

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

ผลในส่วนต่างๆ จากการดำเนินการในงานวิจัยนี้สามารถจำแนกออกได้เป็นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ผลการออกแบบระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์
 - ก) สมมติฐานของการออกแบบระบบอัตโนมัติ
 - ข) ผลการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์
 - ค) การติดตั้งระบบอัตโนมัติ
 - ง) กระบวนการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากการออกแบบ
 - จ) แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
- 2) ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยระบบอัตโนมัติ
 - ก) น้ำหนักของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้จากการผลิตในงานวิจัย
 - ข) ผลการควบคุมปัจจัยอุณหภูมิและค่า pH ในระหว่างกระบวนการผลิต
 - (1) การพิจารณาแนวโน้มของค่าปัจจัยที่ต้องการควบคุมตลอดทั้งกระบวนการผลิต
 - (2) การพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมปัจจัยที่กำหนดตลอดช่วงการควบคุมในกระบวนการผลิต
 - (3) การพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมปัจจัยที่กำหนดในแต่ละขั้นตอน
- 3) ผลการตรวจสอบลักษณะเฉพาะตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตได้จากระบบอัตโนมัติ
 - ก) ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD
 - ข) ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR
- 4) ผลการศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาค
- 5) ผลการศึกษาลักษณะรูปทรง

4.1 ผลการออกแบบระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

4.1.1 สมมติฐานของการออกแบบระบบอัตโนมัติ

สมมติฐานที่ได้กำหนดขึ้นในการออกแบบระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 5 ประการดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดให้ใช้กรรมวิธีการผลิตโดยการตะกอนจากปฏิกิริยาเคมี (Precipitation method) ตามสมการเคมีที่ (2.7) และให้อัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นเป็นไปตามสมการดังกล่าว เพื่อให้อัตราส่วนโมลของ Ca / P มีค่าเป็น 1.667 (Stoichiometric HAp)
- 2) ระบบอัตโนมัติมีกำลังการผลิตไม่เกิน 100 กรัมต่อรอบการผลิต
- 3) กำหนดให้มีการเตรียมสารละลายแคลเซียมไนเตรดและสารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟตด้วยมือตามกำลังการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์และความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ต้องการ เนื่องจากสารละลายตั้งต้นทั้งสองชนิดนี้ ผู้ปฏิบัติการสามารถเตรียมได้โดยเกิดความคลาดเคลื่อนไม่มากนักและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- 4) กำหนดให้ระบบอัตโนมัติดำเนินการในช่วงของการสังเคราะห์ โดยเริ่มต้นจากการปรับสภาพของสารตั้งต้นไปจนถึงการสิ้นสุดของปฏิกิริยา ทั้งนี้ผู้ปฏิบัติการอาจจะต้องดำเนินการบางส่วนด้วยมือ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะและข้อจำกัดของอุปกรณ์หรือเครื่องมือแต่ละอย่างที่สามารถจัดหาได้
- 5) กำหนดให้ปฏิบัติการกรองตะกอน การล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น การนำตะกอนเข้าเตาอบ และการบดตะกอนให้เป็นผงนั้นดำเนินการด้วยผู้ปฏิบัติการ เนื่องจากเป็นงานส่วนที่ไม่มีมีความจำเป็นมากนักในการดำเนินการด้วยระบบอัตโนมัติ

4.1.2 ผลการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

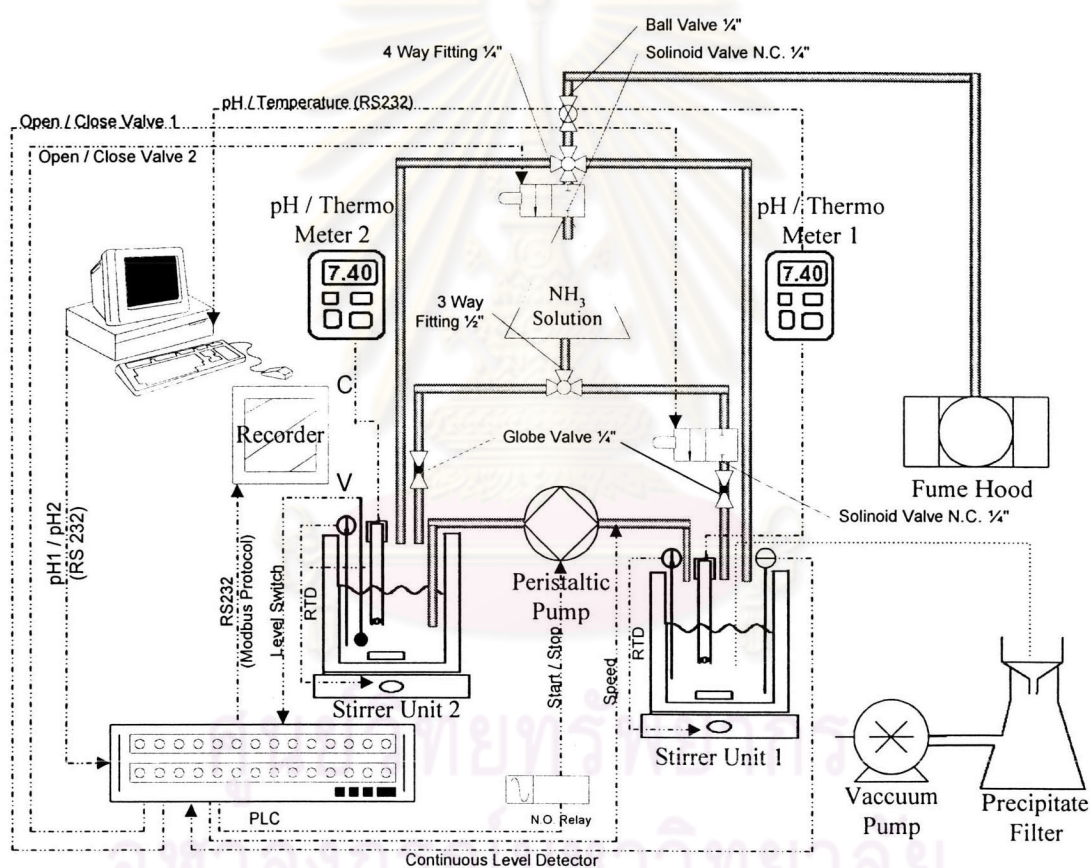
จากการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยการเทียบสัดส่วนจากสมการเคมีที่ (2.7) สามารถสรุปออกมาเป็นปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมดที่ต้องใช้ในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ในปริมาณไม่เกิน 100 กรัมต่อรอบการผลิตได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนต่างๆ ของปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ ตั้งแต่ 10 – 100 กรัมต่อรอบการผลิต

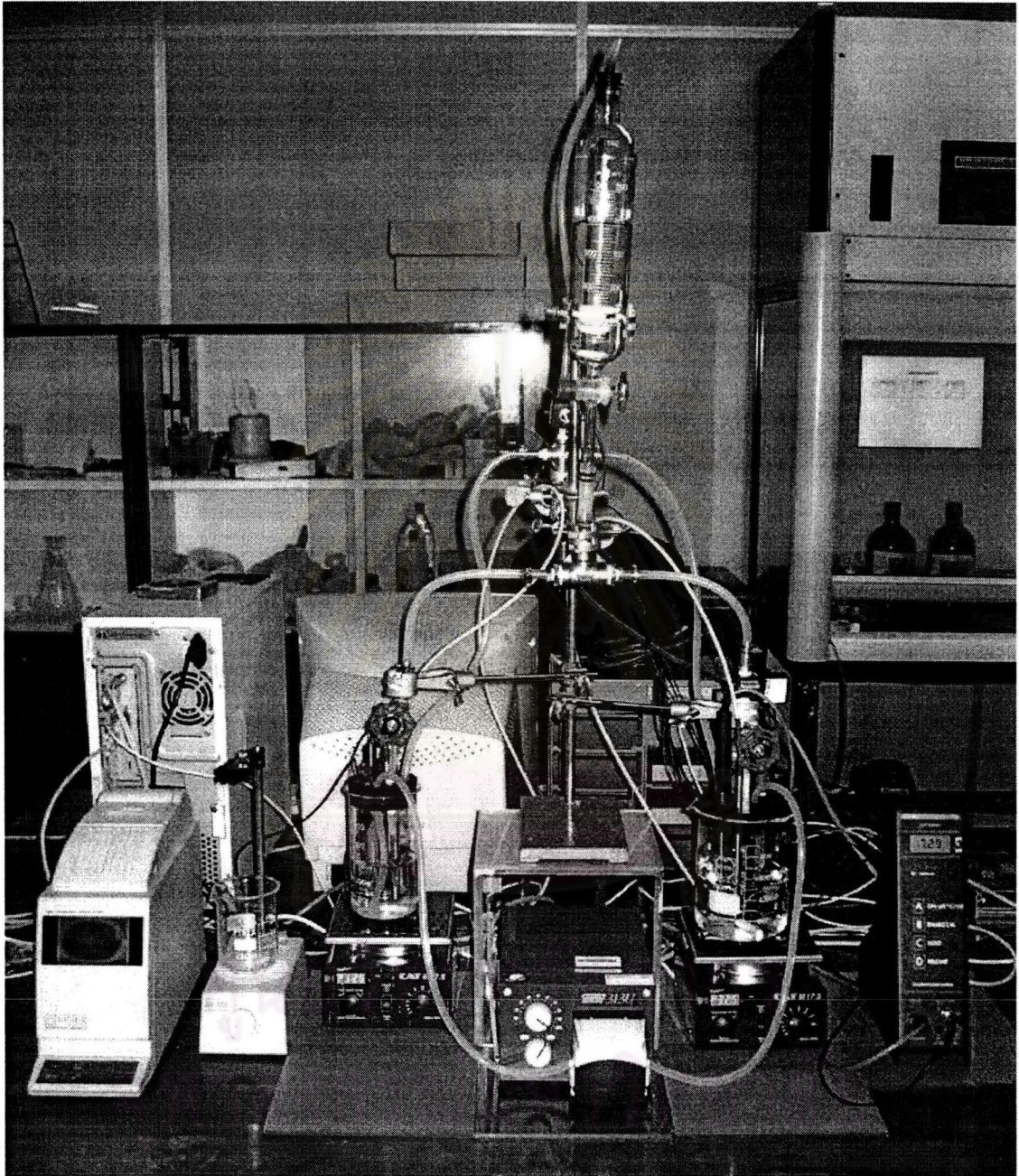
กำลังการผลิต HAp (g)	ภาวะปฏิกิริยาที่ 1		ภาวะปฏิกิริยาที่ 2		NH ₃ (aq) 28% (w/w) (ml)
	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O (g)	ปริมาตรของ สารละลาย (ml)	(NH ₄) ₂ HPO ₄ (g)	ปริมาตรของ สารละลาย (ml)	
10	23.506	99.5	7.887	59.7	5.4
20	47.012	199.1	15.774	119.4	10.8
30	70.518	298.6	23.661	179.2	16.2
40	94.024	398.2	31.548	238.9	21.6
50	117.530	497.7	39.435	298.6	27.0
60	141.036	597.2	47.322	358.3	32.4
70	164.542	696.8	55.209	418.1	37.8
80	188.048	796.3	63.096	477.8	43.1
90	211.554	895.8	70.983	537.5	48.5
100	235.060	995.4	78.870	597.2	53.9

4.1.3 การติดตั้งระบบอัตโนมัติ

ระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากการออกแบบในงานวิจัยนี้ได้แสดงองค์ประกอบต่างๆ ไว้เป็นแผนภาพในรูปที่ 4.1 และรูปถ่ายของระบบอัตโนมัติในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์



รูปที่ 4.2 ระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ในงานวิจัยนี้

4.1.4 กระบวนการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากการออกแบบ

กระบวนการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยกรรมวิธีตกตะกอนนั้นอ้างอิงส่วนผสมได้จากสมการที่ 2.7 โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงหลักๆ โดยช่วงที่ดำเนินการด้วยระบบอัตโนมัตินั้นได้แก่ช่วงที่ 2 กล่าวคือช่วงการสังเคราะห์ สำหรับช่วงต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ช่วงที่ 1 การเตรียมสารละลายตั้งต้น

ช่วงนี้ถือได้ว่าเป็นการเตรียมพร้อมองค์ประกอบต่างๆ ก่อนที่จะดำเนินการระบบอัตโนมัติในกระบวนการสังเคราะห์

- 1) ชั่งน้ำหนักสารตั้งต้นด้วยตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ผงแคลเซียมไนเตรด ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) และผงได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) ด้วยตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ให้น้ำหนักตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.2
- 2) บรรจุสารตั้งต้นทั้งสองในภาชนะปฏิกรณ์ ละลายด้วยน้ำกลั่นตามสัดส่วนที่คำนวณไว้ในตารางที่ 3.2 (ในกรณีที่ใช้ความเข้มข้นอย่างละ 1 M) นำไปตั้งกวนไว้บนเครื่องกวนสารระบบแม่เหล็ก ให้กวนจนสารตั้งต้นละลายหมด ปิดฝาภาชนะปฏิกรณ์ให้สนิท
- 3) บรรจุสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 28% โดยมวลลงในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 3
- 4) ตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมบนฮีตเตอร์ทั้งสอง โดยใช้ค่าอุณหภูมิที่คำนวณจากสมการการสอบเทียบอุปกรณ์ RTD ของอุปกรณ์แต่ละอย่างดังแสดงไว้ในรูปที่ ง.1
- 5) เปิดฮีตเตอร์ของเครื่องกวนสารระบบแม่เหล็กพร้อมแผ่นทำความร้อนของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2 เปิดเครื่องวัดค่า pH ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2 เปิดวาล์วปรับด้วยมือแบบยกเพื่อปรับค่า pH ให้ได้ตามที่กำหนดด้วยมือ เพื่อให้ได้อุณหภูมิและค่า pH ของสารตั้งต้นในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2 ตามที่กำหนด
- 6) ตรวจสอบสภาพความพร้อมของอุปกรณ์ทุกชนิดที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ รีเซตการทำงานของอุปกรณ์ PLC ตรวจสอบสถานภาพของโซลินอยด์วาล์วทั้งสองตัวให้อยู่ในตำแหน่ง 0 สถานภาพของรีเลย์ให้เริ่มต้นที่ตำแหน่ง 1 เปิดวาล์วปรับด้วยมือแบบยกของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 จนสุด เปิดเครื่องกำจัดกลิ่น เปิดวาล์วแบบรูปทรงกลมเพื่อระบายความดันในกรณีดำเนินการผลิตที่อุณหภูมิสูง ปรับตั้งการทำงานของปั๊มควบคุมการไหลให้เป็นแบบอัตโนมัติด้วยวิธีแปรค่าศักย์ไฟฟ้าและปรับทิศทางการไหลให้ถูกต้อง

ช่วงที่ 2 การสังเคราะห์สารไฮดรอกซีอะพาไทต์

ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ปฏิบัติการด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

- 1) เมื่อเริ่มต้นระบบอัตโนมัติ ให้เปิดฮีตเตอร์ของเครื่องกวนสารระบบแม่เหล็ก พร้อมแผ่นทำความร้อนของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 กำหนดค่าปัจจัยต่างๆ 6 อย่างอันประกอบด้วย ค่า pH อุณหภูมิ อัตราการเติมผสมสารตั้งต้น เวลาในการกวนสารผลิตภัณฑ์ เวลาในการตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิกำหนด และเวลาตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง ช่วงแรกจะเป็นการปรับสภาพอุณหภูมิและค่า pH ของสารตั้งต้นในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 เครื่องวัดค่า pH จะส่งข้อมูลของค่า pH และอุณหภูมิของสารตั้งต้นไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผล บนที่กผลลงฐานข้อมูล และประมวลผลเพื่อใช้ในการปรับค่า pH จนกระทั่งทั้งค่า pH และอุณหภูมิของสารตั้งต้นในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 บรรลุตามที่กำหนดไว้
- 2) เริ่มต้นระบบควบคุมอัตราการเติมผสมสารตั้งต้นจากภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2 ไปยังภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 ในขณะที่ระบบควบคุมค่า pH และระบบควบคุมอุณหภูมิทำงานอย่างต่อเนื่อง
- 3) เสร็จสิ้นระบบควบคุมอัตราการเติมผสมสารตั้งต้น ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการดำเนินปฏิกิริยาให้สมบูรณ์ โดยกำหนดตั้งเวลาไว้ ระบบควบคุมค่า pH และระบบควบคุมอุณหภูมิยังคงทำงานอย่างต่อเนื่อง
- 4) ผู้ปฏิบัติการปิดการกวนของเครื่องกวนสารฯ เพื่อตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิกำหนด ระบบควบคุมอุณหภูมิ และระบบควบคุมค่า pH ยังคงทำงานอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งครบเวลาที่ตั้งไว้
- 5) ผู้ปฏิบัติการปิดฮีตเตอร์ของเครื่องกวนสารฯ เพื่อตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง เสร็จสิ้นระบบควบคุมอุณหภูมิ แต่ระบบควบคุมค่า pH ยังคงทำงานต่อไป จนกระทั่งครบเวลาที่ตั้งไว้ เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสังเคราะห์

