

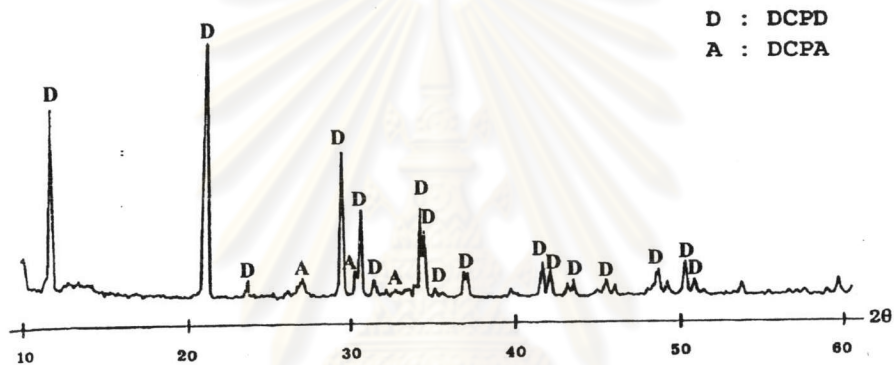
## บทที่ 4

### ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 วัสดุดิบ และปะการัง

##### 4.1.1 วัสดุดิบจากอุตสาหกรรมสกัดเจลาตินจากกระดูก<sup>4</sup>

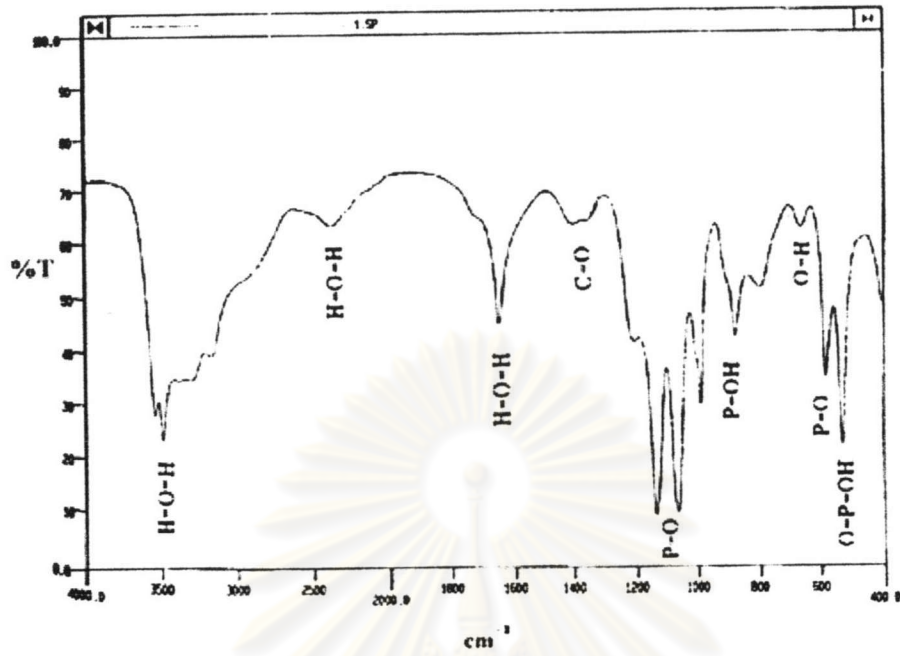
นำผลพลอยได้ของการผลิตเจลาตินจากกระดูก เมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์เฟสด้วย XRD ดังแสดงผลในรูปที่ 4-1 พบว่ามีเฟสของ DCPD เป็นเฟสหลัก และมีเฟสของ DCPA ปนเล็กน้อย



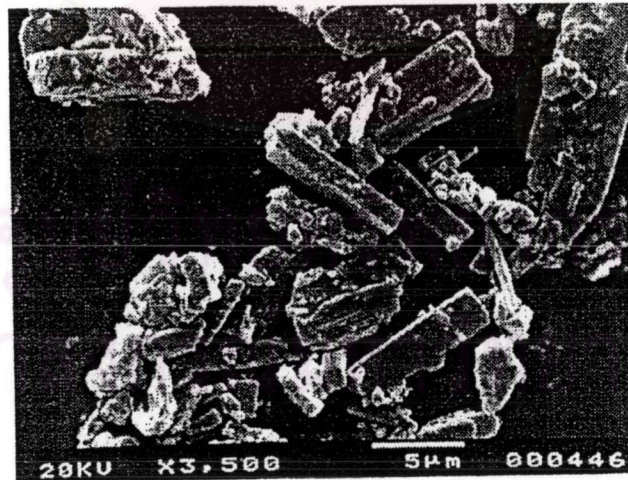
รูปที่ 4-1 ผลวิเคราะห์ XRD ของวัสดุดิบ

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยวิธี FT-IR ตั้งแต่ความถี่ 400-4000 เซนติเมตร<sup>-1</sup> พบ absorption bands ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H P-O O-H O-P-OH และ P-OH ซึ่งเป็นของ DCPD และ C-O ซึ่งเป็นของสารประกอบคาร์บอนเนตที่ปนในวัสดุดิบ ดังแสดงในรูปที่ 4-2

รูปที่ 4-3 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของวัสดุดิบ อนุภาคมีลักษณะเป็นแท่ง (bar-like) มีความยาวประมาณ 7.8  $\mu\text{m}$



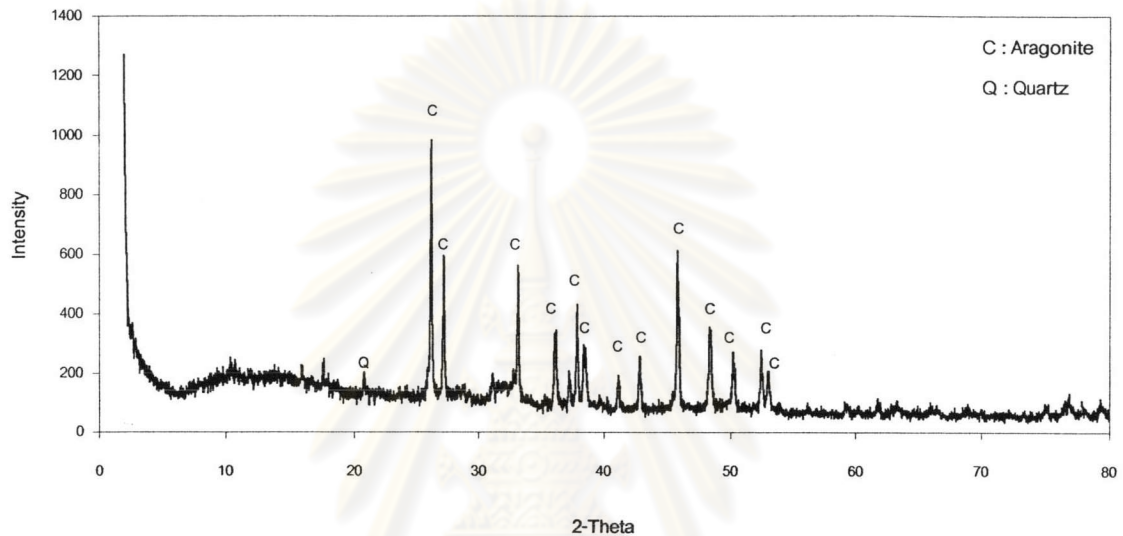
รูปที่ 4-2 ผลวิเคราะห์ IR ของวัตถุดิบ



รูปที่ 4-3 ภาพถ่าย SEM ของวัตถุดิบ

#### 4.1.2 ปะการัง

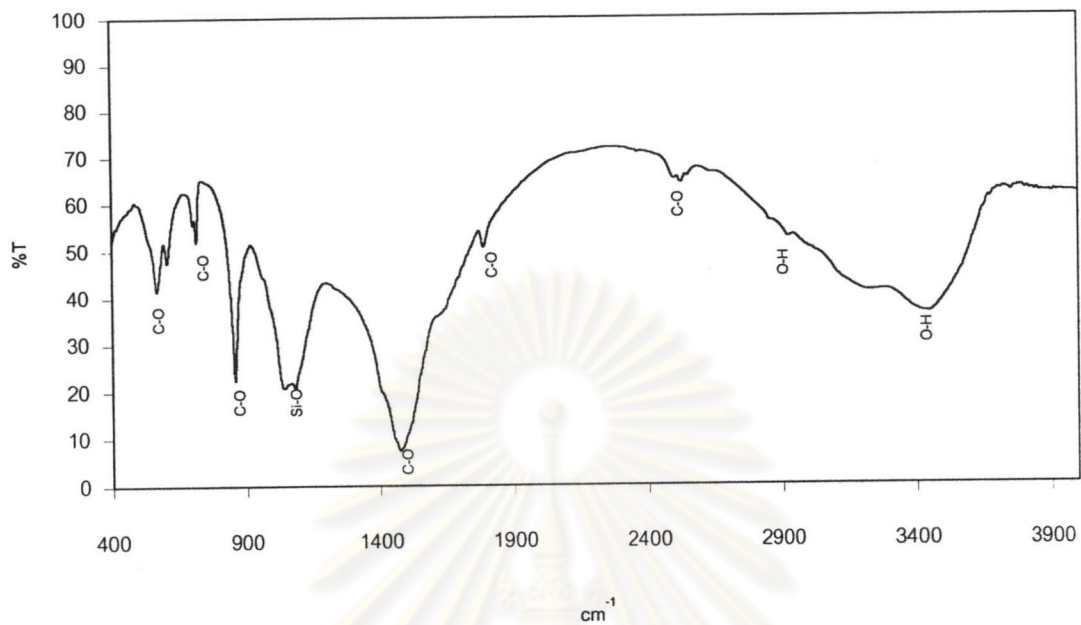
ปะการังสกุล Porites ที่ใช้ในการทดลองมีเฟสอะราโกไนต์ (aragonite) และควอทซ์ (quartz) ดังแสดงผลในรูปที่ 4-4



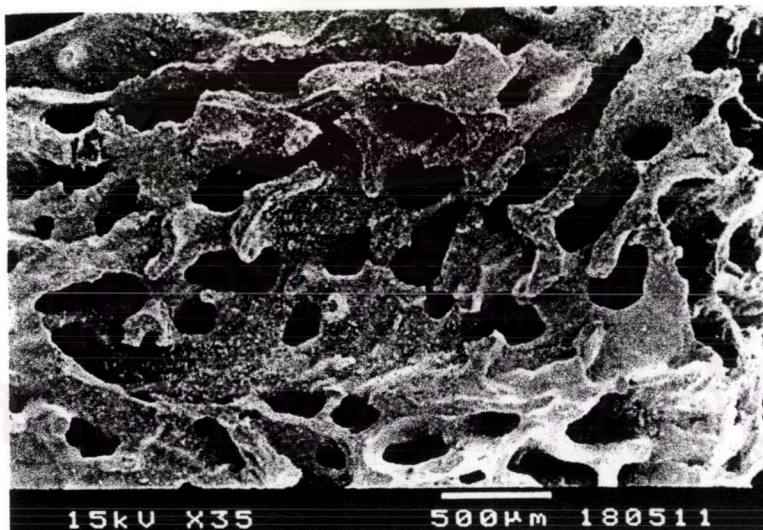
รูปที่ 4-4 ผลวิเคราะห์ XRD ของปะการัง

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยวิธี FT-IR ตั้งแต่ความถี่ 400-4000 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ดังแสดงในรูป 4-5 พบ absorption bands ของหมู่ฟังก์ชัน C-O ซึ่งเป็นของสารประกอบคาร์บอเนต (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) ที่ความถี่ 565 604 700 713 858 1474 1790 และ 2523 เซนติเมตร<sup>-1</sup> absorption bands ของหมู่ฟังก์ชัน Si-O ที่ความถี่ 1041 และ 1082 เซนติเมตร<sup>-1</sup> และ absorption bands ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ที่ความถี่ 3446 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของปะการังแสดงในรูปที่ 4-6 ถึง 4-8 จากรูปที่ 4-6 พบว่าโครงสร้างปะการังเป็นรูพรุนต่อเนื่อง (interconnected pores) มีขนาดรูในช่องประมาณ 138-472  $\mu\text{m}$  ลักษณะโครงสร้างคล้ายกับ trabecular bone ส่วนที่เป็นผนังในรูปเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 10000 เท่า พบรูพรุนขนาดเล็กดังรูปที่ 4-7 รูพรุนขนาดเล็กมีขนาดเล็กกว่า 1  $\mu\text{m}$  ผลึกอะราโกไนต์ที่กำลังขยาย 35000 เท่า เป็นผลึกไม่สมบูรณ์มีลักษณะเป็นแผ่นหกเหลี่ยมบางๆ ดังรูปที่ 4-8 ผลึกโดยทั่วไปมีขนาดเล็กกว่า 1  $\mu\text{m}$

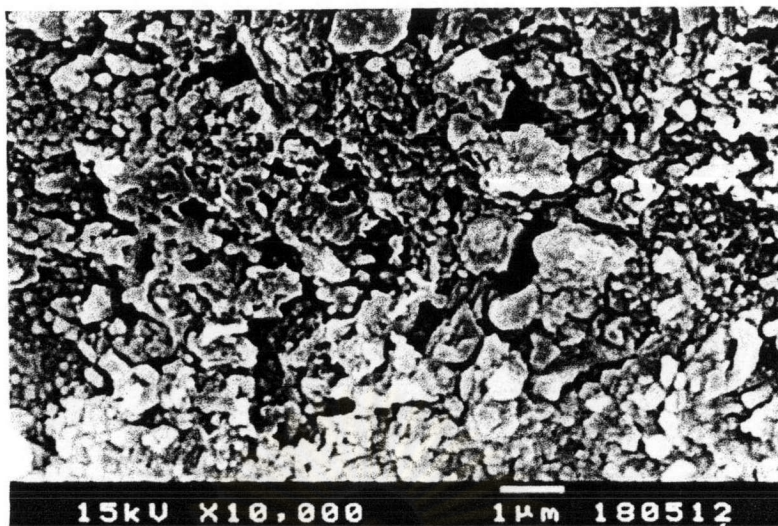


รูปที่ 4-5 ผล IR ของปะการัง

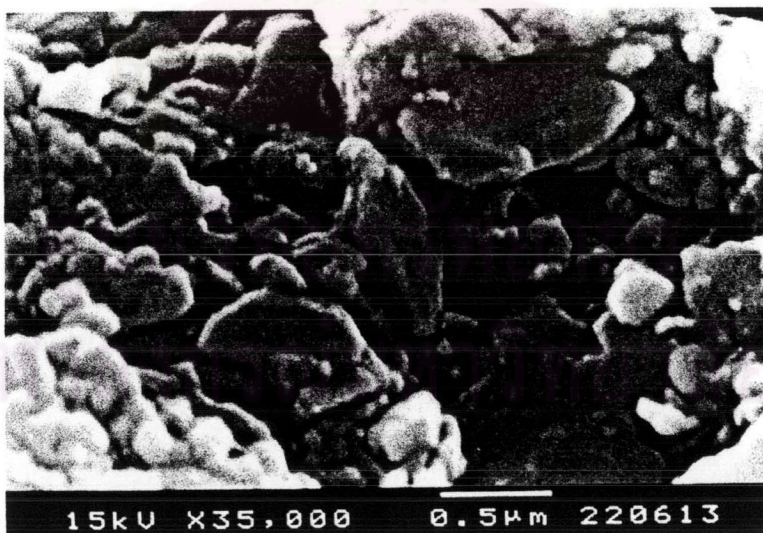


รูปที่ 4-6 ภาพถ่าย SEM ของปะการังกำลังขยาย 35 เท่า





รูปที่ 4-7 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้กำลังขยาย 10000 เท่า



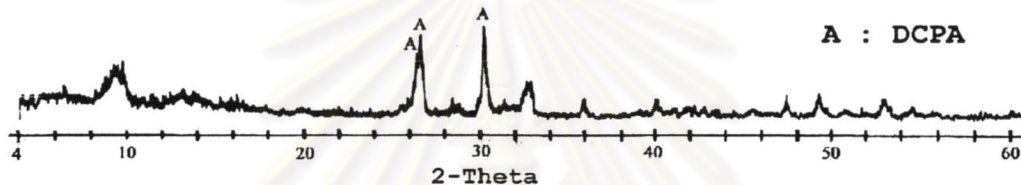
รูปที่ 4-8 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้กำลังขยาย 35000 เท่า

## 4.2 สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์

### 4.2.1 ไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮไดรส์ (DCPA) และไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (DCPD)

#### ไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮไดรส์ (DCPA)

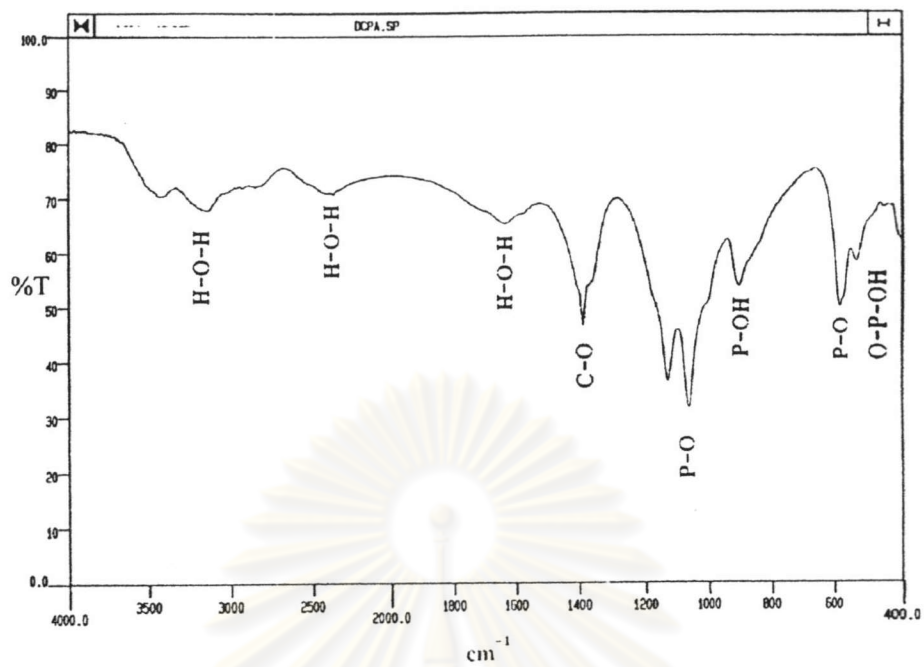
DCPA ที่เตรียมได้นำมาตรวจวิเคราะห์เฟสด้วย XRD ดังแสดงผลในรูปที่ 4-9



