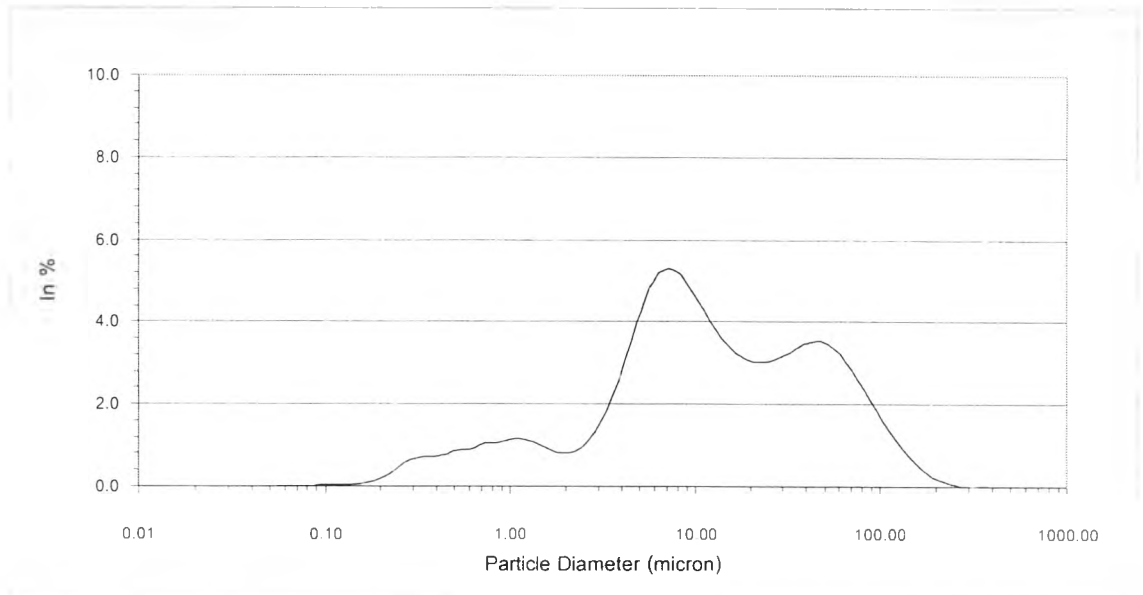
จากรูปที่ 4.8 พบว่า อนุภาคของผงแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะรูปทรงเป็นทรงกลม ที่มีขนาดสม่ำเสมอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 5 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.2 บันทึกลักษณะของวัสดุสร้างความพรุนที่อุณหภูมิระดับต่างๆ

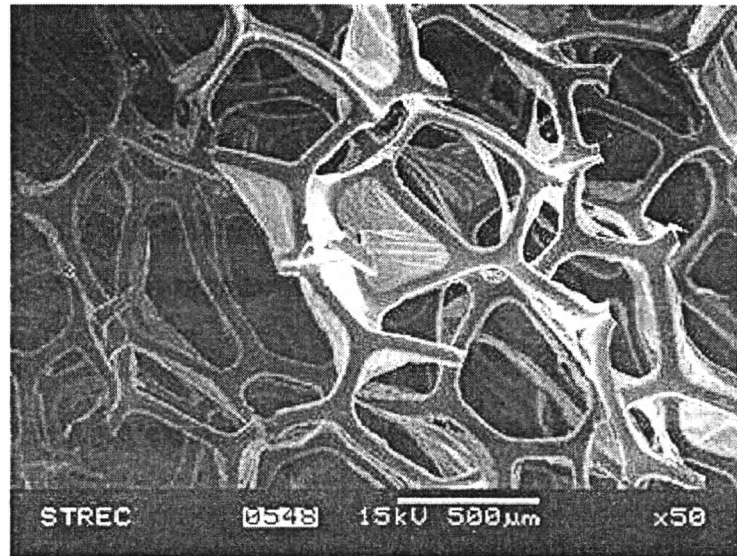
อุณหภูมิเตา (องศาเซลเซียส)	ลักษณะที่เกิดขึ้นกับชิ้นวัสดุ	
	ฟองน้ำ	แป้งข้าวเจ้า
50	เริ่มหดตัวเล็กน้อย	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
100	หดตัวมากขึ้นกว่าเดิม และเริ่มเปลี่ยนสีเข้มขึ้น	พองตัวมากขึ้น และเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง
150	เริ่มไหม้บางส่วน	พองตัวมากขึ้น และสีเข้มมากขึ้น
200	ไหม้มากขึ้น	เริ่มไหม้บางส่วน
250	ไหม้จนเกือบทั้งหมด	ไหม้มากขึ้น
300	ไหม้จนหมด เหลือแต่เถ้าสีดำ	ไหม้จนเกือบหมด
350	เหลือแต่เถ้าสีดำ	ยังคงไหม้อยู่ เหลือแต่เถ้าสีดำ
400	เถ้าสีดำลดลง	เถ้าสีดำลดลง
450	เถ้าสีดำลดลง	เถ้าสีดำลดลง
500	เถ้าสีดำลดลง สลายจนเกือบหมด	เถ้าสีดำลดลง สลายจนเกือบหมด
550	สลายตัวจนหมด	สลายตัวจนหมด

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาคผงแป้งข้าวเจ้า

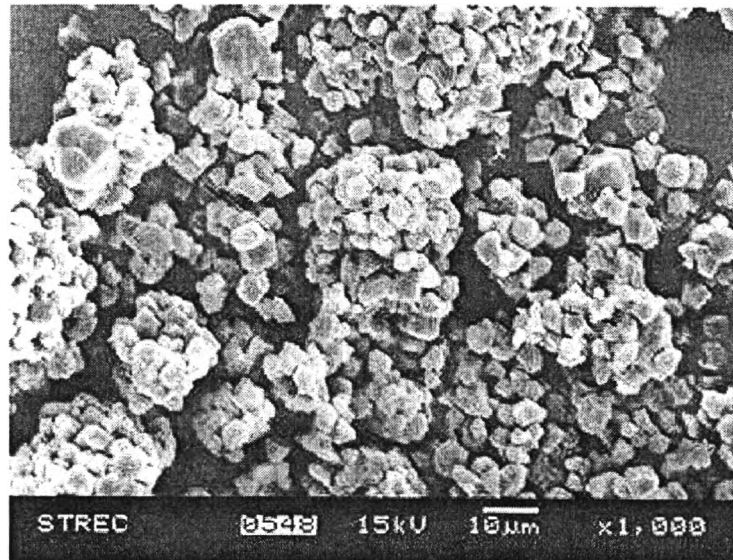
SYSTEM STATUS							
Range Lens: 300RF mm		Beam Length: 2.40 mm		Sampler MS17		Obscuration: 21.9 %	
Presentation: 30HD		(Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000)		Dispersant R.I. = 1.3300		Residual: 0.416 %	
Analysis Model: Polydisperse		Killed Data Channels: Low D; High Z					
Modifications: Active -		Killed Result Channels: < 0.05 um; > 301.66 um.					
RESULTS SUMMARY							
Distribution Type: Volume		Concentration = 0.0170 %Vol		Density = 1.000 g/cub cm		Specific S.A. = 1.27E+00 m <sup>2</sup> /g	
Mean Diameters:		D [v, 0.5] = 1.23 um		D [v, 0.5] = 10.97 um		D [v, 0.95] = 67.43 um	
D [4, 3] = 25.01 um		D [3, 2] = 3.18 um		Span = 5.041E+00		Uniformity = 1.830E+00	
Size [um]	%	Size [um]	Under%	Size [um]	%	Size [um]	Under%
0.05	0.00	0.05	0.00	6.63	5.32	7.72	38.79
0.06	0.00	0.07	0.01	7.72	5.18	9.00	43.95
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	4.74	10.48	48.68
0.08	0.01	0.09	0.02	10.48	4.25	12.21	52.93
0.09	0.02	0.11	0.04	12.21	3.78	14.22	56.71
0.11	0.02	0.13	0.06	14.22	3.40	16.57	60.11
0.13	0.04	0.15	0.10	16.57	3.15	19.31	63.25
0.15	0.07	0.17	0.18	19.31	3.02	22.49	66.27
0.17	0.14	0.20	0.32	22.49	3.02	26.20	69.30
0.20	0.27	0.23	0.58	26.20	3.12	30.53	72.42
0.23	0.46	0.27	1.04	30.53	3.27	35.56	75.69
0.27	0.65	0.31	1.89	35.56	3.47	41.43	79.16
0.31	0.72	0.36	2.40	41.43	3.55	48.27	82.71
0.36	0.71	0.42	3.12	48.27	3.46	56.23	86.19
0.42	0.77	0.49	3.88	56.23	3.23	65.51	89.42
0.49	0.88	0.58	4.76	65.51	2.83	76.32	92.25
0.58	0.92	0.67	5.68	76.32	2.38	88.91	94.61
0.67	1.04	0.78	6.71	88.91	1.85	103.58	96.46
0.78	1.07	0.91	7.78	103.58	1.37	120.67	97.83
0.91	1.12	1.06	8.91	120.67	0.93	140.08	98.76
1.06	1.14	1.24	10.05	140.08	0.60	163.77	99.35
1.24	1.08	1.44	11.13	163.77	0.35	190.80	99.73
1.44	0.94	1.68	12.07	190.80	0.17	222.28	99.91
1.68	0.82	1.95	12.90	222.28	0.08	258.05	99.99
1.95	0.82	2.28	13.72	258.05	0.01	301.66	100.00
2.28	0.05	2.65	14.67	301.66	0.00	351.46	100.00
2.65	1.25	3.09	15.95	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.82	3.50	17.78	409.45	0.00	477.01	100.00
3.50	2.59	4.19	20.38	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.53	4.88	23.90	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.66	5.69	28.36	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.11	6.63	33.47	754.23	0.00	878.67	100.00



รูปที่ 4.6 การกระจายของขนาดอนุภาคของผงแป้งข้าวเจ้า



รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM โครงสร้างของฟองน้ำ  
ที่กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของผนังขั้วจ้าว  
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

### 4.3 ผลการตรวจสอบสมบัติของชิ้นงานตัวอย่าง

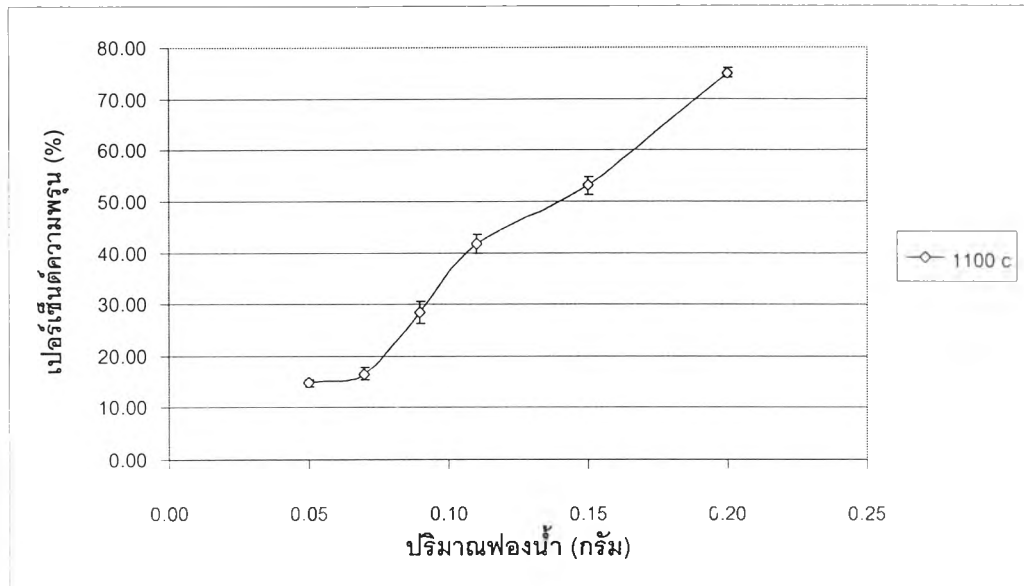
ในการทดสอบสมบัติของชิ้นงานตัวอย่างจะแบ่งการทดสอบออกตามประเภทของชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ คือ ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ และชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งข้าวเจ้า เพื่อทำการศึกษาปัจจัยต่างๆของกระบวนการขึ้นรูป อันได้แก่ ปริมาณของวัสดุสร้างความพรุนที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีผลต่อคุณสมบัติของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการตรวจสอบ

#### 4.3.1 เปอร์เซ็นต์ความพรุน (% Porosity)

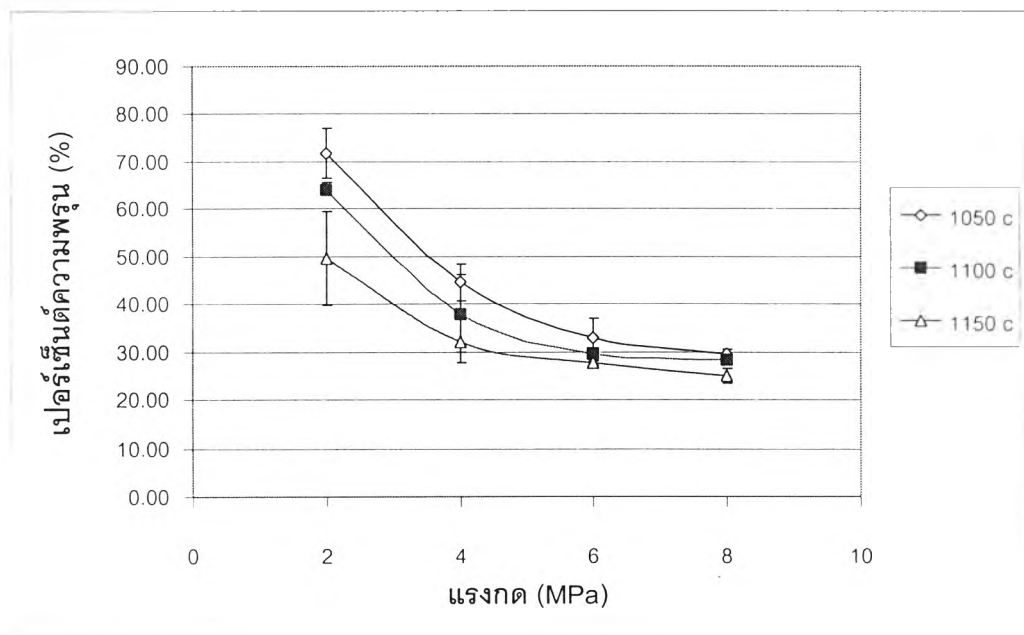
##### 4.3.1.1 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.9 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน ที่มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน (ในการทดลองชิ้นงาน SA1-SA6) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟองน้ำที่ผสมลงในชิ้นงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อปริมาณฟองน้ำที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิในการเผาชิ้นงาน ที่มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน SB SC และ SD) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์ชิ้นงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผา นั่นคือ เมื่อเพิ่มแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปมากขึ้น ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนลดลง ที่ระดับอุณหภูมิในการเผาคงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนลดลงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.9 ผลของ ปริมาณฟองน้ำ ที่มีต่อ เปอร์เซ็นต์ความพรุน ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ แรงกด 2 MPa ภายหลังจากการเผาชิ้นเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 ผลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้เผาชิ้นงาน ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุน ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากการเผาชิ้นเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ด้วยแรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	ปริมาณฟองน้ำ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ความพรุน (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
SA1	1	0.05	14.2	14.8	0.6
	2	0.05	15.3		
	3	0.05	14.8		
SA2	1	0.07	15.7	16.6	1.2
	2	0.07	16.0		
	3	0.07	18.0		
SA3	1	0.09	30.5	28.4	2.1
	2	0.09	28.4		
	3	0.09	26.3		
SA4	1	0.11	41.6	41.8	1.9
	2	0.11	43.7		
	3	0.11	40.0		
SA5	1	0.15	53.4	53.1	1.7
	2	0.15	54.6		
	3	0.15	51.3		
SA6	1	0.20	75.8	75.0	0.9
	2	0.20	75.2		
	3	0.20	73.9		



ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์ความพรุน (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SB1	1	2	1,050	66.2	71.8	5.1
	2	2	1,050	76.4		
	3	2	1,050	72.8		
SB2	1	4	1,050	47.9	44.6	4.0
	2	4	1,050	40.1		
	3	4	1,050	45.6		
SB3	1	6	1,050	37.3	33.1	3.7
	2	6	1,050	30.2		
	3	6	1,050	31.9		
SB4	1	8	1,050	30.0	29.5	1.1
	2	8	1,050	28.2		
	3	8	1,050	30.1		
SC1	1	2	1,100	64.2	64.2	1.3
	2	2	1,100	62.9		
	3	2	1,100	65.6		
SC2	1	4	1,100	36.5	38.0	8.2
	2	4	1,100	30.7		
	3	4	1,100	46.8		
SC3	1	6	1,100	28.5	29.5	0.9
	2	6	1,100	30.3		
	3	6	1,100	29.7		
SC4	1	8	1,100	28.1	28.5	0.7
	2	8	1,100	29.2		
	3	8	1,100	28.1		