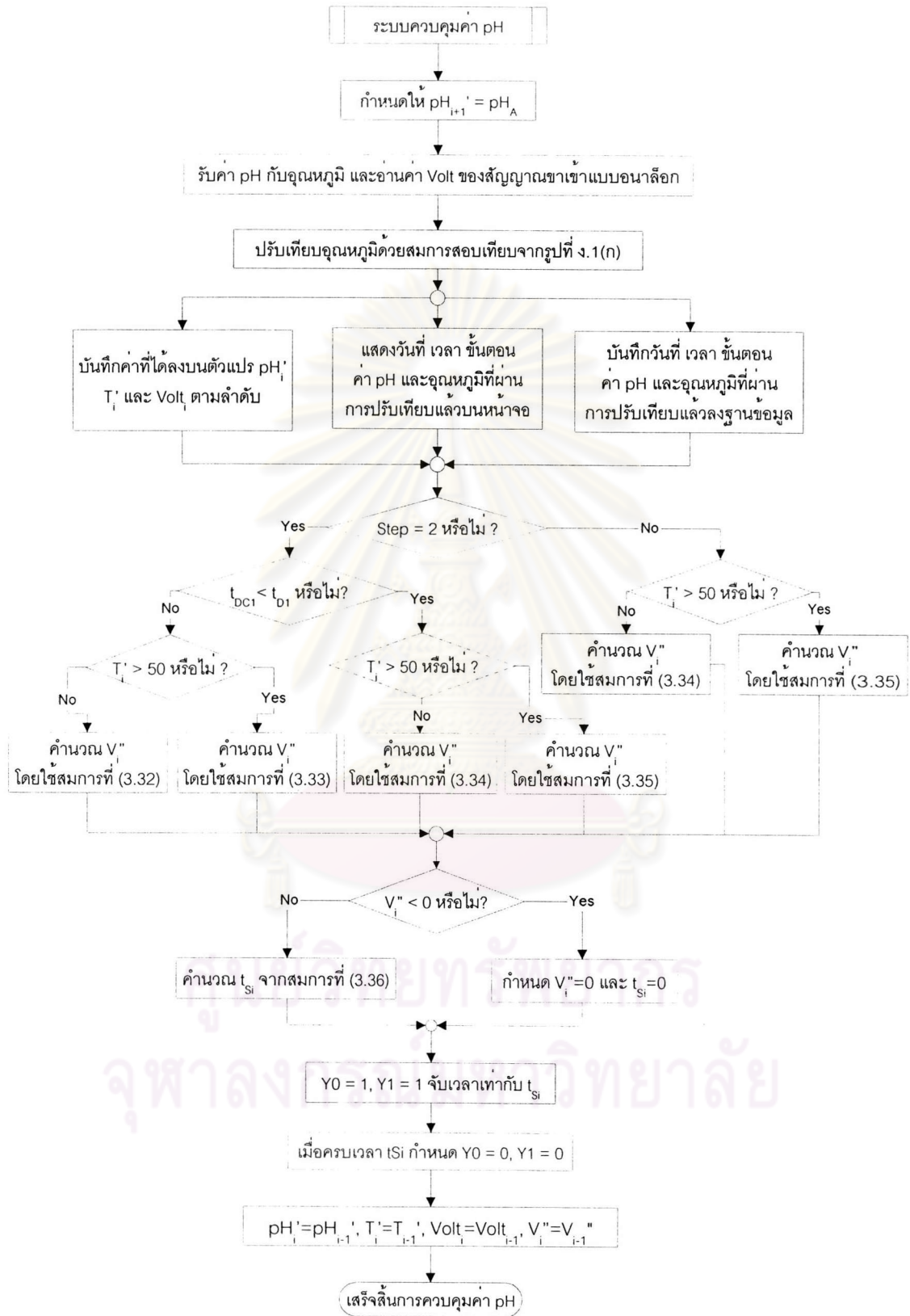
ช่วงที่ 3 การปรับสภาพสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

ช่วงนี้เป็นการนำสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์เรียบร้อยแล้วมาแปรรูปให้กลายเป็นผง ซึ่งจะต้องดำเนินการต่างๆ ด้วยมือดังต่อไปนี้

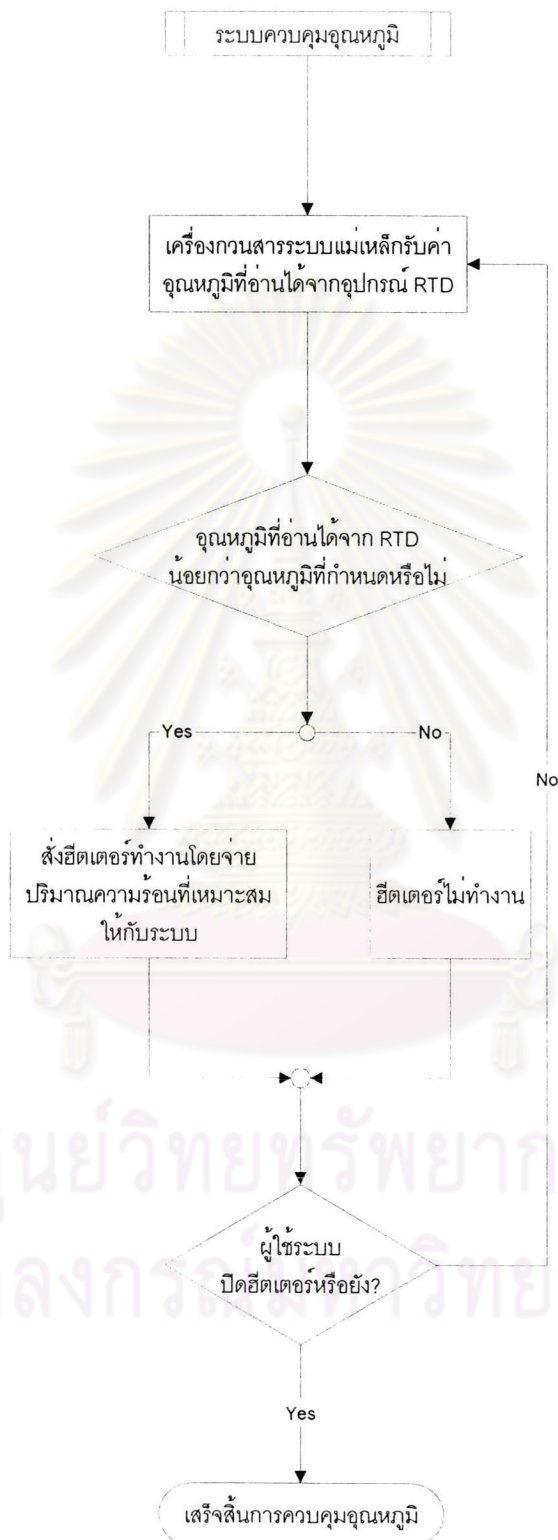
- 1) นำสารละลายที่ตกตะกอนมากรองผ่านกระดาษกรองยี่ห้อ MN เบอร์ 615 เพื่อให้การกรองเป็นไปอย่างรวดเร็วให้ใช้ ระบบการกรองที่ต่อกับปั๊มสุญญากาศ
- 2) นำตะกอนที่ได้จากการกรองมาล้างด้วยน้ำกลั่นอีกประมาณ 2-3 รอบ เพื่อขจัดสารแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียมไนเตรดที่ตกค้างอยู่
- 3) นำตะกอนที่ล้างแล้วไปอบแห้ง โดยอบในเตาอบสุญญากาศ อบที่อุณหภูมิ 90°C ประมาณ 3 ชั่วโมง
- 4) นำตะกอนที่อบแห้งแล้วไปบดด้วยครกบดยา จะได้เป็นผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ ตามที่ต้องการ
- 5) ทางเลือกเพื่อต้องการปรับสภาพของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์คือการนำเข้าไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 900°C เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง จะทำให้ได้ผงที่เป็นรูปผลึกมากขึ้น

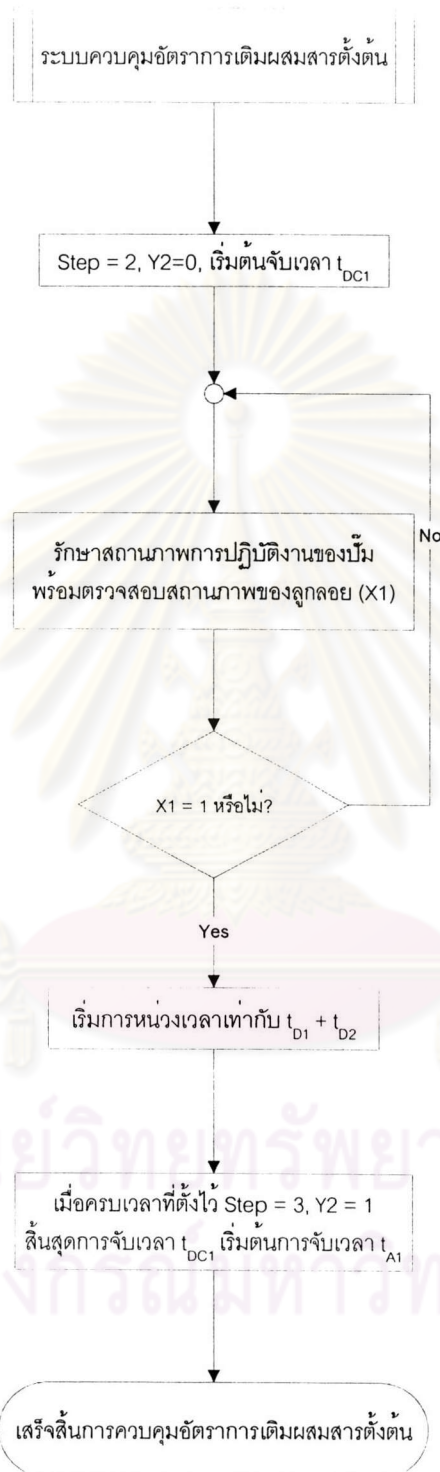
4.1.5 แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ

ช่วงของการดำเนินการด้วยระบบอัตโนมัติคือช่วงการสังเคราะห์สารไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักอยู่ 5 ขั้นตอนดังจะได้แสดงรายละเอียดต่างๆ ไว้ในแผนภาพการไหลดังต่อไปนี้

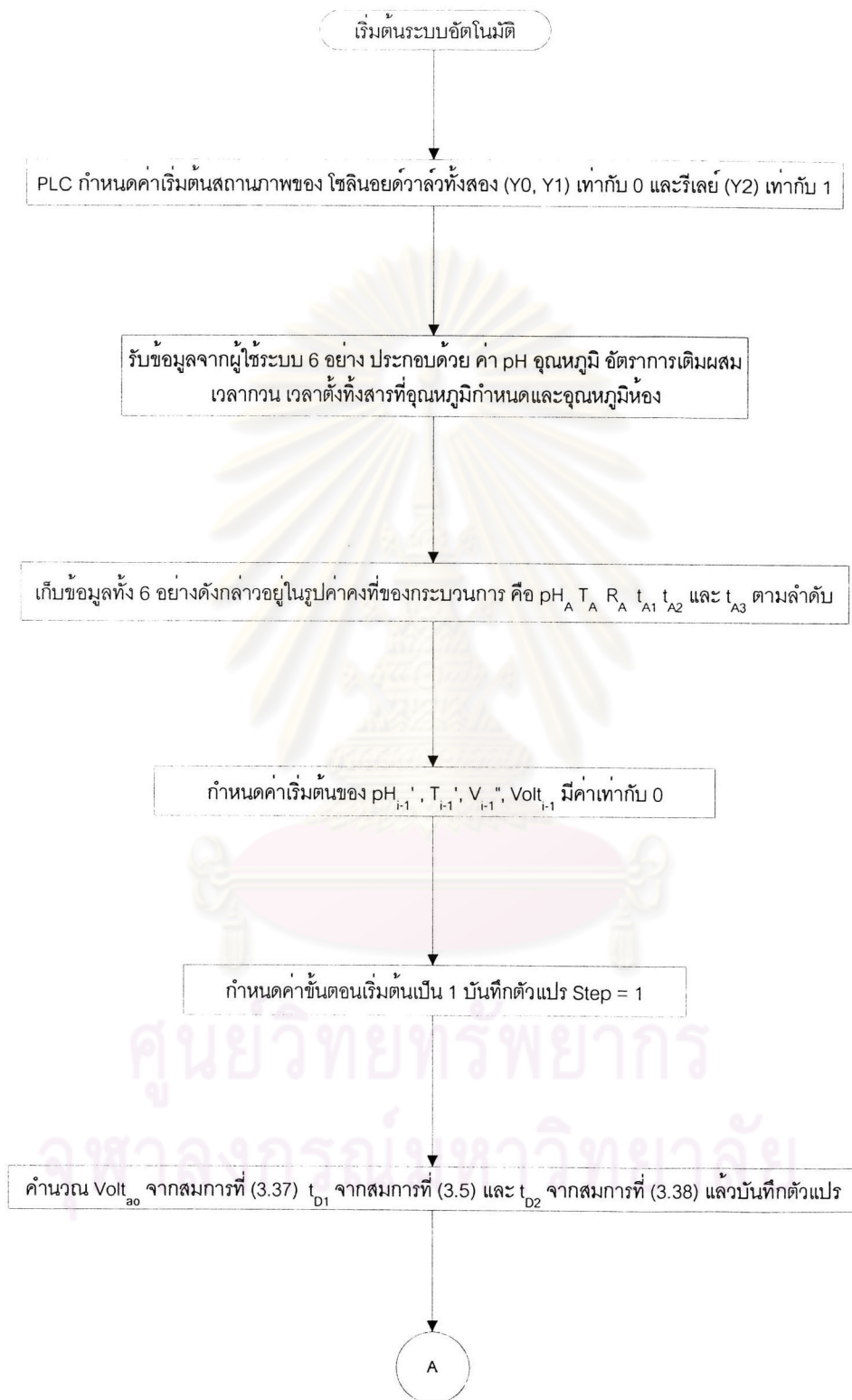


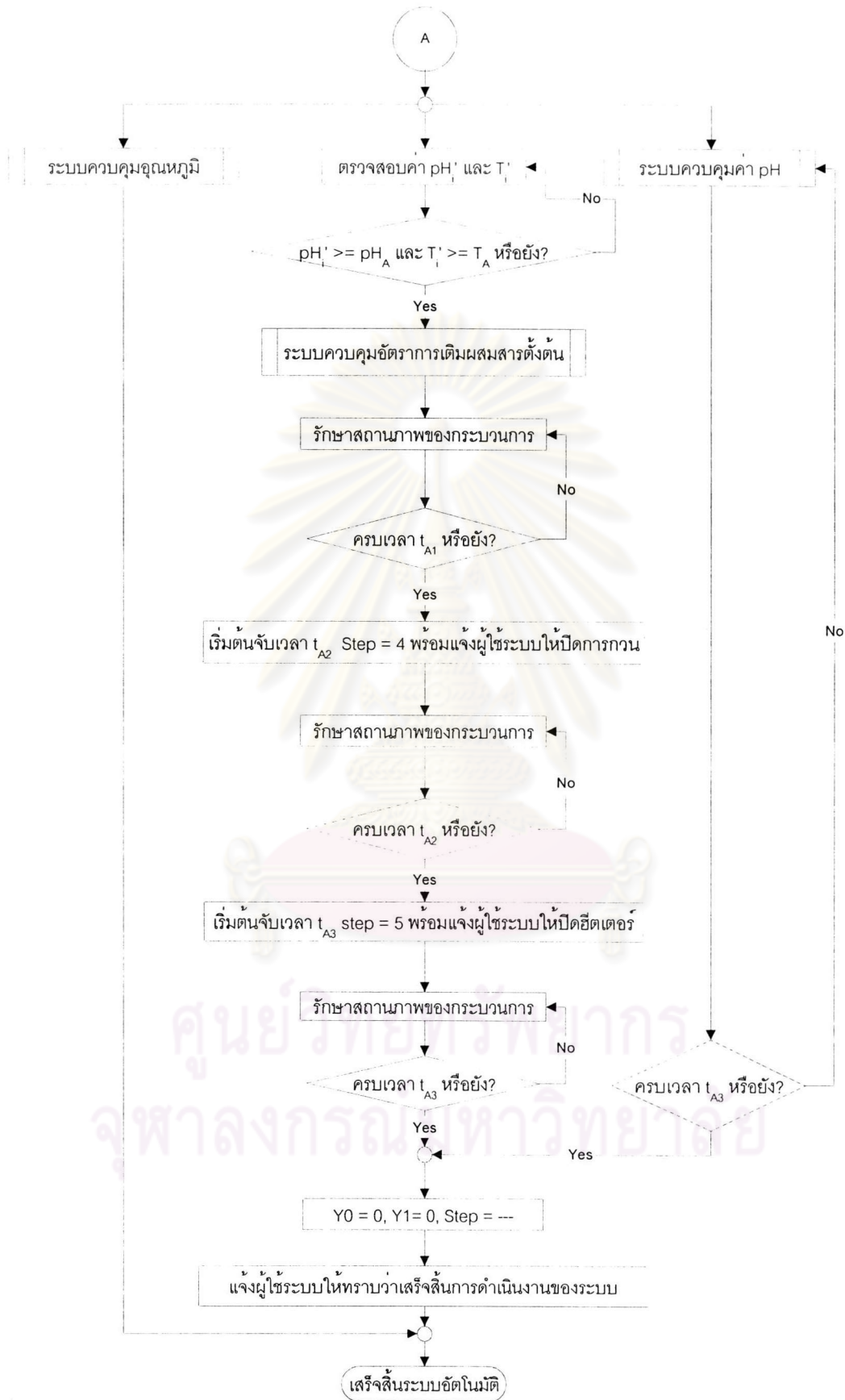
(ก)