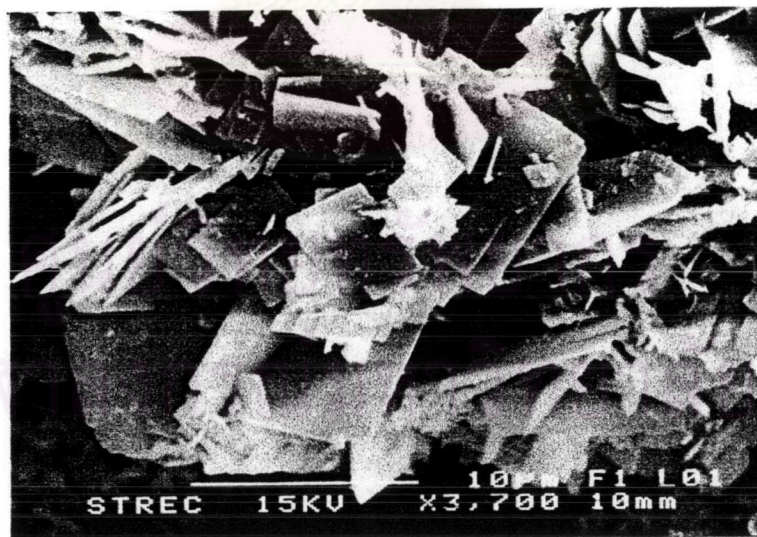
รูปที่ 4-9 ผลวิเคราะห์ XRD ของ DCPA ที่เตรียมได้

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยวิธี FT-IR ตั้งแต่ความถี่ 400-4000 เซนติเมตร<sup>-1</sup> พบ absorption bands ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H P-O O-H O-P-OH และ P-OH ซึ่งเป็นของ DCPA และ C-O ซึ่งแสดงถึงอนุมูลคาร์บอเนตที่ปนใน DCPA ที่เตรียมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4-10

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ DCPA ผลึกมีลักษณะเป็นแผ่น (plate-like) เกาะกลุ่มกันเป็นอนุภาค (agglomerate) มีขนาดประมาณ 8.4  $\mu\text{m}$  ดังแสดงในรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-10 ผลวิเคราะห์ IR ของ DCPA ที่เตรียมได้

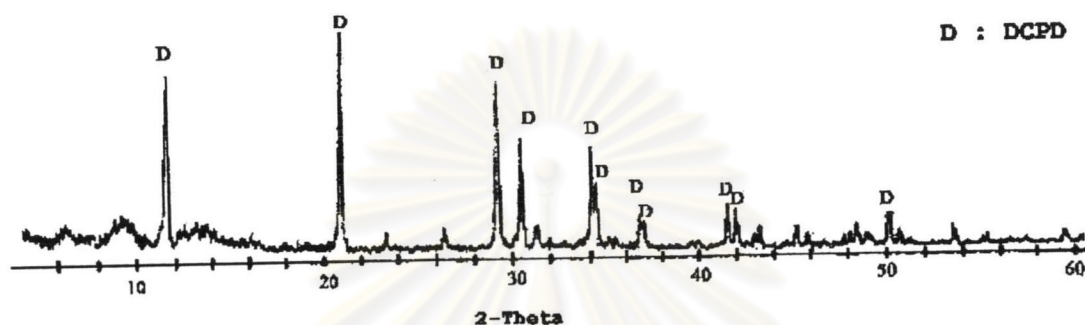


รูปที่ 4-11 ภาพถ่าย SEM ของ DCPA ที่เตรียมได้



## ไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (DCPD)

DCPD ที่เตรียมได้นำมาตรวจวิเคราะห์เฟสด้วย XRD ดังแสดงผลในรูปที่ 4-12



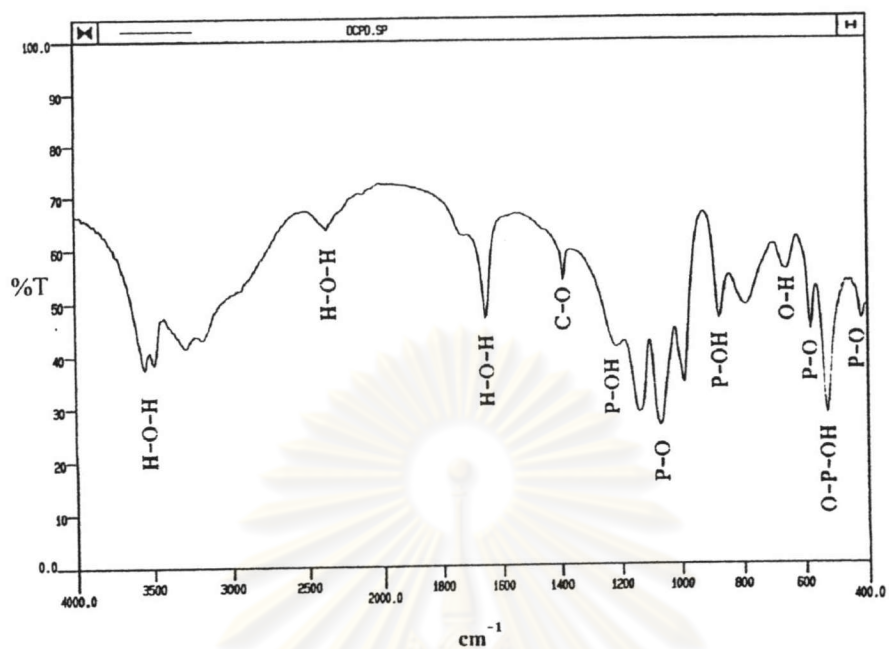
รูปที่ 4-12 ผลวิเคราะห์ XRD ของ DCPD ที่เตรียมได้

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยวิธี FT-IR ตั้งแต่ความถี่ 400-4000 เซนติเมตร<sup>-1</sup> พบ absorption bands ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H P-O O-H O-P-OH และ P-OH ซึ่งเป็นของ DCPD และ C-O ซึ่งแสดงถึงสารประกอบคาร์บอนที่ปนใน DCPD ที่เตรียมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4-13

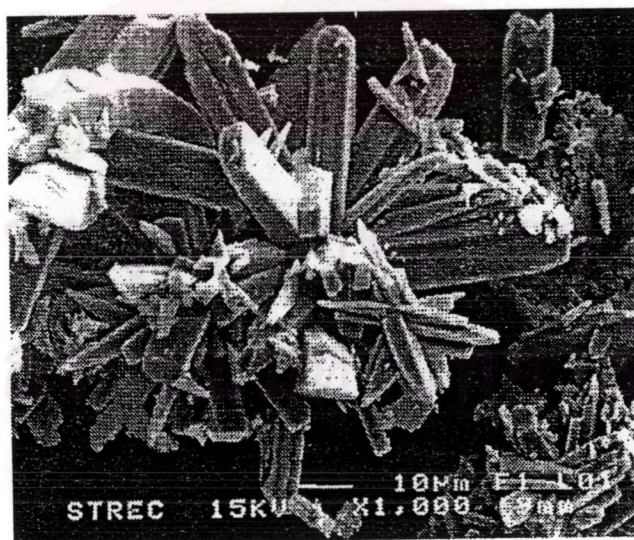
ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ DCPD ผลึกมีลักษณะเป็นแท่ง (bar-like) เกาะกลุ่มกัน (agglomerate) มีความยาวประมาณ 31.9  $\mu\text{m}$  ดังแสดงในรูปที่ 4-14

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





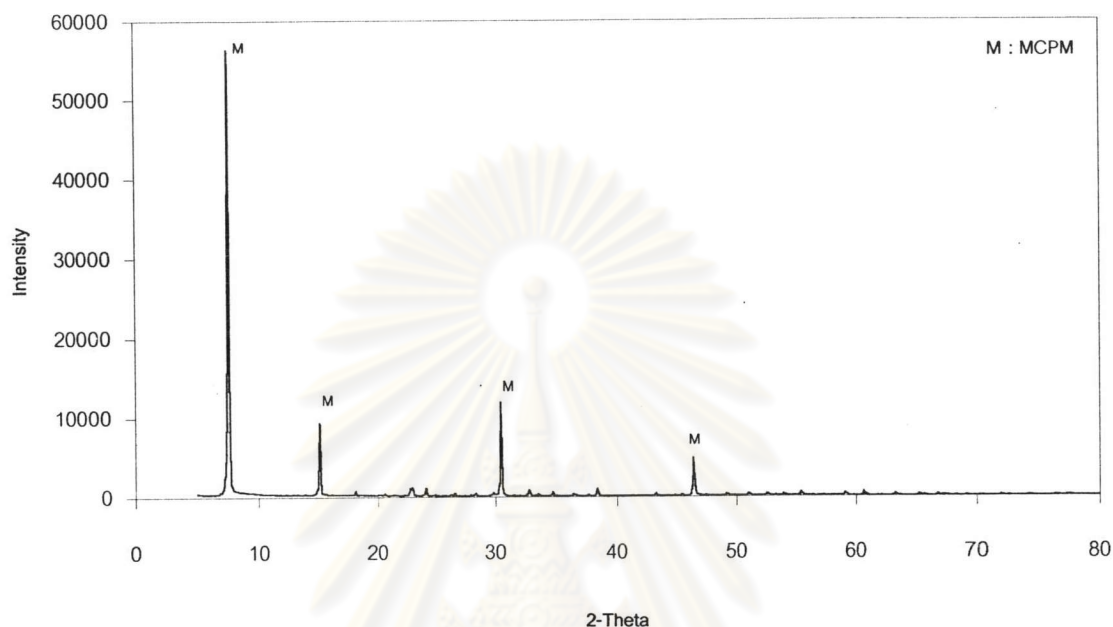
รูปที่ 4-13 ผลวิเคราะห์ IR ของ DCPD ที่เตรียมได้



รูปที่ 4-14 ภาพถ่าย SEM ของ DCPD ที่เตรียมได้

#### 4.2.2 โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮดรต (MCPM)

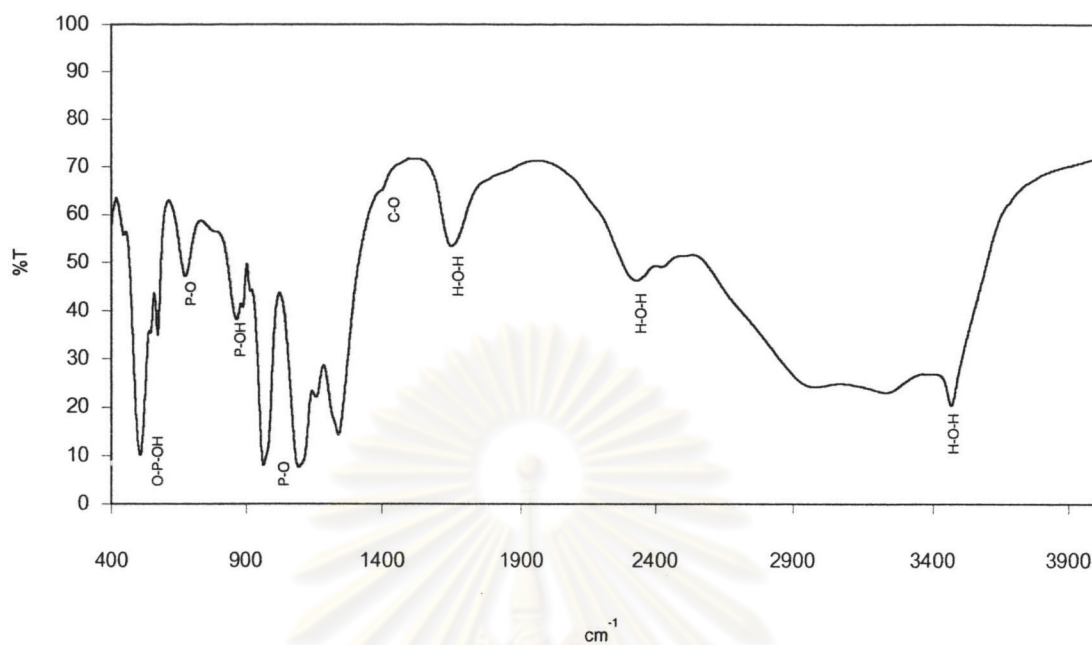
MCPM ที่เตรียมได้นำมาตรวจวิเคราะห์เฟสด้วย XRD ดังแสดงผลในรูปที่ 4-15



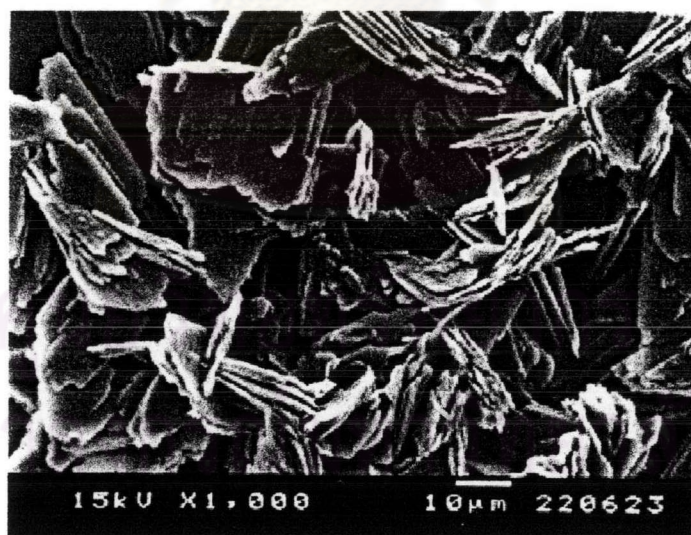
รูปที่ 4-15 ผลวิเคราะห์ XRD ของ MCPM ที่เตรียมได้

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยวิธี FT-IR ตั้งแต่ความถี่ 400-4000 เซนติเมตร<sup>-1</sup> พบ absorption bands ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H ที่ความถี่ 1650 และ 3465  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 571 675 965 1095 และ 1158  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-P-OH ที่ความถี่ 506  $\text{cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ P-OH ที่ความถี่ 865 888 และ 1241  $\text{cm}^{-1}$  ดังแสดงในรูปที่ 4-16

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของ MCPM ผลึกมีลักษณะเป็นแผ่น (plate-like) เกาะกลุ่มกัน (agglomerate) มีขนาดความยาวประมาณ 10  $\mu\text{m}$  ดังแสดงในรูปที่ 4-17 และ 4-18

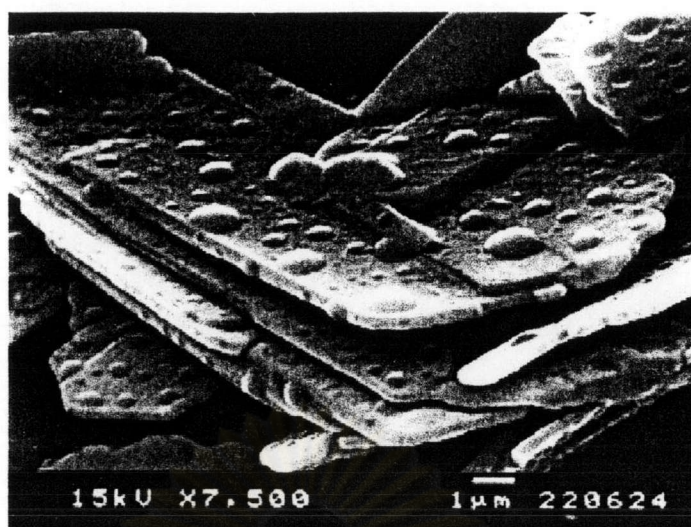


รูปที่ 4-16 ผลวิเคราะห์ IR ของ MCPM ที่เตรียมได้



รูปที่ 4-17 ภาพถ่าย SEM ของ MCPM ที่เตรียมได้กำลังขยาย 1000 เท่า





รูปที่ 4-18 ภาพถ่าย SEM ของ MCPM ที่เตรียมได้กำลังขยาย 7500 เท่า

#### 4.3 ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮไดรต์ และไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

ผลการทดลองการสังเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์อัตราส่วน Ca/P เป็น 1.5 และ 1.67 ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยผลค่า pH เฟส และลักษณะผลึกสรุปไว้ในตารางที่ 4-1

จากตารางพบว่าค่า pH ของ DCPA และ DCPD ก่อนผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลมีค่าอยู่ในช่วงกรดอ่อน และไม่ต่างกันนัก และหลังผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลมีค่าอยู่ในช่วงของกรดที่แก่ขึ้น ในขณะที่ DCPA และ DCPD ที่เติม  $\text{Ca(OH)}_2$  หลังผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล โดยใช้สภาวะ อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล อุณหภูมิ  $160^\circ\text{C}$  และอัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล อุณหภูมิ 160 และ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมงมีค่า pH อยู่ในช่วงเบส แต่ในกรณีที่ใช้อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  ค่า pH ของสารละลายเป็นกรด

ผงที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ DCPA เป็นสารตั้งต้นกับน้ำผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีเฟสเหมือนกันดังตารางที่ 4-1 และรูปที่ 4-19 เฟสหลักคือ DCPA เฟสรองคือไฮดรอกซีอะพาไทต์



ภาพถ่าย SEM ของ DCPA กับน้ำ เมื่อผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นดังรูปที่ 4-20 แสดงแผ่น DCPA มีความกว้างประมาณ 0.5-3  $\mu\text{m}$  แผ่น (plates) ในรูปที่ 4-20 (ข) เป็นผงที่สังเคราะห์จาก DCPA กับน้ำ ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 200 °C 4 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายจะเกิดผลึกรูปเข็ม (needles) ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ แต่ไม่สามารถสังเกตเห็นในรูปที่ 4-20 (ก) เนื่องจากใช้กำลังขยายต่ำ

ผลวิเคราะห์ IR ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA กับน้ำ ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นดังรูปที่ 4-21 พบ absorption bands ที่เกิดขึ้นมีความคล้ายกับ absorption bands ของ DCPA ที่ LeGeros ได้แสดงไว้ ซึ่งสอดคล้องกับเฟสของ DCPA ซึ่งเป็นเฟสหลักในรูปที่ 4-19(ข) เท่านั้น ไม่พบ absorption bands ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ อาจเนื่องจากไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยและยังมีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ absorption bands ที่พบมีดังนี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 580 1068 และ 1132  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-P-OH ที่ความถี่ 520 และ 1003  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ P-OH ที่ความถี่ 906  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1637 และ 3432  $\text{cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 1386  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอนเนตชนิด B เป็นหมู่คาร์บอนเนตที่อุณหภูมิต่ำ และแทนที่ที่ตำแหน่ง  $\text{PO}_4^{3-}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 ผลสรุปการทดลองสังเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

สารตั้งต้น	อัตราส่วน Ca/P โดยโมล	อุณหภูมิ	เวลา	ค่า pH		เฟส	ลักษณะผลิตภัณฑ์
				ก่อน	หลัง		
DCPA		160	4	6.01	3.83	DCPA,HA	แผ่น
DCPA		200	4	5.81	4.01	DCPA,HA	แผ่น
DCPD		160	4	6.55	4.29	DCPA	แผ่น
DCPD		200	4	6.02	3.49	DCPA	แผ่น
DCPA+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.5	160	4	12.27	8.19	HA,DCPA (trace)	เข็ม แผ่น
DCPA+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.67	160	4	12.19	8.91	HA,DCPA (trace)	เข็ม แผ่น
DCPA+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.5	200	4	11.95	4.44	HA,DCPA (trace)	เข็ม แผ่น
DCPA+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.67	200	4	12.14	9.05	HA,DCPA (trace)	เข็ม แผ่น
DCPD+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.5	160	4	12.39	7.84	HA,DCPA	เข็ม แผ่น
DCPD+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.67	160	4	12.43	10.37	HA,DCPA	เข็ม
DCPD+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.5	200	4	12.13	5.03	HA,DCPA	เข็ม แผ่น
DCPD+Ca(OH) <sub>2</sub>	1.67	200	4	12.38	9.07	HA,DCPA (trace)	เข็ม