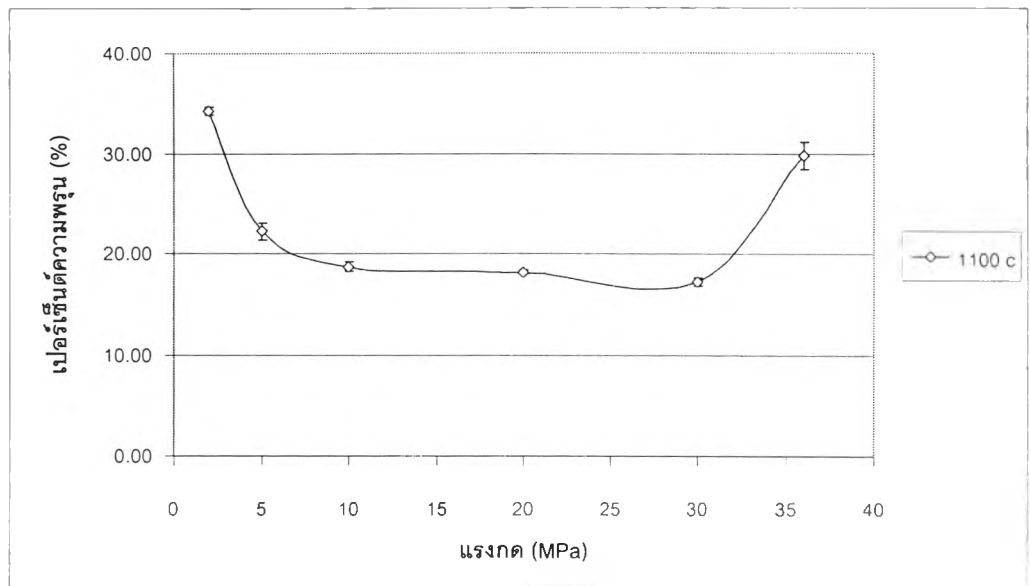
ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์ความพรุน (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SD1	1	2	1,150	58.9	49.7	9.9
	2	2	1,150	39.3		
	3	2	1,150	50.9		
SD2	1	4	1,150	37.2	32.1	4.4
	2	4	1,150	28.9		
	3	4	1,150	30.3		
SD3	1	6	1,150	27.4	27.7	0.4
	2	6	1,150	28.1		
	3	6	1,150	27.4		
SD4	1	8	1,150	23.8	25.1	1.6
	2	8	1,150	26.8		
	3	8	1,150	24.6		

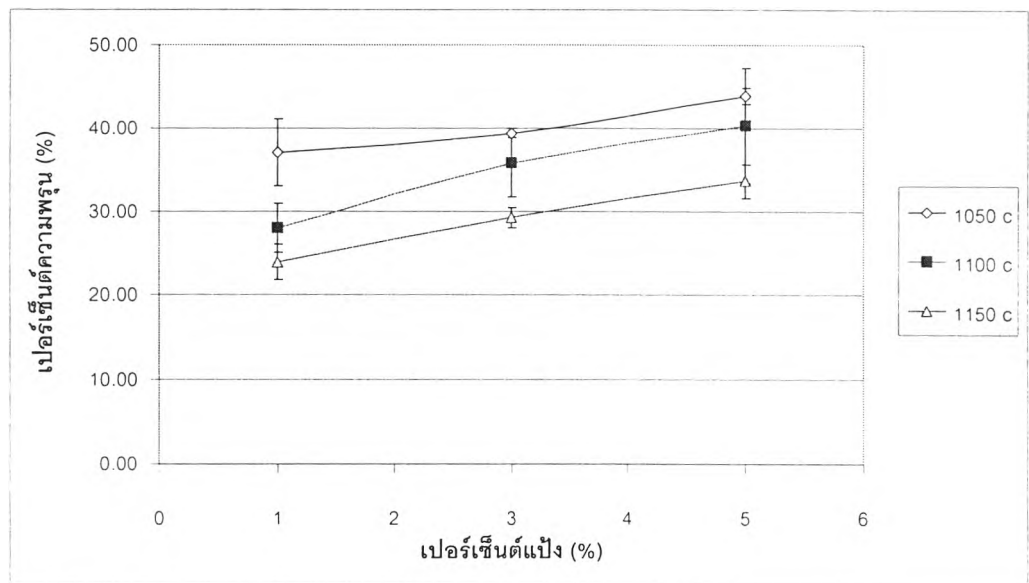
#### 4.3.1.2 ชีงงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และในรูปที่ 4.11 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน ที่มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชีงงาน (การทดลองชีงงาน PA1-PA6) แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์แป้งที่ผสมลงในชีงงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชีงงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ในบางช่วง นั่นคือ เมื่อระดับแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นในช่วง 0-10 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และจะเริ่มลดลงอย่างช้าๆจนเกือบคงที่ในช่วงแรงกด 10-20 MPa แล้วหลังจากนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ เปอร์เซ็นต์แป้งที่ผสมลงในชีงงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ ที่มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชีงงาน (การทดลองชีงงาน PB PC และ PD) แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน และอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์ จะมีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชีงงานตัวอย่างภายหลังการเผา นั่นคือ เมื่อเปอร์เซ็นต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้น ชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิซินเทอร์คงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชีงงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ชีงงานมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนลดลงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.11 ผลของ แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป ที่มีต่อ เปอร์เซ็นต์ความพรุน ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1% ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 ผลของเปอร์เซ็นต์แป้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อ เปอร์เซ็นต์ความพรุน ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกดขึ้นรูป 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป (MPa)	เปอร์เซ็นต์ความพรุน (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
PA1	1	2	34.5	34.2	0.4
	2	2	33.8		
	3	2	34.3		
PA2	1	5	23.1	22.2	0.8
	2	5	21.4		
	3	5	22.2		
PA3	1	10	19.2	18.7	0.4
	2	10	18.6		
	3	10	18.4		
PA4	1	20	18.4	18.2	0.3
	2	20	18.2		
	3	20	17.9		
PA5	1	30	17.6	17.2	0.4
	2	30	16.8		
	3	30	17.1		
PA6	1	36	31.2	29.8	1.3
	2	36	29.6		
	3	36	28.6		

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิค  
การใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์

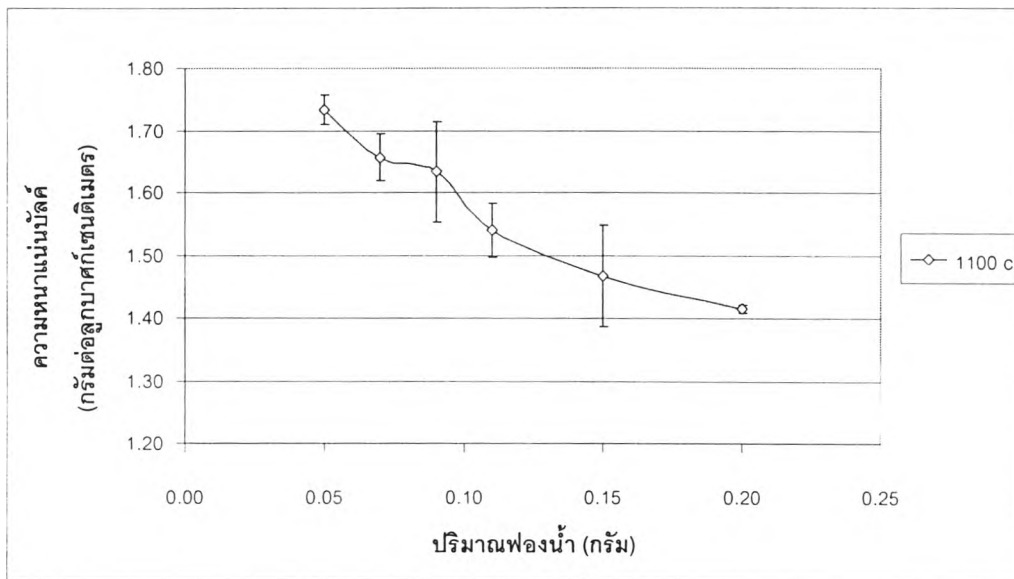
ชิ้นงาน	ลำดับ ที่	เปอร์เซ็นต์ แป้ง (%)	อุณหภูมิ ซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์ ความพรุน (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
PB1	1	1	1,050	32.5	37.0	4.0
	2	1	1,050	40.0		
	3	1	1,050	38.6		
PB2	1	3	1,050	38.7	39.4	0.6
	2	3	1,050	39.5		
	3	3	1,050	39.9		
PB3	1	5	1,050	43.1	43.8	1.0
	2	5	1,050	44.9		
	3	5	1,050	43.4		
PC1	1	1	1,100	27.4	28.0	2.9
	2	1	1,100	31.1		
	3	1	1,100	25.4		
PC2	1	3	1,100	33.3	35.8	4.1
	2	3	1,100	39.1		
	3	3	1,100	35.0		
PC3	1	5	1,100	38.3	40.3	6.9
	2	5	1,100	45.2		
	3	5	1,100	37.3		
PD1	1	1	1,150	25.6	23.9	2.1
	2	1	1,150	21.6		
	3	1	1,150	24.6		
PD2	1	3	1,150	28.2	29.2	1.2
	2	3	1,150	28.9		
	3	3	1,150	30.6		
PD3	1	5	1,150	35.9	33.6	2.0
	2	5	1,150	32.6		
	3	5	1,150	32.3		

### 4.3.2 ความหนาแน่นบัลค์ (Bulk Density)

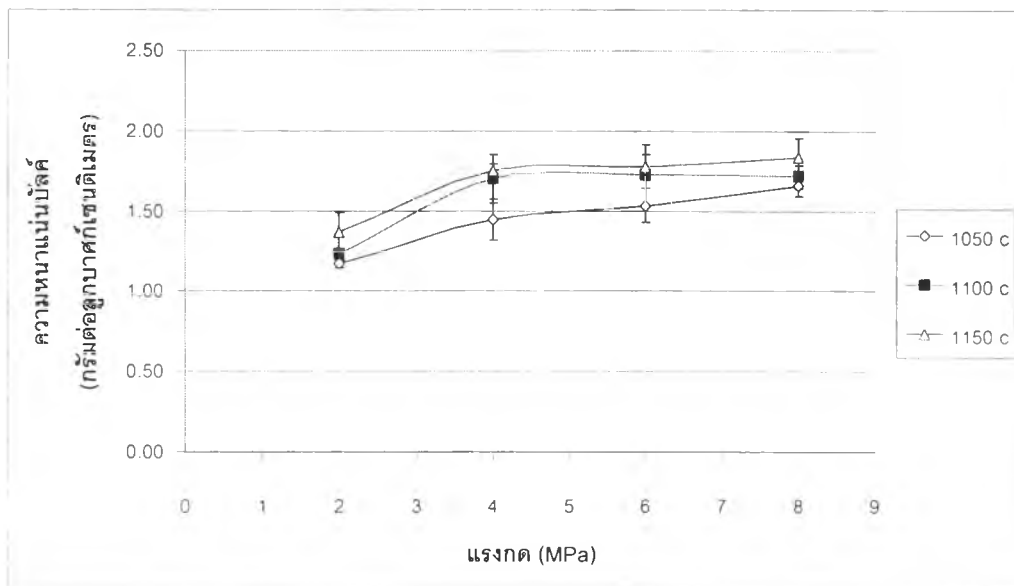
#### 4.3.2.1 ชีงงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

จากผลการทดสอบความหนาแน่นบัลค์ของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.13 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชีงงาน ที่มีผลต่อ ความหนาแน่นบัลค์ของชีงงาน (การทดลองชีงงาน SA1-SA6) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟองน้ำที่ผสมลงในชีงงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชีงงานตัวอย่างภายหลังการเผา นั่นคือ เมื่อปริมาณฟองน้ำที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาแน่นบัลค์ชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จะมีค่าลดลงตามลำดับ

จากผลการทดสอบความหนาแน่นบัลค์ของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.14 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน และอุณหภูมิซินเทอร์ ที่มีผลต่อความหนาแน่นบัลค์ของชีงงาน (การทดลองชีงงาน SB SC และ SD) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน และอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อความหนาแน่นบัลค์ของชีงงาน ตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อเพิ่มแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปมากขึ้น ชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าความหนาแน่นบัลค์เพิ่มขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิซินเทอร์คงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชีงงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ชีงงานมีค่าความหนาแน่นบัลค์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.13 ผลของ ปริมาณฟองน้ำ ที่มีต่อ ความหนาแน่นบัลด์ ของชั้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ แรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.14 ผลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อความหนาแน่น บัลด์ ของชั้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของ ปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ตารางที่ 4.8 ข้อมูลค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ด้วยแรงกด 2 MPa ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	ปริมาณฟองน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่นบัลค์ (g/cm <sup>3</sup> )	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
SA1	1	0.05	1.72	1.73	0.023
	2	0.05	1.76		
	3	0.05	1.72		
SA2	1	0.07	1.66	1.66	0.038
	2	0.07	1.69		
	3	0.07	1.62		
SA3	1	0.09	1.63	1.63	0.080
	2	0.09	1.56		
	3	0.09	1.72		
SA4	1	0.11	1.51	1.54	0.044
	2	0.11	1.52		
	3	0.11	1.59		
SA5	1	0.15	1.49	1.47	0.081
	2	0.15	1.53		
	3	0.15	1.38		
SA6	1	0.20	1.41	1.41	0.006
	2	0.20	1.42		
	3	0.20	1.42		

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลค่าความหนาแน่นบัลค์ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นบัลค์ (g/cm <sup>3</sup> )	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SB1	1	2	1,050	1.17	1.17	0.022
	2	2	1,050	1.15		
	3	2	1,050	1.19		
SB2	1	4	1,050	1.37	1.45	0.125
	2	4	1,050	1.59		
	3	4	1,050	1.37		
SB3	1	6	1,050	1.46	1.50	0.107
	2	6	1,050	1.65		
	3	6	1,050	1.49		
SB4	1	8	1,050	1.74	1.66	0.072
	2	8	1,050	1.63		
	3	8	1,050	1.60		
SC1	1	2	1,100	1.26	1.23	0.031
	2	2	1,100	1.24		
	3	2	1,100	1.20		
SC2	1	4	1,100	1.62	1.70	0.151
	2	4	1,100	1.60		
	3	4	1,100	1.87		
SC3	1	6	1,100	1.50	1.72	0.191
	2	6	1,100	1.85		
	3	6	1,100	1.82		
SC4	1	8	1,100	1.78	1.72	0.070
	2	8	1,100	1.72		
	3	8	1,100	1.64		

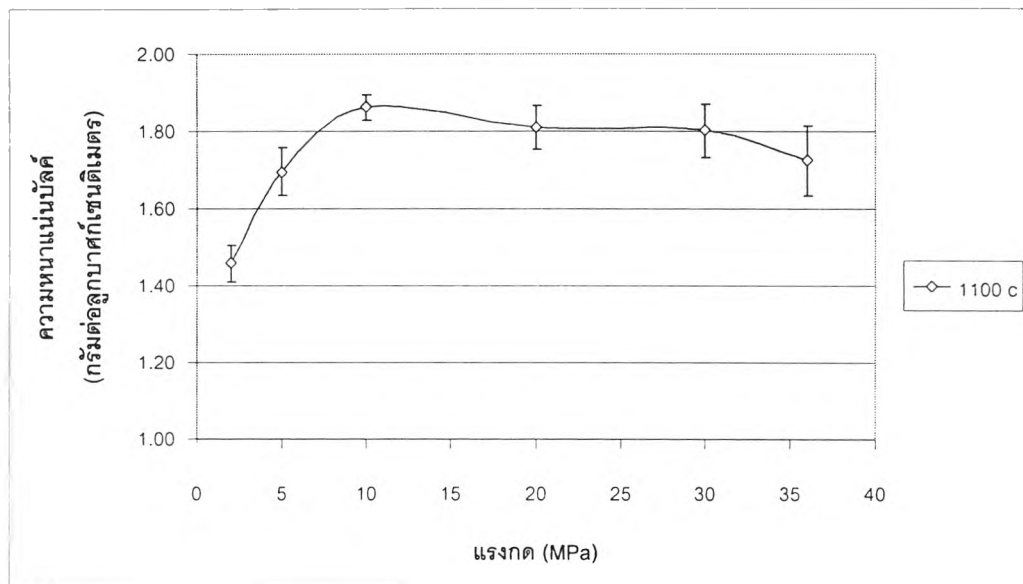
ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ข้อมูลค่าความหนาแน่นบัลค์ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นบัลค์ (g/cm <sup>3</sup> )	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SD1	1	2	1,150	1.33	1.37	0.123
	2	2	1,150	1.50		
	3	2	1,150	1.27		
SD2	1	4	1,150	1.74	1.75	0.048
	2	4	1,150	1.71		
	3	4	1,150	1.80		
SD3	1	6	1,150	1.68	1.77	0.084
	2	6	1,150	1.82		
	3	6	1,150	1.82		
SD4	1	8	1,150	1.71	1.84	0.113
	2	8	1,150	1.88		
	3	8	1,150	1.92		