(ค)





รูปที่ 4.3 แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยระบบอัตโนมัติ

- (ก) ระบบควบคุมค่า pH
- (ข) ระบบควบคุมอุณหภูมิ
- (ค) ระบบควบคุมอัตราการเติมผสมสารตั้งต้น
- (ง) ระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์
- (จ) ระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ (ต่อ)

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยระบบอัตโนมัติ

4.2.1 น้ำหนักของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้จากการผลิตในงานวิจัย

น้ำหนักของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตได้นั้นเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบการผลิตได้ โดยการพิจารณาจากน้ำหนักที่ผลิตออกมาได้เทียบกับน้ำหนักที่คำนวณได้จากทฤษฎี ซึ่งก็คือกำลังการผลิตในรอบการผลิตหนึ่งๆ ผลที่จะนำมาแสดงนี้เป็นผลที่ได้จากการวิจัยทั้งที่ได้จากการผลิตด้วยระบบปฏิบัติการควบคุมและการผลิตที่ควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของน้ำหนักของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากการผลิตในงานวิจัย

ลักษณะการผลิต	สภาวะการผลิต / ครั้งที่ผลิต	กำลังการผลิต (g)	น้ำหนักที่ผลิตได้ (g)	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูญเสีย (%)	
ควบคุมโดยผู้ปฏิบัติการ	ครั้งที่ 1	10	7.643	76.43	23.57	
	ครั้งที่ 2	10	7.985	79.85	20.15	
ควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ	สภาวะที่ 1	ครั้งที่ 1	30	27.235	90.78	9.22
		ครั้งที่ 2	30	27.103	90.34	9.66
	สภาวะที่ 2	ครั้งที่ 1	30	27.579	91.93	8.07
		ครั้งที่ 2	30	27.681	92.27	7.73
	สภาวะที่ 3	ครั้งที่ 1	30	27.458	91.53	8.47
		ครั้งที่ 2	30	27.539	91.80	8.20

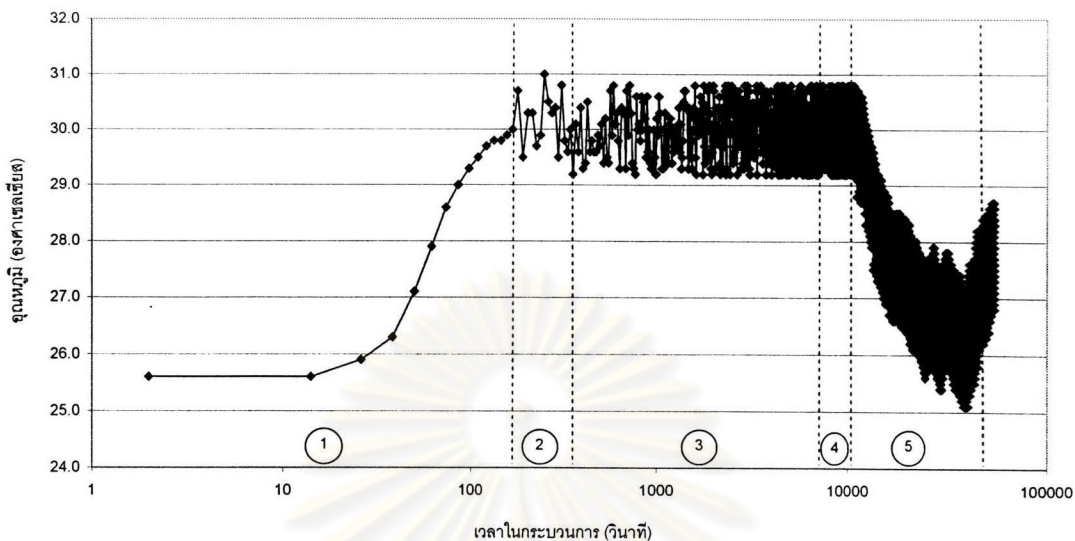
4.2.2 ผลการควบคุมปัจจัยอุณหภูมิและค่า pH ในกระบวนการผลิต

ผลการควบคุมอุณหภูมิและค่า pH ในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์นั้นจะได้นำมาพิจารณาใน 3 ประเด็น กล่าวคือประเด็นแรกเป็นลักษณะโดยรวมของกระบวนการ โดยจะพิจารณาถึงแนวโน้มของค่าปัจจัยที่ต้องการควบคุมตลอดทั้งกระบวนการผลิต ประเด็นที่ 2 เป็นการพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมตลอดช่วงการควบคุมในกระบวนการผลิต โดยถือว่าขั้นตอนที่ 1 ของระบบอัตโนมัติ นั้น (อ้างอิงจากบทที่ 4 ในหัวข้อ 4.1.4) ค่าปัจจัยทั้งสองยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุลที่ต้องการควบคุมเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ใช้ในการปรับสภาพสารตั้งต้นทั้งสองชนิดให้เป็นไปตามค่ากำหนดของปัจจัยก่อนที่สารตั้งต้นจากภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 จะเข้าผสมกัน จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาในขั้นตอนที่ 1 ดังนั้นขั้นตอนโดยรวมของกระบวนการที่จะนำมาพิจารณาความสามารถในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิได้แก่ ขั้นตอนที่ 2-4 และในส่วนของ การควบคุมค่า pH ได้แก่ ขั้นตอนที่ 2-5 (การควบคุมอุณหภูมิและค่า pH ให้เป็นไปตามที่กำหนดนั้น สิ้นสุดที่ขั้นตอนที่ 4 และ 5 ตามลำดับ) ในประเด็นสุดท้ายเป็นการพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมในแต่ละขั้นตอนที่กำหนดให้มีการควบคุมค่าปัจจัยต่างๆ (ยกเว้นขั้นตอนที่ 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมสารตั้งต้นนั้นถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการ จำเป็นต้องนำไปวิเคราะห์ถึงความสามารถในการควบคุมอย่างละเอียด ทั้งนี้การพิจารณาความสามารถของกระบวนการจำเป็นต้องมีการพิจารณารูปควบคุมคู่กับตารางแสดงค่าต่างๆ ทางสถิติตั้งที่จะนำมาแสดงในลำดับถัดไป

4.2.2.1 การพิจารณาแนวโน้มของค่าปัจจัยที่ต้องการควบคุมตลอดทั้งกระบวนการผลิต

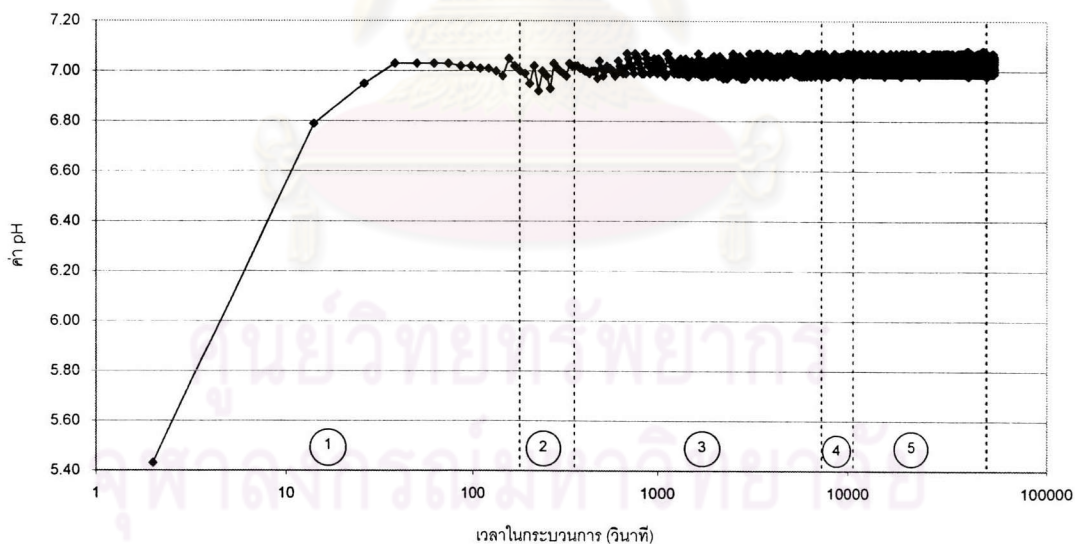
แนวโน้มของค่าปัจจัยที่ต้องการควบคุมตลอดทั้งกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้สามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงค่าปัจจัยตามเวลาต่างๆ โดยกำหนดแกนเวลาอยู่ในมาตราส่วนลอการิทึมเพื่อความเหมาะสมในการนำเสนอข้อมูล ในรูปที่ 4.4 – 4.9 โดยแยกตามสภาวะในการผลิต ครั้งที่ผลิต และปัจจัยที่ควบคุม ดังต่อไปนี้

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้ในกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 1



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้ในกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 1



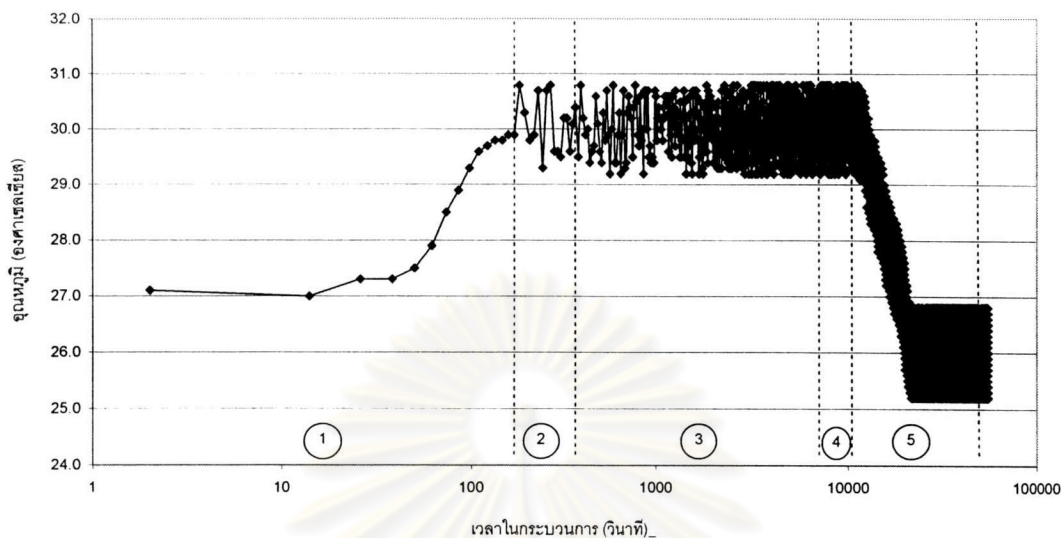
(ข)

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าปัจจัยซึ่งต้องการควบคุมที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ ที่สภาวะการผลิตที่ 1 ในการดำเนินการผลิตครั้งที่ 1

(ก) อุณหภูมิ (กำหนดค่าควบคุมที่ 30 °C)

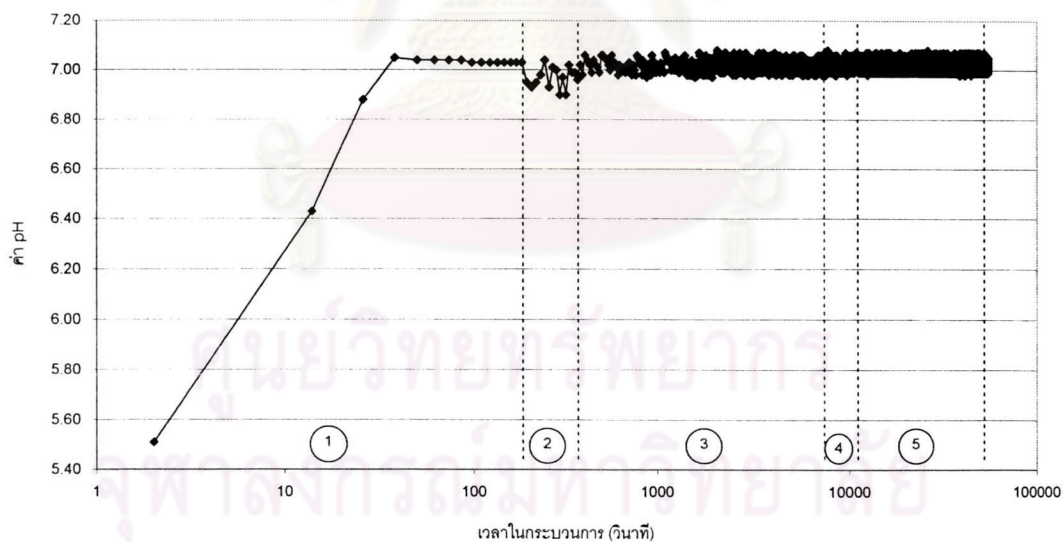
(ข) ค่า pH (กำหนดค่าควบคุมที่ 7.00)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 2



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 2



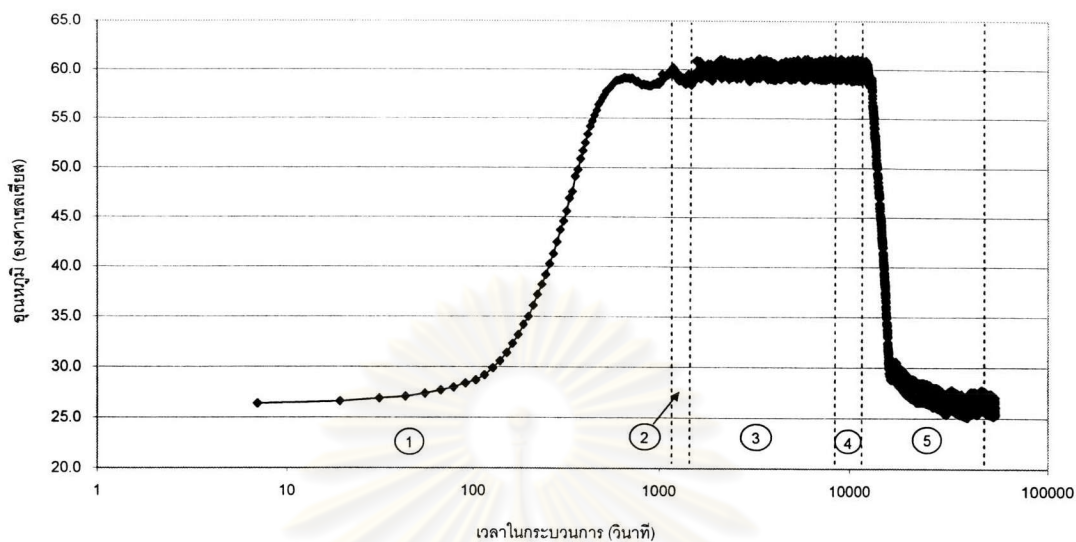
(ข)

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าปัจจัยซึ่งต้องการควบคุมที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ ที่สภาวะการผลิตที่ 1 ในการดำเนินการผลิตครั้งที่ 2

(ก) อุณหภูมิ (กำหนดค่าควบคุมที่ 30 °C)

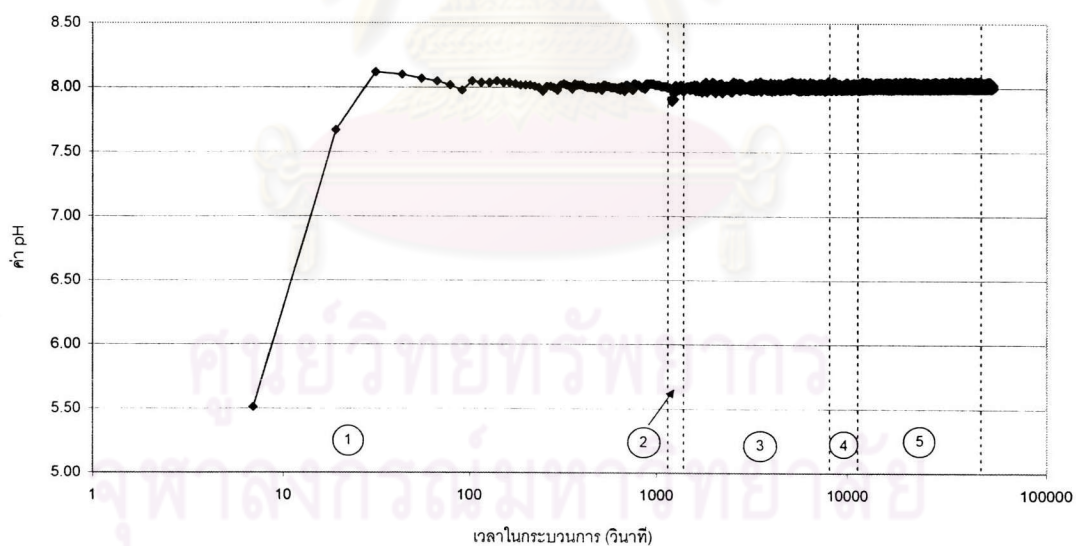
(ข) ค่า pH (กำหนดค่าควบคุมที่ 7.00)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 1