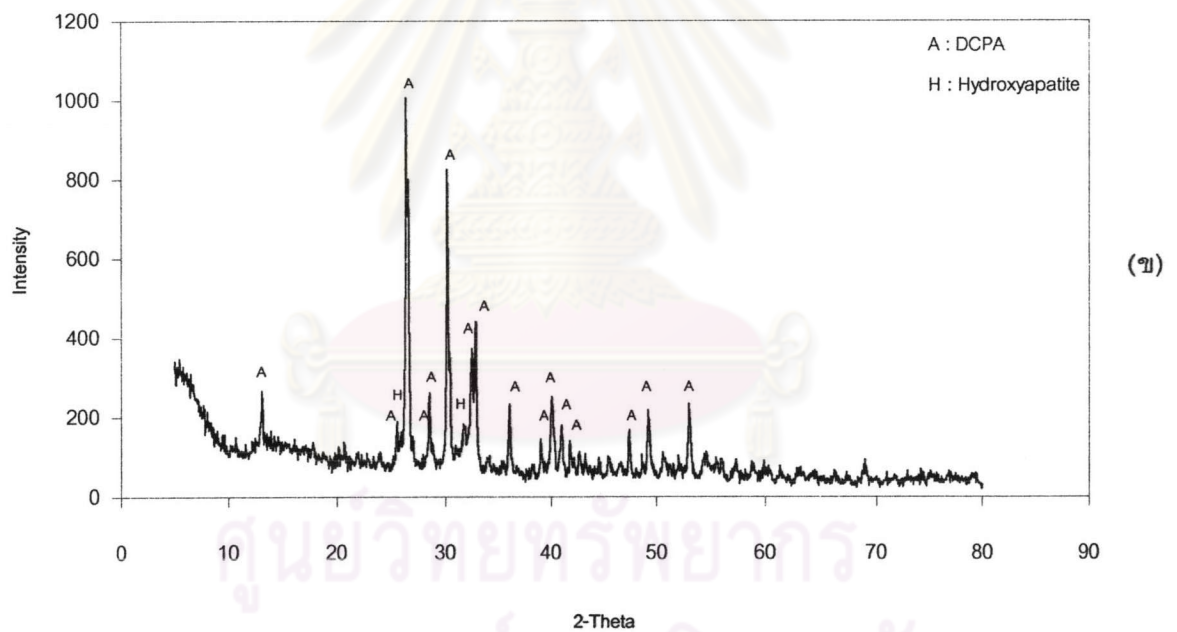
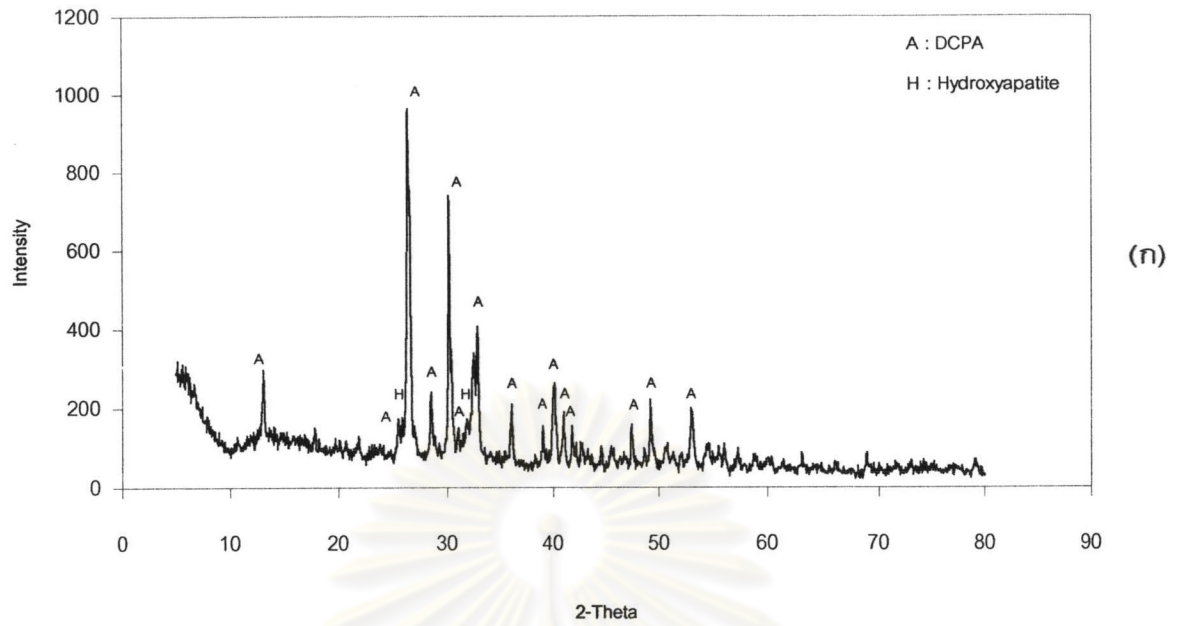
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางพบว่าค่า pH ของ DCPA และ DCPD ก่อนผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลมีค่าอยู่ในช่วงกรดอ่อน และไม่ต่างกันนัก และหลังผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลมีค่าอยู่ในช่วงของกรดที่แก่ขึ้น ในขณะที่ DCPA และ DCPD ที่เติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  หลังผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล โดยใช้สภาวะ อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล อุณหภูมิ  $160^\circ\text{C}$  และอัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล อุณหภูมิ 160 และ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมงมีค่า pH อยู่ในช่วงเบส แต่ในกรณีที่ใช้อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  ค่า pH ของสารละลายเป็นกรด

ผงที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ DCPA เป็นสารตั้งต้นกับน้ำผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีเฟสเหมือนกันดังตารางที่ 4-1 และรูปที่ 4-19 เฟสหลักคือ DCPA เฟสรองคือไฮดรอกซีอะพาไทต์

ภาพถ่าย SEM ของ DCPA กับน้ำ เมื่อผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ  $200^\circ\text{C}$  เป็นดังรูปที่ 4-20 แสดงแผ่น DCPA มีความกว้างประมาณ  $0.5\text{-}3\ \mu\text{m}$  แผ่น (plates) ในรูปที่ 4-20 (ข) เป็นผงที่สังเคราะห์จาก DCPA กับน้ำ ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  4 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายจะเกิดผลึกเข็ม (needles) ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ แต่ไม่สามารถสังเกตเห็นในรูปที่ 4-20 (ก) เนื่องจากใช้กำลังขยายต่ำ

ผลวิเคราะห์ IR ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA กับน้ำ ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นดังรูปที่ 4-21 พบ absorption bands ที่เกิดขึ้นมีความคล้ายกับ absorption bands ของ DCPA ที่ LeGeros ได้แสดงไว้ ซึ่งสอดคล้องกับเฟสของ DCPA ซึ่งเป็นเฟสหลักในรูปที่ 4-19(ข) เท่านั้น ไม่พบ absorption bands ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ อาจเนื่องจากไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยและยังมีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ absorption bands ที่พบมีดังนี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่  $580\ 1068$  และ  $1132\ \text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-P-OH ที่ความถี่  $520$  และ  $1003\ \text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ P-OH ที่ความถี่  $906\ \text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่  $1637$  และ  $3432\ \text{cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ C-O ที่ความถี่  $1386\ \text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอเนตชนิด B เป็นหมู่คาร์บอเนตที่อุณหภูมิต่ำ และแทนที่ที่ตำแหน่ง  $\text{PO}_4^{3-}$



รูปที่ 4-19 ผลวิเคราะห์ XRD ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส

(DCPA) กับน้ำ โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

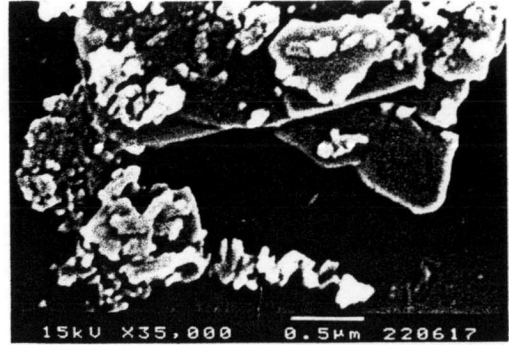
(ก) อุณหภูมิ 160 °C

(ข) อุณหภูมิ 200 °C





(ก)

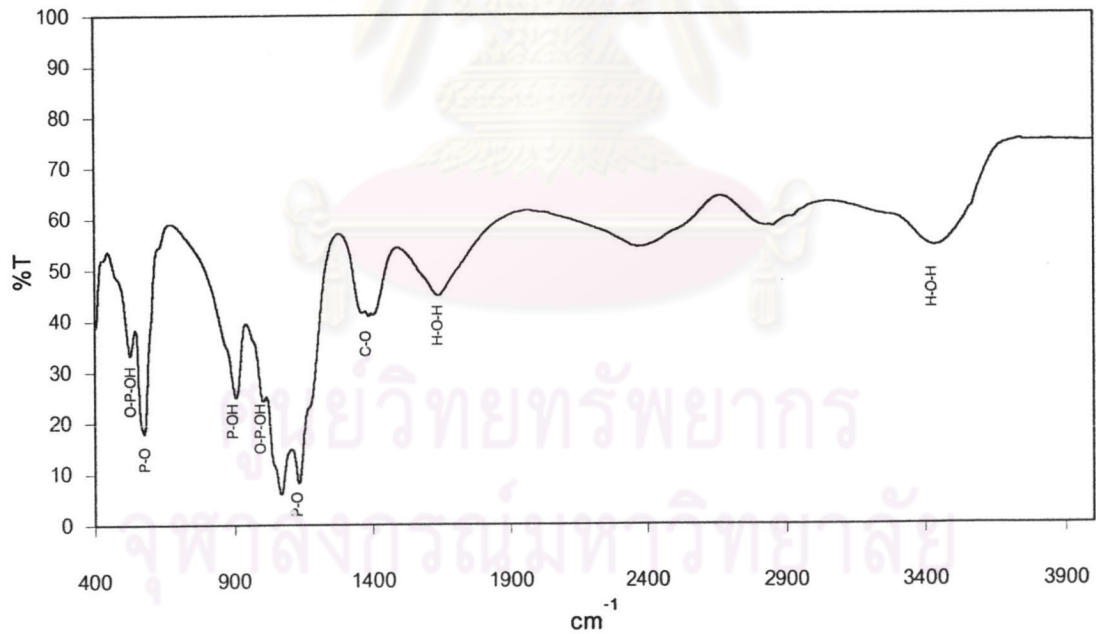


(ข)

รูปที่ 4-20 ภาพถ่าย SEM ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส (DCPA) กับน้ำ โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อุณหภูมิ 160 °C

(ข) อุณหภูมิ 200 °C



รูปที่ 4-21 ผล IR ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส (DCPA) กับน้ำ โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง 200 °C

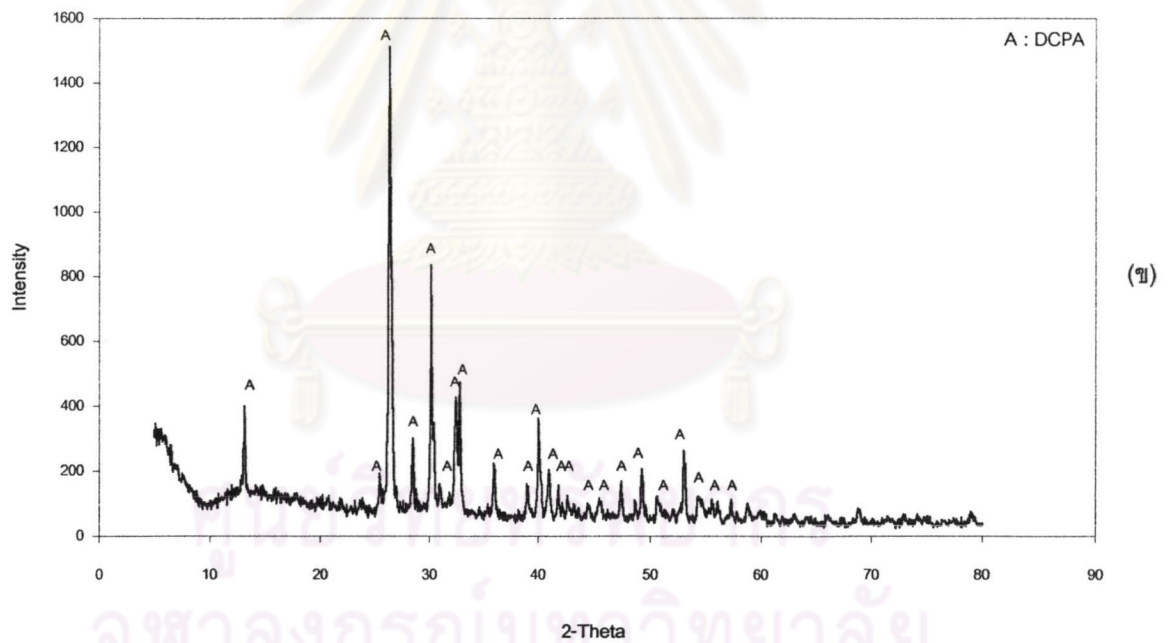
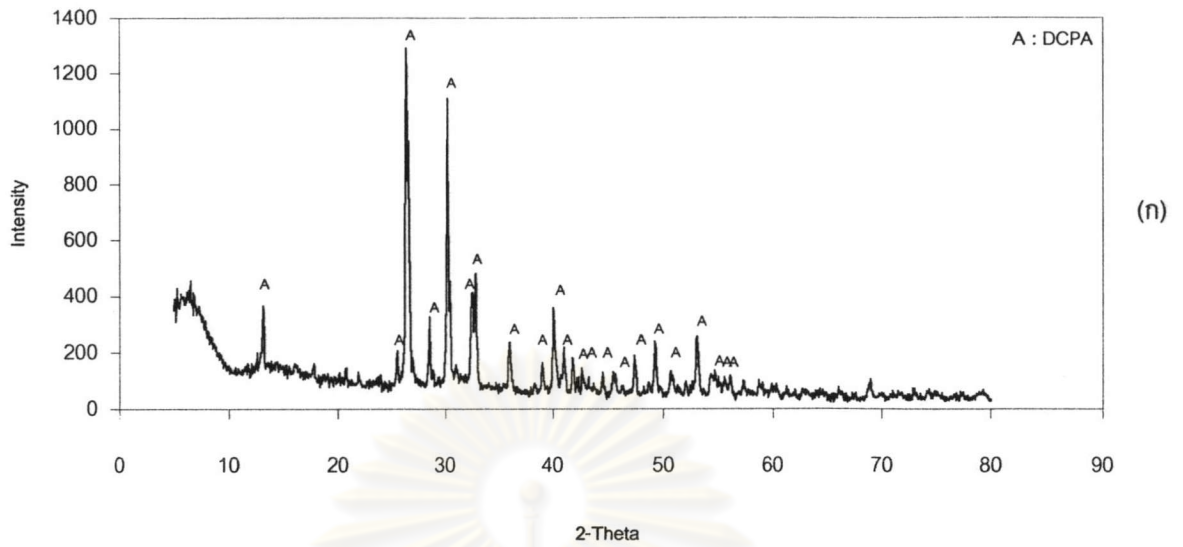
ผงที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ DCPD เป็นสารตั้งต้นกับน้ำ ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีเฟสเป็น DCPA ดังตารางที่ 4-1 และรูปที่ 4-22 เนื่องจาก DCPD ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) ได้เป็น DCPA ดังสมการ



ภาพถ่าย SEM ของ DCPD กับน้ำ เมื่อผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นดังรูปที่ 4-23 แสดงแผ่น DCPA มีความกว้างประมาณ 0.25-0.75  $\mu\text{m}$  บางแผ่นที่พื้นผิวเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่การที่ไม่พบเฟสไฮดรอกซีอะพาไทต์ อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยและไม่สมบูรณ์ จึงไม่แสดงให้เห็นในผล XRD

ผลวิเคราะห์ IR ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPD กับน้ำ ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นดังรูปที่ 4-24 ไม่พบไฮดรอกซีอะพาไทต์ แต่พบ absorption bands ที่เกิดมีความคล้ายกับ absorption bands ของ DCPA ที่ LeGeros ได้แสดงไว้ ซึ่งสอดคล้องกับเฟสของ DCPA ในรูป 4-22 (ข) absorption bands ที่พบมีดังนี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 580 1067 และ 1131  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-P-OH ที่ความถี่ 521 และ 1001  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ P-OH ที่ความถี่ 904  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1633 และ 3429  $\text{cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 1359 และ 1402  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอเนต ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอเนตชนิด B เป็นหมู่คาร์บอเนตที่อุณหภูมิต่ำ และแทนที่ที่ตำแหน่ง  $\text{PO}_4^{3-}$

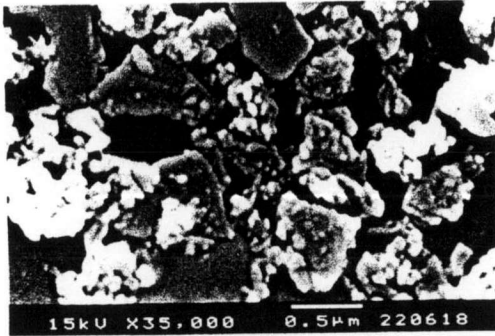
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



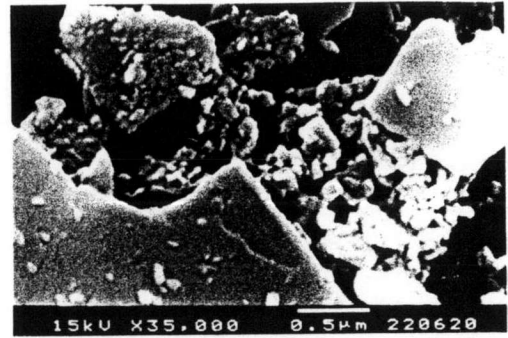
รูปที่ 4-22 ผลวิเคราะห์ XRD ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (DCPD) กับน้ำโดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อุณหภูมิ 160 °C

(ข) อุณหภูมิ 200 °C



(ก)