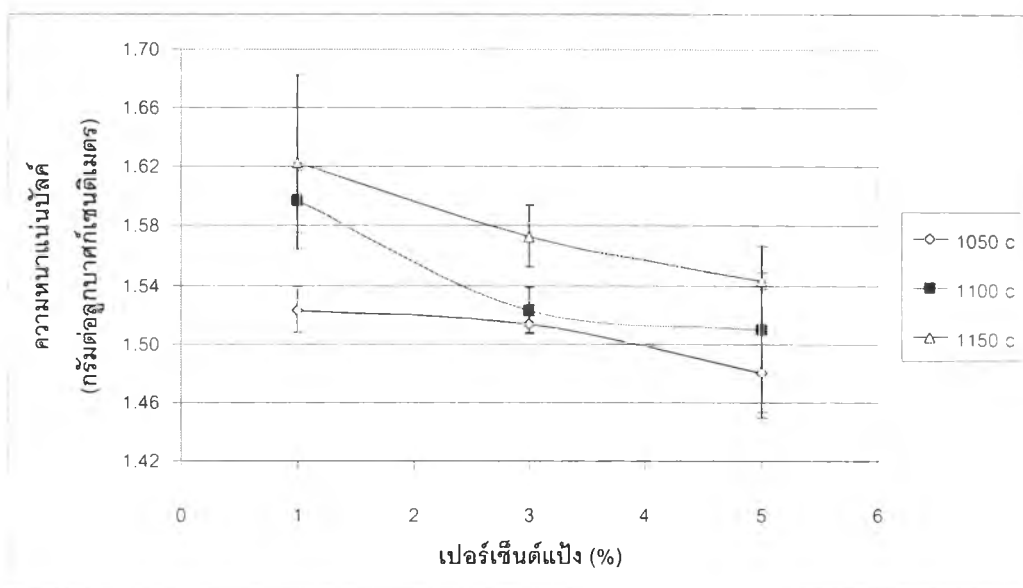
#### 4.3.2.2 ชีงงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง

จากผลการทดสอบความหนาแน่นบัลค์ของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.15 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน ที่มีผลต่อความหนาแน่นบัลค์ของชีงงาน (การทดลองชีงงาน PA1-PA6) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชีงงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ในบางช่วง นั่นคือ เมื่อระดับแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นในช่วง 0-10 MPa ค่าความหนาแน่นบัลค์ชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะเริ่มลดลงในระดับน้อยๆจนเกือบคงที่ในช่วงแรงกด 10-20 MPa แล้วหลังจากนั้นค่าความหนาแน่นบัลค์จะมีค่าลดลงไปอีก

จากผลการทดสอบความหนาแน่นบัลค์ของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.16 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ เปอร์เซนต์แป้งข้าวเจ้าที่ผสมลงในชีงงาน และอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์ ที่มีผลต่อความหนาแน่นบัลค์ของชีงงาน (การทดลองชีงงาน PB PC และ PD) แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซนต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน และอุณหภูมิซินเทอร์ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชีงงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อเปอร์เซนต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้นชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าความหนาแน่นบัลค์ลดลง ที่ระดับอุณหภูมิซินเทอร์คงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชีงงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ชีงงานมีความหนาแน่นบัลค์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.15 ผลของ แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป ที่มีต่อความหนาแน่นบด ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ทีเปอร์เซ็นต์แป้ง 1% ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.16 ผลของ แป้งเปอร์เซ็นต์แป้ง และอุณหภูมิซินเทอร์ ที่มีต่อ ความหนาแน่นบด ของ ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกดขึ้นรูป 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป (MPa)	ความหนาแน่นบัลค์ (g/cm <sup>3</sup> )	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
PA1	1	2	1.50	1.46	0.047
	2	2	1.47		
	3	2	1.41		
PA2	1	5	1.68	1.70	0.062
	2	5	1.76		
	3	5	1.64		
PA3	1	10	1.83	1.86	0.033
	2	10	1.86		
	3	10	1.89		
PA4	1	20	1.87	1.81	0.056
	2	20	1.76		
	3	20	1.79		
PA5	1	30	1.86	1.80	0.068
	2	30	1.73		
	3	30	1.83		
PA6	1	36	1.72	1.73	0.089
	2	36	1.64		
	3	36	1.82		

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลค่าความหนาแน่นบัลค์ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย  
เทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกด 2 MPa ภายหลังจากการเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับที่	เปอร์เซ็นต์ แป้ง (%)	อุณหภูมิ ซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	ความหนา แน่นบัลค์ (g/cm <sup>3</sup> )	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
PB1	1	1	1,050	1.54	1.52	0.015
	2	1	1,050	1.51		
	3	1	1,050	1.52		
PB2	1	3	1,050	1.52	1.51	0.006
	2	3	1,050	1.51		
	3	3	1,050	1.51		
PB3	1	5	1,050	1.51	1.48	0.030
	2	5	1,050	1.48		
	3	5	1,050	1.45		
PC1	1	1	1,100	1.59	1.60	0.021
	2	1	1,100	1.58		
	3	1	1,100	1.62		
PC2	1	3	1,100	1.54	1.52	0.015
	2	3	1,100	1.51		
	3	3	1,100	1.52		
PC3	1	5	1,100	1.52	1.51	0.057
	2	5	1,100	1.48		
	3	5	1,100	1.53		
PD1	1	1	1,150	1.58	1.62	0.059
	2	1	1,150	1.69		
	3	1	1,150	1.60		
PD2	1	3	1,150	1.59	1.57	0.021
	2	3	1,150	1.58		
	3	3	1,150	1.55		
PD3	1	5	1,150	1.55	1.54	0.006
	2	5	1,150	1.54		
	3	5	1,150	1.54		

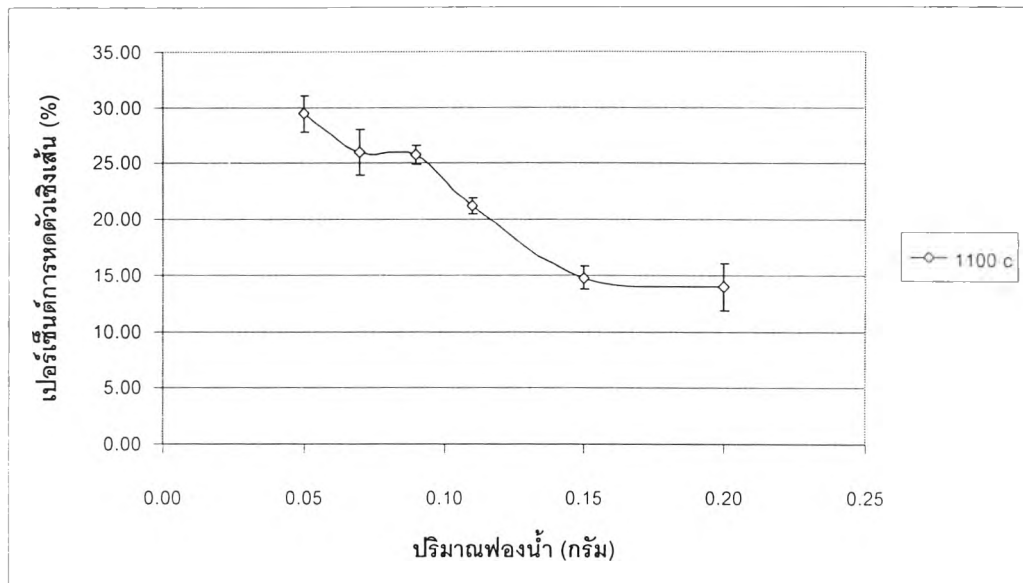
### 4.3.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น (% Linear Shrinkage)

#### 4.3.3.1 ชื้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

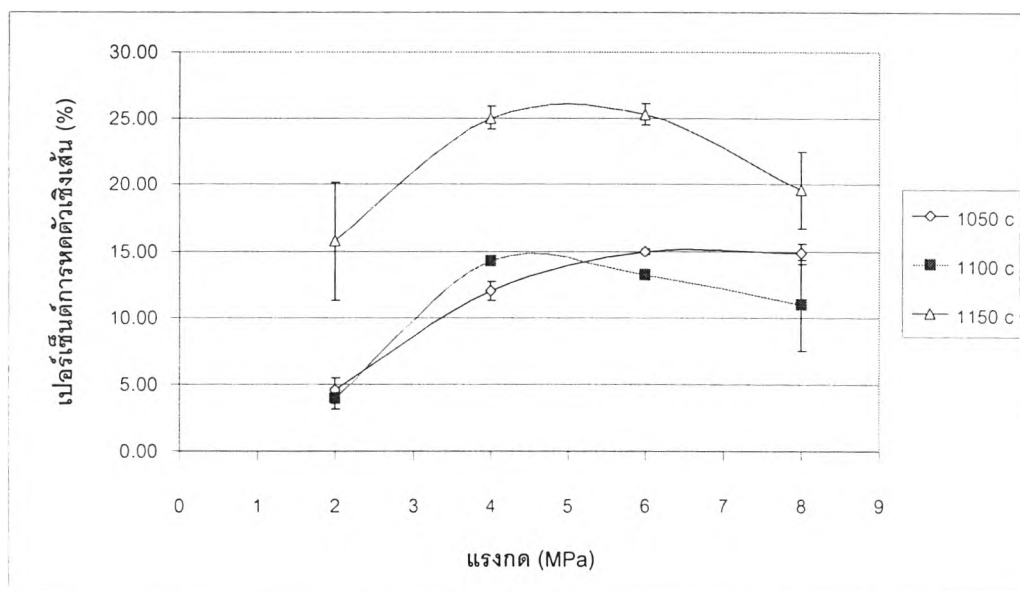
จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.17 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน SA1-SA6) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟองน้ำที่ผสมลงในชิ้นงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อปริมาณฟองน้ำที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จะมีค่าลดลงตามลำดับ

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.18 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์ ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน SB SC และ SD) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิซินเทอร์ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ในบางช่วง นั่นคือ ในช่วงที่แรงกดขึ้นรูปชิ้นงานเพิ่มขึ้นไม่เกิน 4 MPa ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิซินเทอร์คงที่ หลังจากแรงกดเลยช่วงนี้ไปแล้วชิ้นงานจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นลดลงจนเกือบคงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นโดยรวมของชิ้นงานเพิ่มขึ้น





รูปที่ 4.17 ผลของ ปริมาณฟองน้ำ ที่มีต่อ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ แรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.18 ผลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิซินเทอร์ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณ ฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์  
ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ด้วยแรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ  
1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	ปริมาณฟองน้ำ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การ หดตัวเชิงเส้น (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
SA1	1	0.05	27.6	14.0	2.1
	2	0.05	30.4		
	3	0.05	30.4		
SA2	1	0.07	26.0	14.8	1.1
	2	0.07	28.0		
	3	0.07	24.0		
SA3	1	0.09	30.0	21.2	0.7
	2	0.09	31.2		
	3	0.09	30.4		
SA4	1	0.11	21.6	25.7	0.8
	2	0.11	20.4		
	3	0.11	21.6		
SA5	1	0.15	13.6	26.0	2.0
	2	0.15	15.2		
	3	0.15	15.6		
SA6	1	0.20	15.2	29.5	1.6
	2	0.20	15.2		
	3	0.20	11.6		

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกด ที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิ ซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์การ หดตัวเชิงเส้น (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
SB1	1	2	1,050	5.6	4.5	1.0
	2	2	1,050	3.6		
	3	2	1,050	4.4		
SB2	1	4	1,050	11.6	12.0	0.7
	2	4	1,050	12.8		
	3	4	1,050	11.6		
SB3	1	6	1,050	14.8	14.9	0.2
	2	6	1,050	15.2		
	3	6	1,050	14.8		
SB4	1	8	1,050	15.6	14.8	0.8
	2	8	1,050	14.8		
	3	8	1,050	14.0		
SC1	1	2	1,100	4.8	4.0	0.8
	2	2	1,100	4.0		
	3	2	1,100	3.2		
SC2	1	4	1,100	14.4	14.3	0.2
	2	4	1,100	14.0		
	3	4	1,100	14.4		
SC3	1	6	1,100	13.6	13.2	0.4
	2	6	1,100	12.8		
	3	6	1,100	13.2		
SC4	1	8	1,100	14.0	10.9	3.4
	2	8	1,100	11.6		
	3	8	1,100	7.2		

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์

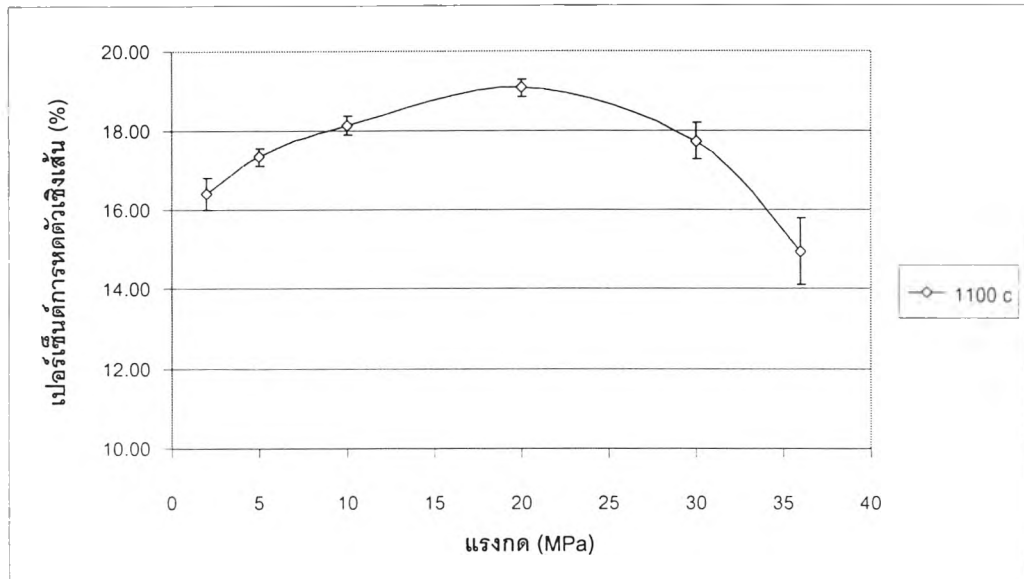
ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SD1	1	2	1,150	13.6	15.7	4.4
	2	2	1,150	20.8		
	3	2	1,150	12.8		
SD2	1	4	1,150	24.8	25.1	0.8
	2	4	1,150	26.0		
	3	4	1,150	24.4		
SD3	1	6	1,150	25.6	25.3	0.8
	2	6	1,150	26.0		
	3	6	1,150	24.4		
SD4	1	8	1,150	16.4	19.6	2.9
	2	8	1,150	20.4		
	3	8	1,150	22.0		



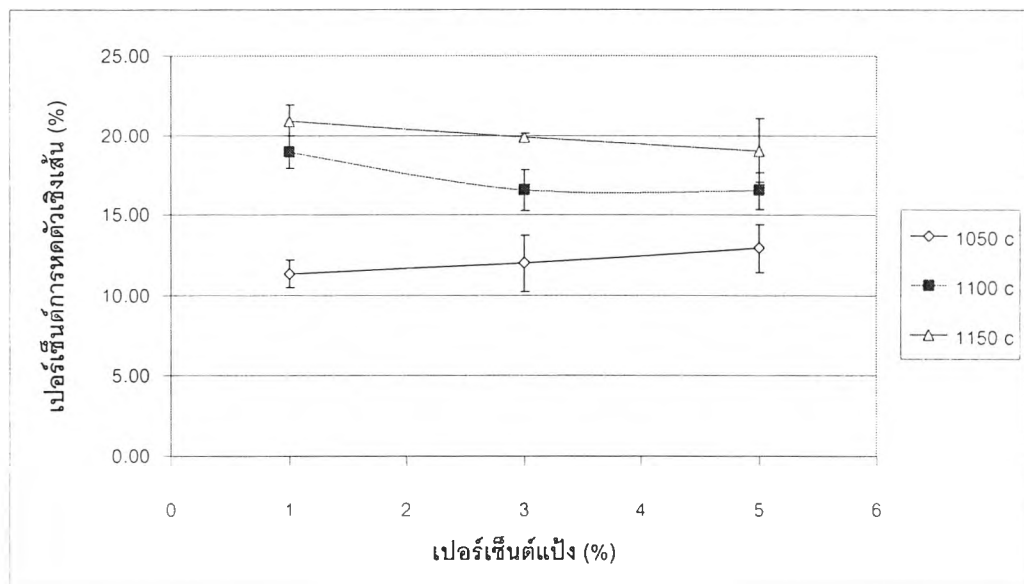
#### 4.3.3.2 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.19 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน PA1-PA6) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ในบางช่วง นั่นคือเมื่อระดับแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นในช่วง 0-20 เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แล้วหลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานจะมีค่าลดลงไปอีก

จากผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.20 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ เปอร์เซ็นต์แป้งข้าวเจ้าที่ผสมลงในชิ้นงาน และอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์ ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน PB PC และ PD) แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานจะมีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นในบางระดับอุณหภูมิ และอุณหภูมิซินเทอร์มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อเปอร์เซ็นต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้น เฉพาะที่ระดับอุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส และจะมีค่าลดลง ที่ระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 1,100 องศาเซลเซียสขึ้นไป และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.19 ผลของ แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป ที่มีต่อ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1% ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.20 ผลของ เปอร์เซ็นต์แป้ง และอุณหภูมิซินเทอร์ ที่มีต่อ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกดขึ้นรูป 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป (MPa)	เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
PA1	1	2	16.0	16.4	0.4
	2	2	16.8		
	3	2	16.4		
PA2	1	5	17.2	17.3	0.2
	2	5	17.6		
	3	5	17.2		
PA3	1	10	18.0	18.1	0.2
	2	10	18.0		
	3	10	18.4		
PA4	1	20	18.8	19.1	0.2
	2	20	19.2		
	3	20	19.2		
PA5	1	30	18.0	17.7	0.5
	2	30	17.2		
	3	30	18.0		
PA6	1	36	14.0	14.9	0.8
	2	36	15.6		
	3	36	15.2		