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 1



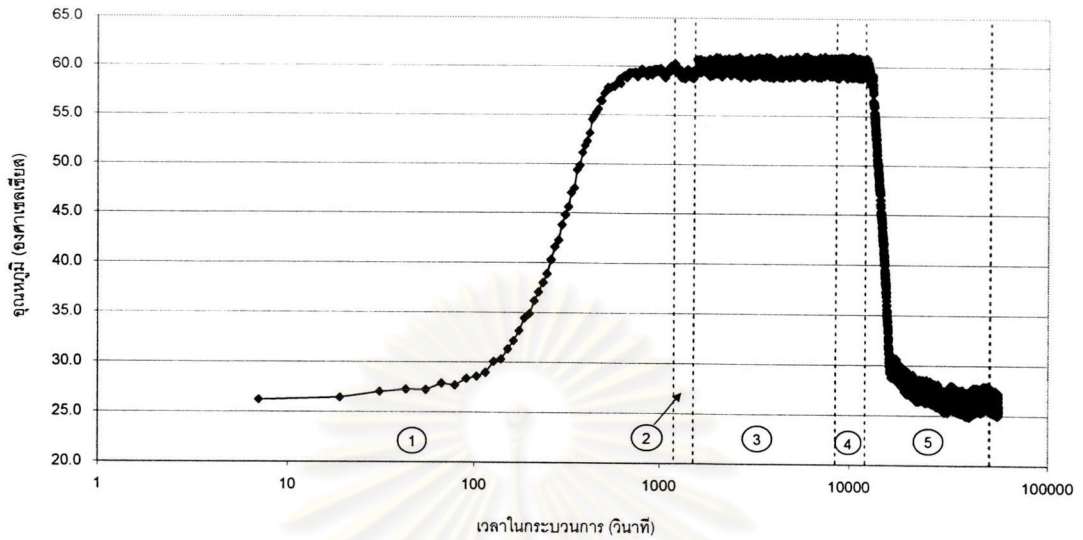
(ข)

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าปัจจัยซึ่งต้องการควบคุมที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 2 ในการดำเนินการผลิตครั้งที่ 1

(ก) อุณหภูมิ (กำหนดค่าควบคุมที่ 60 °C)

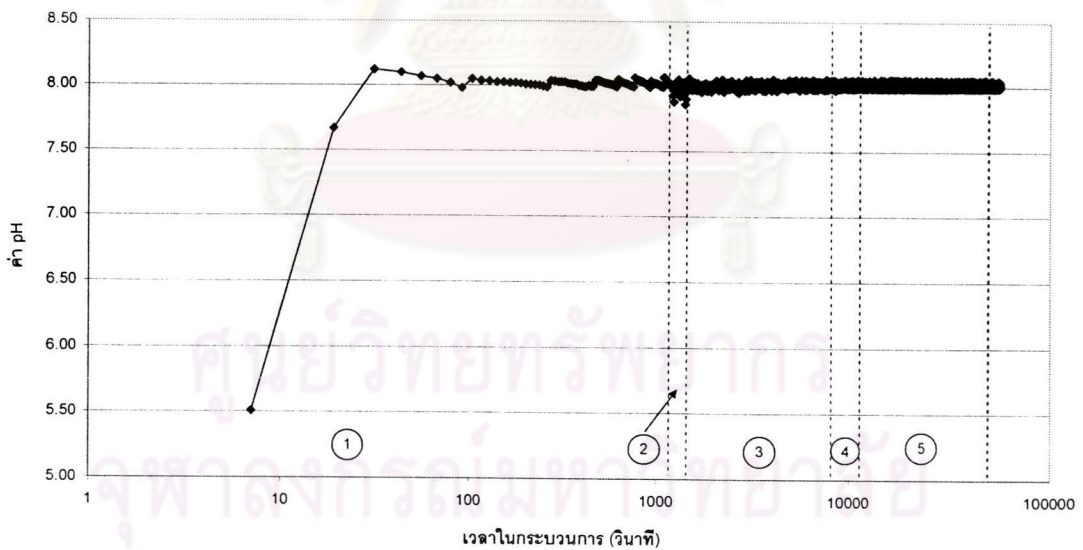
(ข) ค่า pH (กำหนดค่าควบคุมที่ 8.00)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 2



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 2



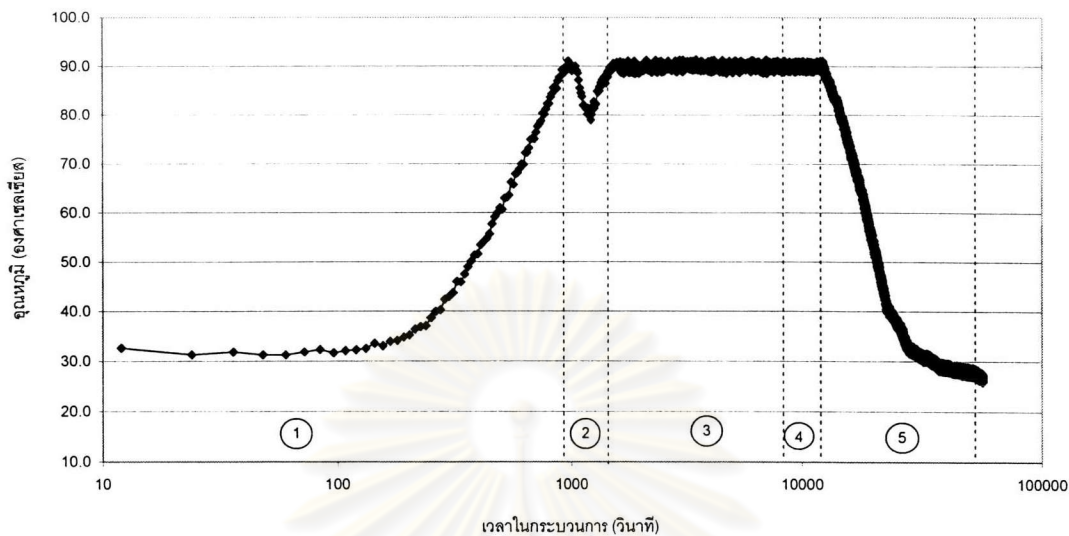
(ข)

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าปัจจัยซึ่งต้องการควบคุมที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะการผลิตที่ 2 ในการดำเนินการผลิตครั้งที่ 2

(ก) อุณหภูมิ (กำหนดค่าควบคุมที่ 60 °C)

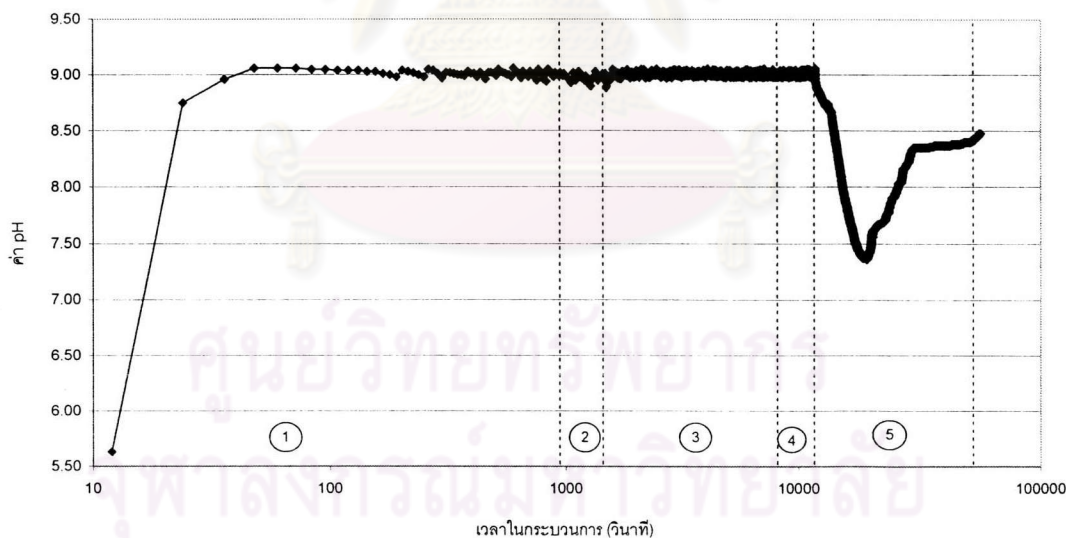
(ข) ค่า pH (กำหนดค่าควบคุมที่ 8.00)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 1



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 1



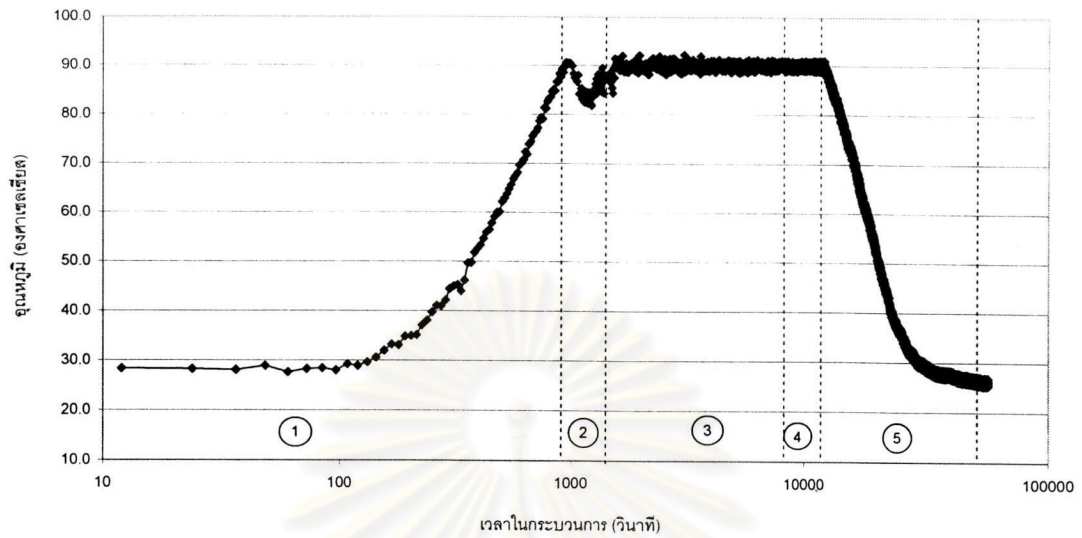
(ข)

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าปัจจัยซึ่งต้องการควบคุมที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะการผลิตที่ 3 ในการดำเนินการผลิตครั้งที่ 1

(ก) อุณหภูมิ (กำหนดค่าควบคุมที่ 90 °C)

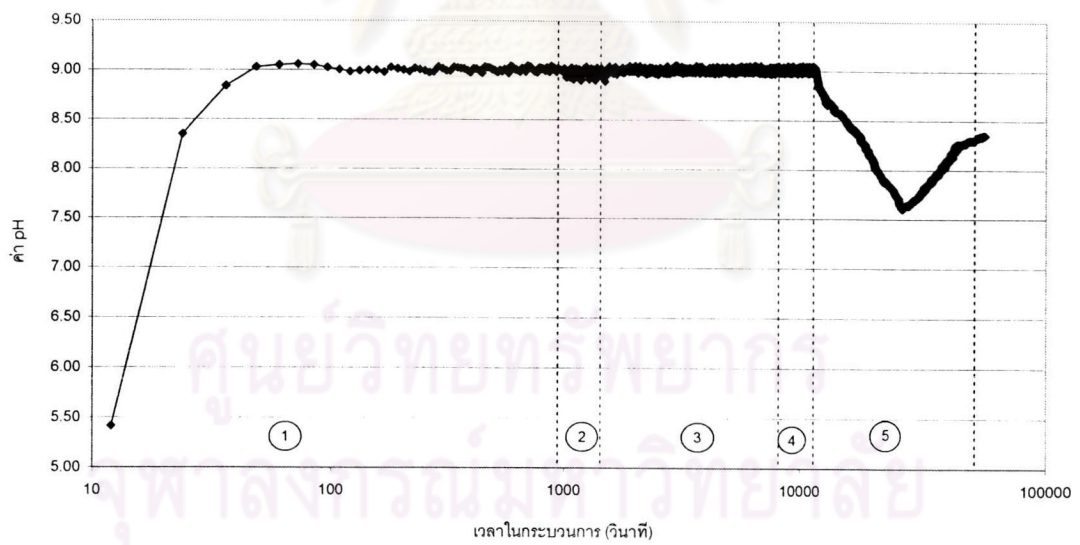
(ข) ค่า pH (กำหนดค่าควบคุมที่ 9.00)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 2



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 2



(ข)

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าปัจจัยซึ่งต้องการควบคุมที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะการผลิตที่ 3 ในการดำเนินการผลิตครั้งที่ 2

(ก) อุณหภูมิ (กำหนดค่าควบคุมที่ 90 °C)

(ข) ค่า pH (กำหนดค่าควบคุมที่ 9.00)

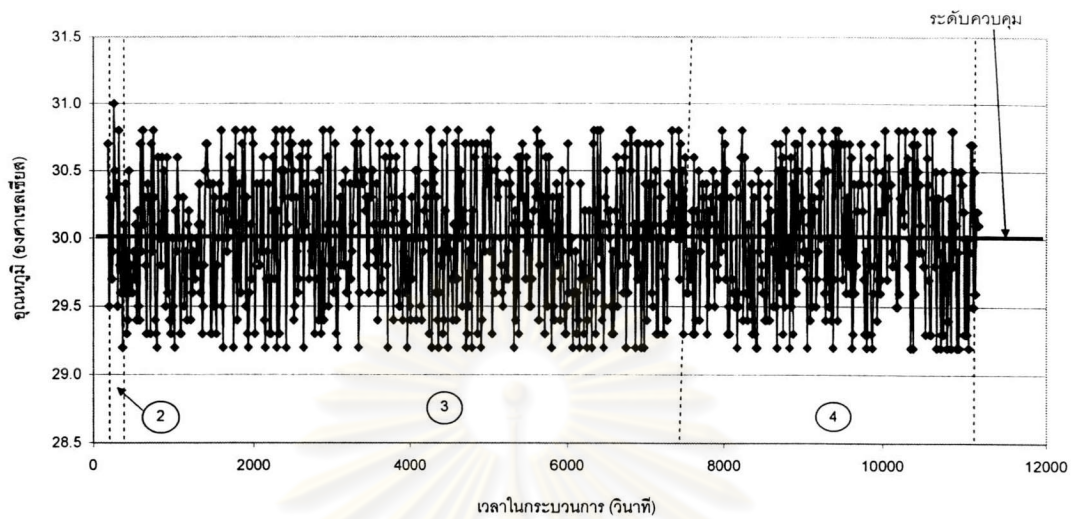
4.2.2.2 การพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมปัจจัยที่กำหนดตลอดช่วงการควบคุมในกระบวนการผลิต

ความสามารถในการควบคุมปัจจัยอุณหภูมิและค่า pH ตลอดทั้งกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้สามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงค่าปัจจัยตามเวลาต่างๆ โดยกำหนดแกนเวลาอยู่ในรูปแบบมาตราส่วนตามความเหมาะสมในการนำเสนอข้อมูล ในรูปที่ 4.10 – 4.15 โดยแยกตามสภาวะในการผลิต ครั้งที่ผลิต และปัจจัยที่ควบคุม และจากตารางแสดงค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความสามารถในการควบคุมปัจจัยของกระบวนการในขั้นตอนที่ต้องการพิจารณาทั้งหมด ดังตารางที่ 4.3 – 4.6 โดยแยกออกเป็นการพิจารณาค่าปัจจัยและความผิดพลาดในการควบคุมปัจจัยในแต่ละอย่าง ดังที่ได้แสดงต่อไปนี้

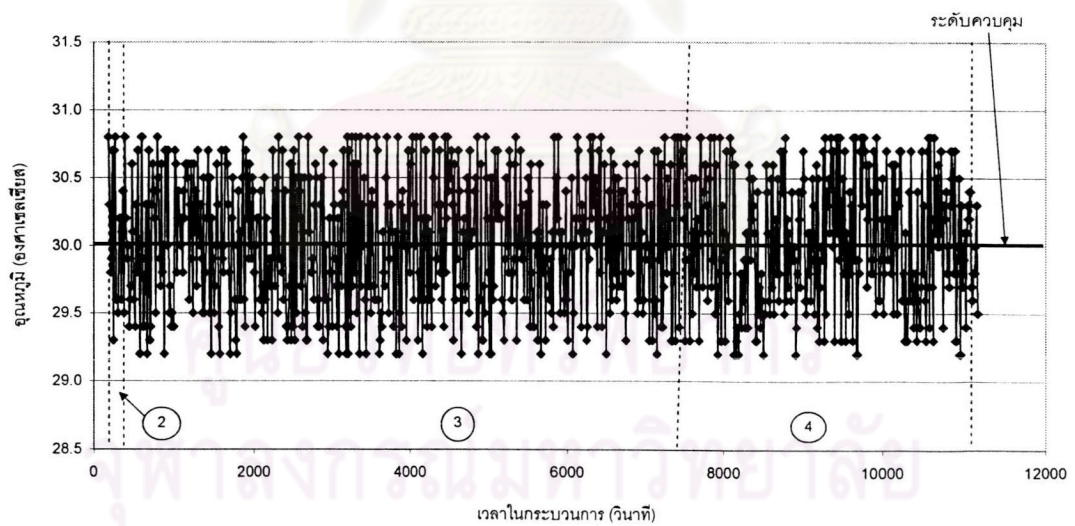


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้ในกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 1 ชั้นตอนที่ 2-4



กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 2 ชั้นตอนที่ 2-4

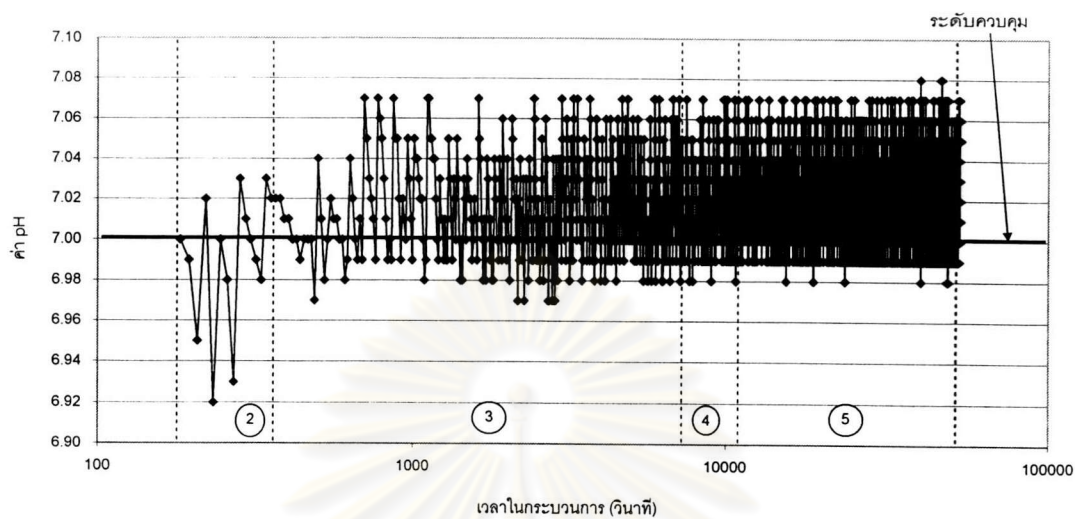


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 1 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2-4

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

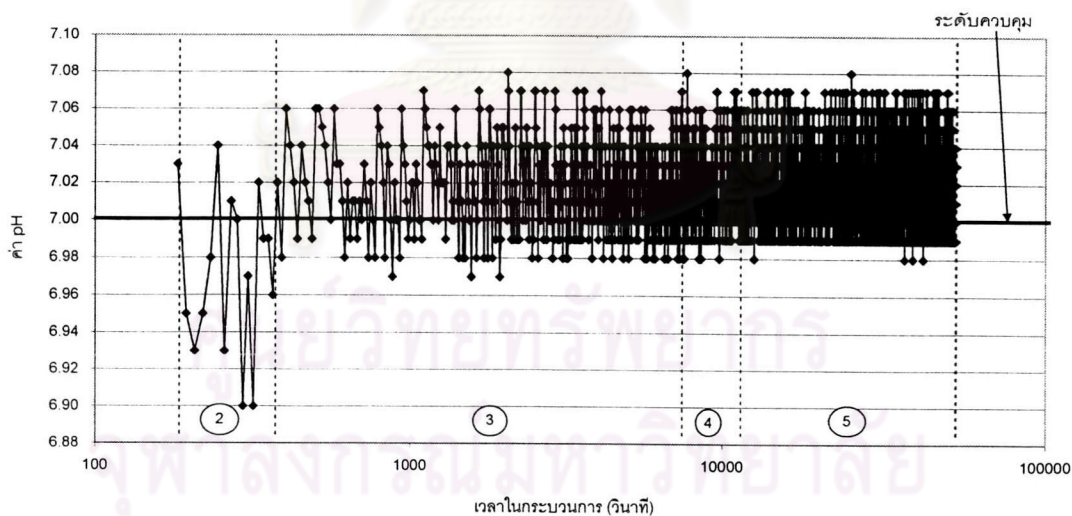
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้ในกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 1 ขั้นตอนที่ 2-5



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 2 ขั้นตอนที่ 2-5



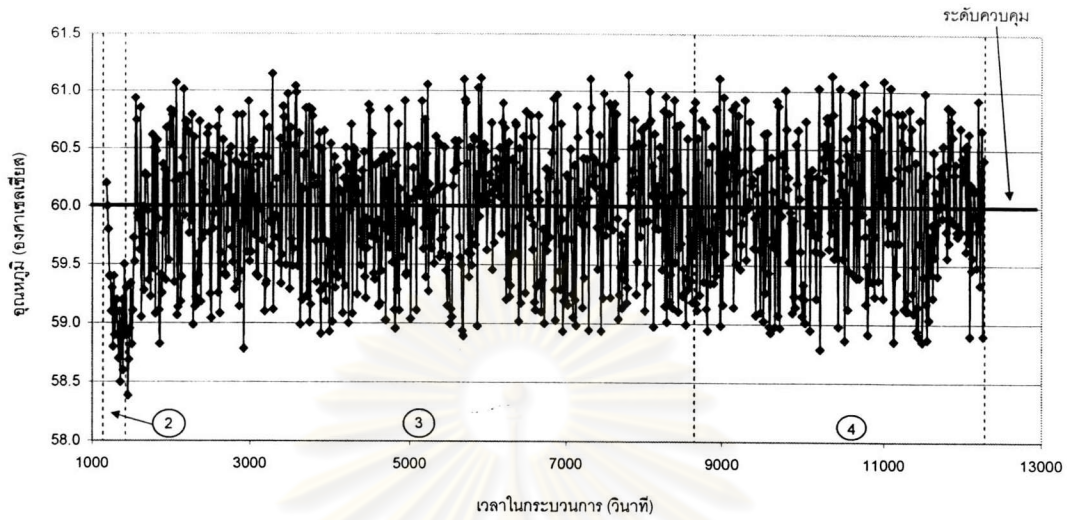
(ข)

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 1 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2-5

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

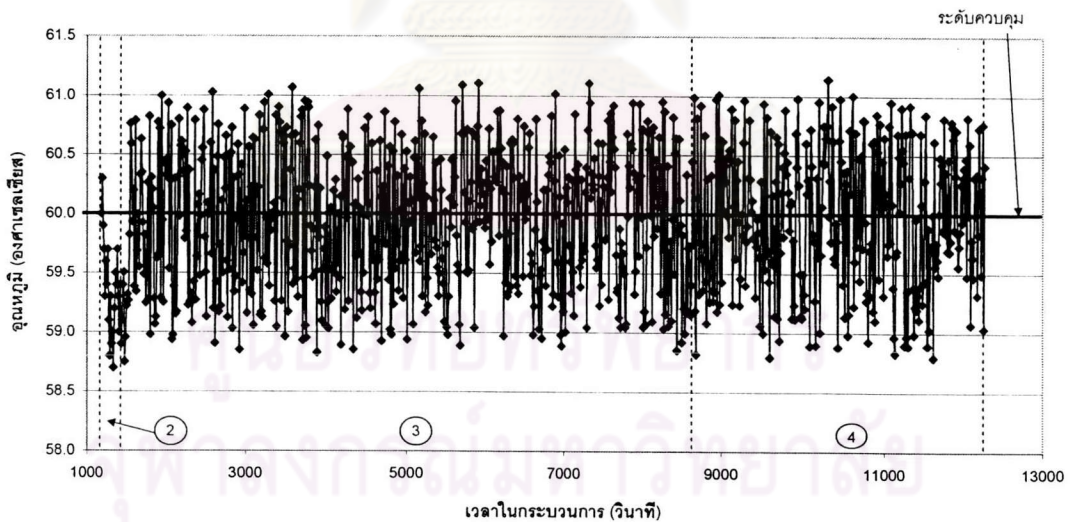
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 1 ชั้นตอนที่ 2-4



(ก)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 2 ชั้นตอนที่ 2-4



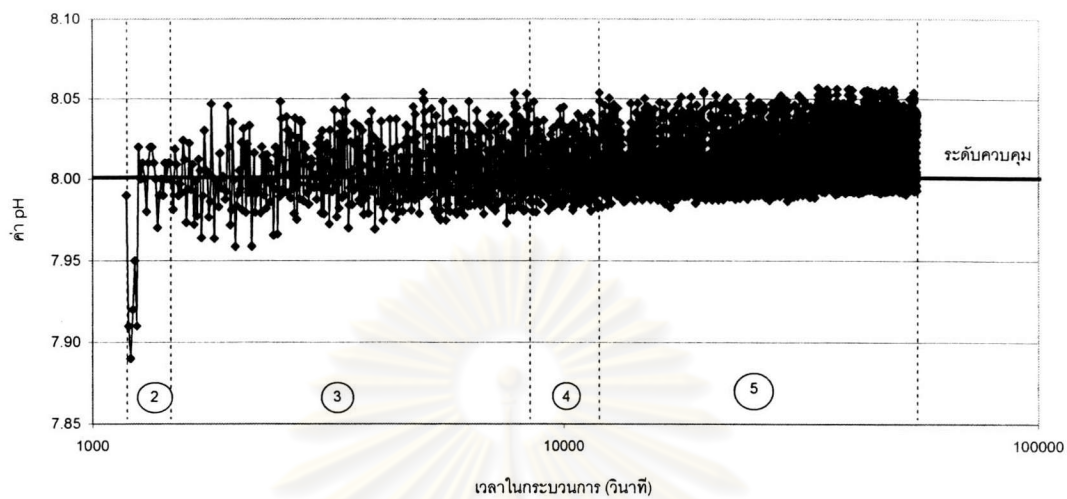
(ข)

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 2 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2-4

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

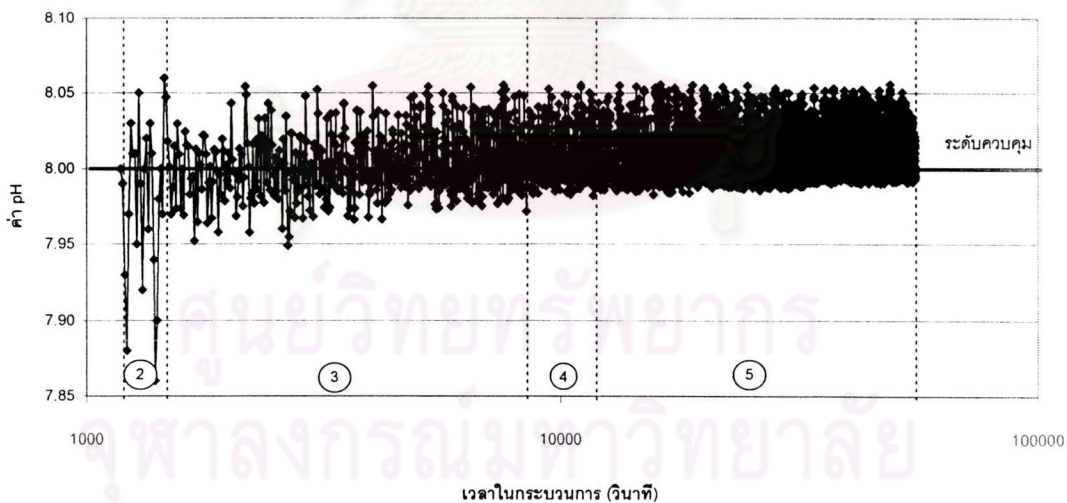
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 1 ขั้นตอนที่ 2-5



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 2 ขั้นตอนที่ 2-5



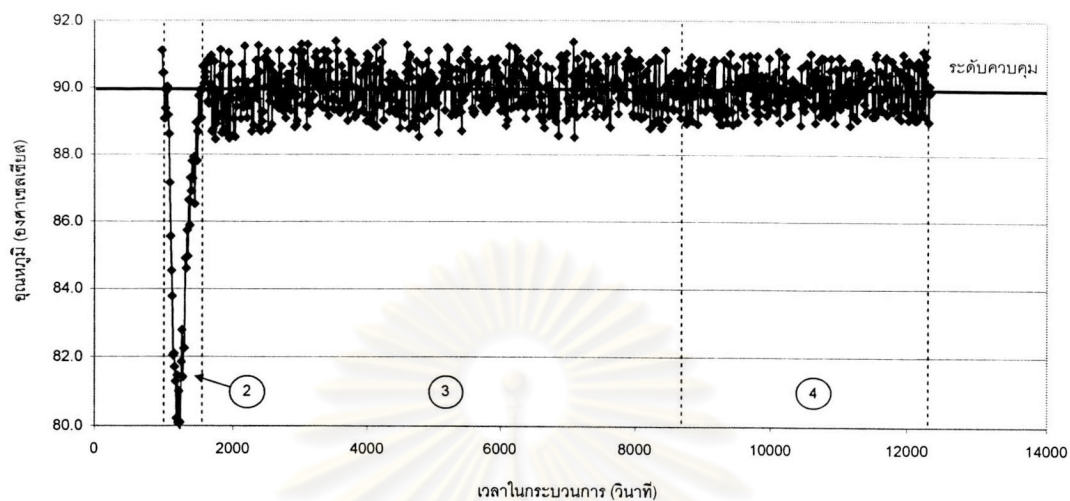
(ข)

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 2 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2-5

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

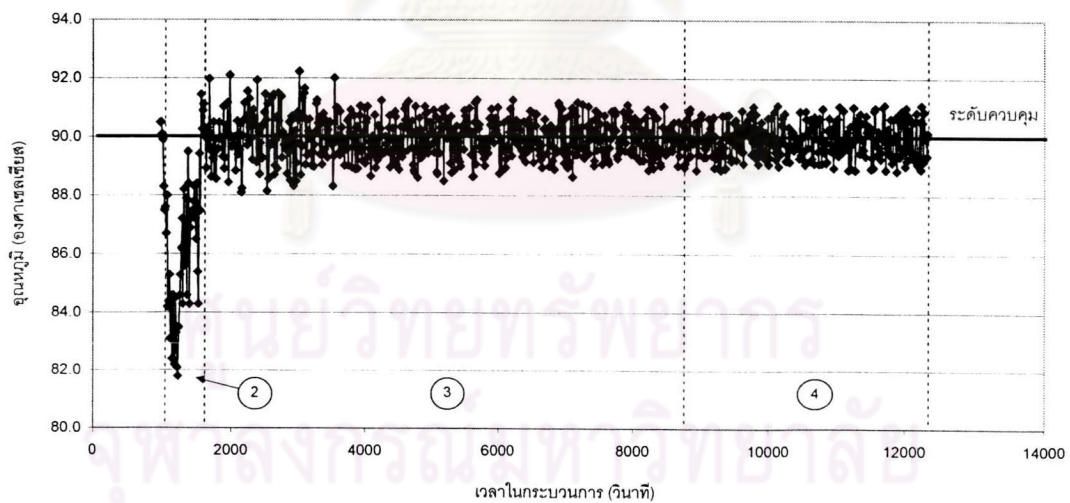
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 1 ชั้นตอนที่ 2-4



(ก)

กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 2 ชั้นตอนที่ 2-4



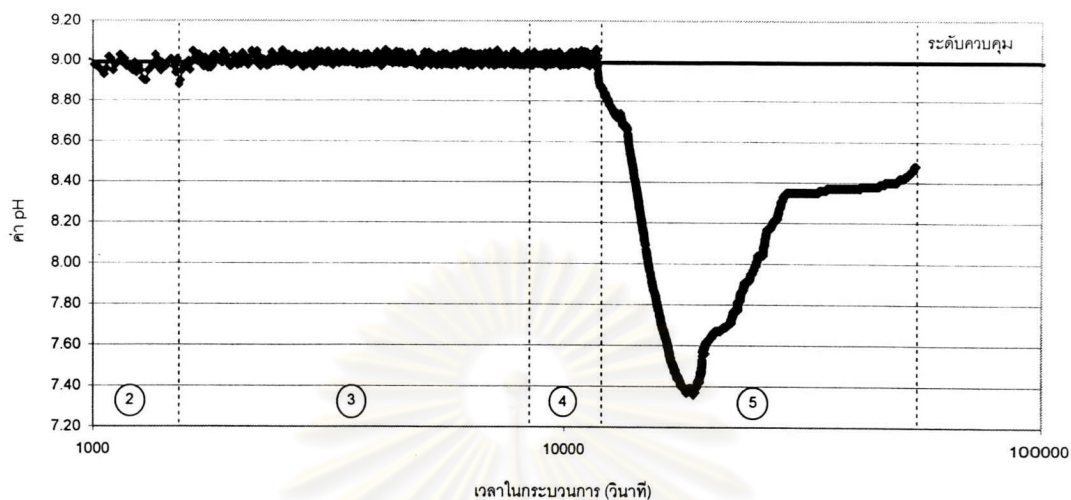
(ข)

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 3 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2-4