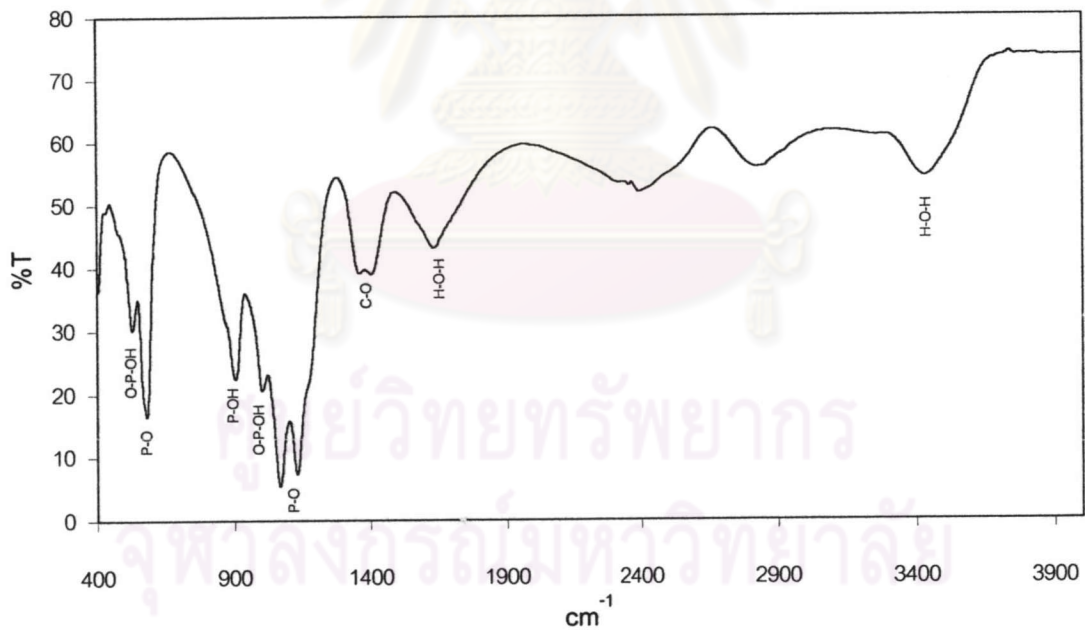


(ข)

รูปที่ 4-23 ภาพถ่าย SEM ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (DCPD) กับน้ำโดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อุณหภูมิ 160 °C

(ข) อุณหภูมิ 200 °C



รูปที่ 4-24 ผล IR ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต

(DCPD) กับน้ำโดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง 200 °C



เมื่อเติม  $\text{Ca}^{2+}$  ในรูปของ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ใน DCPA อัตราส่วน Ca/P 1.5 และ 1.67 โดยโมล และผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล อุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ทำปฏิกิริยากับ DCPA ได้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ดังสมการ



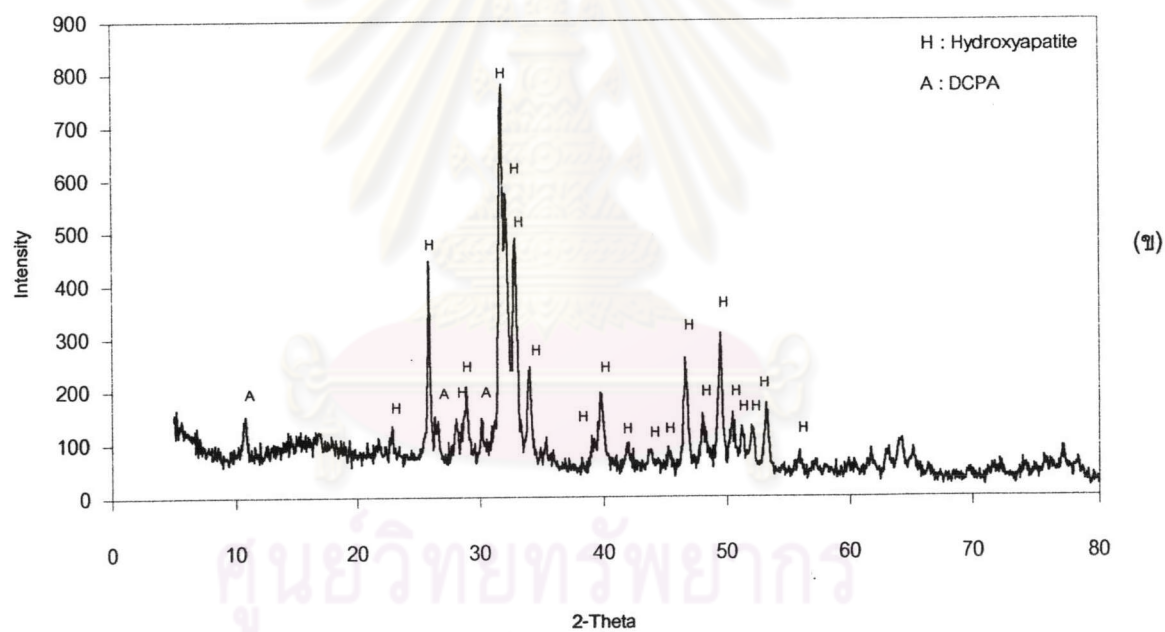
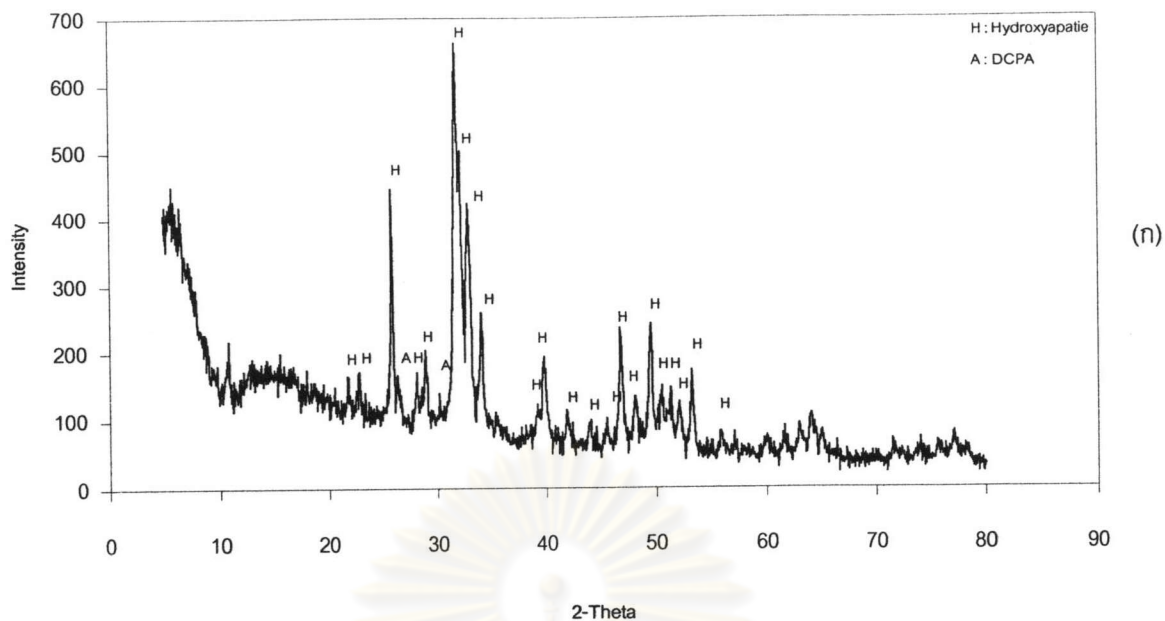
ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ XRD ในตารางที่ 4-1 และรูปที่ 4-25 ผงที่สังเคราะห์จากสารตั้งต้น DCPA และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีเฟสหลักเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ และมีเฟสรองเป็น DCPA เป็นปริมาณเล็กน้อยมากที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

ภาพถ่าย SEM ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  อัตราส่วน Ca/P โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นดังรูปที่ 4-26 เกิดเข็มไฮดรอกซีอะพาไทต์บนแผ่น DCPA และมีเข็มไฮดรอกซีอะพาไทต์บางส่วนหลุดออกมา

ผลวิเคราะห์ IR ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  อัตราส่วน Ca/P 1.5 และ 1.67 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นดังรูปที่ 4-27 พบ absorption bands ที่เกิดขึ้นคล้ายกับ absorption bands ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ LeGeros แสดงไว้ ซึ่งตรงกับเฟสหลักซึ่งเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ดังแสดงในรูป 4-25 (ข) และ (ง) และไม่พบ absorption bands ของ DCPA ซึ่งเป็นเฟสรอง อาจเป็นเพราะมี DCPA ในปริมาณน้อย

absorption bands ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 200 °C เป็นดังรูป 4-27 (ก) absorption bands ที่พบมีดังนี้ นี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 568 605 964 1042 และ  $1095 \text{ cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 634 และ  $3570 \text{ cm}^{-1}$  absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1636 และ  $3438 \text{ cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 876 1386 และ  $1423 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอเนต (ชนิด B) เป็นหมู่คาร์บอเนตที่อุณหภูมิต่ำ และแทนที่ที่ตำแหน่ง  $\text{PO}_4^{3-}$

absorption bands ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 200 °C เป็นดังรูป 4-27 (ข) absorption bands ที่พบมีดังนี้ นี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 569 605 964 1042 และ  $1094 \text{ cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 634 และ  $3570 \text{ cm}^{-1}$  absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1636 และ  $3438 \text{ cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 876 1386 และ  $1423 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอเนตชนิด B เป็นหมู่คาร์บอเนตที่อุณหภูมิต่ำ และแทนที่ที่ตำแหน่ง  $\text{PO}_4^{3-}$



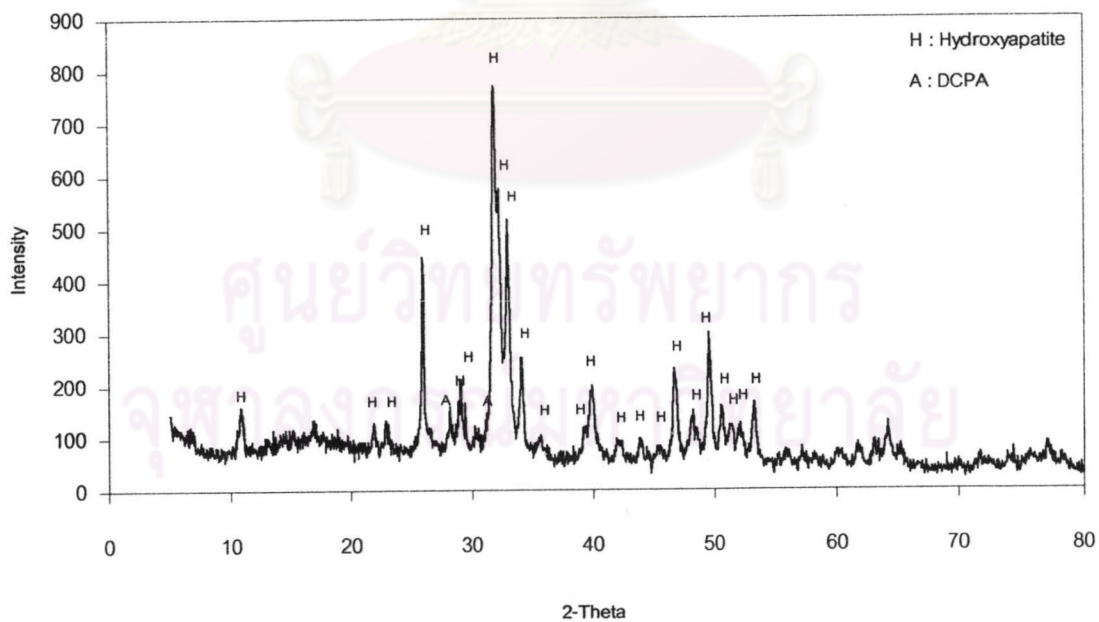
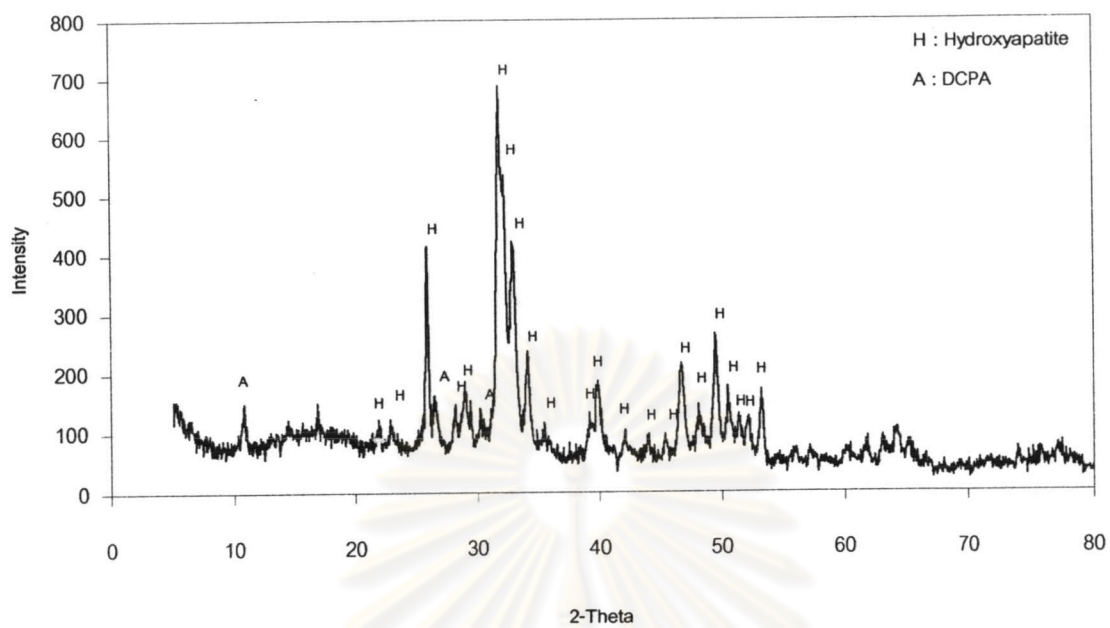
รูปที่ 4-25 ผลวิเคราะห์ XRD ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส (DCPA) และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล  $160^\circ\text{C}$

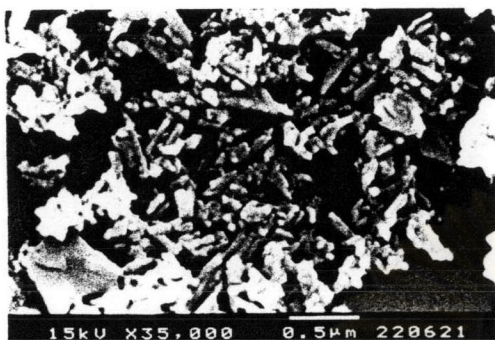
(ข) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล  $200^\circ\text{C}$

(ค) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล  $160^\circ\text{C}$

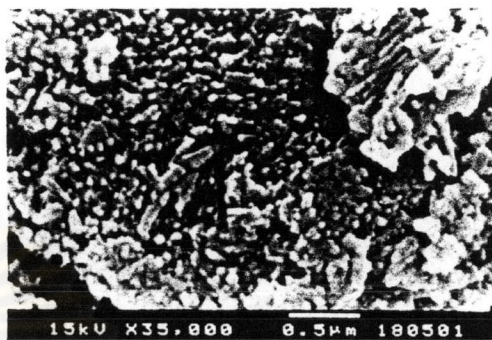
(ง) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล  $200^\circ\text{C}$







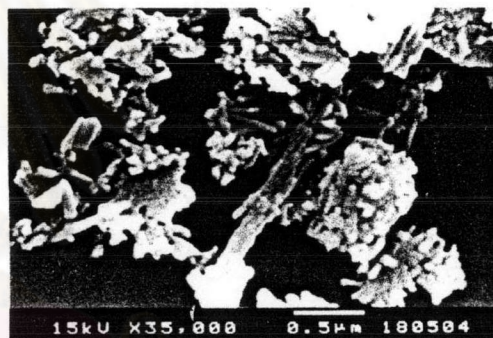
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4-26 ภาพถ่าย SEM ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส (DCPA) และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

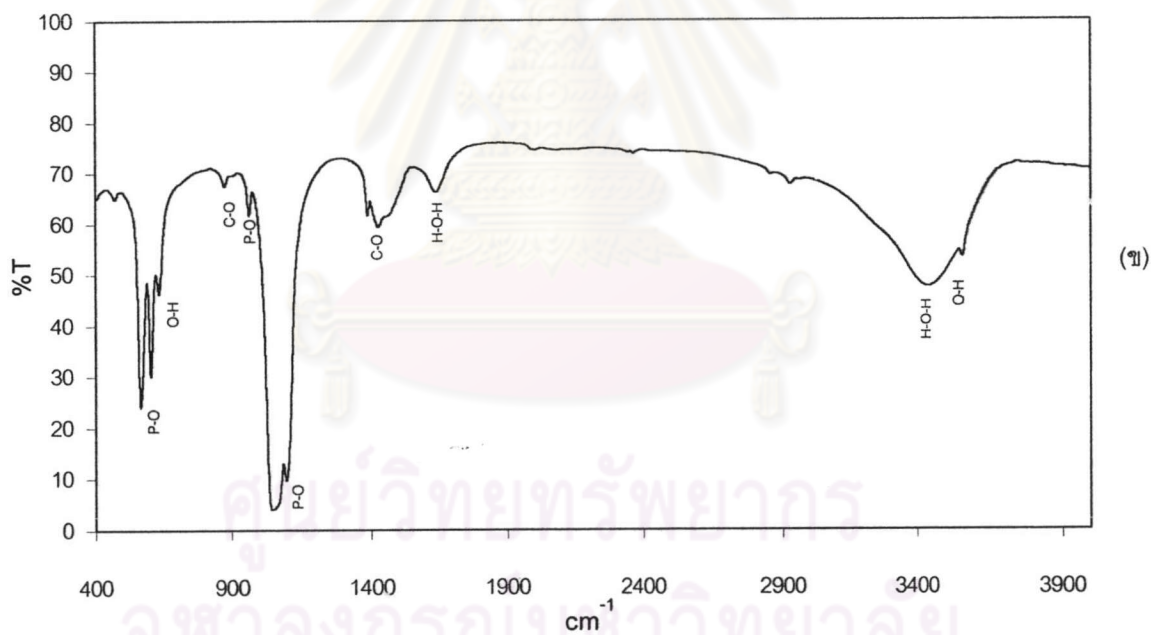
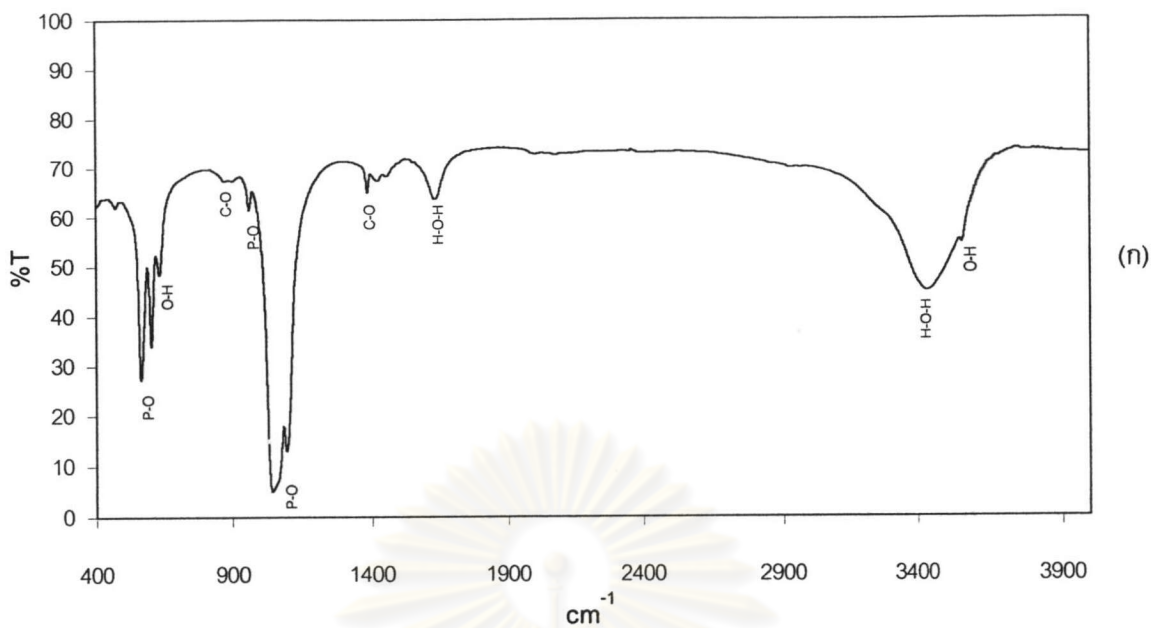
(ก) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล 160 °C