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์  
ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับที่	เปอร์เซ็นต์ แป้ง (%)	อุณหภูมิ ซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์ การหดตัวเชิงเส้น (%)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยง เบน มาตรฐาน
PB1	1	1	1,050	12.0	11.3	0.8
	2	1	1,050	11.6		
	3	1	1,050	10.4		
PB2	1	3	1,050	13.2	12.0	1.7
	2	3	1,050	10.0		
	3	3	1,050	12.8		
PB3	1	5	1,050	13.6	12.4	1.5
	2	5	1,050	11.2		
	3	5	1,050	14.0		
PC1	1	1	1,100	20.0	18.9	1.0
	2	1	1,100	18.8		
	3	1	1,100	18.0		
PC2	1	3	1,100	16.0	16.5	1.3
	2	3	1,100	18.0		
	3	3	1,100	15.6		
PC3	1	5	1,100	16.0	16.5	1.2
	2	5	1,100	16.8		
	3	5	1,100	16.8		
PD1	1	1	1,150	22.0	20.9	1.0
	2	1	1,150	20.0		
	3	1	1,150	20.8		
PD2	1	3	1,150	19.6	19.9	0.2
	2	3	1,150	20.0		
	3	3	1,150	20.0		
PD3	1	5	1,150	20.0	19.1	2.0
	2	5	1,150	16.8		
	3	5	1,150	20.4		

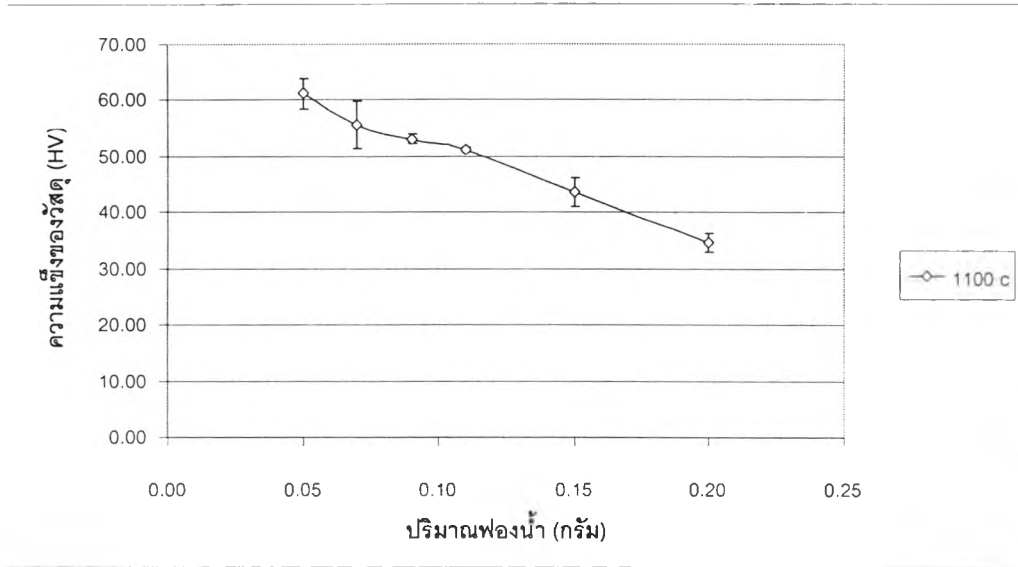


#### 4.3.4 ความแข็งของวัสดุ (Hardness)

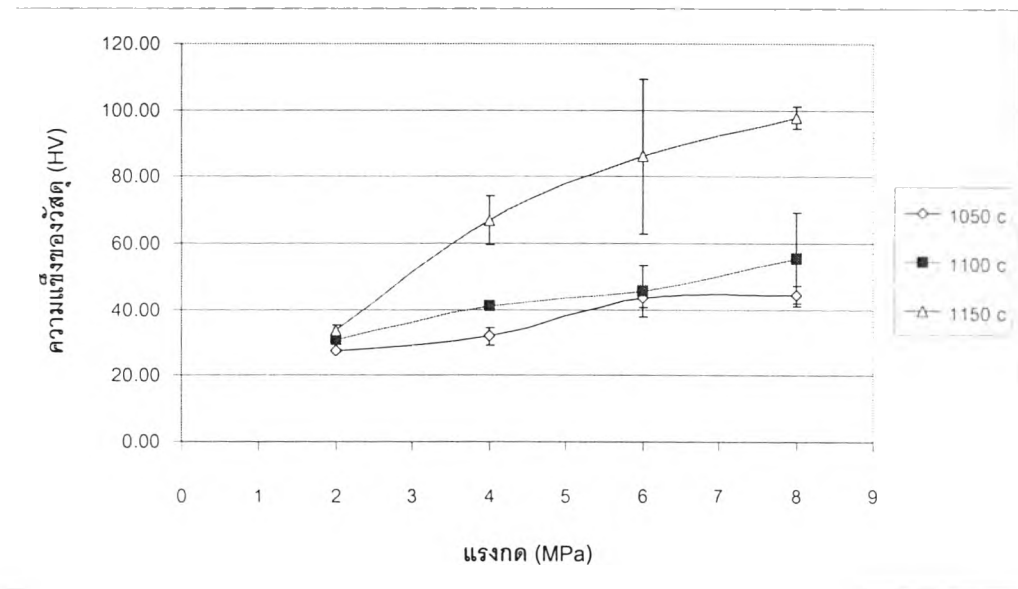
##### 4.3.4.1 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

จากผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.21 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน ที่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน SA1-SA6) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟองน้ำที่ผสมลงในชิ้นงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อปริมาณฟองน้ำที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

จากผลการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.22 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิซินเทอร์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน SB SC และ SD) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อเพิ่มแรงกดในการขึ้นรูปแล้ว ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าความแข็งของวัสดุเพิ่มขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิซินเทอร์คงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.21 ผลของ ปริมาณฟองน้ำ ที่มีต่อ ความแข็งของวัสดุ ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ แรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.22 ผลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อ ความแข็งของวัสดุ ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ด้วยแรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับ ที่	ปริมาณฟองน้ำ (กรัม)	ความแข็งของวัสดุ (HV)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
SA1	1	0.05	62.8	34.6	1.6
	2	0.05	58.0		
	3	0.05	62.7		
SA2	1	0.07	56.0	43.5	2.6
	2	0.07	51.2		
	3	0.07	59.6		
SA3	1	0.09	54.0	51.2	0.5
	2	0.09	52.4		
	3	0.09	52.8		
SA4	1	0.11	51.6	53.1	0.8
	2	0.11	50.6		
	3	0.11	51.2		
SA5	1	0.15	40.7	55.6	4.2
	2	0.15	44.2		
	3	0.15	45.7		
SA6	1	0.20	34.1	61.2	2.7
	2	0.20	36.4		
	3	0.20	33.3		

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซ์อะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากการเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับ ที่	แรงกด ที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิ ซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	ความแข็ง ของวัสดุ (HV)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
SB1	1	2	1,050	27.3	27.5	0.3
	2	2	1,050	27.5		
	3	2	1,050	27.80		
SB2	1	4	1,050	34.8	31.9	2.6
	2	4	1,050	30.4		
	3	4	1,050	30.5		
SB3	1	6	1,050	46.2	43.4	2.6
	2	6	1,050	41.2		
	3	6	1,050	42.7		
SB4	1	8	1,050	41.7	44.6	2.6
	2	8	1,050	46.6		
	3	8	1,050	45.4		
SC1	1	2	1,100	30.9	30.9	0.5
	2	2	1,100	30.4		
	3	2	1,100	31.3		
SC2	1	4	1,100	40.2	41.2	1.0
	2	4	1,100	42.2		
	3	4	1,100	41.1		
SC3	1	6	1,100	54.7	45.7	7.8
	2	6	1,100	40.6		
	3	6	1,100	41.7		
SC4	1	8	1,100	43.4	55.3	14.3
	2	8	1,100	51.3		
	3	8	1,100	71.2		

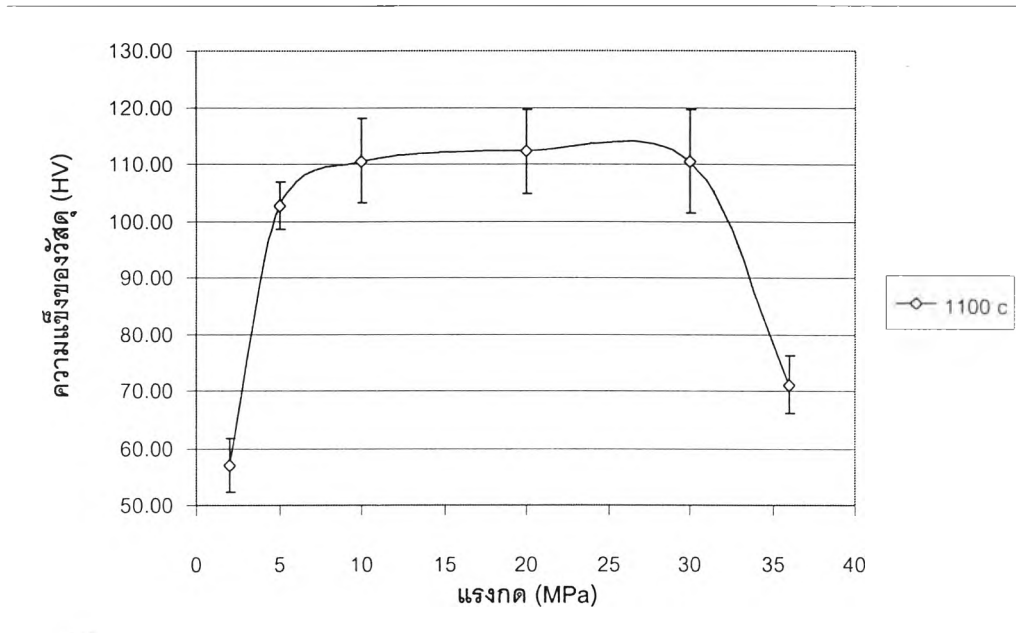
ตารางที่ 4.17 (ต่อ) แสดงข้อมูลค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์

ชิ้นงาน	ลำดับ ที่	แรงกด ที่ใช้ขึ้นรูป (MPa)	อุณหภูมิ ซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	ความแข็ง ของวัสดุ (HV)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
SD1	1	2	1,150	34.9	33.6	1.9
	2	2	1,150	34.4		
	3	2	1,150	31.4		
SD2	1	4	1,150	65.0	67.0	7.4
	2	4	1,150	60.7		
	3	4	1,150	75.1		
SD3	1	6	1,150	71.4	86.2	23.3
	2	6	1,150	113.0		
	3	6	1,150	74.2		
SD4	1	8	1,150	98.4	97.8	3.2
	2	8	1,150	100.6		
	3	8	1,150	94.4		

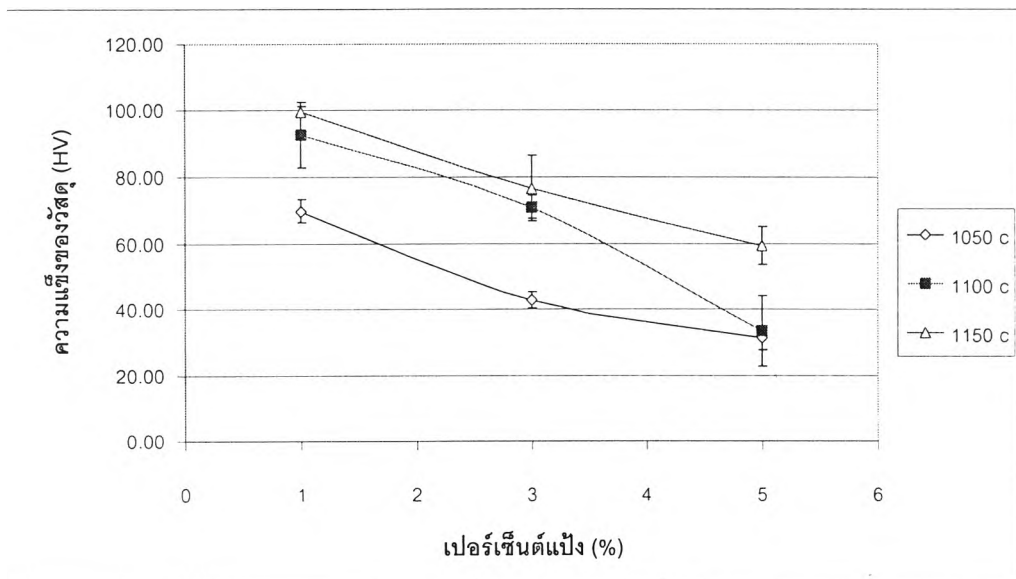
#### 4.3.4.2 ชีงงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง

จากผลการทดสอบความแข็งของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.23 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน ที่มีผลต่อความแข็งของชีงงาน (การทดลองชีงงาน PA1-PA6) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อความแข็งของวัสดุของชีงงาน ตัวอย่างภายหลังจากการเผาซินเทอร์ในบางช่วง นั่นคือ เมื่อระดับแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น ความแข็งของชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงแรงกด 0-5 MPa และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งแรงกดถึง 20 MPa ค่าความแข็งของชีงงานจะลดลง

จากผลการทดสอบความแข็งของวัสดุของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายหลังจากการเผาซินเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.24 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ เฟอร์เรินต์แป้งที่ผสมลงในชีงงาน และอุณหภูมิซินเทอร์ ที่มีผลต่อความแข็งของชีงงาน (การทดลองชีงงาน PB PC และ PD) แสดงให้เห็นว่า เฟอร์เรินต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุของชีงงานตัวอย่างภายหลังจากการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อเฟอร์เรินต์แป้งที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้น ชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าความแข็งของวัสดุลดลง ที่ระดับอุณหภูมิคงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชีงงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งของชีงงานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.23 ผลของ แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป ที่มีต่อ ความแข็งของวัสดุ ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1% ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.24 ผลของ เปอร์เซ็นต์แป้ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อ ความแข็งของวัสดุ ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกดขึ้นรูป 2 MPa ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป (MPa)	ความแข็งของวัสดุ (HV)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
PA1	1	2	53.3	57.1	4.7
	2	2	62.3		
	3	2	55.6		
PA2	1	5	98.7	102.6	4.2
	2	5	102.1		
	3	5	107.1		
PA3	1	10	108.5	110.6	7.4
	2	10	118.9		
	3	10	104.5		
PA4	1	20	120.8	112.3	7.4
	2	20	108.9		
	3	20	107.1		
PA5	1	30	109.6	110.4	9.1
	2	30	119.9		
	3	30	101.8		
PA6	1	36	76.7	71.1	5.0
	2	36	67.0		
	3	36	69.5		



ตารางที่ 4.19 ข้อมูลค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกด 2 MPa ภายหลังจากการเผาซินเทอร์

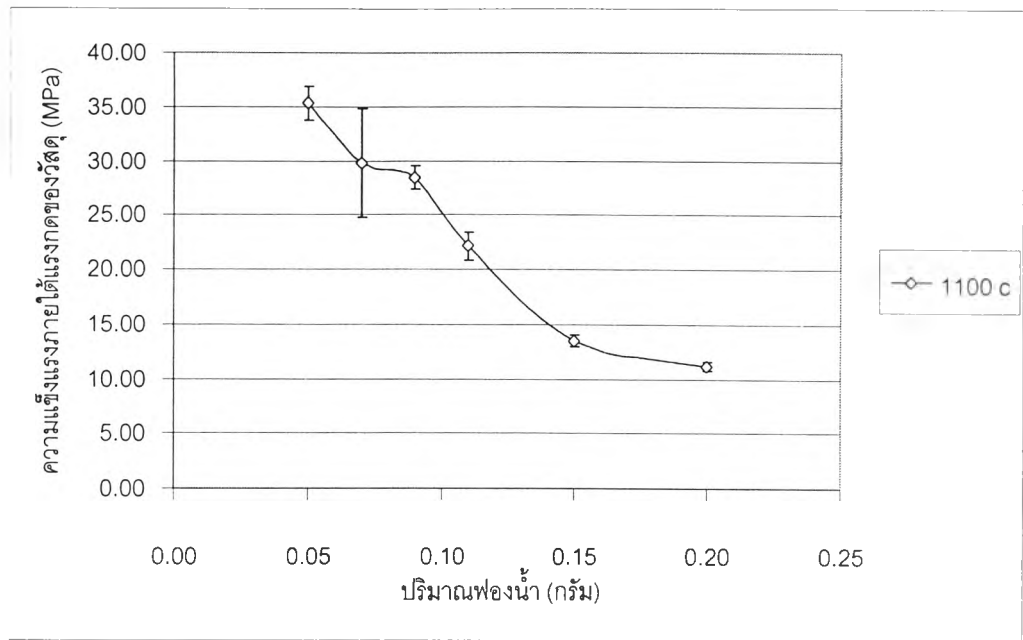
ชิ้นงาน	ลำดับ ที่	เปอร์เซ็นต์ แป้ง (%)	อุณหภูมิ ซินเทอร์ (องศาเซลเซียส)	ความแข็ง ของวัสดุ (HV)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
PB1	1	1	1,050	65.8	69.7	3.5
	2	1	1,050	72.6		
	3	1	1,050	70.7		
PB2	1	3	1,050	40.1	43.0	2.6
	2	3	1,050	44.0		
	3	3	1,050	44.9		
PB3	1	5	1,050	30.4	31.4	3.5
	2	5	1,050	35.3		
	3	5	1,050	28.6		
PC1	1	1	1,100	103.7	92.5	9.7
	2	1	1,100	86.3		
	3	1	1,100	87.5		
PC2	1	3	1,100	69.5	71.0	3.3
	2	3	1,100	68.7		
	3	3	1,100	74.9		
PC3	1	5	1,100	32.2	33.5	10.6
	2	5	1,100	37.0		
	3	5	1,100	31.5		
PD1	1	1	1,150	99.7	99.6	1.4
	2	1	1,150	98.1		
	3	1	1,150	101.0		
PD2	1	3	1,150	71.2	76.5	9.7
	2	3	1,150	87.7		
	3	3	1,150	70.6		
PD3	1	5	1,150	65.7	59.4	5.8
	2	5	1,150	58.1		
	3	5	1,150	54.4		