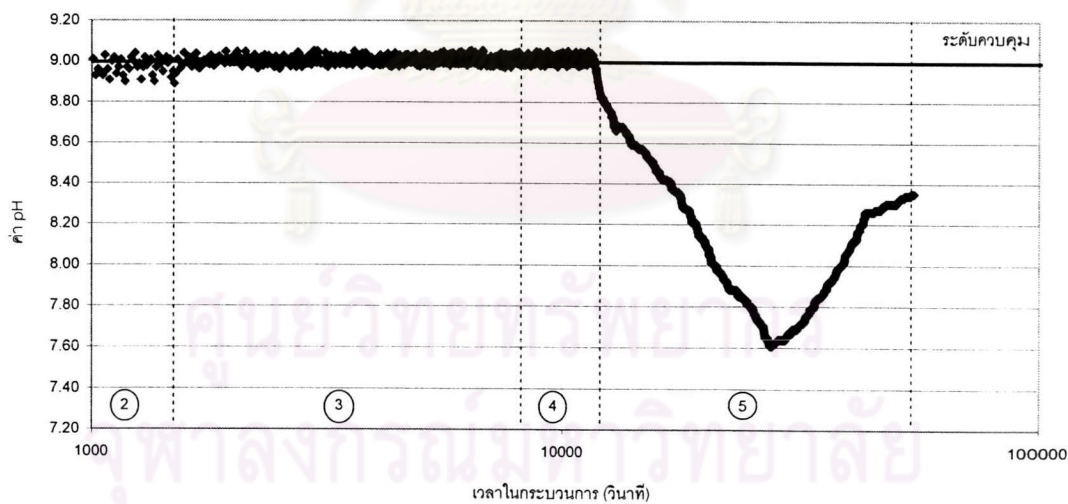
(ก) การผลิตครั้งที่ 1

(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้ในกระบวนการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 1 ขั้นตอนที่ 2-5



กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 2 ขั้นตอนที่ 2-5



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 3 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2-5

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

(ข) การผลิตครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.3 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในขั้นตอนที่ 2-4 (ตลอดช่วงการควบคุมอุณหภูมิ)

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด (°C)	ครั้งที่ผลิต	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	30.0	1	916	29.994	30.000	0.477	29.2	31.0	29.600	30.400
		2	916	30.023	30.000	0.483	29.2	30.8	29.600	30.475
2	60.0	1	925	59.943	59.900	0.601	58.4	61.1	59.400	60.400
		2	925	59.941	60.000	0.595	58.7	61.1	59.400	60.400
3	90.0	1	948	89.732	89.900	1.355	79.0	91.4	89.400	90.400
		2	948	89.766	89.900	1.184	81.8	92.2	89.400	90.500

ตารางที่ 4.4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในขั้นตอนที่ 2-4 (ตลอดช่วงการควบคุมอุณหภูมิ)

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด (°C)	ครั้งที่ผลิต	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	30.0	1	916	-0.0056	0.0000	0.4774	-0.8	1.0	-0.4000	0.4000
		2	916	0.0231	0.0000	0.4826	-0.8	0.8	-0.4000	0.4750
2	60.0	1	925	-0.0573	-0.1000	0.6006	-1.6	1.1	-0.6000	0.4000
		2	925	-0.0595	0.0000	0.5954	-1.3	1.1	-0.6000	0.4000
3	90.0	1	948	-0.2681	-0.1000	1.3555	-11.0	1.4	-0.6000	0.4000
		2	948	-0.2344	-0.1000	1.1838	-8.2	2.2	-0.6000	0.5000

ตารางที่ 4.5 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในขั้นตอนที่ 2-5 (ตลอดช่วงการควบคุม pH)

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด	ครั้งที่ผลิต	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	7.00	1	4517	7.0196	7.0200	0.0210	6.92	7.08	7.0000	7.0300
		2	4517	7.0194	7.0200	0.0213	6.90	7.08	7.0000	7.0300
2	8.00	1	4527	8.0119	8.0100	0.0171	7.89	8.06	8.0000	8.0200
		2	4527	8.0118	8.0100	0.0173	7.86	8.06	8.0000	8.0200
3	9.00	1	4548	8.3712	8.3700	0.4363	7.36	9.06	8.2400	8.4800
		2	4548	8.2858	8.2700	0.4489	7.61	9.06	7.9000	8.5800

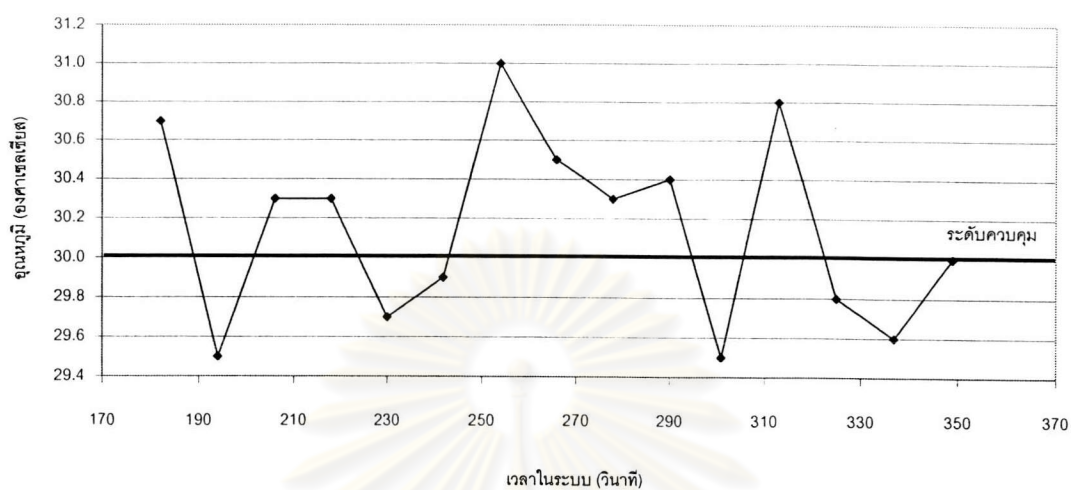
ตารางที่ 4.6 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของค่าความผิดพลาดของค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในขั้นตอนที่ 2-5 (ตลอดช่วงการควบคุม pH)

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด	ครั้งที่ผลิต	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	7.00	1	4517	0.01962	0.02000	0.02103	-0.08	0.08	0.00000	0.03000
		2	4517	0.01943	0.02000	0.02129	-0.10	0.08	0.00000	0.03000
2	8.00	1	4527	0.01188	0.01000	0.01712	-0.11	0.06	0.00000	0.02000
		2	4527	0.01185	0.01000	0.01727	-0.14	0.06	0.00000	0.02000
3	9.00	1	4548	-0.62876	-0.63000	0.43633	-1.64	0.06	-0.76000	-0.52000
		2	4548	-0.71422	-0.73000	0.44886	-1.39	0.06	-1.10000	-0.42000

4.2.2.3 การพิจารณาถึงความสามารถในการควบคุมปัจจัยที่กำหนดในแต่ละขั้นตอน

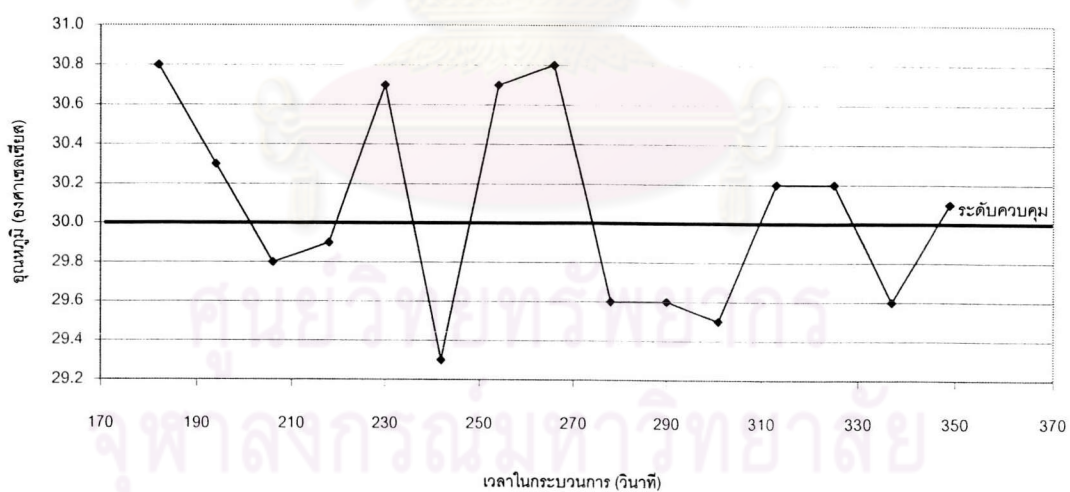
ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตที่มีการควบคุมปัจจัยนั้นมีรูปแบบแนวโน้มของค่าปัจจัยต่างๆ แตกต่างกันไปตามลักษณะของกระบวนการ ซึ่งทำให้ผลการควบคุมปัจจัยนั้นแตกต่างกันไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนที่ 2 ของกระบวนการทุกสภาวะซึ่งเป็นขั้นตอนที่สารตั้งต้นผสมกัน ปัจจัยต่างๆ จะเกิดความแปรผันค่อนข้างมากในขั้นตอนนี้ และถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่ควบคุมได้ยากที่สุด ดังนั้นจึงได้นำผลการควบคุมปัจจัยในขั้นตอนที่ 2 นี้มาสร้างเป็นกราฟเพียงขั้นตอนเดียวดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.16 – 4.21 ซึ่งจะช่วยให้สามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจนและสามารถวิเคราะห์ห้ถึงสาเหตุได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้การวิเคราะห์ในขั้นตอนอื่นๆ ที่ต้องมีการควบคุมปัจจัยนั้นสามารถใช้กราฟในรูปที่ 4.10 -4.15 ประกอบการพิจารณาได้ ซึ่งถือว่ามี ความชัดเจนเพียงพอ นอกเหนือจากการพิจารณารูปแล้ว ค่าวิเคราะห์ทางสถิติก็ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะช่วยในการพิจารณาความสามารถของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการในการควบคุมปัจจัยที่กำหนด ซึ่งจะได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 – 4.10 เพื่อประกอบการวิเคราะห์ในบทถัดไป

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 1 ขั้นตอนที่ 2



(ก)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 2 ขั้นตอนที่ 2



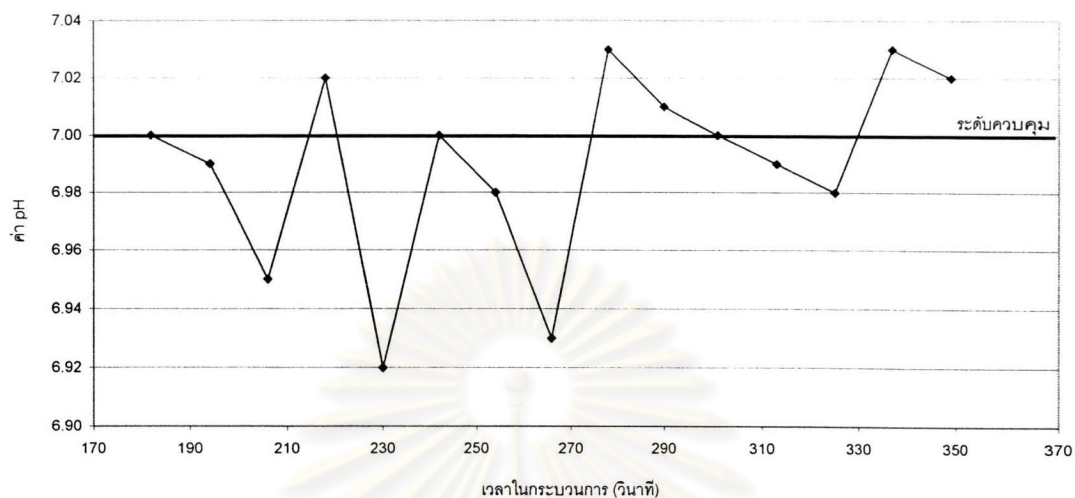
(ข)

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 1 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

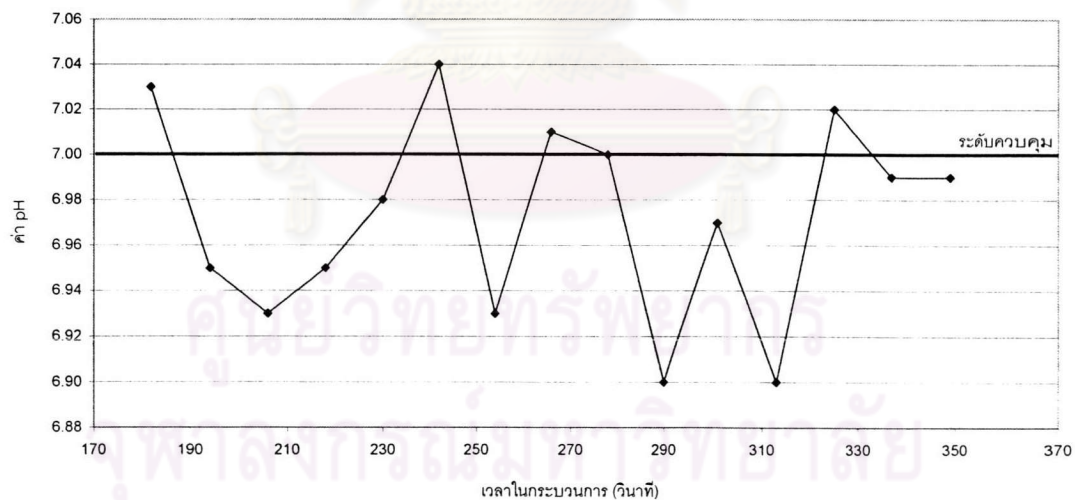
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้ในกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 1 ขั้นตอนที่ 2



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 1 ครั้งที่ 2 ขั้นตอนที่ 2



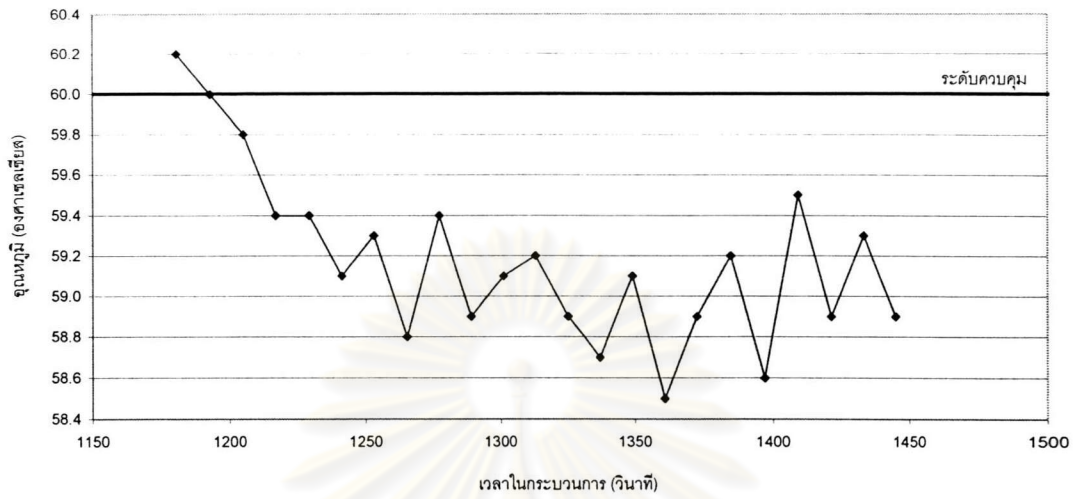
(ข)

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 1 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

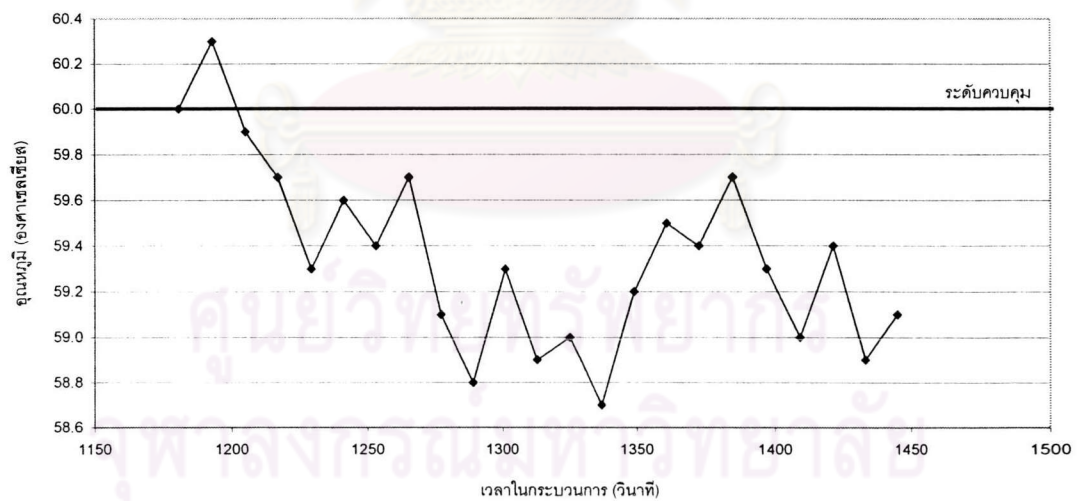
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 1 ชั้นตอนที่ 2



(ก)

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 2 ชั้นตอนที่ 2



(ข)