(ข) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล 200 °C

(ค) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล 160 °C

(ง) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล 200 °C





รูปที่ 4-27 ผล IR ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส (DCPA) และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล 200 °C

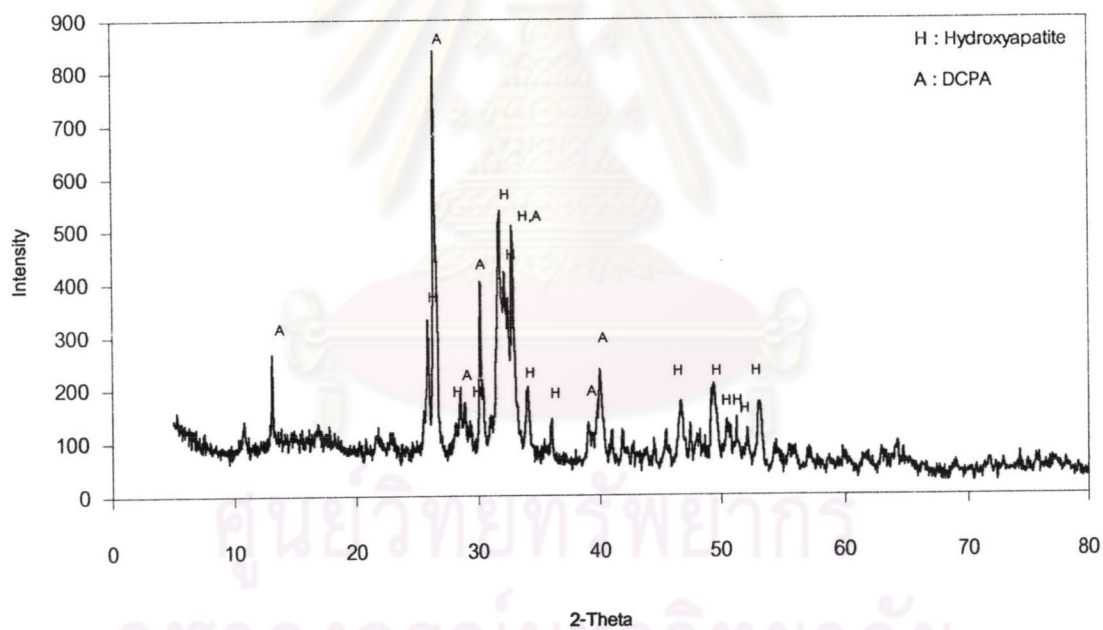
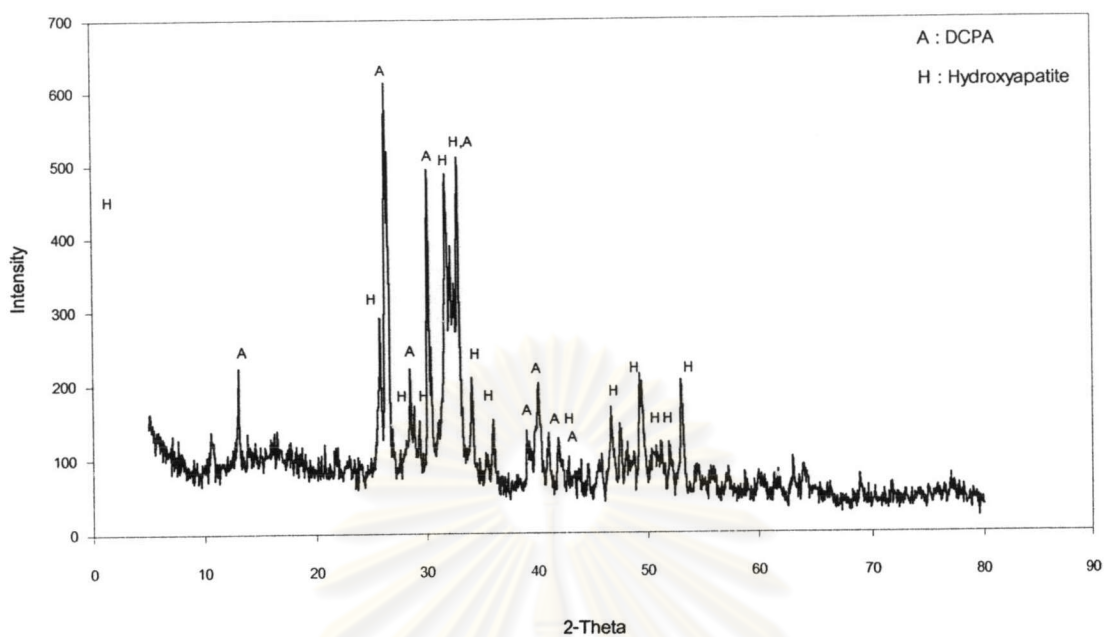
(ข) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล 200 °C

เมื่อเติม  $\text{Ca}^{2+}$  ในรูปของ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ใน DCPD อัตราส่วน Ca/P 1.5 และ 1.67 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีเฟสดังตารางที่ 4-1 และรูปที่ 4-28 เมื่ออัตราส่วน Ca/p 1.67 โดยโมล ผงที่สังเคราะห์ได้มีเฟสหลักเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ เฟสรองเป็น DCPA ดังรูปที่ 4-28 (ค) และ (ง) เมื่อปริมาณ Ca ลดลง มีอัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล อุณหภูมิ 160 °C ผงที่สังเคราะห์ได้มีเฟสเป็น DCPA และ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ดังรูปที่ 4-28(ก) และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 200 °C ผงที่สังเคราะห์ได้มีเฟสหลักเป็น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ และเฟสรองเป็น DCPA

ภาพถ่าย SEM ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  อัตราส่วน Ca/P 1.5 และ 1.67 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 และ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นดังรูปที่ 4-29 ประกอบด้วยแผ่น DCPA ที่พื้นผิวเกิดเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ ส่วนที่เป็นสันของแผ่น DCPA และเข็มไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่หลุดออกมาจากแผ่น

ผลวิเคราะห์ IR absorption bands ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPD และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 200 °C เป็นดังรูป 4-30 (ก) absorption bands มีลักษณะคล้าย absorption bands ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งตรงกับเฟสหลักที่เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ในผล XRD รูปที่ 4-30(ก) absorption bands ที่พบมีดังนี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 560 604 964 1042 และ 1093  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 634 และ 3574  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1634 และ 3438  $\text{cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 901 และ 1423  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอเนต และเป็นหมู่คาร์บอเนต(ชนิด B) เป็นหมู่คาร์บอเนตที่อุณหภูมิต่ำ และแทนที่ที่ตำแหน่ง  $\text{PO}_4^{3-}$

ผลวิเคราะห์ IR ของ absorption bands ของผงที่สังเคราะห์จาก DCPA และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 200 °C เป็นดังรูป 4-27 (ข) มีลักษณะคล้าย absorption bands ของ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งตรงกับเฟสหลักที่เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ในรูปที่ 4-30(ข) absorption bands ที่พบมีดังนี้ นี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 569 604 964 1044 และ 1094  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 634 และ 3570  $\text{cm}^{-1}$  absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1635 และ 3442  $\text{cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 876 และ 1423  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอเนต



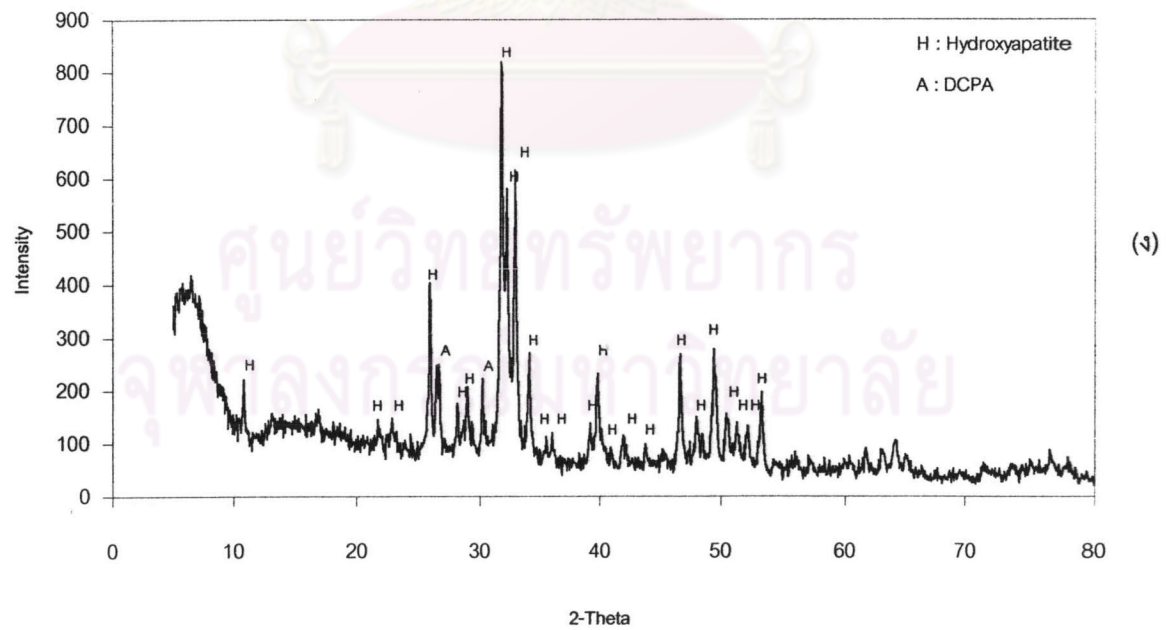
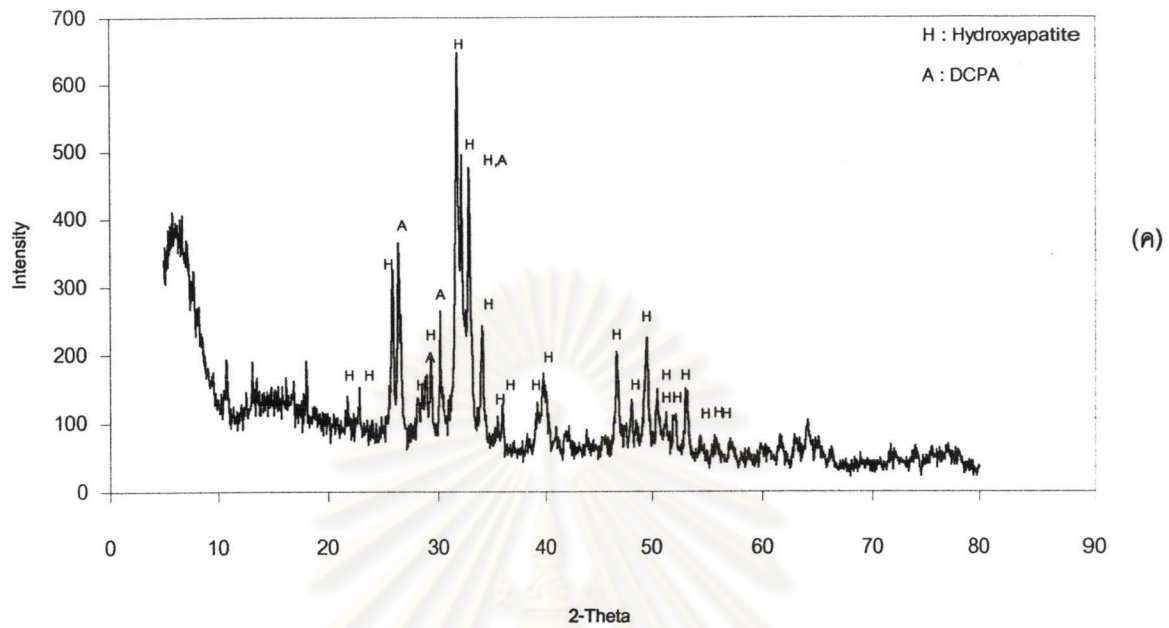
รูปที่ 4-28 ผลวิเคราะห์ XRD มงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (DCPD) และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล  $160^\circ\text{C}$

(ข) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล  $200^\circ\text{C}$

(ค) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล  $160^\circ\text{C}$

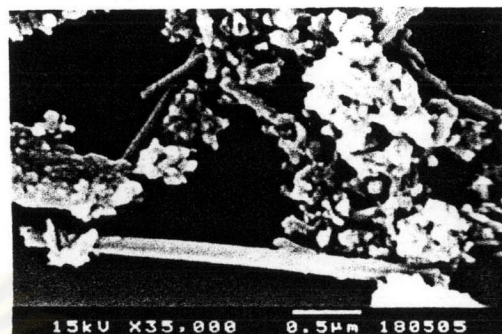
(ง) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล  $200^\circ\text{C}$



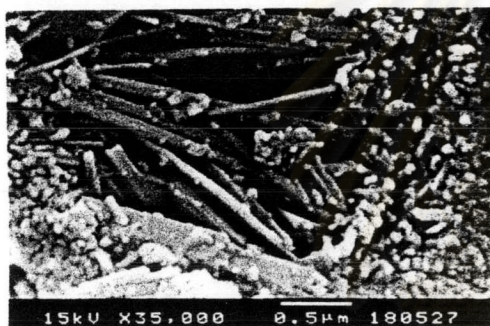




(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

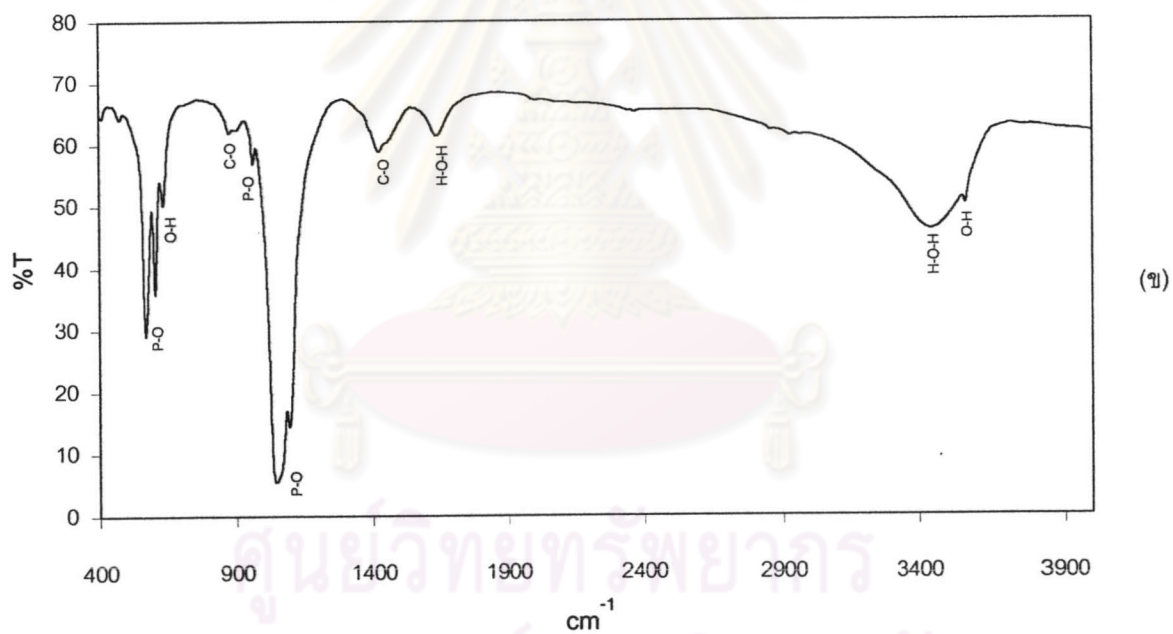
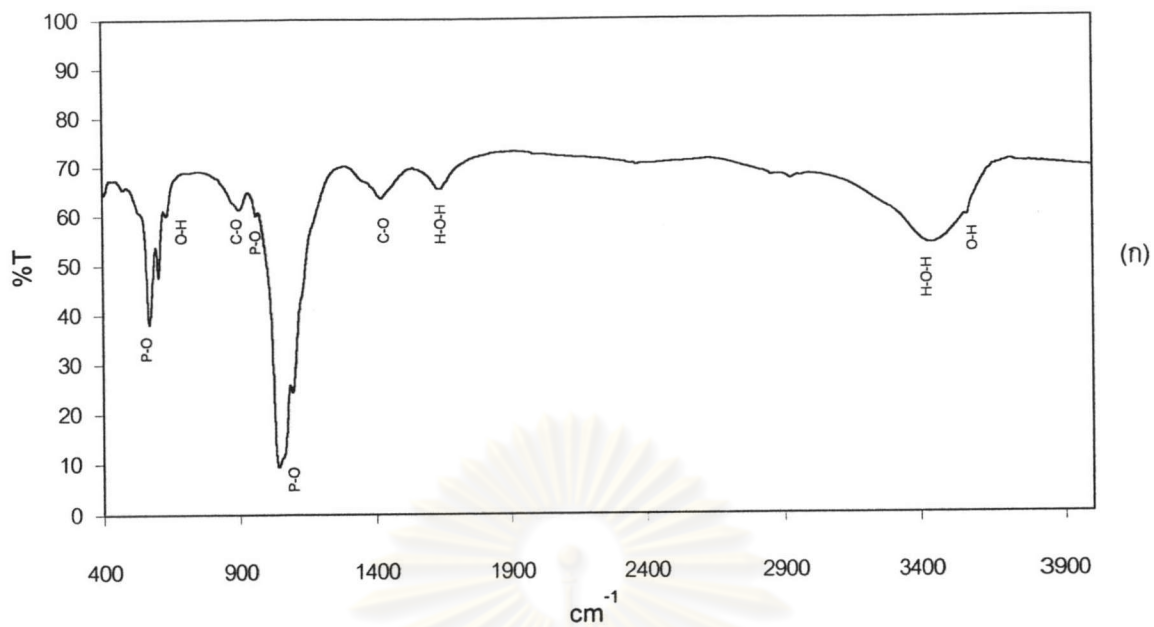
รูปที่ 4-29 ภาพถ่าย SEM ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (DCPD) และ  $\text{Ca(OH)}_2$  โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล 160 °C