#### 4.3.5 ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ (Compressive Strength) และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกด (Compressive Young's Modulus)

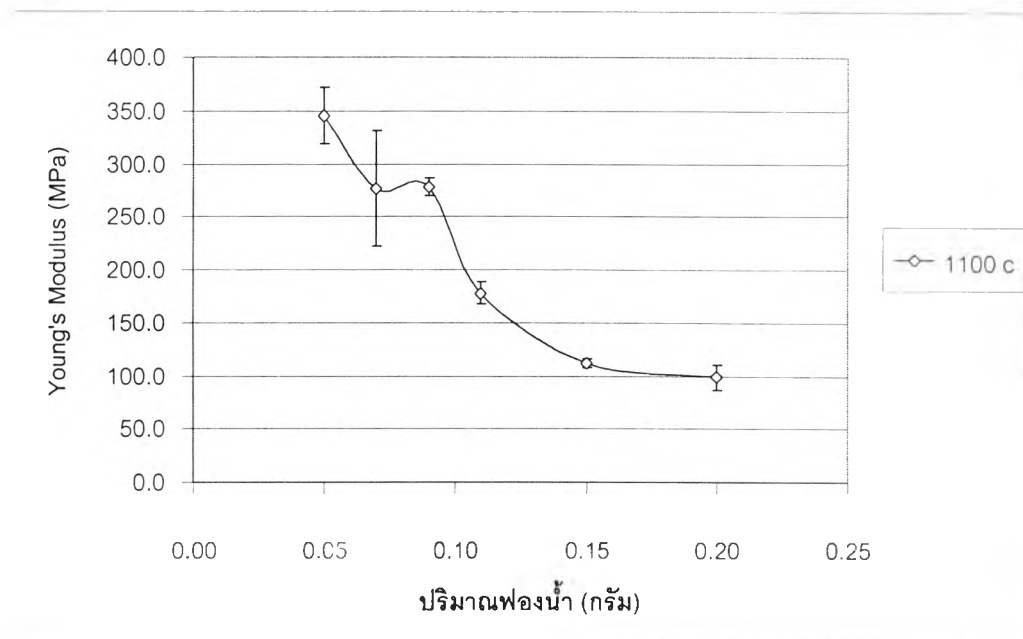
##### 4.3.5.1 ชีงงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

จากผลการทดสอบความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.25-4.26 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชีงงาน ที่มีผลต่อความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงาน (การทดลองชีงงาน SA1-SA6) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟองน้ำที่ผสมลงในชีงงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อ ค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และค่าโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงาน ตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อปริมาณฟองน้ำที่ผสมเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

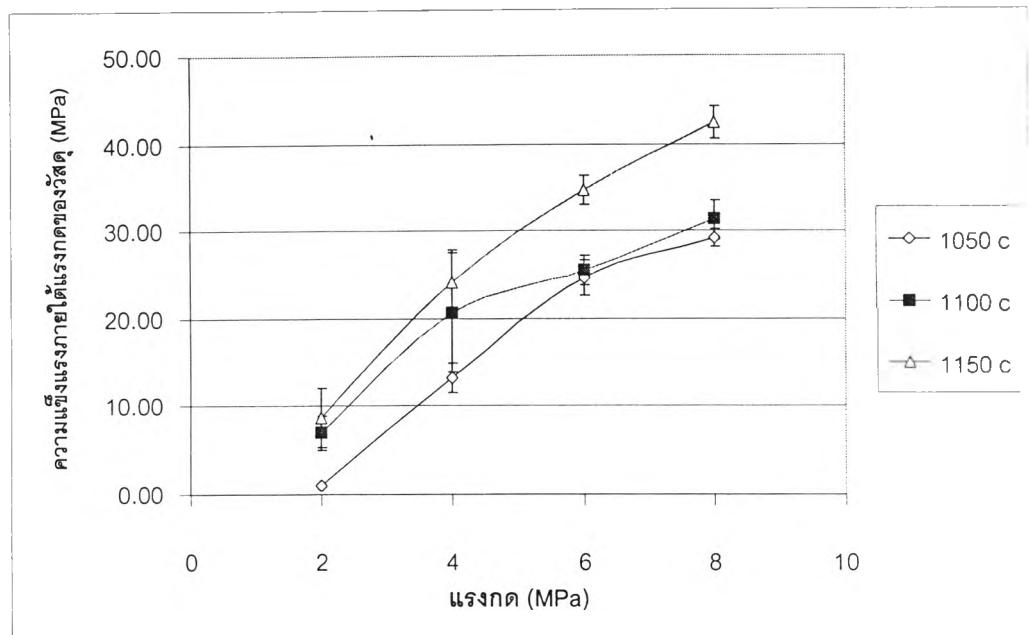
จากผลการทดสอบความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำภายหลังการเผาซินเทอร์ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.27-4.28 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีผลต่อความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงาน (การทดลองชีงงาน SB SC และ SD) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชีงงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงานตัวอย่างภายหลังการเผาซินเทอร์ นั่นคือ เมื่อแรงกดขึ้นรูปชีงงานเพิ่มขึ้น ชีงงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และค่าโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดเพิ่มขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์คงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชีงงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุของวัสดุ และค่าโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชีงงานเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



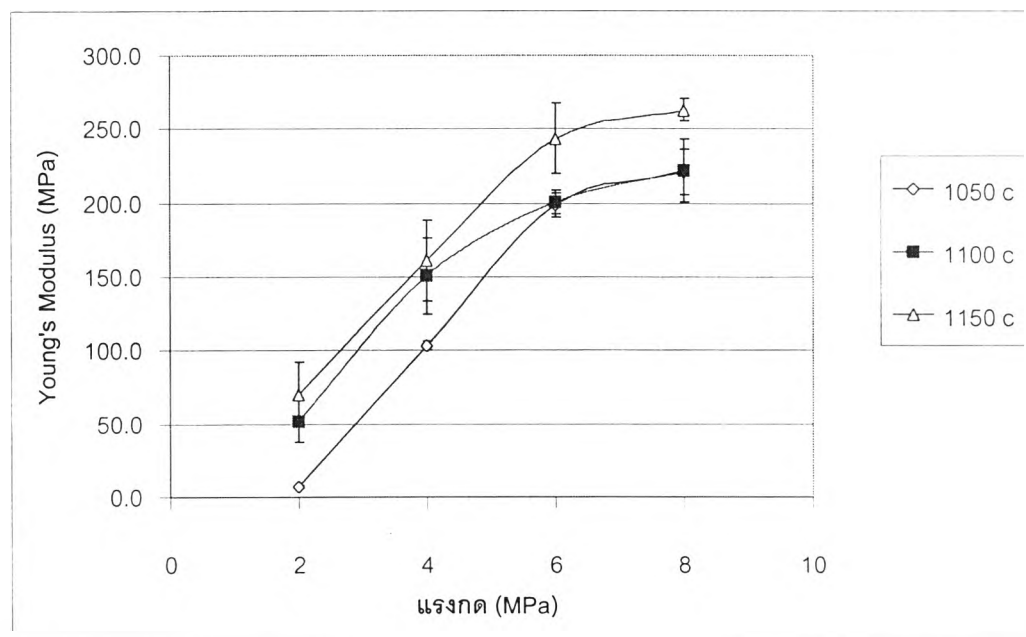
รูปที่ 4.25 ผลของ ปริมาณฟองน้ำ ที่มีต่อ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ แรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.26 ผลของ ปริมาณฟองน้ำ ที่มีต่อ โมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ แรงกด 2 MPa ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.27 ผลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของ ปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.28 ผลของ แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อ ค่าโมดูลัสของยัง ภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของ ปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของ  
ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ด้วยแรงกด 2 MPa ภายหลังจากการเผา  
ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)	ความเครียดของวัสดุ (mm./mm.)	โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
SA1	1	34.5	35.3	0.1	316.3	345.1
	2	37.1		0.1	368.2	
	3	34.4		0.1	350.8	
SA2	1	29.1	29.8	0.1	259.2	277.3
	2	35.1		0.1	338.9	
	3	25.1		0.1	233.9	
SA3	1	29.6	28.4	0.1	287.1	278.5
	2	28.3		0.1	279.0	
	3	27.5		0.1	269.3	
SA4	1	23.6	22.1	0.1	188.9	178.1
	2	21.1		0.1	168.5	
	3	21.7		0.1	176.9	
SA5	1	13.9	13.5	0.1	111.2	111.7
	2	12.9		0.1	107.5	
	3	13.7		0.1	116.3	
SA6	1	10.8	11.2	0.1	88.5	98.8
	2	11.2		0.1	111.6	
	3	11.5		0.1	96.5	

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของ  
ชิ้นงานไฮดรอกที่อะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ  
0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)	ความเครียดของวัสดุ (mm. /mm.)	โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
SB1	1	1.0	0.9	0.1	7.1	7.1
	2	0.9		0.1	7.9	
	3	0.9		0.1	6.4	
SB2	1	11.7	13.3	0.1	100.4	103.6
	2	14.9		0.1	103.4	
	3	13.2		0.1	107.0	
SB3	1	27.0	24.7	0.1	198.8	198.4
	2	24.1		0.1	206.2	
	3	23.1		0.1	190.2	
SB4	1	28.9	29.2	0.1	236.5	221.1
	2	30.3		0.1	220.3	
	3	28.4		0.1	206.4	
SC1	1	4.8	7.0	0.1	38.7	52.2
	2	8.3		0.1	67.0	
	3	8.0		0.2	50.8	
SC2	1	24.7	20.7	0.1	168.1	150.7
	2	24.5		0.2	162.9	
	3	12.9		0.1	121.2	
SC3	1	25.7	25.5	0.1	194.0	200.7
	2	23.7		0.1	198.1	
	3	27.0		0.1	210.1	
SC4	1	28.9	31.3	0.1	228.7	222.4
	2	31.7		0.1	239.8	
	3	33.4		0.2	198.7	

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) ข้อมูลค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซ์อะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ที่มีส่วนผสมของปริมาณฟองน้ำ 0.15 กรัม ภายหลังจากเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

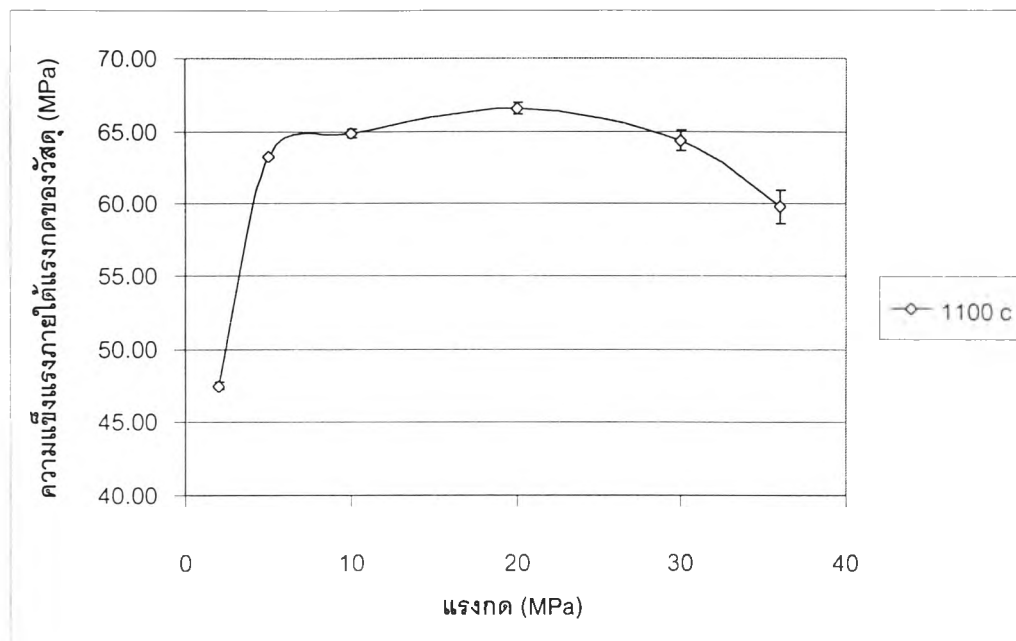
ชิ้นงาน	ลำดับที่	ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)	ความเครียดของวัสดุ (mm. /mm.)	โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
SD1	1	8.1	8.7	0.1	55.4	70.3
	2	12.4		0.1	95.1	
	3	5.7		0.1	60.4	
SD2	1	27.7	24.2	0.2	177.5	161.3
	2	20.5		0.2	129.7	
	3	24.4		0.1	176.8	
SD3	1	35.5	34.7	0.2	232.5	243.6
	2	35.9		0.1	271.4	
	3	32.8		0.1	227.1	
SD4	1	42.9	42.5	0.2	269.0	262.9
	2	44.1		0.2	265.3	
	3	40.4		0.2	254.5	

#### 4.3.5.2 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง

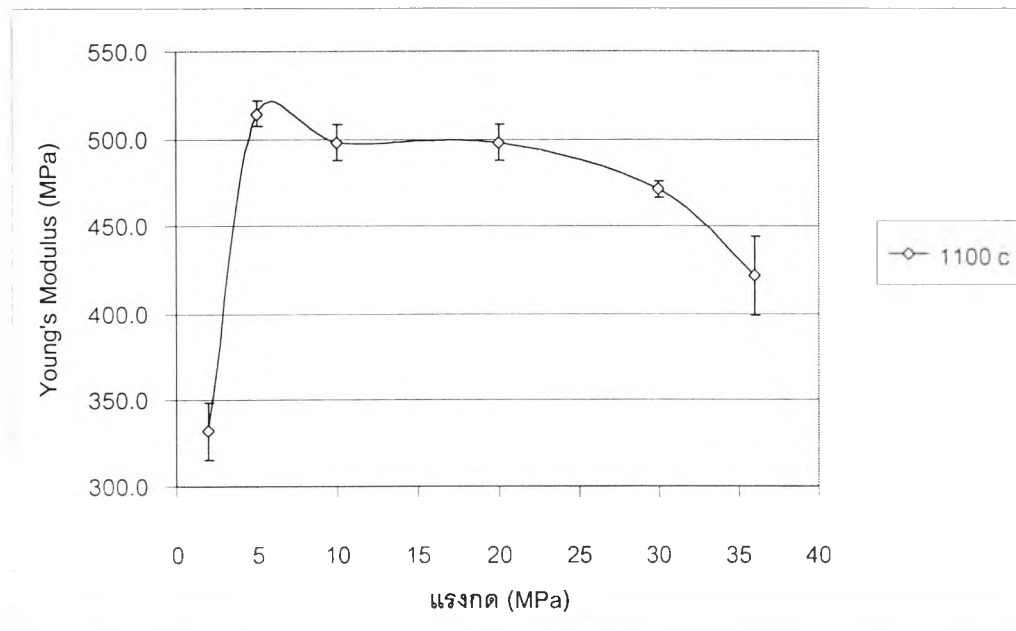
จากผลการทดสอบความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายใต้การเผาซินเทอร์ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.29-4.30 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ที่มีผลต่อความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน PA1-PA6) แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้การเผาซินเทอร์ในบางช่วง นั่นคือ เมื่อระดับแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นในช่วง 0-5 MPa ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วหลังจากนั้น สำหรับความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนกระทั่งมีค่าลดลง ที่ระดับแรงกด 20 MPa ส่วนโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานตัวอย่างจะมีค่าลดลงทันที

จากผลการทดสอบความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งภายใต้การเผาซินเทอร์ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.31-4.32 จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของ เฟอร์เรนต์แบ่งที่ผสมลงในชิ้นงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่มีผลต่อความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงาน (การทดลองชิ้นงาน PB PC และ PD) แสดงให้เห็นว่า เฟอร์เรนต์แบ่งที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้การเผาซินเทอร์ คือ เมื่อเฟอร์เรนต์แบ่งที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์จะมีค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และค่าโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดลดลง ที่ระดับอุณหภูมิในการเผาซินเทอร์คงที่ และเมื่อระดับอุณหภูมิซินเทอร์ที่ใช้เผาชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