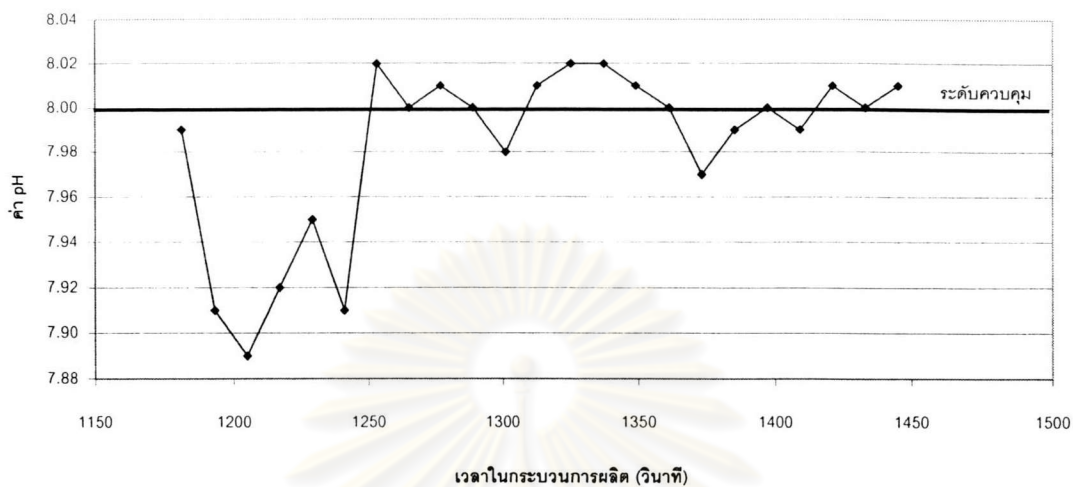
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ

ที่สภาวะการผลิตที่ 2 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2

(ก) การผลิตครั้งที่ 1

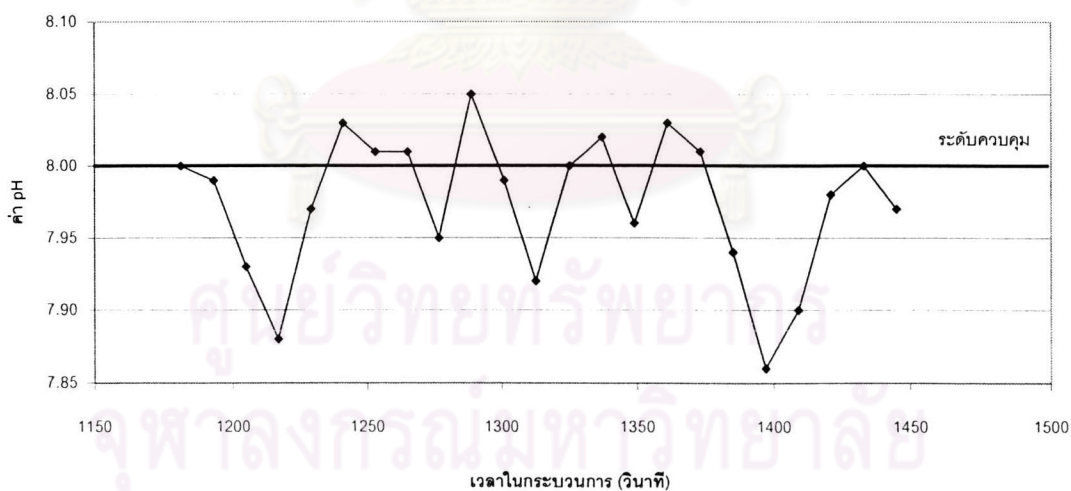
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 1 ชั้นตอนที่ 2



(ก)

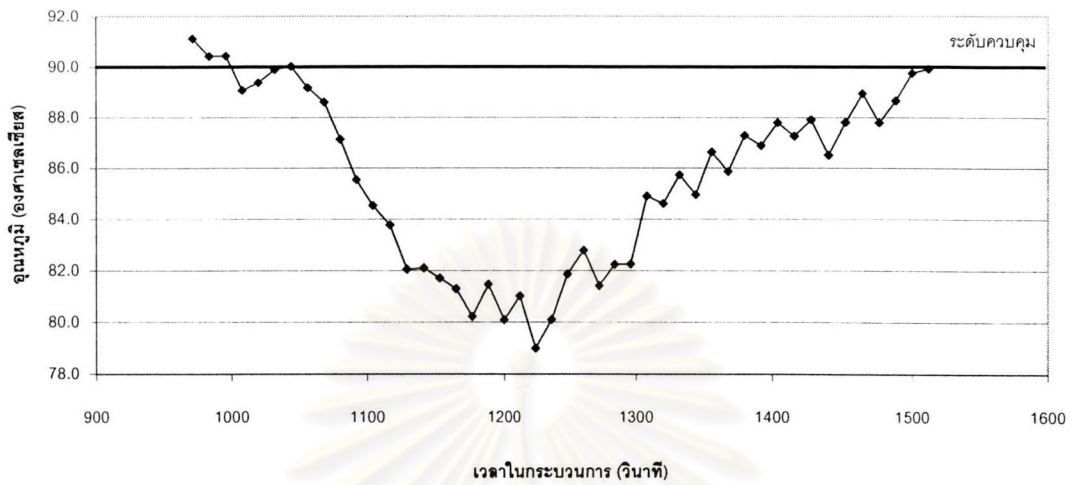
กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 2 ครั้งที่ 2 ชั้นตอนที่ 2



(ข)

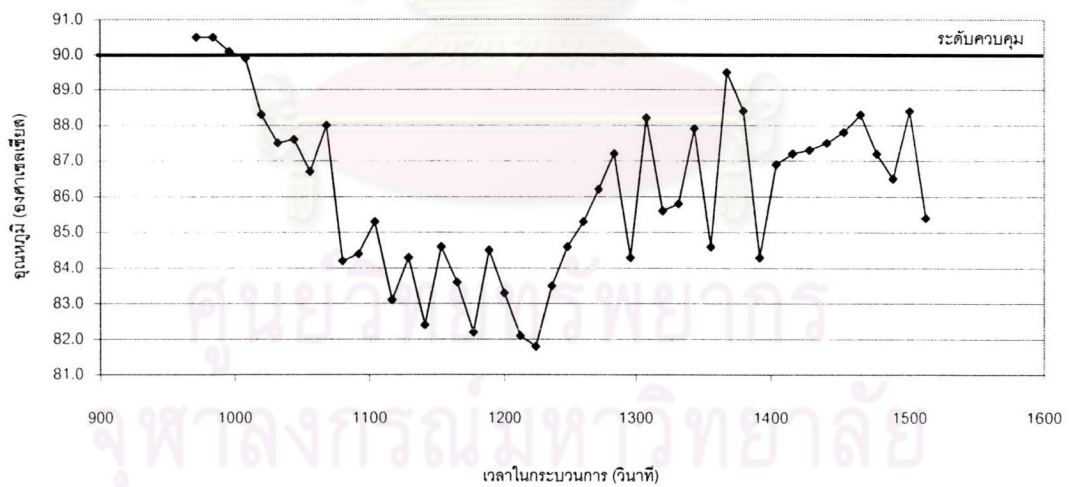
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 2 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2
(ก) การผลิตครั้งที่ 1
(ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 1 ชั้นตอนที่ 2



(ก)

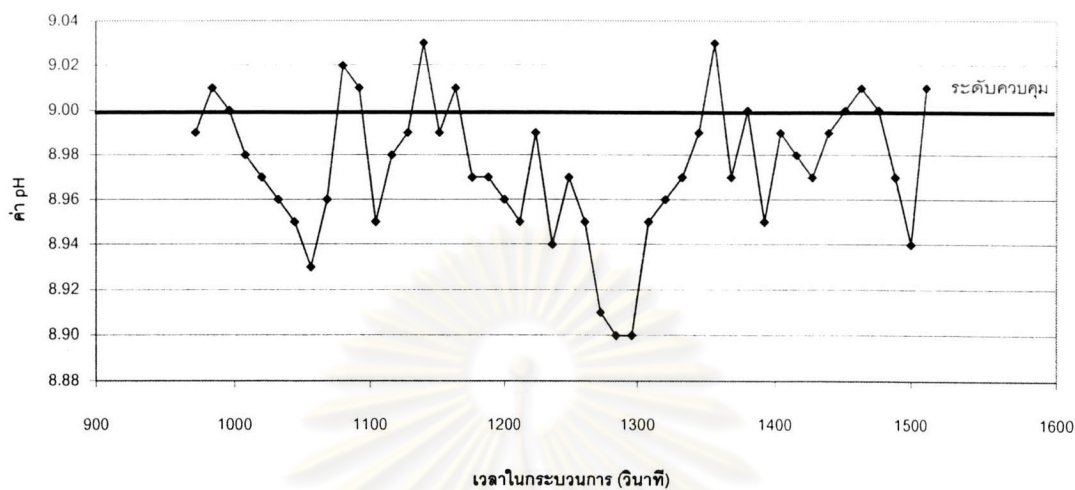
กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 2 ชั้นตอนที่ 2



(ข)

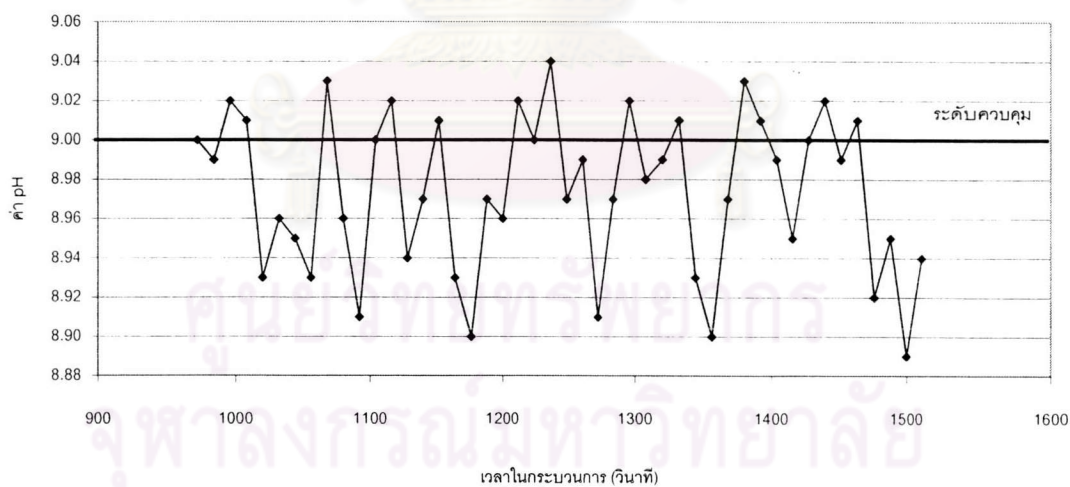
- รูปที่ 4.20 กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 3 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2
- (ก) การผลิตครั้งที่ 1
 - (ข) การผลิตครั้งที่ 2

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 1 ชั้นตอนที่ 2



(ก)

กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะที่ 3 ครั้งที่ 2 ชั้นตอนที่ 2



(ข)

- รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ
ที่สภาวะการผลิตที่ 3 ในขั้นตอนการผลิตที่ 2
- (ก) การผลิตครั้งที่ 1
 - (ข) การผลิตครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.7 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในขั้นตอนต่างๆ ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด (°C)	ครั้งที่ผลิต	ขั้นตอน	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	30.0	1	2	15	30.153	30.300	0.482	29.5	31.0	29.700	30.500
			3	601	29.991	30.000	0.473	29.2	30.8	29.600	30.400
			4	300	29.994	30.000	0.486	29.2	30.8	29.600	30.400
		2	2	15	30.073	30.100	0.509	29.3	30.8	29.600	30.700
			3	601	30.022	30.000	0.482	29.2	30.8	29.600	30.450
			4	300	30.023	30.000	0.484	29.2	30.8	29.600	30.475
2	60.0	1	2	23	59.178	59.100	0.424	58.5	60.2	58.900	59.400
			3	601	59.955	60.000	0.589	58.4	61.1	59.500	60.400
			4	301	59.977	60.000	0.598	58.8	61.1	59.500	60.500
		2	2	23	59.357	59.300	0.405	58.7	60.3	59.000	59.700
			3	601	59.948	60.000	0.589	58.7	61.1	59.400	60.400
			4	301	59.971	60.000	0.600	58.8	61.1	59.500	60.500
3	90.0	1	2	46	85.611	86.200	3.495	79.0	91.1	82.075	88.775
			3	601	89.939	89.900	0.665	88.5	91.4	89.400	90.500
			4	301	89.949	89.900	0.589	88.9	91.1	89.400	90.400
		2	2	46	86.148	86.350	2.349	81.8	90.5	84.300	87.925
			3	601	89.957	89.900	0.753	84.3	92.2	89.500	90.500
			4	301	89.936	89.900	0.593	88.9	91.1	89.400	90.500

ตารางที่ 4.8 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในขั้นตอนต่างๆ ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด (°C)	ครั้งที่ผลิต	ขั้นตอน	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	30.0	1	2	15	0.1530	0.3000	0.4820	-0.5	1.0	-0.3000	0.5000
			3	601	-0.0092	0.0000	0.4730	-0.8	0.8	-0.4000	0.4000
			4	300	-0.0063	0.0000	0.4862	-0.8	0.8	-0.4000	0.4000
		2	2	15	0.0730	0.1000	0.5090	-0.7	0.8	-0.4000	0.7000
			3	601	0.0220	0.0000	0.4820	-0.8	0.8	-0.4000	0.4500
			4	300	0.0230	0.0000	0.4840	-0.8	0.8	-0.4000	0.4750
2	60.0	1	2	23	-0.8217	-0.9000	0.4242	-1.5	0.2	-1.1000	-0.6000
			3	601	-0.0453	0.0000	0.5889	-1.6	1.1	-0.5000	0.4000
			4	301	-0.0229	0.0000	0.5983	-1.2	1.1	-0.5000	0.5000
		2	2	23	-0.6435	-0.7000	0.4054	-1.3	0.3	-1.0000	-0.3000
			3	601	-0.0522	0.0000	0.5886	-1.3	1.1	-0.6000	0.4000
			4	301	-0.0292	0.0000	0.6000	-1.2	1.1	-0.5000	0.5000
3	90.0	1	2	46	-4.3890	-3.8000	3.4950	-11.0	1.1	-7.9250	-1.2250
			3	601	-0.0612	-0.1000	0.6649	-1.5	1.4	-0.6000	0.5000
			4	301	-0.0515	-0.1000	0.5899	-1.1	1.1	-0.6000	0.4000
		2	2	46	-3.8520	-3.6500	2.3490	-8.2	0.5	-5.7000	-2.0750
			3	601	-0.0429	-0.1000	0.7534	-5.7	2.2	-0.5000	0.5000
			4	301	-0.0638	-0.1000	0.5928	-1.1	1.1	-0.6000	0.5000

ตารางที่ 4.9 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในขั้นตอนต่างๆ ที่มีการควบคุมค่า pH

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด	ครั้งที่ผลิต	ขั้นตอน	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	7.00	1	2	15	6.9900	7.0000	0.0338	6.92	7.03	6.9800	7.0200
			3	601	7.0173	7.0100	0.0237	6.97	7.07	7.0000	7.0300
			4	300	7.0185	7.0200	0.0208	6.98	7.07	7.0000	7.0300
			5	3601	7.0202	7.0200	0.0204	6.98	7.08	7.0000	7.0300
		2	2	15	6.9727	6.9800	0.0448	6.90	7.04	6.9300	7.0100
			3	601	7.0179	7.0200	0.0231	6.96	7.08	7.0000	7.0400
			4	300	7.0192	7.0200	0.0216	6.98	7.08	7.0000	7.0300
			5	3601	7.0199	7.0200	0.0206	6.98	7.08	7.0000	7.0300
2	8.00	1	2	23	7.9830	8.0000	0.0392	7.89	8.02	7.9700	8.0100
			3	601	8.0060	8.0000	0.0192	7.96	8.05	7.9900	8.0200
			4	301	8.0076	8.0100	0.0159	7.98	8.05	8.0000	8.0200
			5	3602	8.0134	8.0100	0.0162	7.98	8.06	8.0000	8.0200
		2	2	23	7.9739	7.9900	0.0499	7.86	8.05	7.9400	8.0100
			3	601	8.0056	8.0000	0.0203	7.95	8.06	7.9900	8.0200
			4	301	8.0120	8.0100	0.0174	7.98	8.06	8.0000	8.0300
			5	3602	8.0131	8.0100	0.0158	7.98	8.06	8.0000	8.0200
3	9.00	1	2	46	8.9743	8.9700	0.0310	8.90	9.03	8.9500	9.0000
			3	601	9.0056	9.0000	0.0207	8.88	9.06	8.9900	9.0200
			4	301	8.9905	9.0000	0.0513	8.82	9.06	8.9900	9.0200
			5	3600	8.2058	8.3700	0.3301	7.36	8.84	8.0400	8.3900
		2	2	46	8.9737	8.9750	0.0404	8.89	9.04	8.9400	9.0100
			3	601	9.0071	9.0100	0.0193	8.96	9.06	8.9900	9.0200
			4	301	8.9901	9.0100	0.0564	8.81	9.05	8.9900	9.0200
			5	3600	8.0976	8.1200	0.2903	7.61	8.81	7.8500	8.3000

ตารางที่ 4.10 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติที่สำคัญของค่าความผิดพลาดของค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติในชั้นตอนต่างๆ ที่มีการควบคุมค่า pH