(ข) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล 200 °C

(ค) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล 160 °C

(ง) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล 200 °C



รูปที่ 4-30 ผล IR ผงที่สังเคราะห์จากไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮดรอกไซด์ (DCPD) และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) อัตราส่วน Ca/P 1.5 โดยโมล  $200^\circ\text{C}$

(ข) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล  $200^\circ\text{C}$

#### 4.4 ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการัง

##### 4.4.1 ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจน ออร์โทฟอสเฟต $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$ เป็นสารตั้งต้น

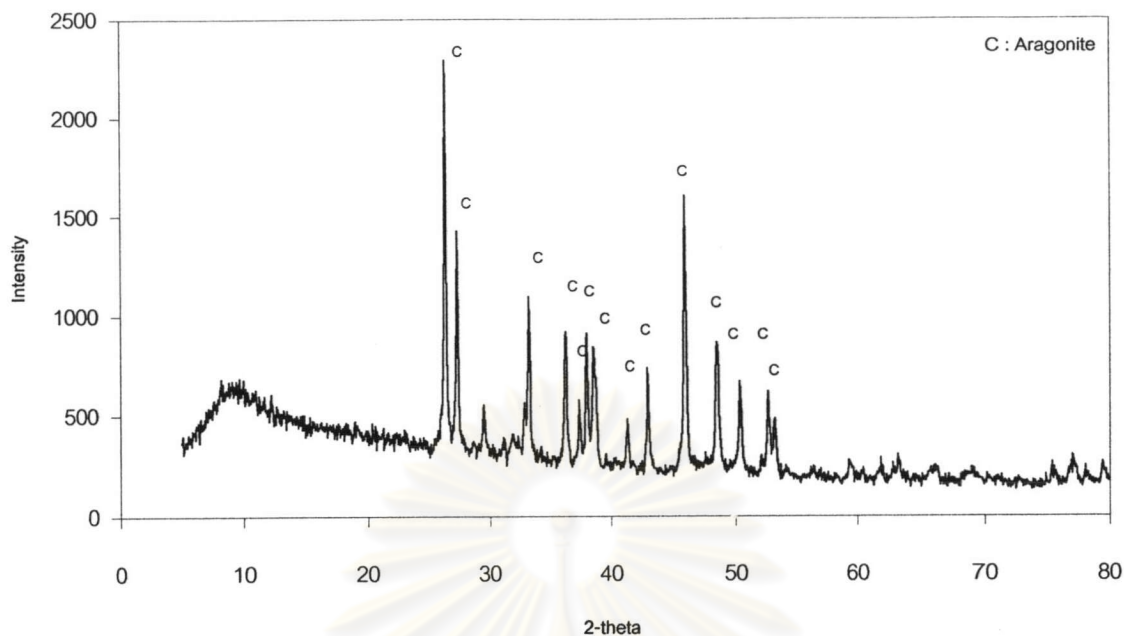
ผลการทดลองการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจน ออร์โทฟอสเฟต  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  เป็นสารตั้งต้นประกอบด้วยผลค่า pH และ เฟสสรุปไว้ในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลสรุปการทดลองสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจน ออร์โทฟอสเฟต  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  เป็นสารตั้งต้น

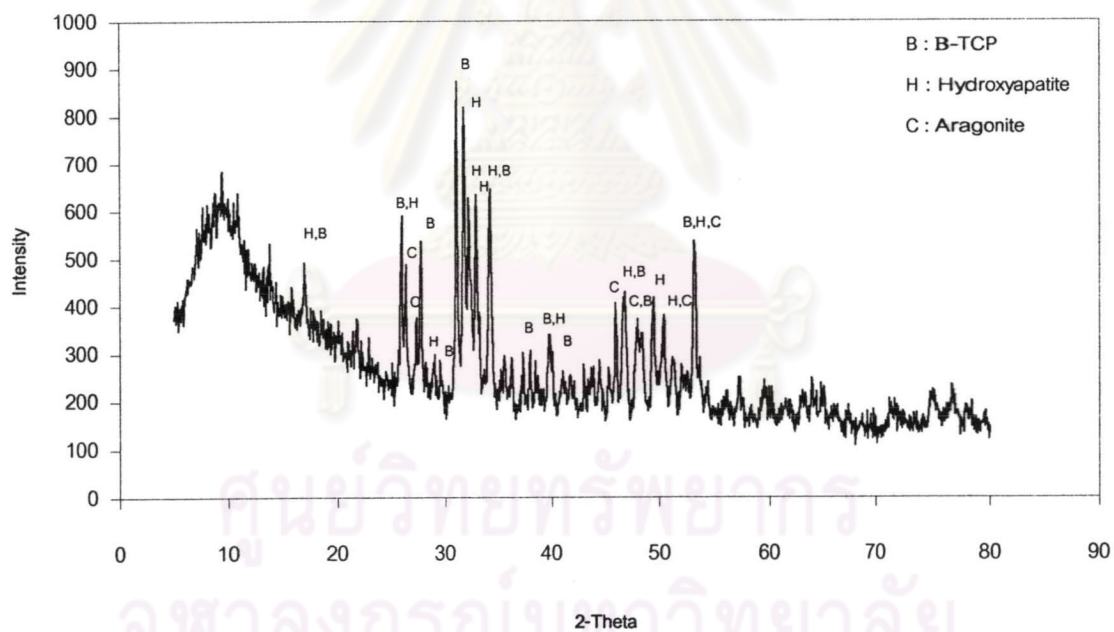
สารตั้งต้น	อุณหภูมิ	เวลา	อัตราส่วน Ca/P โดยโมล	ค่า pH		เฟส
				ก่อน	หลัง	
Coral+ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ solution	200	4	1.67	7.71	6.87	aragonite
Coral+ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ solution	200	4	0.14	7.8	7.28	$\beta$ -TCP,HA,aragonite

จากตารางที่ 4-2 และรูปที่ 4-31 พบว่าเมื่ออัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล มีเฟสเป็น aragonite เมื่อปรับอัตราส่วน Ca/P เป็น 0.14 โดยโมล ปะการังมี 3 เฟส ได้แก่  $\beta$ -TCP ไฮดรอกซีอะพาไทต์ และอะราโกไนต์ เรียงตามปริมาณจากสูงลงไป

รายงานวิจัยของ Zaremba และคณะ ได้อ้างว่า Eysel, W และคณะพบว่า การเกิดไฮดรอกซีอะพาไทต์ เกิดจาก topotactic reaction เพราะมีโครงสร้างผลึกเป็นเฮกซะโกนัล ในขณะที่อะราโกไนต์มีโครงสร้างผลึกเป็นเฮกซะโกนัลเทียม ดังนั้นจึงมีความคล้ายคลึงกันทั้งแลตทิซพารามิเตอร์ ตำแหน่งไอออน และความจุไอออน



(n)



(ข)

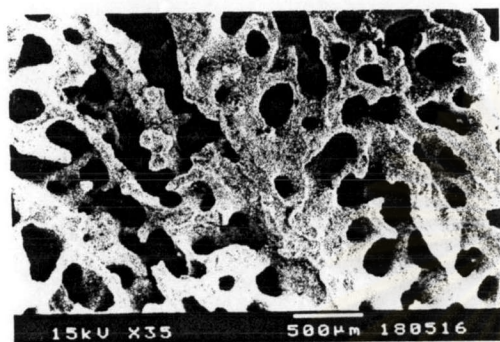
รูปที่ 4-31 ผลวิเคราะห์ XRD ของปะการังโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจน  
ออร์โทฟอสเฟต  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง  
อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$

(ก) อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล

(ข) อัตราส่วน Ca/P 0.14 โดยโมล



โครงสร้างปะการังหลังผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 0.14 โดยโมล ยังคงรักษาสภาพโครงสร้างเดิมแสดงในรูปที่ 4-32 (ก) และ รูปที่ 4-32 (ข) แสดงให้เห็นผลึกที่เกิดขึ้นบนผิวปะการัง ผลึกมีลักษณะเป็นแผ่นมีขนาดเล็กมากกว่า  $1 \mu\text{m}$



(ก)



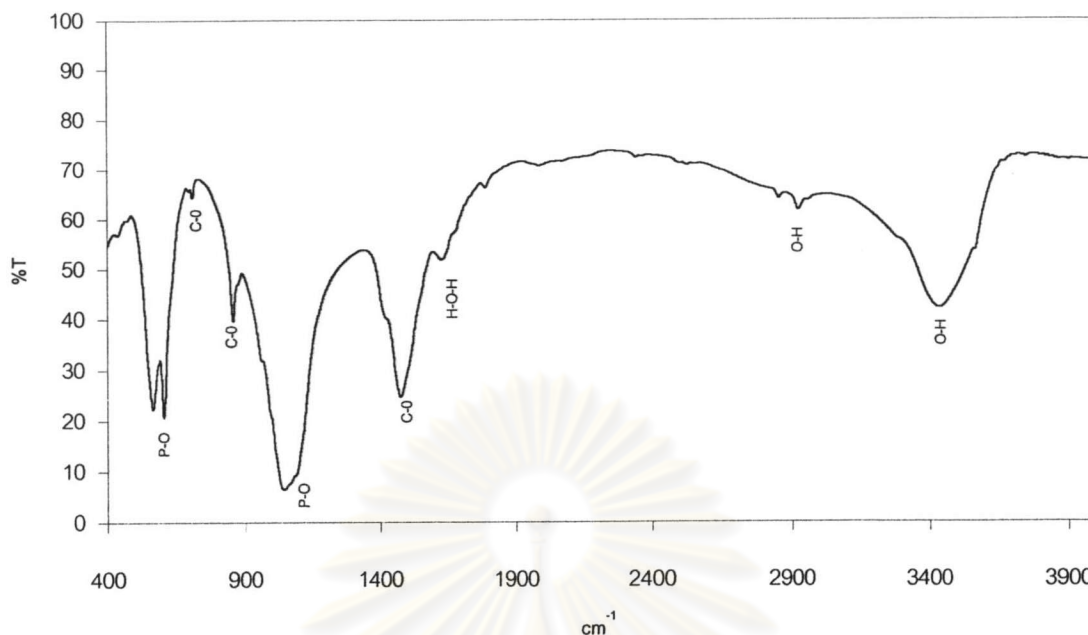
(ข)

รูปที่ 4-32 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 0.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ  $200 \text{ }^\circ\text{C}$

(ก) กำลังขยาย 35 เท่า

(ข) กำลังขยาย 35000 เท่า

ผลวิเคราะห์ IR ของปะการังโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/ P 0.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4-33 มีลักษณะคล้ายกับ absorption bands ของ B-TCP ที่ LeGeros แสดงไว้ และสอดคล้องกับเฟสหลักคือ B-TCP ในรูป XRD ที่ 4-31 (ข) absorption bands ที่พบได้แก่ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 564 605 และ 1047  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบฟอสเฟต absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 714 859 และ 1475  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของอะราโกไนต์ที่เหลืออยู่ absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1627  $\text{cm}^{-1}$  และ absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 2855 2925 และ 3434  $\text{cm}^{-1}$



รูปที่ 4-33 ผล IR ของปะการังโดยใช้สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต  $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$  เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 0.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ  $200\text{ }^\circ\text{C}$

#### 4.4.2 ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$ solution) เป็นสารตั้งต้น

ผลการทดลองการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้นประกอบด้วยผลค่า pH และเฟสสรุปไว้ในตารางที่ 4-3

จากตารางที่ 4-3 และรูปที่ 4-34 ปะการังที่ใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น มีอัตราส่วน Ca/P 0.6 โดยโมล และผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง  $200\text{ }^\circ\text{C}$  มีเฟสเป็น DCPA และอะราโกไนต์ดังรูปที่ 4-34 (ก) เมื่อเพิ่มอัตราส่วน Ca/P โดยโมลเป็น 1.14 และผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 และ 7 ชั่วโมง  $200\text{ }^\circ\text{C}$  พบเฟส DCPA อะราโกไนต์ และไฮดรอกซีอะพาไทต์ดังรูปที่ 4-34 (ข) และ (ง)

เมื่อนำชิ้นงานข้างต้น มาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอีกครั้งหนึ่งเป็นเวลา 4 และ 7 ชั่วโมงเช่นเดิม และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ด้วย พบว่าในกรณีผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 4 ชั่วโมง ชิ้นงานมีเฟสเป็น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ อะราโกไนต์ และ DCPA ขณะเดียวกันกรณีผ่านกระบวนการ

ไฮโดรเทอร์มัล 7 ชั่วโมงจะเกิด  $\text{CaCO}_3$  ร่วมด้วย ซึ่งอาจเป็นเพราะการใช้ความดันสูงและเวลาที่นานพอทำให้  $\text{CO}_2$  ในอากาศละลายรวมกับแคลเซียมไอออนที่มีในสารละลายกลายเป็น  $\text{CaCO}_3$

ไม่พบฟีกของควอทซ์ ซึ่งอาจเป็นเพราะฟีกของอะราโกไนต์ทับและฟีกมีขนาดเล็กมากไม่สามารถแยกออกมาได้ชัดเจนจากฟีกที่เป็น noise

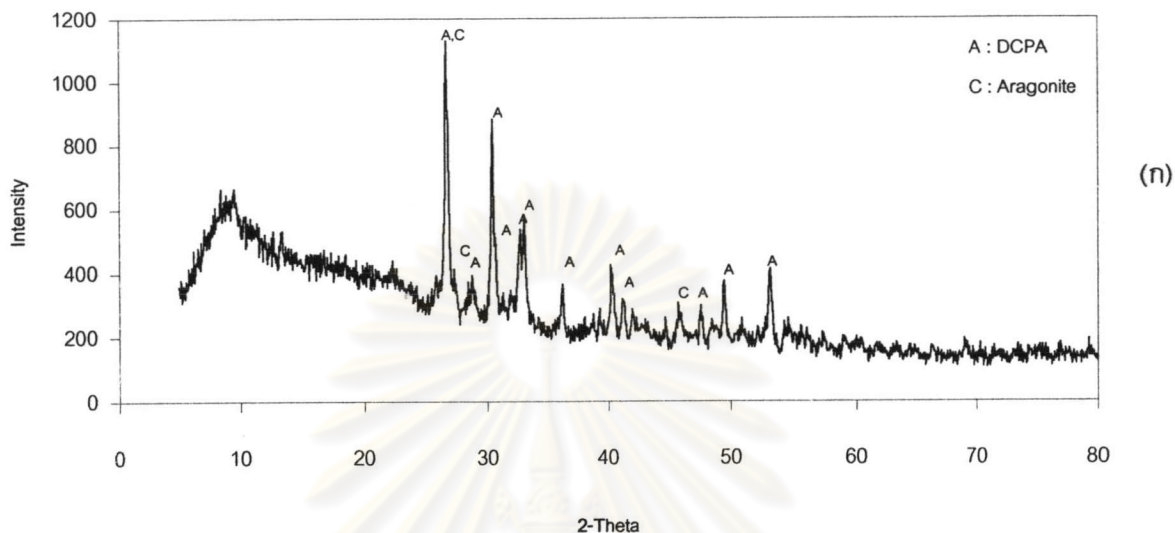
การเปลี่ยนผิวของปะการังให้เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์นั้น เปลี่ยนด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นแรกโดยนำปะการังแช่ในสารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตราส่วน Ca/P 0.6 และ 1.14 โดยโมล หลังกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 และ 7 ชั่วโมง ปะการังมีเฟสหลักเป็น DCPA อันเนื่องจาก  $\text{Ca}^{2+}$  ของปะการังทำปฏิกิริยารวมกันกับ  $\text{HPO}_4^{2-}$  ในสารละลาย ขั้นตอนต่อมา นำปะการังนี้มาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอีกครั้งที่อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 4 และ 7 ชั่วโมง และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ด้วย หลังผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลครั้งที่ 2 ปะการังมีเฟสหลักเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ ตามสมการดังต่อไปนี้



ตารางที่ 4-3 ผลสรุปการทดลองสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น

สารตั้งต้น	อุณหภูมิ	เวลา	อัตราส่วน Ca/P โดยโมล	ค่า pH		เฟส
				ก่อน	หลัง	
Coral+ $\text{CaHPO}_4$ solution	200	4	0.6	2.07	1.84	DCPA, aragonite
Coral+ $\text{CaHPO}_4$ solution	200	4	1.14	2.94	2.83	DCPA, aragonite, HA
Coral+ $\text{CaHPO}_4$ solution + $\text{Ca}(\text{OH})_2$	200	4	1.67	12.45	12.22	HA, aragonite, DCPA
Coral+ $\text{CaHPO}_4$ solution	200	7	1.14	2.13	2.53	DCPA, aragonite, HA
Coral+ $\text{CaHPO}_4$ solution + $\text{Ca}(\text{OH})_2$	200	7	1.67	12.38	9.33	HA, aragonite, DCPA, calcite

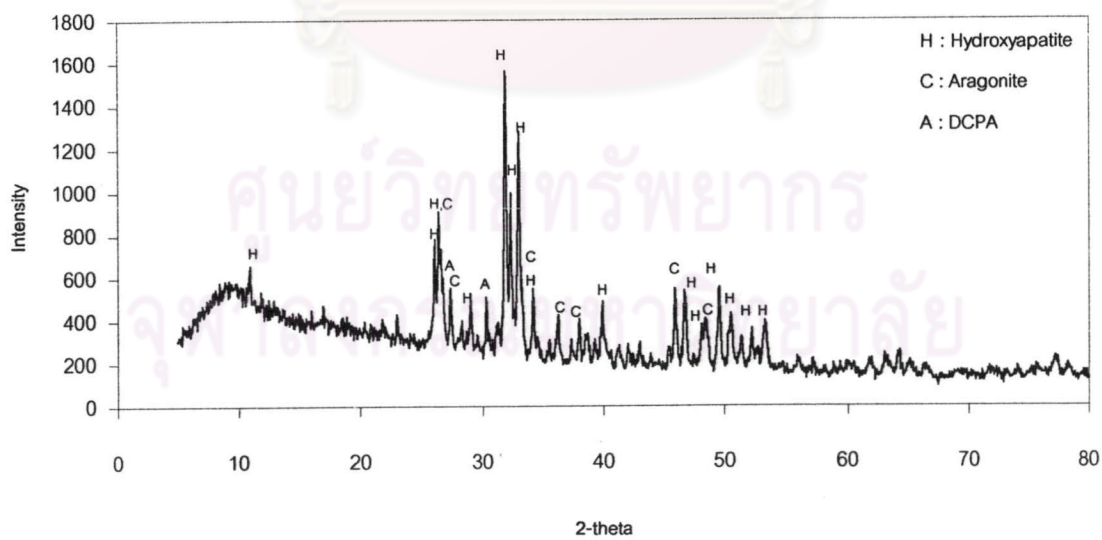
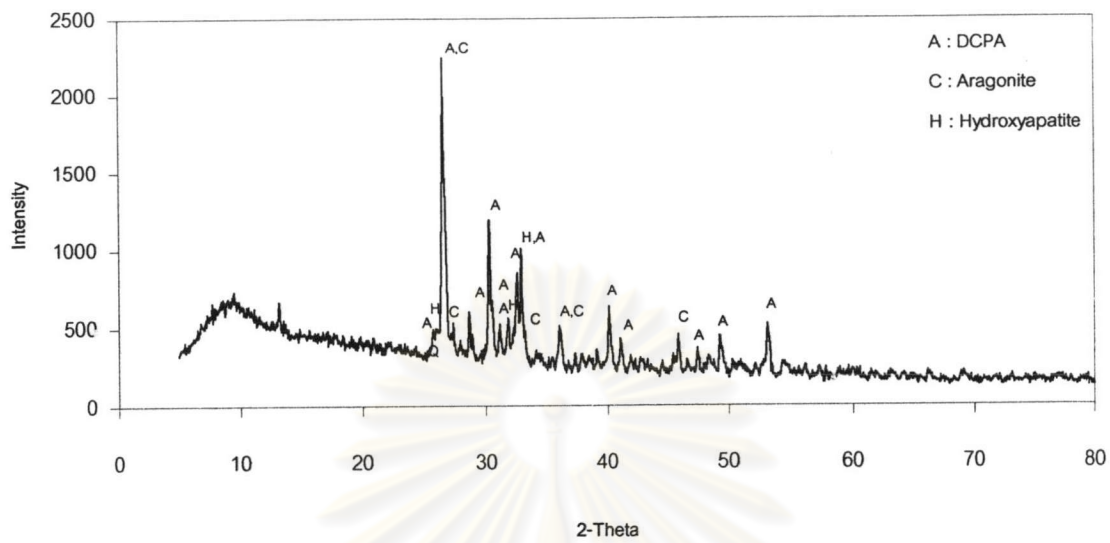