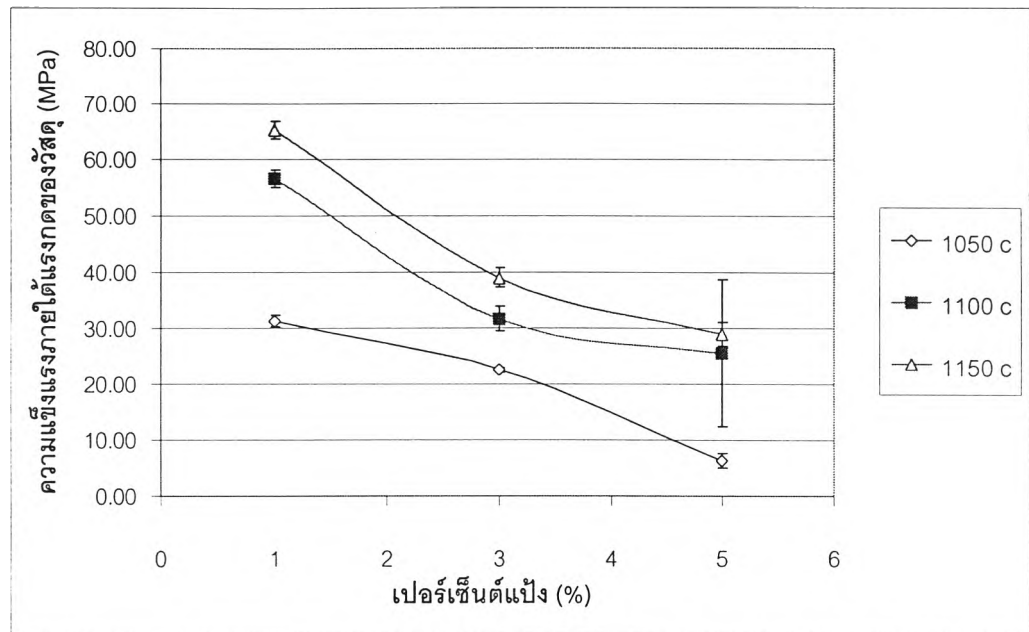




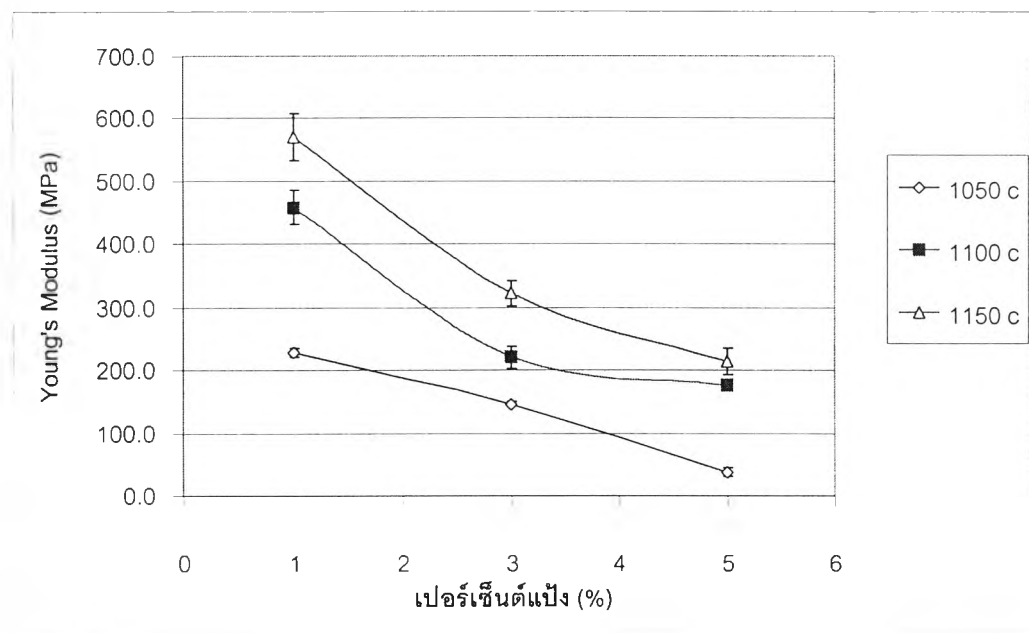
รูปที่ 4.29 ผลของ แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป ที่มีต่อ ความแข็งแรงภายใต้แรงกด ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1% ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.30 ผลของ แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป ที่มีต่อ โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1% ภายหลังจากเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.31 ผลของเปอร์เซ็นต์โพรง และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกดขึ้นรูป 2 MPa ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.32 ผลของเปอร์เซ็นต์โพรง และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกดขึ้นรูป 2 MPa ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.22 ข้อมูลค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 1 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากเผาซินเทอร์ ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)	ความเครียดของวัสดุ (mm./mm.)	โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
E1	1	47.2	47.5	0.2	313.5	332.1
	2	47.7		0.1	336.6	
	3	47.5		0.1	346.0	
E2	1	63.2	63.2	0.1	519.3	514.5
	2	63.3		0.1	518.4	
	3	63.2		0.1	505.8	
E3	1	64.7	64.9	0.1	509.3	497.9
	2	64.7		0.1	495.6	
	3	65.2		0.1	488.9	
E4	1	66.1	66.6	0.1	487.8	498.1
	2	66.8		0.1	508.0	
	3	66.8		0.1	498.6	
E5	1	64.8	64.4	0.1	468.5	471.1
	2	63.5		0.1	476.4	
	3	64.8		0.1	468.5	
E6	1	58.5	59.8	0.1	401.9	421.9
	2	60.7		0.1	446.2	
	3	60.2		0.1	417.5	

ตารางที่ 4.23 แสดงข้อมูลค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซ์อะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ที่ระดับแรงกด 2 MPa ภายหลังจากการเผาซินเทอร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ลำดับที่	ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)	ความเครียดของวัสดุ (mm./mm.)	โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
F1	1	31.8	31.3	0.1	230.9	228.0
	2	32.0		0.1	233.3	
	3	30.1		0.1	219.9	
F2	1	22.6	22.6	0.2	148.1	147.2
	2	22.2		0.2	142.3	
	3	22.9		0.2	151.2	
F3	1	6.8	6.4	0.2	39.7	37.8
	2	4.9		0.2	29.7	
	3	7.4		0.2	43.9	
G1	1	57.9	56.5	0.1	483.5	458.3
	2	56.8		0.1	462.8	
	3	54.8		0.1	428.7	
G2	1	30.4	31.7	0.1	213.7	220.8
	2	34.3		0.1	241.0	
	3	30.4		0.1	207.8	
G3	1	24.2	25.5	0.1	170.0	177.9
	2	26.3		0.1	180.7	
	3	26.1		0.1	183.1	
H1	1	67.1	65.3	0.1	611.5	571.1
	2	64.9		0.1	535.9	
	3	64.0		0.1	565.8	
H2	1	40.9	39.1	0.1	343.3	322.0
	2	37.6		0.1	305.4	
	3	38.7		0.1	317.3	
H3	1	27.3	29.1	0.1	209.6	216.2
	2	28.4		0.1	197.2	
	3	31.3		0.1	238.8	

### 4.3.6 ลักษณะโครงสร้างของชิ้นงานตัวอย่าง

ภายหลังจากตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงานตัวอย่างแล้ว นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบจนหัก ไปส่องบริเวณพื้นที่ผิวหน้าตัดของรอยแตกหักด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) ที่กำลังขยาย 200 500 และ 2,000 เท่า จะทำให้ได้ภาพที่แสดงถึงลักษณะโครงสร้างที่เกิดขึ้นในเนื้อชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.33-4.62

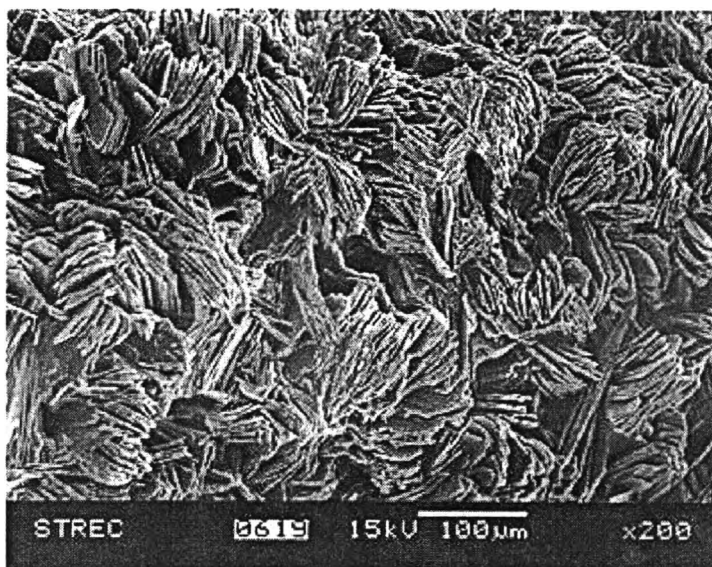
#### 4.3.6.1 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุสร้างความพรุน ตามรูปที่ 4.33-4.47 แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงานแต่ละชิ้นมีลักษณะโครงสร้างที่ประกอบไปด้วย รูพรุนขนาดแตกต่างกันกระจายอยู่ห่างๆ ทั้งนี้เนื่องจาก ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะมีการกำหนดปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ทั้งปริมาณฟองน้ำที่ผสมลงในชิ้นงาน แรงกดที่ใช้ขึ้นรูป รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงาน

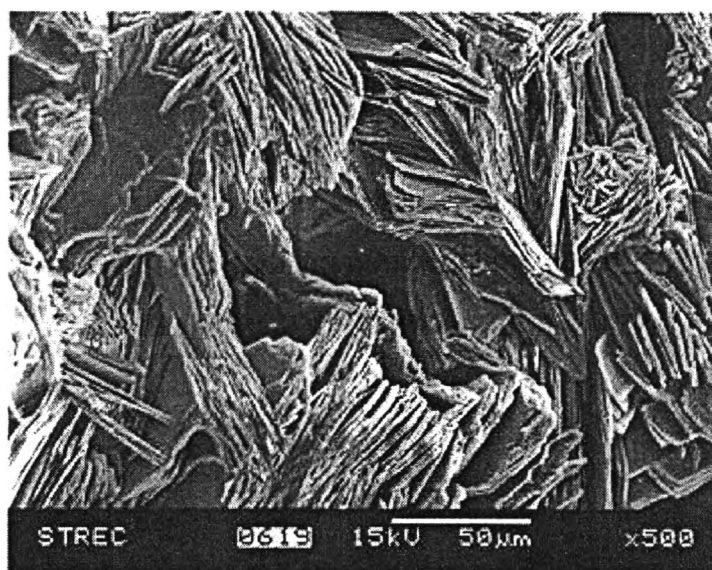
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภาพถ่ายของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการผสมฟองน้ำในปริมาณที่ต่างกัน ตามรูปที่ 4.33-4.35 และ รูปที่ 4.42-4.44 พบว่า รูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 10-20 ไมโครเมตร แต่ชิ้นงานที่ใช้ฟองน้ำปริมาณมากกว่า จะมีความหนาแน่นของรูพรุนมากกว่าชิ้นงานที่ผสมฟองน้ำน้อย แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟองน้ำที่ใช้จะส่งผลเฉพาะปริมาณความพรุนของชิ้นงานเท่านั้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภาพถ่ายของชิ้นงานที่ใช้แรงกดในการขึ้นรูปไม่เท่ากัน ตามรูปที่ 4.36-4.38 และ รูปที่ 4.42-4.44 พบว่า ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยแรงกดสูง จะมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าชิ้นงานที่ใช้แรงกดต่ำ คือ ประมาณ 3-5 ไมโครเมตร ทั้งนี้เนื่องจากฟองน้ำที่ใช้เป็นวัสดุโพลีเมอร์ที่มีความยืดหยุ่น เมื่อได้รับแรงกด จะทำให้ฟองน้ำเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามแรงที่กระทำ ส่งผลให้ขนาดของรูพรุนเปลี่ยนแปลงไปตามแรงกด

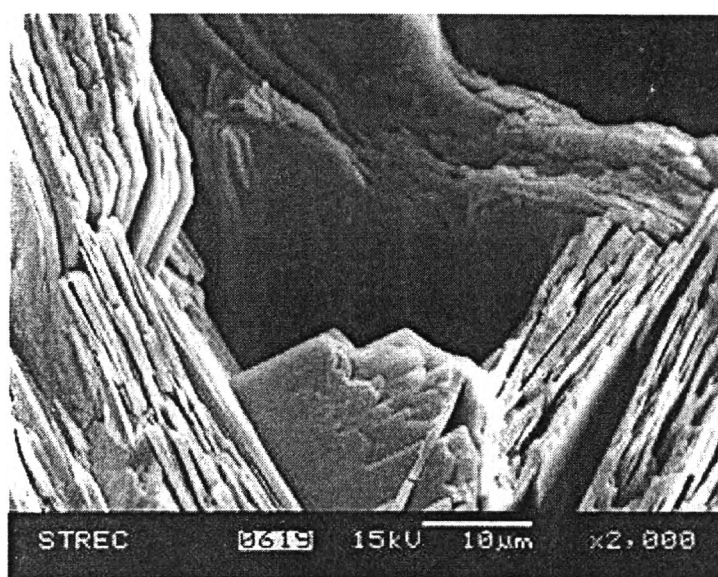
และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภาพถ่ายของชิ้นงานที่ผ่านการเผาชิ้นงานที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน ตามรูปที่ 4.39-4.47 พบว่า รูพรุนที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดรูพรุน และ ความหนาแน่น กล่าวคือ ชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่า จะมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า แต่จะมีความหนาแน่นของรูพรุนน้อยกว่าชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ



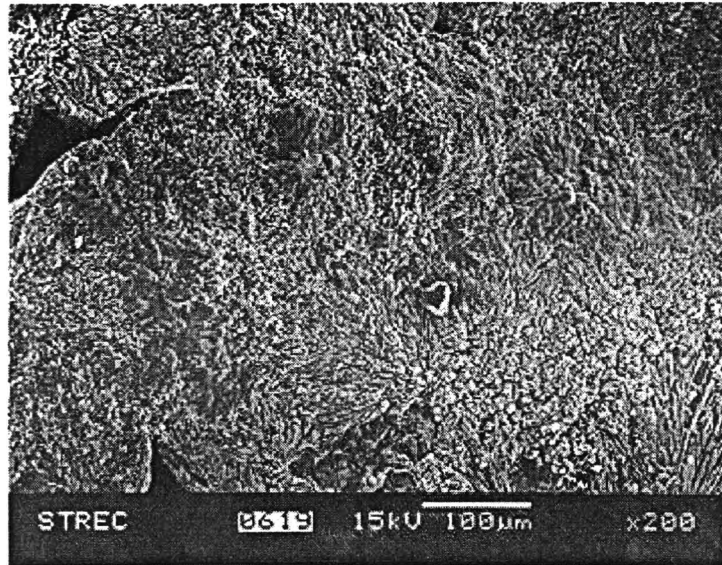
รูปที่ 4.33 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.20 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย 200 เท่า



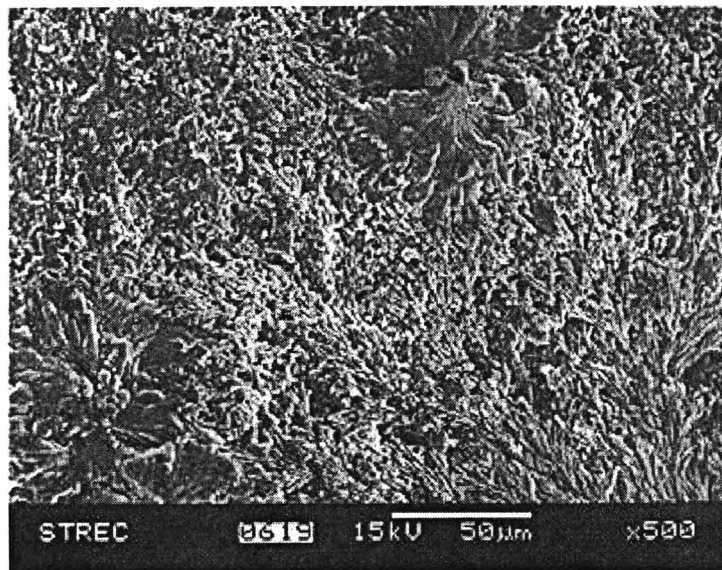
รูปที่ 4.34 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.20 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.35 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.20 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

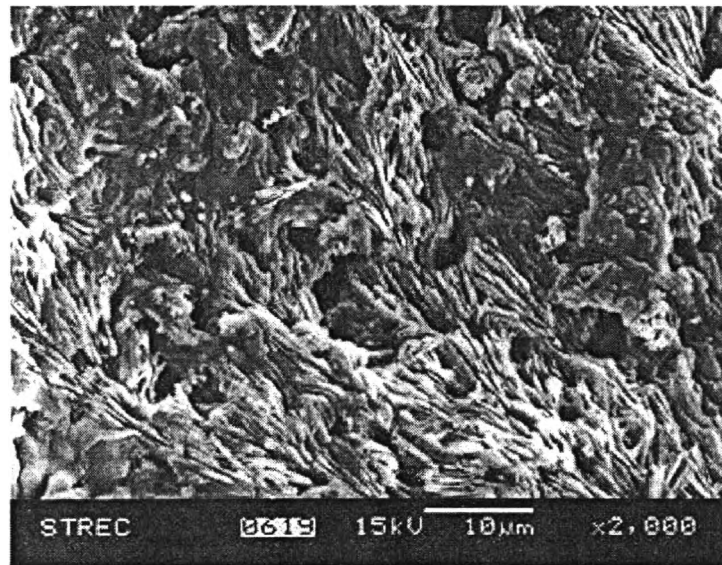


รูปที่ 4.36 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 8 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า