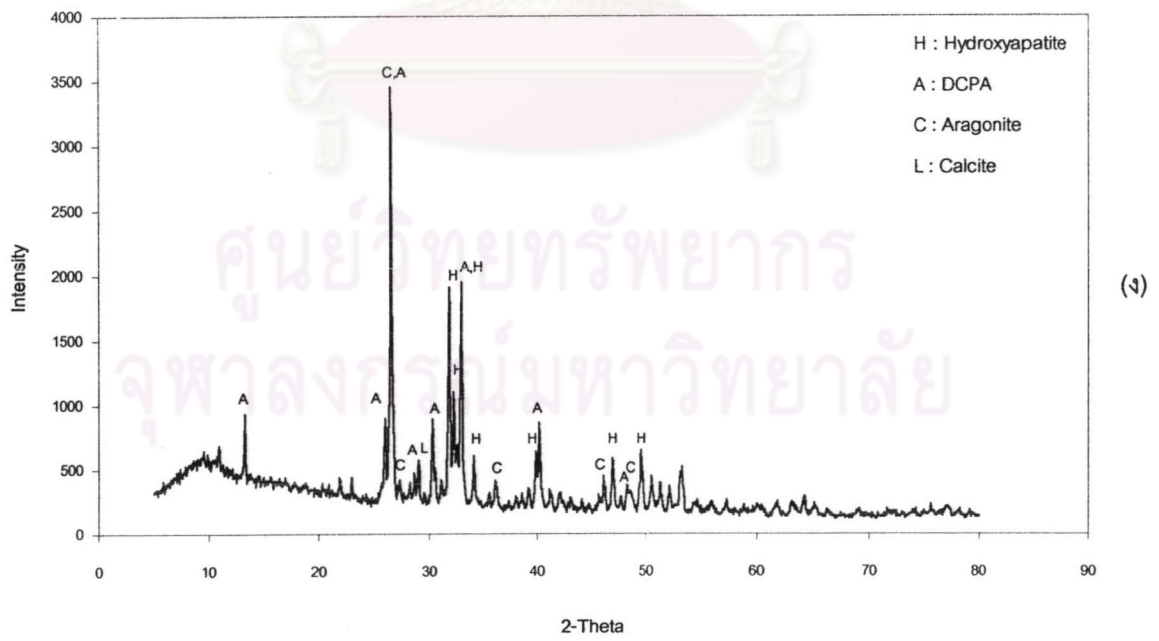
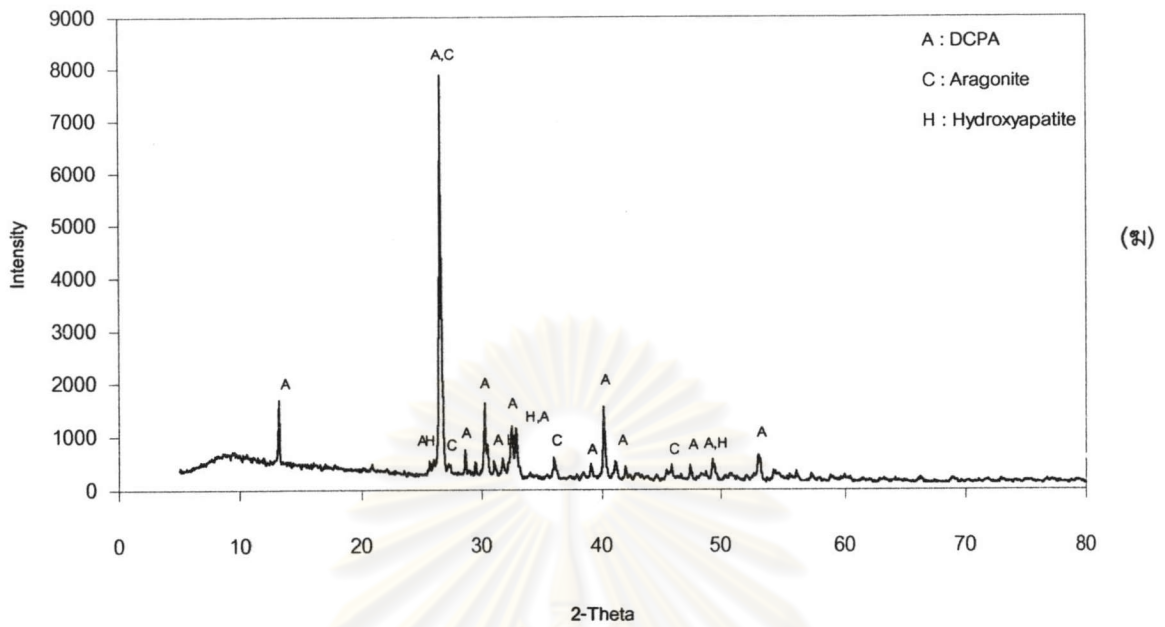


รูปที่ 4-34 ผลวิเคราะห์ XRD ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล  $200^\circ\text{C}$

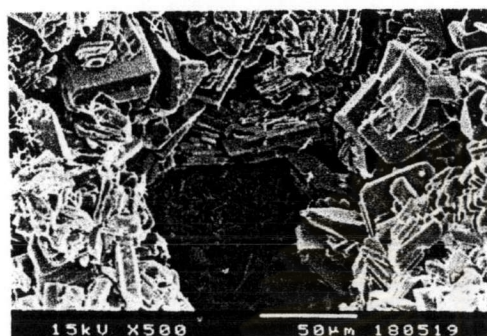
- (ก) Coral +  $\text{CaHPO}_4$  solution อัตราส่วน Ca/P 0.6 โดยโมล 4 ชั่วโมง
- (ข) Coral +  $\text{CaHPO}_4$  solution อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล 4 ชั่วโมง
- (ค) Coral +  $\text{CaHPO}_4$  solution อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล 4 ชั่วโมง และเติม  $\text{Ca(OH)}_2$  4 ชั่วโมง
- (ง) Coral +  $\text{CaHPO}_4$  solution อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล 7 ชั่วโมง
- (จ) Coral +  $\text{CaHPO}_4$  solution อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล 7 ชั่วโมง และเติม  $\text{Ca(OH)}_2$  7 ชั่วโมง







รูปที่ 4-35 แสดงผิวปะการังที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วน Ca/P 0.6 โดยโมล บนผิวปะการังประกอบไปด้วยผลึก DCPA มีลักษณะเป็นแผ่น (tablets) ซ้อนกัน มีความยาวประมาณ 10-50  $\mu\text{m}$



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-35 ภาพถ่าย SEM ของปะการังที่ใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 0.6 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 4 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$

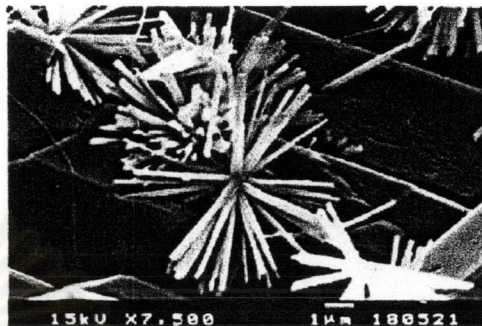
(ก) กำลังขยาย 500 เท่า

(ข) กำลังขยาย 2000 เท่า

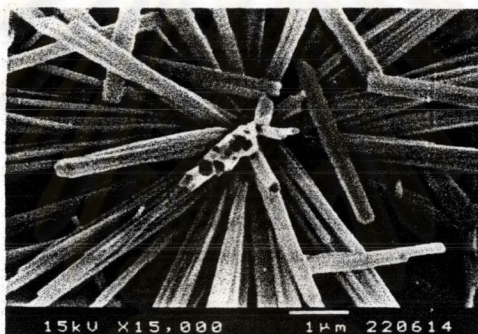
เมื่อเพิ่มอัตราส่วน Ca/P เป็น 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  บนผิวปะการังประกอบไปด้วยผลึก DCPA มีลักษณะเป็น (tablets) ซ้อนกันเช่นเดียวกับปะการังที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วน Ca/P 0.6 โดยโมล และที่พื้นผิวแผ่น DCPA ยังเกิดกลุ่มวิสเกอร์ของ DCPA มีความยาวประมาณ 5  $\mu\text{m}$  และกว้าง 0.3  $\mu\text{m}$  ด้วย เนื่องจากการ recrystallization ของ  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{HPO}_4^{2-}$  ในสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4-36 ในรูปที่ 4-36 (ค) แสดงหน้าตัดของวิสเกอร์ DCPA เป็นหกเหลี่ยม และเมื่อเพิ่มเวลา 7 ชั่วโมง เกิดผลึก DCPA บนผิวปะการัง แต่ไม่พบวิสเกอร์ DCPA ดังแสดงในรูปที่ 4-37



(ก)



(ข)



(ค)

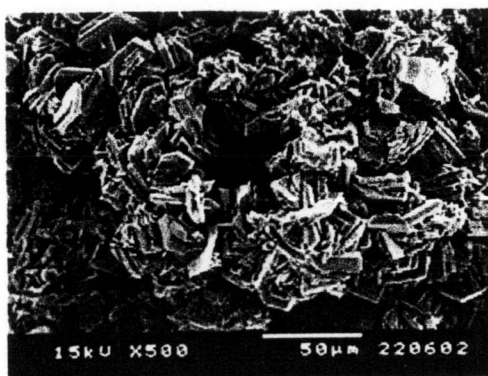
รูปที่ 4-36 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 4 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$

(ก) กำลังขยาย 1000 เท่า

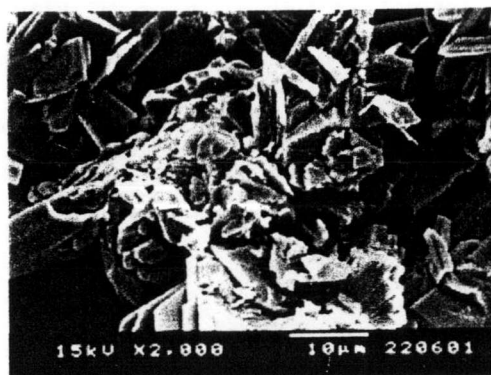
(ข) กำลังขยาย 7500 เท่า

(ค) กำลังขยาย 15000 เท่า





(ก)



(ข)

รูปที่ 4-37 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$

(ก) กำลังขยาย 500 เท่า

(ข) กำลังขยาย 2000 เท่า

ปะการังที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นสารตั้งต้น มีอัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล เป็นเวลา 4 และ 7 ชั่วโมง อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  พบว่าผิวปะการัง จะเกิดแผ่นและวิสเกอร์ DCPA ดังที่กล่าวไว้ตอนต้น จากนั้นนำปะการังดังกล่าวไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโดยการเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  เป็นเวลา 4 และ 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$  เช่นกัน จะเกิดผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์บนแผ่นและวิสเกอร์ DCPA ดังแสดงในรูปที่ 4-38 และรูปที่ 4-39 รูปที่ 4-38 (ก) และรูปที่ 4-39 (ก) เป็นผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์บนแผ่น DCPA มีขนาดเล็กกว่า  $1 \mu\text{m}$  รูปที่ 4-39 (ข) แสดงหน้าตัดที่เป็นหกเหลี่ยมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เกิดบนแผ่น DCPA รูปที่ 4-38 (ข) และ (ค) แสดงไฮดรอกซีอะพาไทต์บนวิสเกอร์ DCPA

ผลวิเคราะห์ IR ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/ P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4-40 มีลักษณะคล้ายกับ absorption bands ของ DCPA ที่ LeGeros แสดงไว้ และสอดคล้องกับผล XRD ในรูปที่ 4-34 (ง) ซึ่งมีเฟสหลักเป็น DCPA absorption bands

ที่พบได้แก่ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 568 999 1070 และ 1132 เซนติเมตร<sup>-1</sup> absorption bands ของ P-OH ที่ความถี่ 893 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบฟอสเฟต absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 715 860 และ 1477 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนेटซึ่งคืออะราโกไนต์ที่เหลือ absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1635 เซนติเมตร<sup>-1</sup> และ absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 2852 และ 3440 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

ผลวิเคราะห์ IR ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/ P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$  และเติม  $\text{Ca(OH)}_2$  ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4-41 absorption bands ที่พบมีความคล้ายกับ absorption bands ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ LeGeros แสดงไว้ และสอดคล้องกับผล XRD ในรูปที่ 4-34(ง) ที่มีเฟสหลักเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ absorption bands ที่พบมีดังนี้ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 568 604 633 และ 1093 เซนติเมตร<sup>-1</sup> absorption bands ของ P-OH ที่ความถี่ 894 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบฟอสเฟต absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 714 859 และ 1475 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนेटซึ่งคืออะราโกไนต์ที่เหลืออยู่ absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 1635 และ 3570 เซนติเมตร<sup>-1</sup> และ absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 3434 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

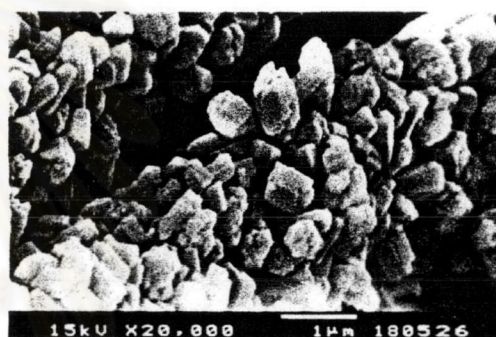
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)



(ค)

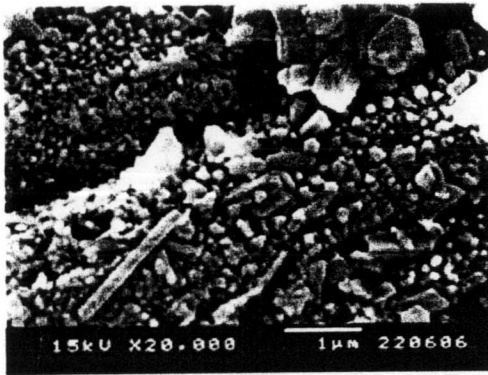
รูปที่ 4-38 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 4 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$  และเติม  $\text{Ca(OH)}_2$  ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$

(ก) ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนแผ่น DCPA กำลังขยาย 5000 เท่า

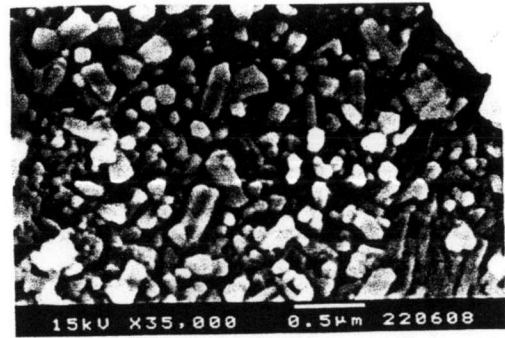
(ข) ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนวิสเกอร์ DCPA กำลังขยาย 2000 เท่า

(ค) ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนวิสเกอร์ DCPA กำลังขยาย 20000 เท่า





(ก)

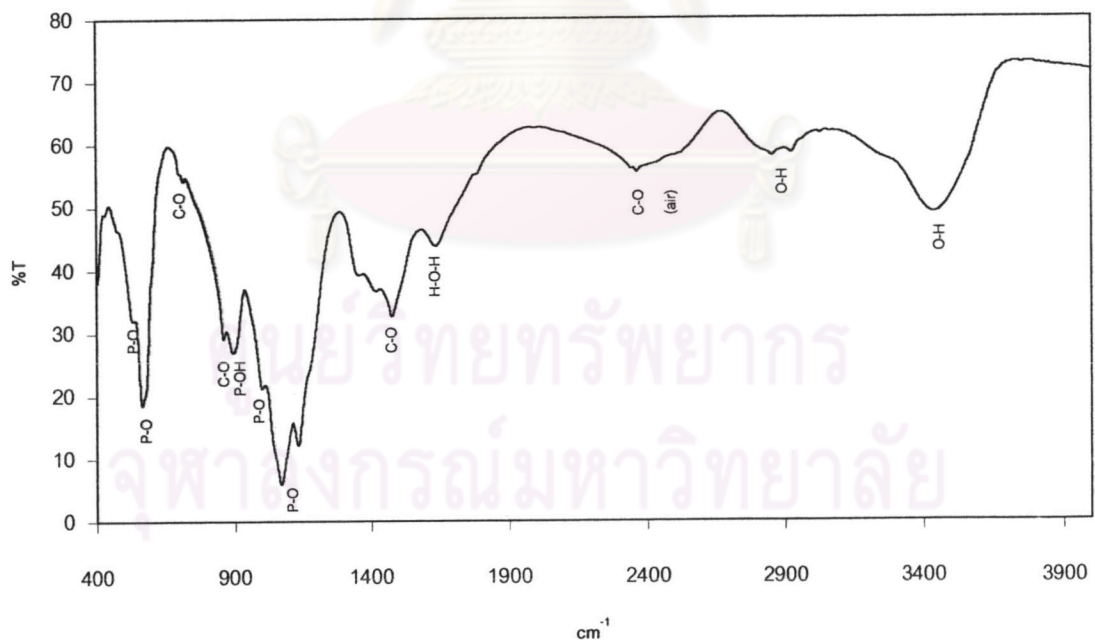


(ข)

รูปที่ 4-39 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$  และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$