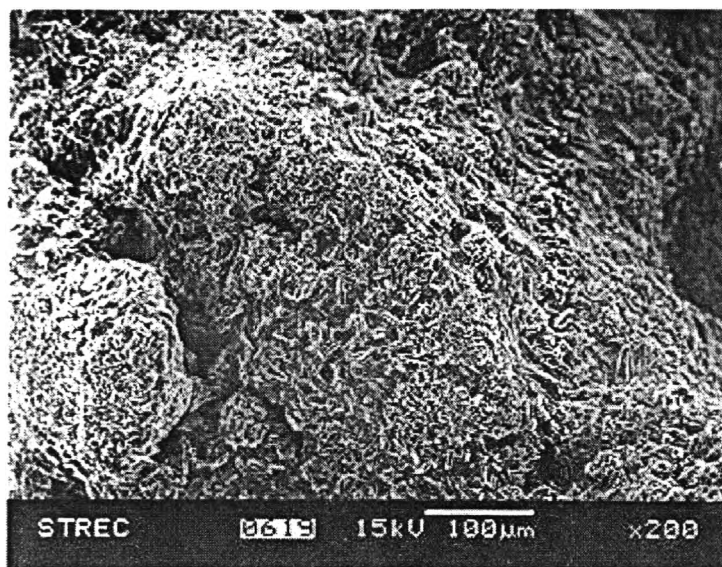


รูปที่ 4.37 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 8 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า

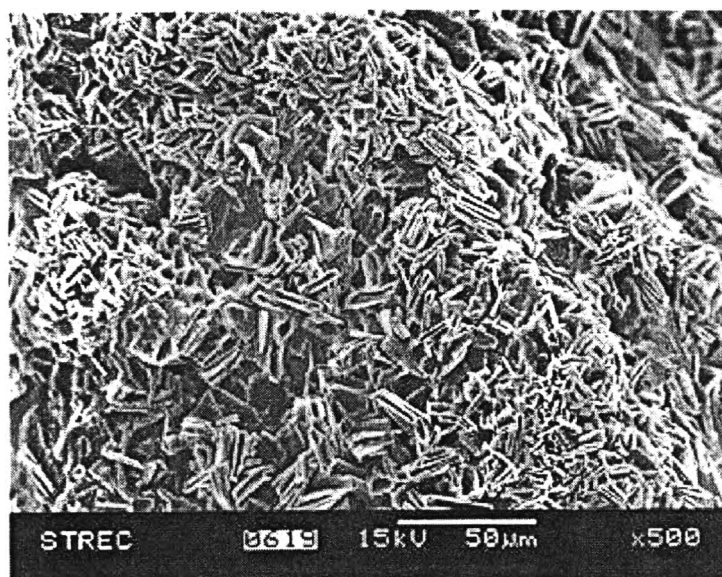




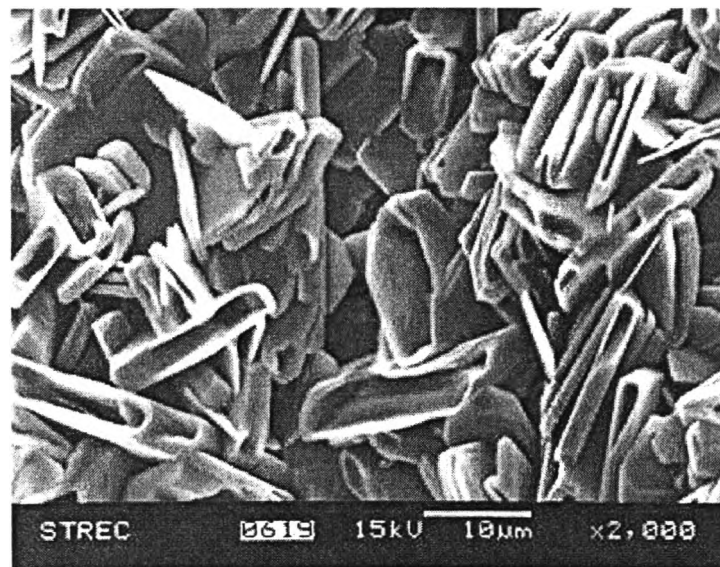
รูปที่ 4.38 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชั้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 8 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



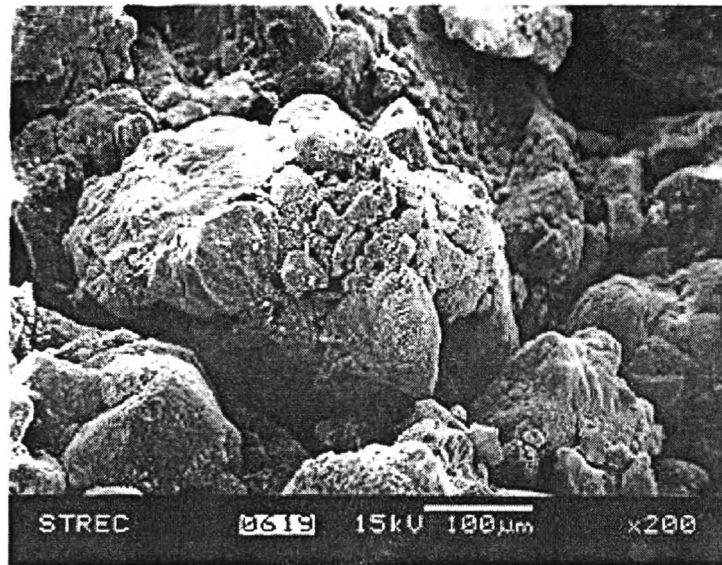
รูปที่ 4.39 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า



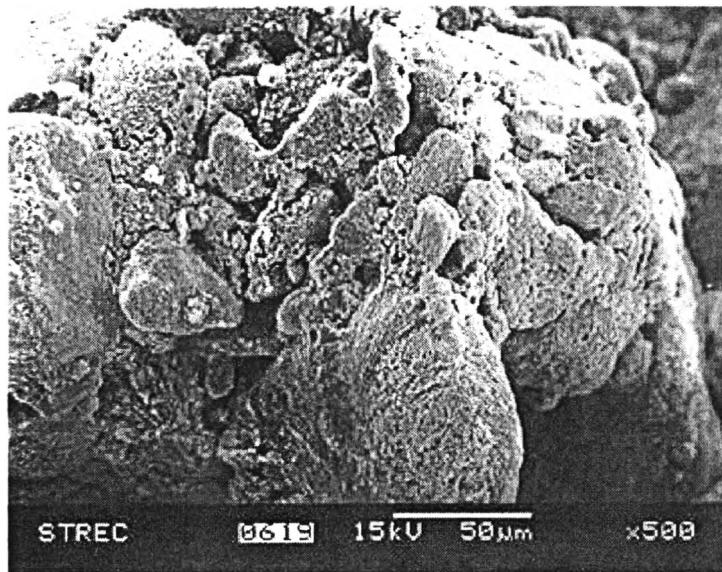
รูปที่ 4.40 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า



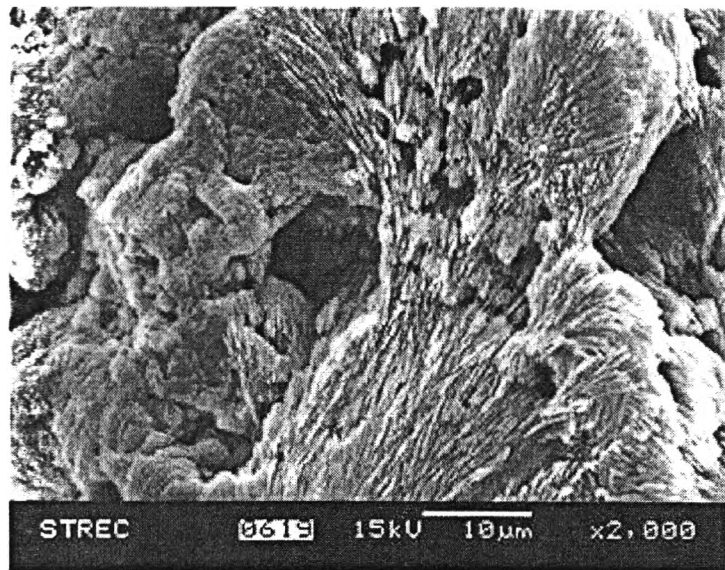
รูปที่ 4.41 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



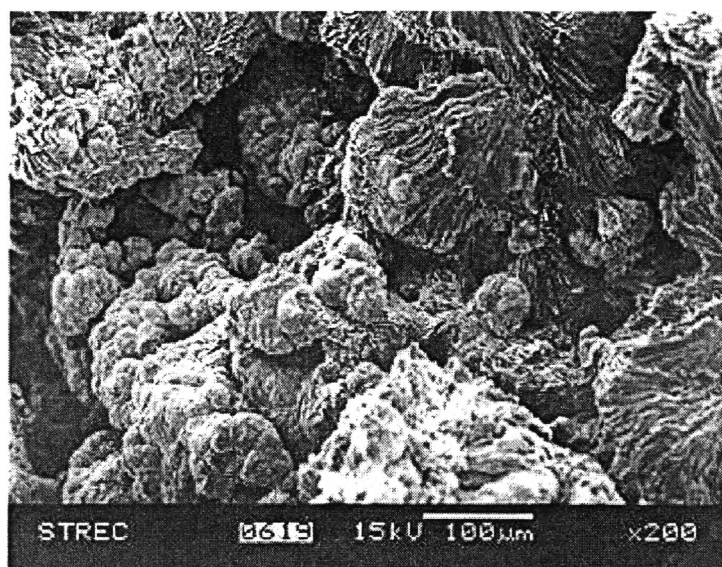
รูปที่ 4.42 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า



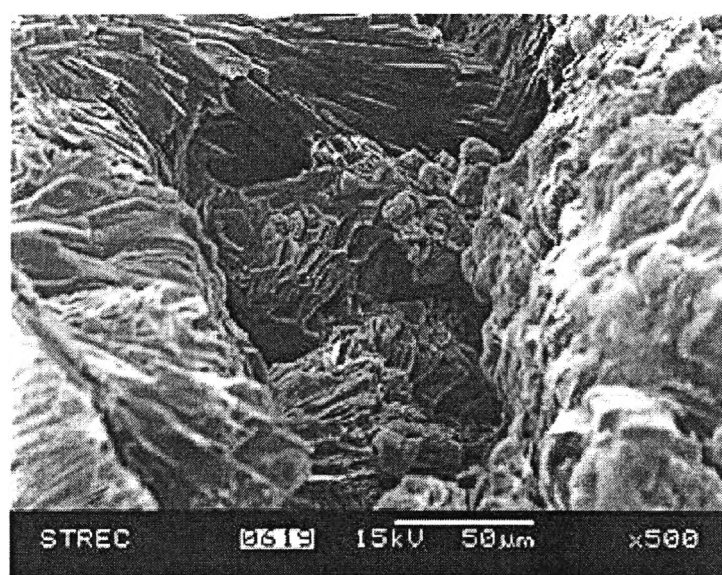
รูปที่ 4.43 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า



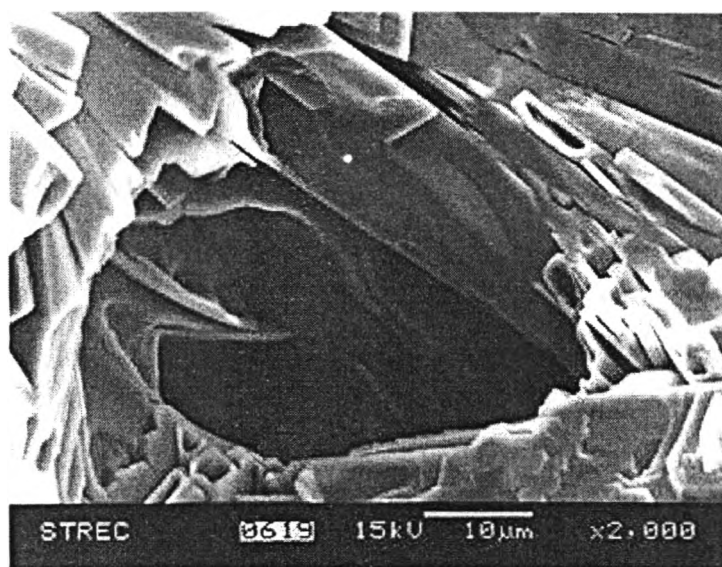
รูปที่ 4.44 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



รูปที่ 4.45 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.46 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.47 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชั้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ฟองน้ำ ปริมาณ 0.15 กรัม ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

#### 4.3.6.2 ชีงงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง

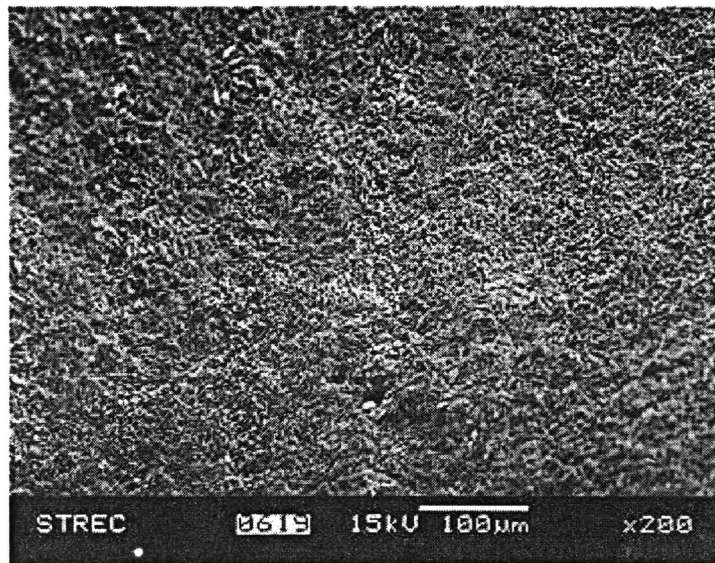
เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งเป็นวัสดุสร้างความพรุน ตามรูปที่ 4.48-4.62 แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างของชิ้นงานแต่ละชิ้นประกอบไปด้วย รูพรุนขนาดแตกต่างกันกระจายอยู่ห่างๆ อย่างไม่เป็นระเบียบ ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานแต่ละชิ้นจะมีการกำหนดปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ทั้งแรงกดที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน ปริมาณผงแป้งที่ใช้ รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นเทอร์ชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภาพถ่ายของชิ้นงานที่ใช้แรงกดในการขึ้นรูปไม่เท่ากัน ตามรูปที่ 4.48-4.53 พบว่า ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยแรงกด 10 MPa จะมีขนาดรูพรุนประมาณ 5 ไมโครเมตร ขนาดเล็กกว่าชิ้นงานที่ใช้แรงกด 2 MPa ที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 10 ไมโครเมตร ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อออกแรงกดบนชิ้นงาน จะบีบให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ แคลบลง ส่งผลให้เนื้อของผงแป้งที่แทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างถูกบีบให้แคบตามไปด้วย แสดงให้เห็นว่า แรงกดในการขึ้นรูปจะส่งผลต่อขนาดรูพรุนของชิ้นงาน

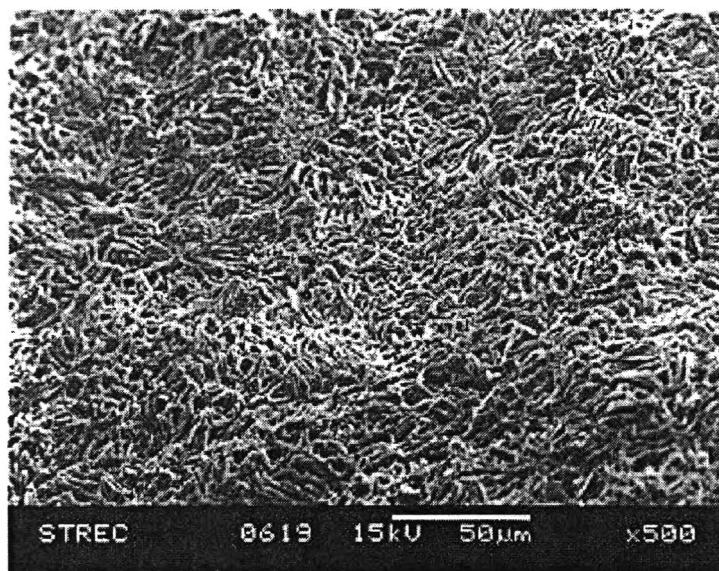
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภาพถ่ายของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการผสมผงแป้งในปริมาณที่แตกต่างกัน ตามรูปที่ 4.51-4.53 และ รูปที่ 4.57-4.59 พบว่า รูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดแตกต่างกัน คือ ชิ้นงานที่ผสมผงแป้ง 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะมีขนาดรูพรุนประมาณ 10 ไมโครเมตร ขนาดเล็กกว่าชิ้นงานที่ผสมผงแป้ง 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 30 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่า ขนาดของรูพรุนจะขึ้นอยู่กับปริมาณผงแป้งที่ใช้

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภาพถ่ายของชิ้นงานที่ผ่านการเผาชิ้นเทอร์ที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน ตามรูปที่ 4.54-4.62 พบว่า ชิ้นงานแต่ละชิ้นมีขนาดรูพรุนใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 30 ไมโครเมตร แต่จะมีความหนาแน่นของรูพรุนแตกต่างกัน กล่าวคือ ชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่า จะมีความหนาแน่นของรูพรุนน้อยกว่าชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ

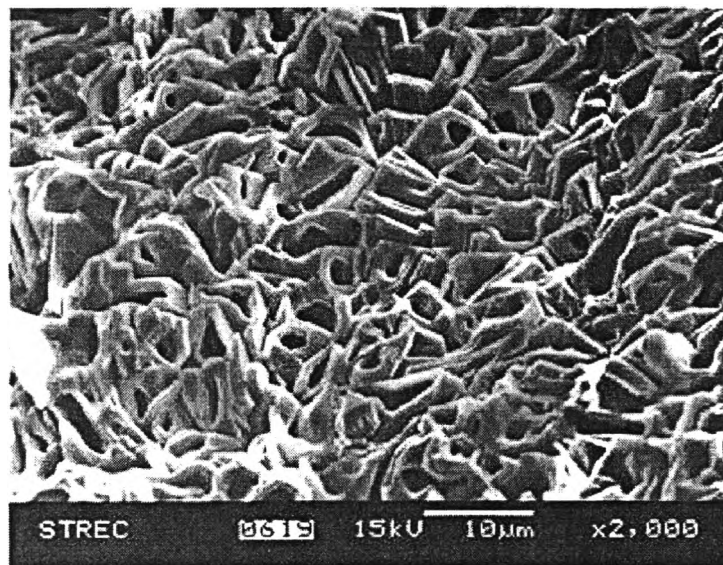




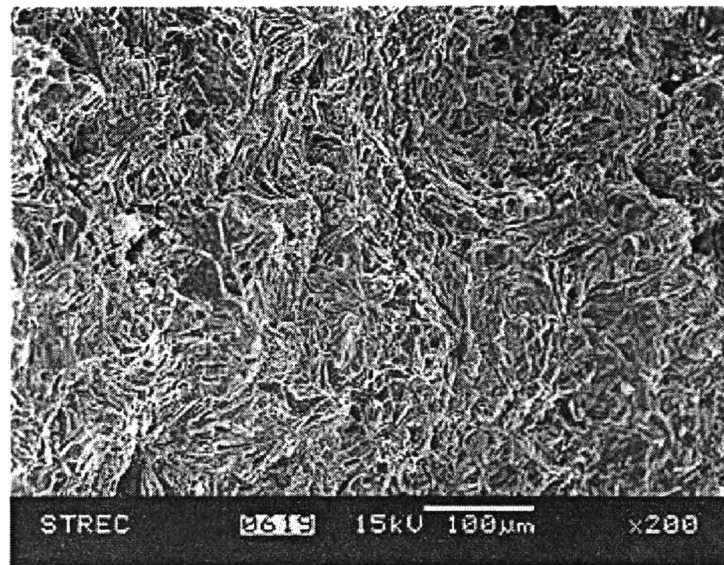
รูปที่ 4.48 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 10 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า



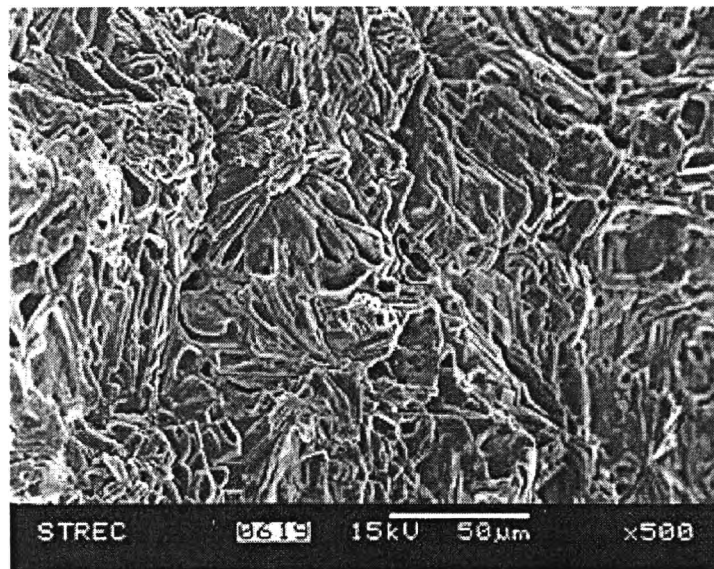
รูปที่ 4.49 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 10 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า



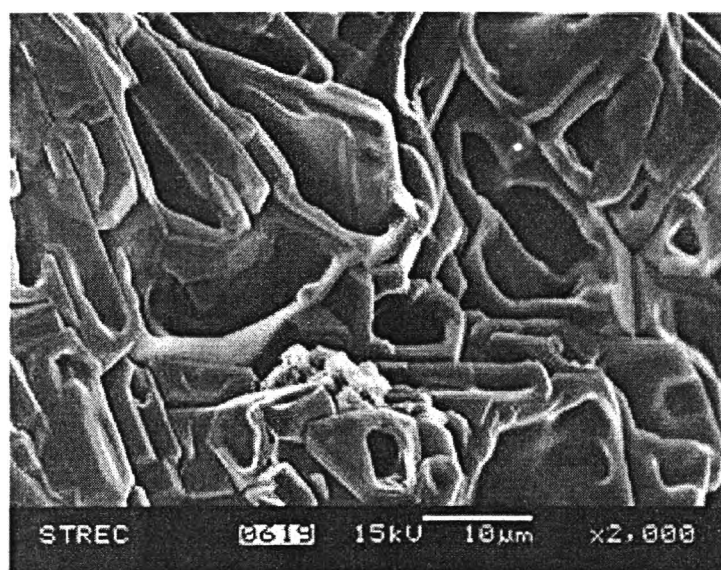
รูปที่ 4.50 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 10 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



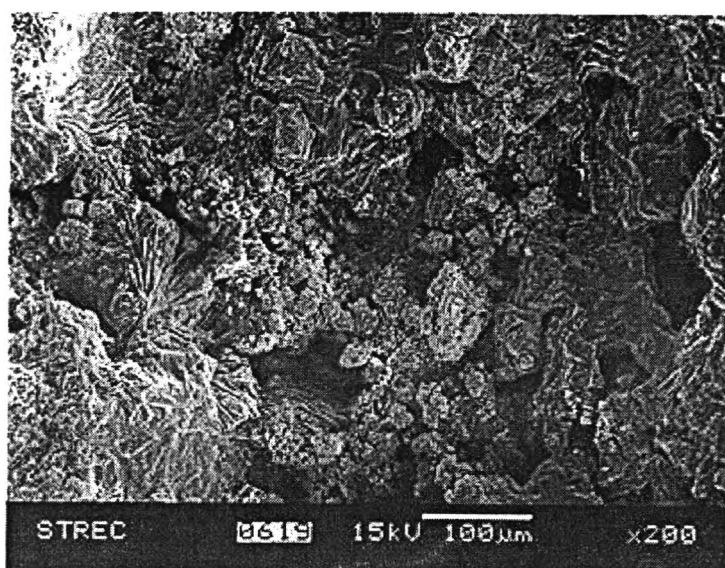
รูปที่ 4.51 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า



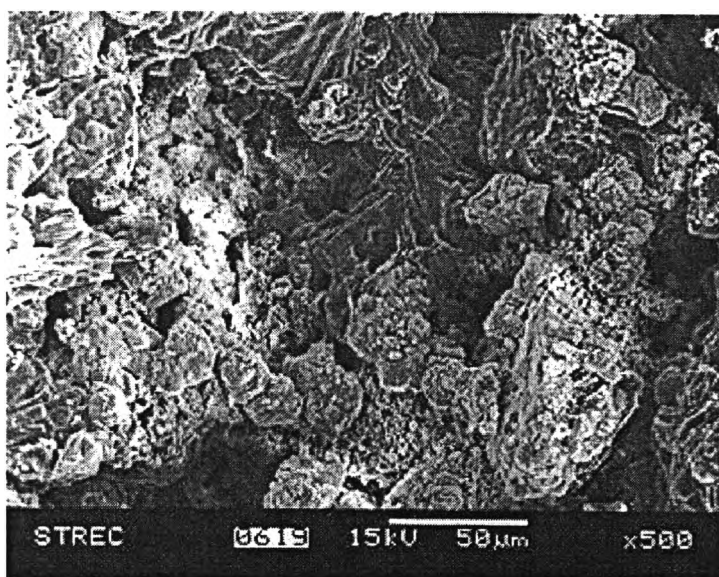
รูปที่ 4.52 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า



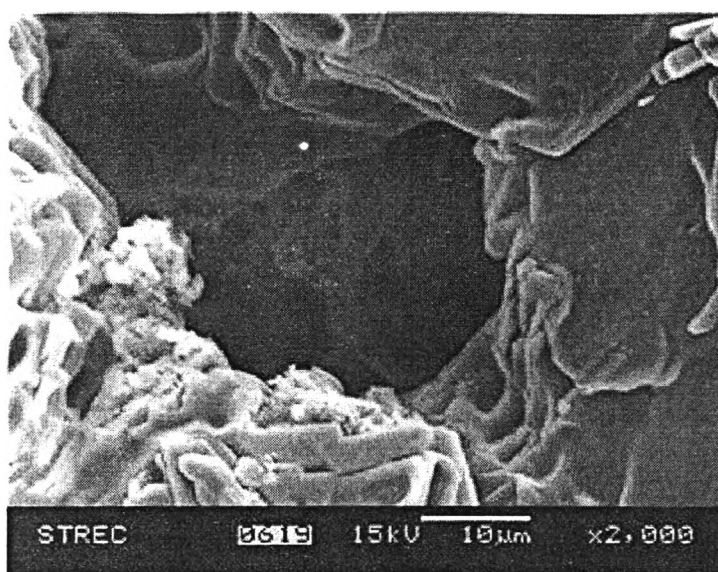
รูปที่ 4.53 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า



รูปที่ 4.54 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า

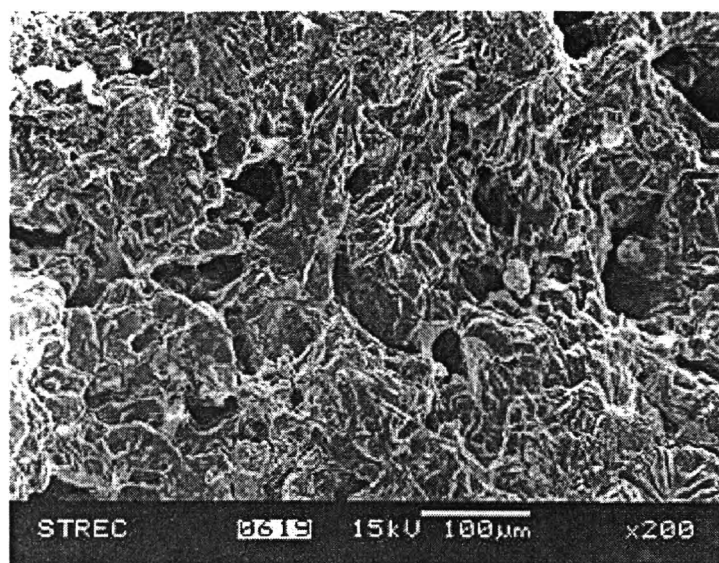


รูปที่ 4.55 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า

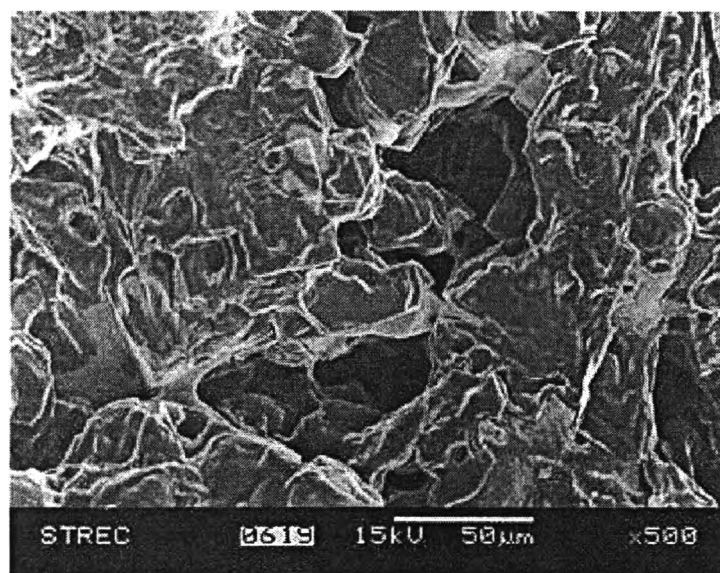


รูปที่ 4.56 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เเผชินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

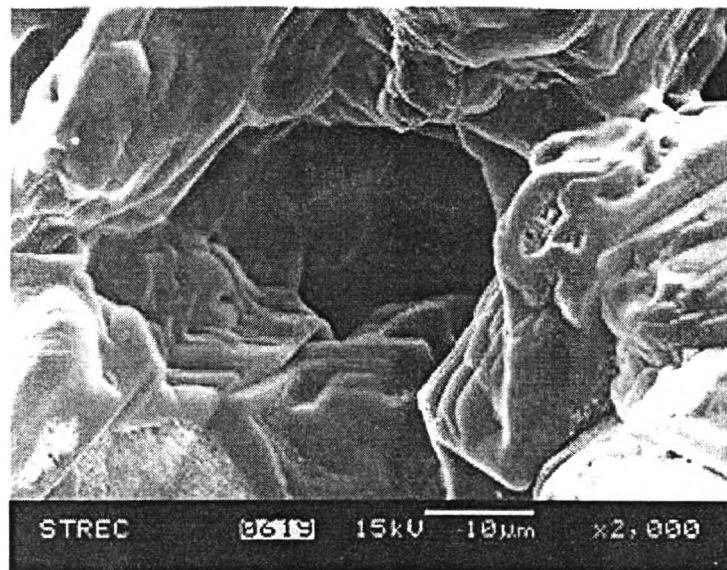




รูปที่ 4.57 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า

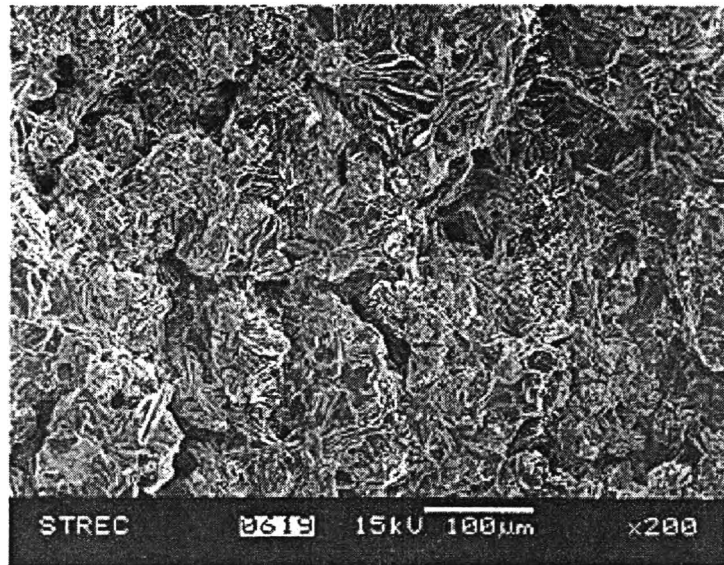


รูปที่ 4.58 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า

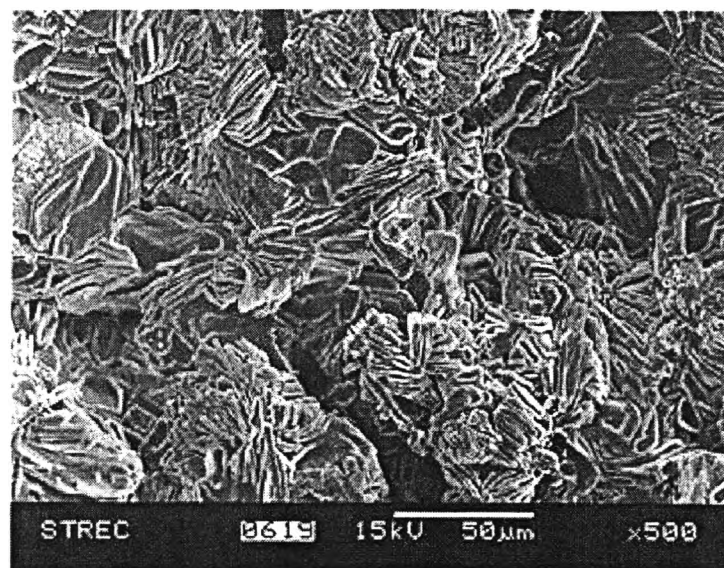


รูปที่ 4.59 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เมาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

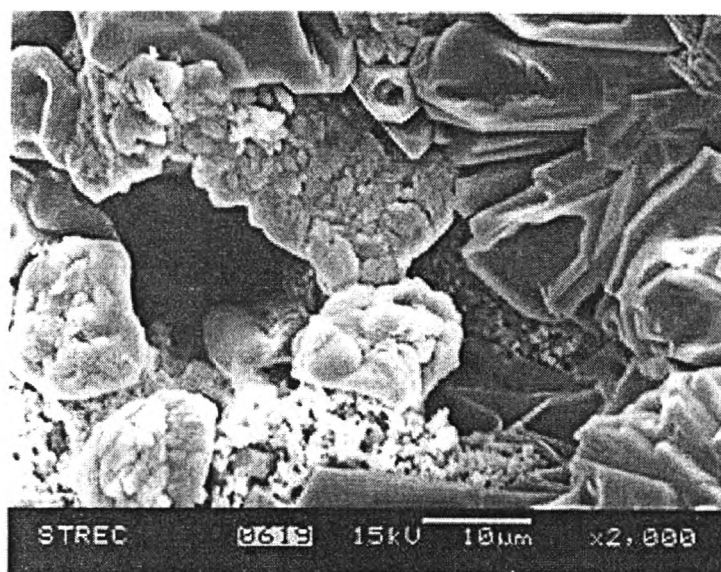




รูปที่ 4.60 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4.61 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.62 ภาพถ่าย SEM บริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ขึ้นรูปด้วย เทคนิคการใช้ผงแป้ง สัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้แรงกดขึ้นรูป 2 MPa และ เผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า