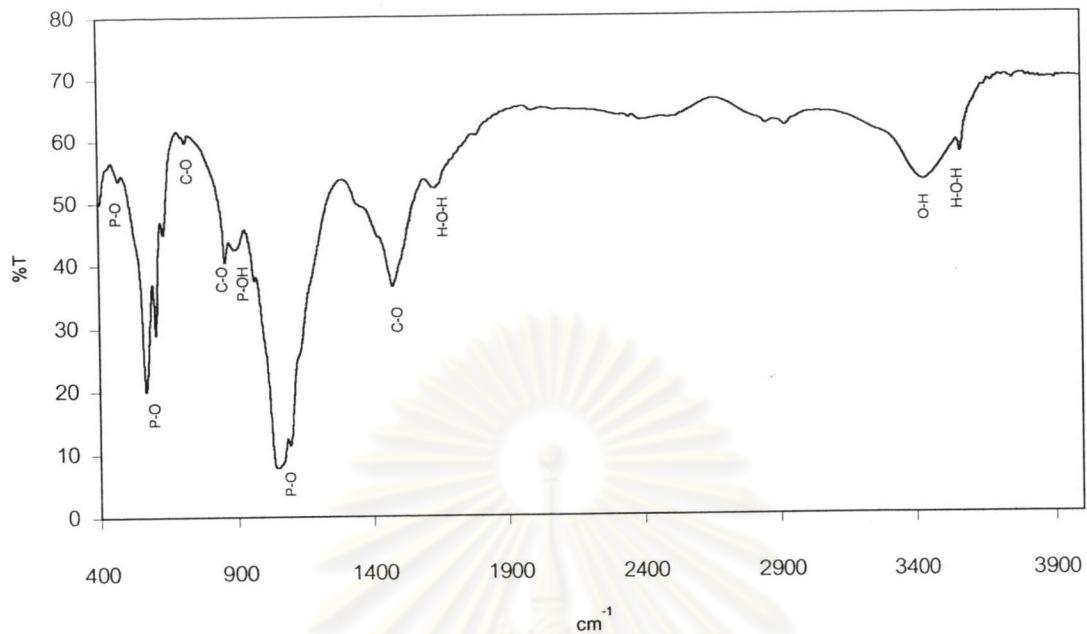
(ก) ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนแผ่น DCPA กำลังขยาย 20000 เท่า

(ข) หน้าตัดหกเหลี่ยมไฮดรอกซีอะพาไทต์บนแผ่น DCPA กำลังขยาย 35000 เท่า



รูปที่ 4-40 ผล IR ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$





รูปที่ 4-41 ผล IR ของปะการังโดยใช้สารละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{CaHPO}_4$  solution) เป็นสารตั้งต้น อัตราส่วน Ca/P 1.14 โดยโมล ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$  และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^\circ\text{C}$

#### 4.4.3 ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น

ผลการทดลองการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้นประกอบด้วยผลค่า pH และเฟสสรุปไว้ในตารางที่ 4-4

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

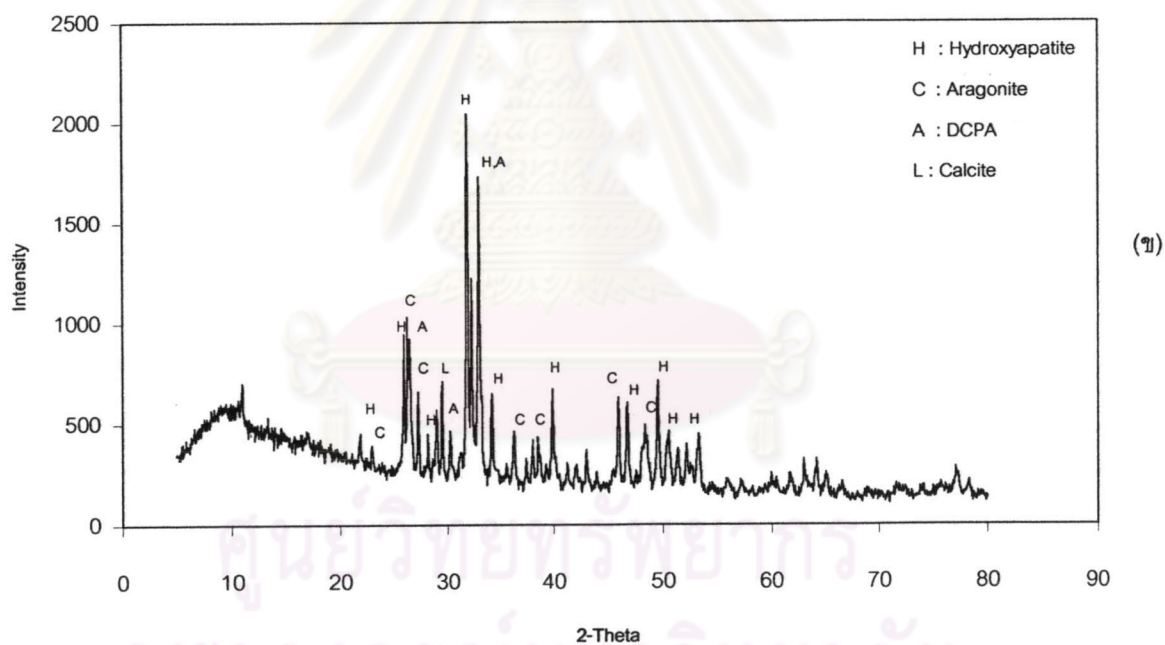
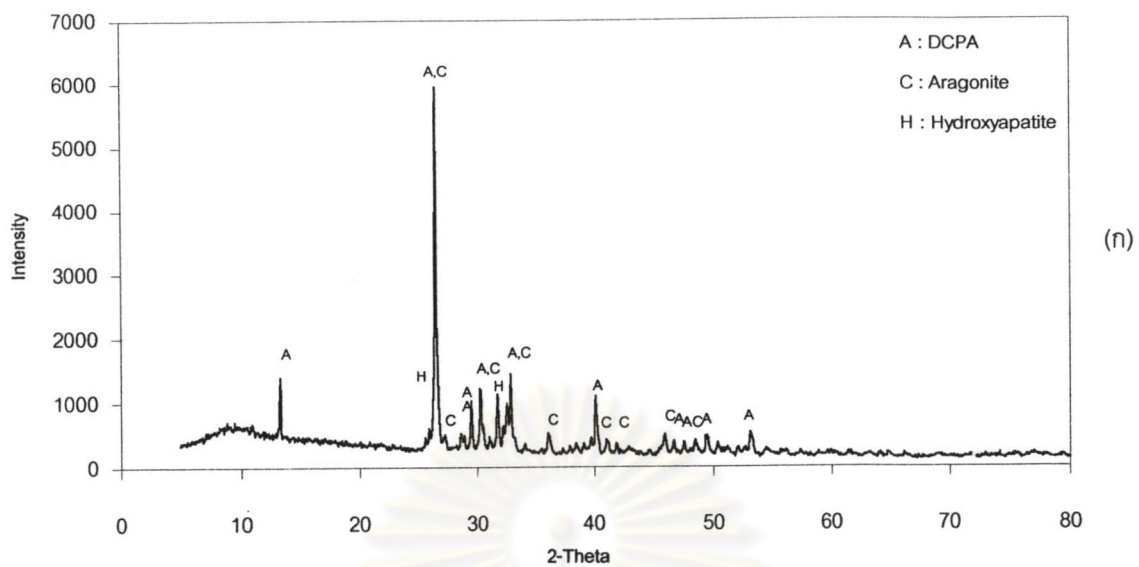
ตารางที่ 4-4 ผลสรุปการทดลองสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวปะการังโดยใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น

สารตั้งต้น	อุณหภูมิ	เวลา	อัตราส่วน Ca/P โดยโมล	ค่า pH		เฟส
				ก่อน	หลัง	
Coral+MCPM	200	7	1.67	2.01	3.44	DCPA, aragonite, HA
Coral+MCPM +Ca(OH) <sub>2</sub>	200	7	1.67	12.37	6.28	HA, aragonite, DCPA, calcite

จากตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-42 ปะการังที่ใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง 200°C มีเฟสเป็น DCPA อะราโกไนต์ และไฮดรอกซีอะพาไทต์ เมื่อนำชิ้นงานดังกล่าวผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง และเติม Ca(OH)<sub>2</sub> ร่วมด้วย ปะการังมีเฟสเป็น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ อะราโกไนต์ และ DCPA และเกิดแคลไซต์ร่วมด้วย ซึ่งอาจเป็นเพราะการใช้ความดันสูงและเวลาที่นานพอ ทำให้ CO<sub>2</sub> ในอากาศละลายและกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีในสารละลายกลายเป็น CaCO<sub>3</sub> ไม่พบฟีกของควอทซ์ ซึ่งอาจเป็นเพราะฟีกของอะราโกไนต์ทับและฟีกมีขนาดเล็กไม่สามารถแยกออกได้ชัดเจนจากฟีกที่เป็น noise

การเปลี่ยนผิวของปะการังให้เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์นั้น เปลี่ยนด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นแรกนำปะการัง MCPM และน้ำ ใส่ใน autoclave และนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง 200°C ปะการังมีเฟสหลักเป็น DCPA อันเนื่องมาจาก Ca<sup>2+</sup> ของปะการังทำปฏิกิริยากับ H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> ในสารละลาย จากนั้นนำปะการังดังกล่าวผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอีกครั้งหนึ่ง ที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมงและเติม Ca(OH)<sub>2</sub> ด้วย หลังเสร็จสิ้นกระบวนการ ปะการังมีเฟสเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ ตามสมการดังต่อไปนี้





รูปที่ 4-42 ผลวิเคราะห์ XRD ของปะการังโดยใช้ MCPM เป็นสารตั้งต้น  
ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 200°C

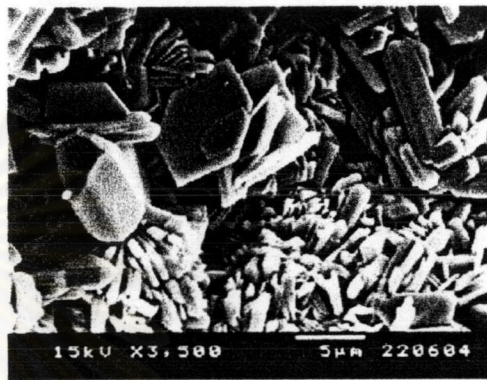
(ก) Coral+MCPM อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล 7 ชั่วโมง

(ข) Coral+MCPM อัตราส่วน Ca/P 1.67 โดยโมล 7 ชั่วโมง  
และเติม  $\text{Ca(OH)}_2$  7 ชั่วโมง

รูปที่ 4-43 แสดงภาพถ่ายพื้นผิวปะการังที่ใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  บนผิวปะการัง ประกอบไปด้วยผลึก DCPA มีลักษณะเป็นแผ่น (tablets) ซ้อนกันมีความยาวประมาณ  $8\ \mu\text{m}$



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-43 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$

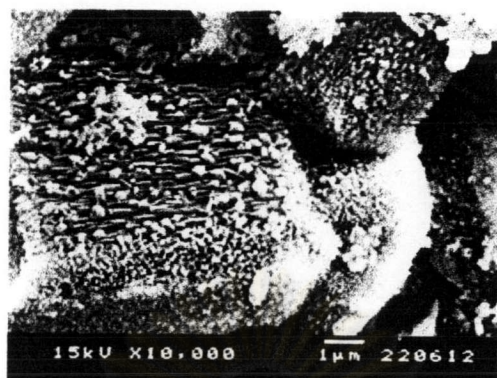
(ก) กำลังขยาย 75 เท่า

(ข) กำลังขยาย 3500 เท่า

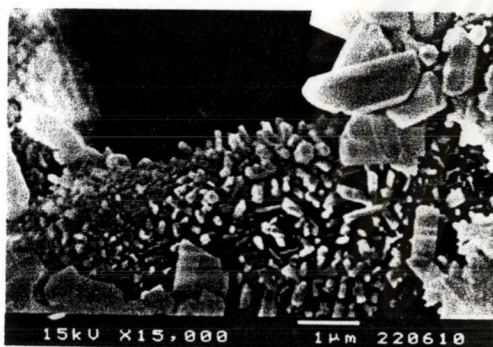
รูปที่ 4-44 แสดงภาพถ่ายพื้นผิวปะการังที่ใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  และนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลอีกครั้งเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ด้วย บนผิวปะการังประกอบไปด้วยผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์มีลักษณะเป็นเข็มขนาดประมาณ  $0.3\text{-}1.9\ \mu\text{m}$  อยู่บนพื้นผิวของแผ่น DCPA เช่นเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4-44 ภาพถ่าย SEM ของปะการังโดยใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$

(ก) กำลังขยาย 10000 เท่า

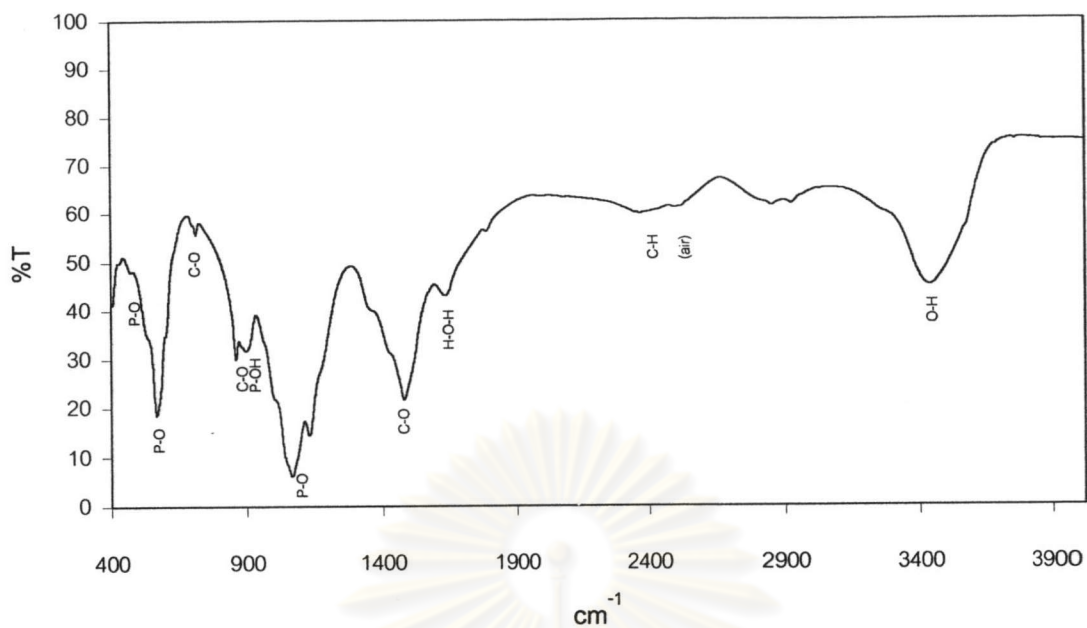
(ข) กำลังขยาย 15000 เท่า

(ค) กำลังขยาย 35000 เท่า

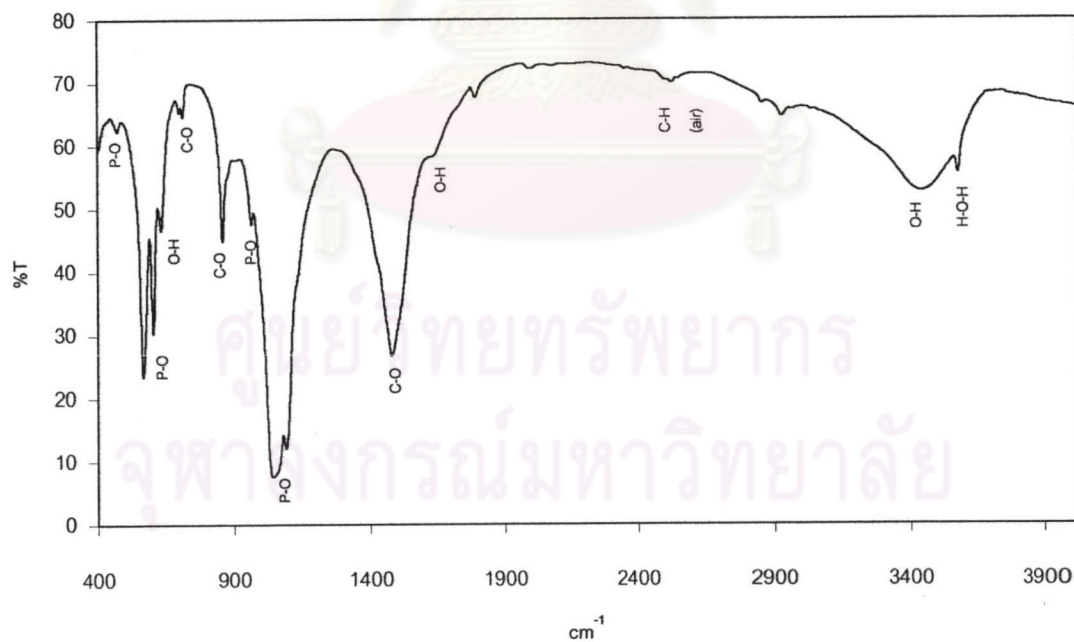
ผลวิเคราะห์ IR ของปะการังโดยใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4-45 มีลักษณะคล้ายกับ absorption bands ของ DCPA ที่ LeGeros แสดงไว้ และสอดคล้องกับเฟสหลักคือ DCPA ในรูป XRD ที่ 4-42(ก) absorption bands ที่พบได้แก่ absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 404 568 1068 และ 1132 เซนติเมตร<sup>-1</sup> absorption bands ของ P-OH ที่ความถี่ 897 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบฟอสเฟต absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 714 860 และ 1478 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของอะราโกไนต์ที่เหลืออยู่ ของ H-O-H ที่ความถี่ 1629 เซนติเมตร<sup>-1</sup> และ absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 3436 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

ผลวิเคราะห์ IR ของปะการังโดยใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (MCPM) เป็นสารตั้งต้น โดยใช้ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง  $200^{\circ}\text{C}$  อีกครั้ง แสดงดังรูปที่ 4-46 มีลักษณะคล้ายกับ absorption bands ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่ LeGeros แสดงไว้ และสอดคล้องกับเฟสหลักคือไฮดรอกซีอะพาไทต์ ในรูป XRD ที่ 4-42(ข) absorption bands ที่พบได้แก่แสดง absorption bands ของ P-O ที่ความถี่ 474 568 963 1042 และ 1093 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบฟอสเฟต absorption bands ของ C-O ที่ความถี่ 700 859 และ 1478 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของอะราโกไนต์ที่เหลืออยู่ absorption bands ของ H-O-H ที่ความถี่ 3571 เซนติเมตร<sup>-1</sup> และ absorption bands ของ O-H ที่ความถี่ 616 1612 และ 3436 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-45 ผล IR ของปะการังโดยใช้ MCPM เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง 200°C



รูปที่ 4-46 ผล IR ของปะการังโดยใช้ MCPM เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง 200°C และเติม  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ต้น ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเวลา 7 ชั่วโมง 200°C