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด	ครั้งที่ผลิต	ชั้นตอน	N	Mean	Median	StDev	Min	Max	Q1	Q3
1	7.00	1	2	15	-0.01000	0.00000	0.03381	-0.08	0.03	-0.02000	0.02000
			3	601	0.01730	0.01000	0.02373	-0.03	0.07	0.00000	0.03000
			4	300	0.01853	0.02000	0.02080	-0.02	0.07	0.00000	0.03000
			5	3601	0.02022	0.02000	0.02039	-0.02	0.08	0.00000	0.03000
		2	2	15	-0.02730	-0.02000	0.04480	-0.10	0.04	-0.07000	0.01000
			3	601	0.01785	0.02000	0.02310	-0.04	0.08	0.00000	0.04000
			4	300	0.01920	0.02000	0.02159	-0.02	0.08	0.00000	0.03000
			5	3601	0.01991	0.02000	0.02057	-0.02	0.08	0.00000	0.03000
2	8.00	1	2	23	-0.01696	0.00000	0.03925	-0.11	0.02	-0.03000	0.01000
			3	601	0.00599	0.00000	0.01916	-0.04	0.05	-0.01000	0.02000
			4	301	0.00764	0.01000	0.01586	-0.02	0.05	0.00000	0.02000
			5	3602	0.01341	0.01000	0.01618	-0.02	0.06	0.00000	0.02000
		2	2	23	-0.02610	-0.01000	0.04990	-0.14	0.05	-0.06000	0.01000
			3	601	0.00561	0.00000	0.02033	-0.05	0.06	-0.01000	0.02000
			4	301	0.01199	0.01000	0.01738	-0.02	0.06	0.00000	0.03000
			5	3602	0.01312	0.01000	0.01576	-0.02	0.06	0.00000	0.02000
3	9.00	1	2	46	-0.02565	-0.03000	0.03096	-0.10	0.03	-0.05000	0.00000
			3	601	0.00561	0.00000	0.02066	-0.12	0.06	-0.01000	0.02000
			4	301	-0.00947	0.00000	0.05133	-0.18	0.06	-0.01000	0.02000
			5	3600	-0.79415	-0.63000	0.33006	-1.64	-0.16	-0.96000	-0.61000
		2	2	46	-0.02630	-0.02500	0.04035	-0.11	0.04	-0.06000	0.01000
			3	601	0.00705	0.01000	0.01929	-0.04	0.06	-0.01000	0.02000
			4	301	-0.00900	0.01000	0.05644	-0.19	0.05	-0.01000	0.02000
			5	3600	-0.90239	-0.88000	0.29029	-1.39	-0.19	-1.15000	-0.70000

ความผิดพลาดของการควบคุมปัจจัยอุณหภูมิและค่า pH ที่เกิดขึ้นในระบบอัตโนมัตินั้นสามารถนำมาแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่วัดได้ ซึ่งได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.11 และ 4.12 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จากกระบวนการผลิตโดยระบบอัตโนมัติ

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด (°C)	ครั้งที่ผลิต	ขั้นตอนที่พิจารณา	% ความผิดพลาดของอุณหภูมิ
1	30.0	1	2-4	-0.02
			2	0.51
			3	-0.03
			4	-0.02
		2	2-4	0.08
			2	0.24
			3	0.07
			4	0.08
2	60.0	1	2-4	-0.10
			2	-1.37
			3	-0.08
			4	-0.04
		2	2-4	-0.10
			2	-1.07
			3	-0.09
			4	-0.05
3	90.0	1	2-4	-0.30
			2	-4.88
			3	-0.07
			4	-0.06
		2	2-4	-0.26
			2	-4.28
			3	-0.05
			4	-0.07

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของค่าเฉลี่ยของค่า pH ที่วัดได้จากกระบวนการผลิต โดยระบบอัตโนมัติ

สภาวะที่ผลิต	ค่าที่กำหนด	ครั้งที่ผลิต	ขั้นตอนที่พิจารณา	% ความผิดพลาดของค่า pH
1	7.00	1	2-5	0.28
			2	-0.14
			3	0.25
			4	0.26
			5	0.29
		2	2-5	0.28
			2	-0.39
			3	0.26
			4	0.27
			5	0.28
2	8.00	1	2-5	0.15
			2	-0.21
			3	0.07
			4	0.10
			5	0.17
		2	2-5	0.15
			2	-0.33
			3	0.07
			4	0.15
			5	0.16
3	9.00	1	2-5	-6.99
			2	-0.29
			3	0.06
			4	-0.11
			5	-8.82
		2	2-5	-7.94
			2	-0.29
			3	0.08
			4	-0.10
			5	-10.03

4.3 ผลการตรวจสอบลักษณะเฉพาะตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตได้จากระบบอัตโนมัติ

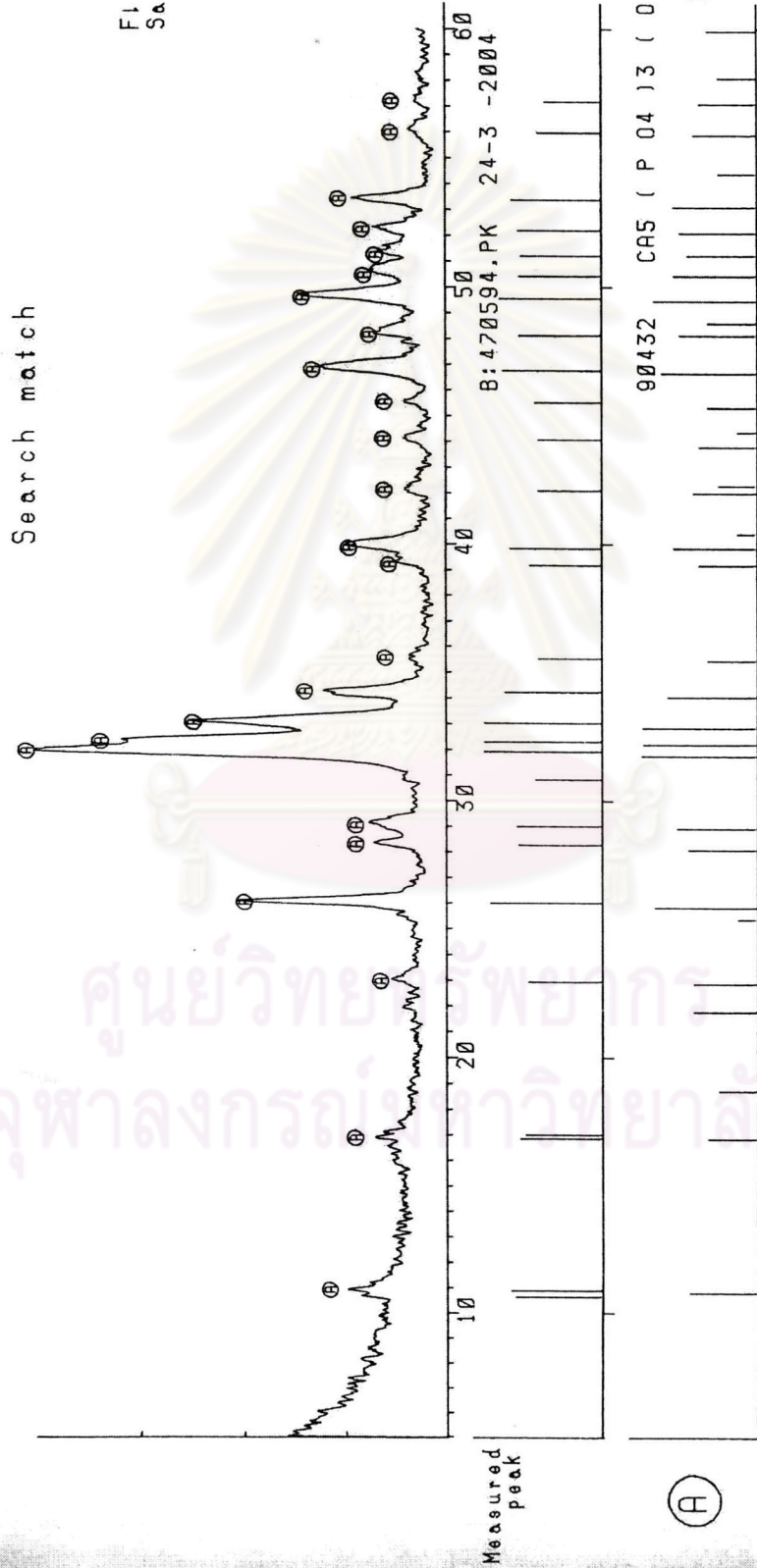
ในการตรวจสอบลักษณะเฉพาะตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ จะกำหนดให้มีการนำผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ทั้งที่ได้จากการผลิตด้วยระบบปฏิบัติการควบคุมและด้วยระบบอัตโนมัติทั้ง 3 สภาวะไปทำการตรวจสอบ โดยเลือกมาเพียงสภาวะละ 1 ตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละสภาวะในการศึกษาถึงความแตกต่างทางโครงสร้างและองค์ประกอบของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากการผลิตต่างสภาวะกัน ทั้งนี้ยังได้แบ่งผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตโดยระบบอัตโนมัติในสภาวะที่ 3 ส่วนหนึ่งไปดำเนินการเผาในภายหลังจากการผลิตที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงเพื่อนำมาเป็นผลที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบกับผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ยังไม่ได้เผาหลังจากผลิตออกมาได้ที่สภาวะต่างๆ ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมา มาได้กล่าวไว้ว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ระดับความเป็นรูปผลึก (Crystallinity) มีมากขึ้น มีลักษณะของผลึกที่ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้สาเหตุที่เลือกผงไฮดรอกซีอะพาไทต์จากสภาวะที่ 3 ไปเผาเนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวได้เคยมีงานวิจัยกล่าวไว้ว่าเป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่สามารถสังเคราะห์เพื่อให้ได้เฟสของไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์เพียงเฟสเดียวเท่านั้น

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD

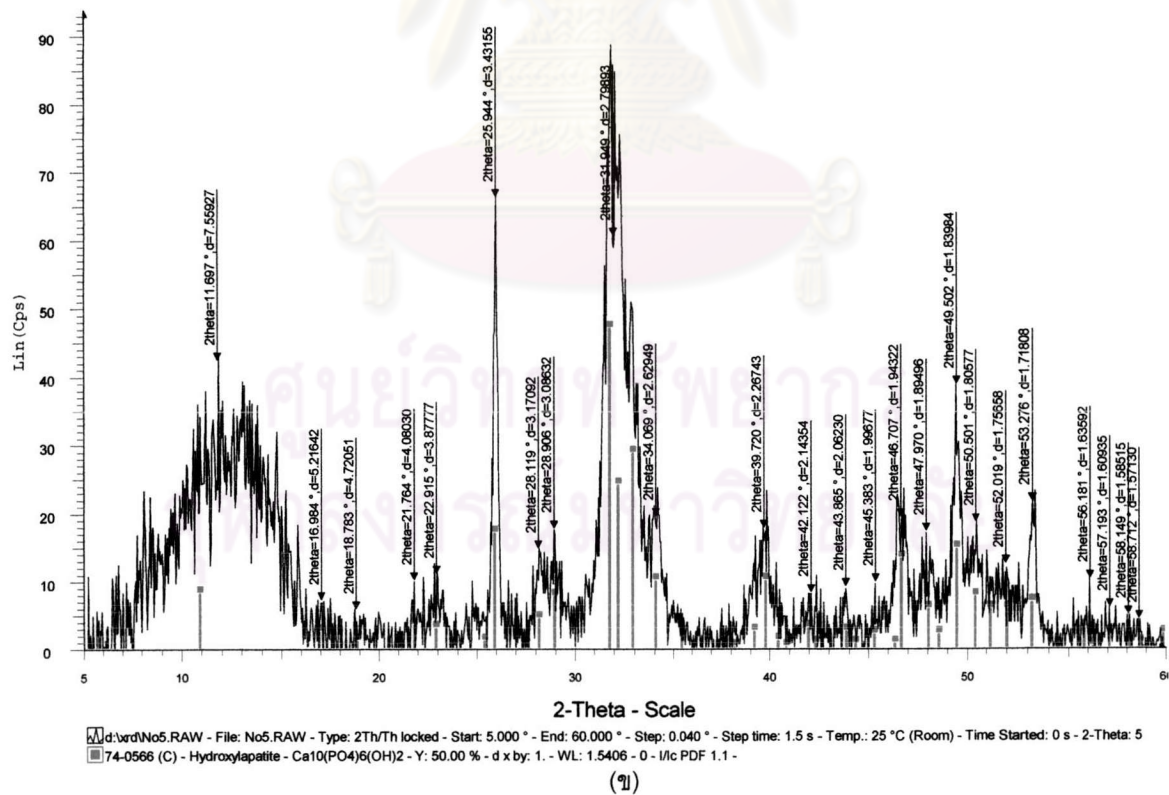
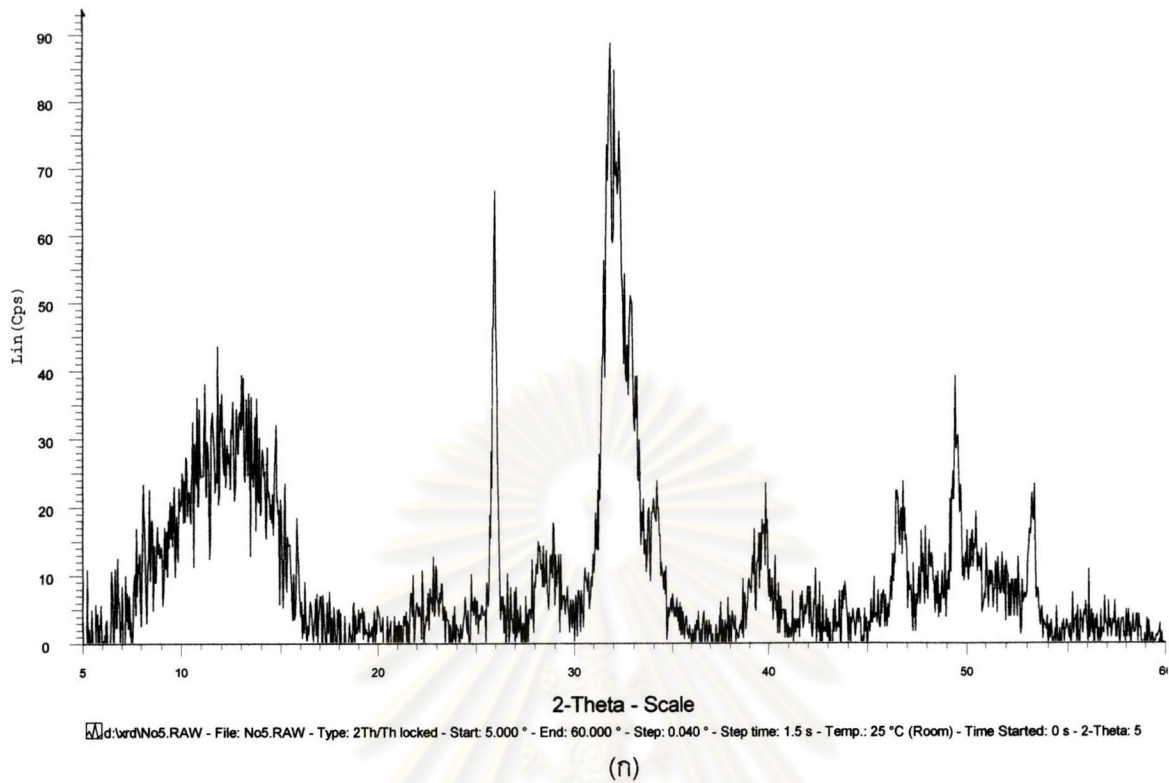
ในงานวิจัยนี้ นำผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD เพื่อพิจารณาผลซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟที่แสดงผลซึ่งเป็นจุดยอดเฉพาะตัวของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ออกมา โดยทั่วไปแล้ว สารประกอบแต่ละอย่างจะทำให้เกิดชุดของจุดยอดที่องศา 2 θ ของการวิเคราะห์แตกต่างกันไปซึ่งหากต้องการทราบว่าเป็นสารประกอบใดนั้นทำได้โดยการนำผลที่ได้ไปเทียบกับชุดของยอดกราฟมาตรฐานอ้างอิงสำหรับสารแต่ละชนิด โดยการพิจารณาว่ามียอดหลักของกราฟตรงกันกับยอดของกราฟมาตรฐานอ้างอิงแต่ละยอดหรือไม่ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงได้นำไปเปรียบเทียบยอดกราฟมาตรฐานอ้างอิงของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยซ้อนลงไปบนกราฟที่วิเคราะห์สารที่ต้องการทดสอบ ซึ่งจะได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.22 – 4.26 เพื่อความแน่ใจในการวิเคราะห์ จึงสมควรที่จะนำกราฟแสดงผล XRD ที่ได้ไปเทียบกับรูปแบบยอดกราฟมาตรฐานของเฟสอื่นๆ ที่สารไฮดรอกซีอะพาไทต์สามารถเปลี่ยนรูปไปได้ เช่นเฟสของ α -TCP, β -TCP หรือแม้แต่ CaO ก็ตามเพื่อให้ทราบแน่ชัดว่ามีเฟสดังกล่าวเจือปนอยู่หรือไม่ นอกจากนี้แล้วผลของการทดสอบ XRD ของผงที่ผลิตที่สภาวะต่างๆ สามารถนำมาเปรียบเทียบระดับความเป็นรูปผลึกได้จากลักษณะยอดของกราฟในสเกลเดียวกัน โดยผลการทดสอบ XRD ของผงตัวอย่างที่มีกราฟยอดแหลม มีความสูงมากกว่า และความกว้างฐานแคบกว่าจะแสดงว่าระดับความเป็นรูปผลึกมีค่าสูงกว่าผงตัวอย่างที่มีกราฟยอดมน และมีฐานกว้างกว่า ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.27

Search match

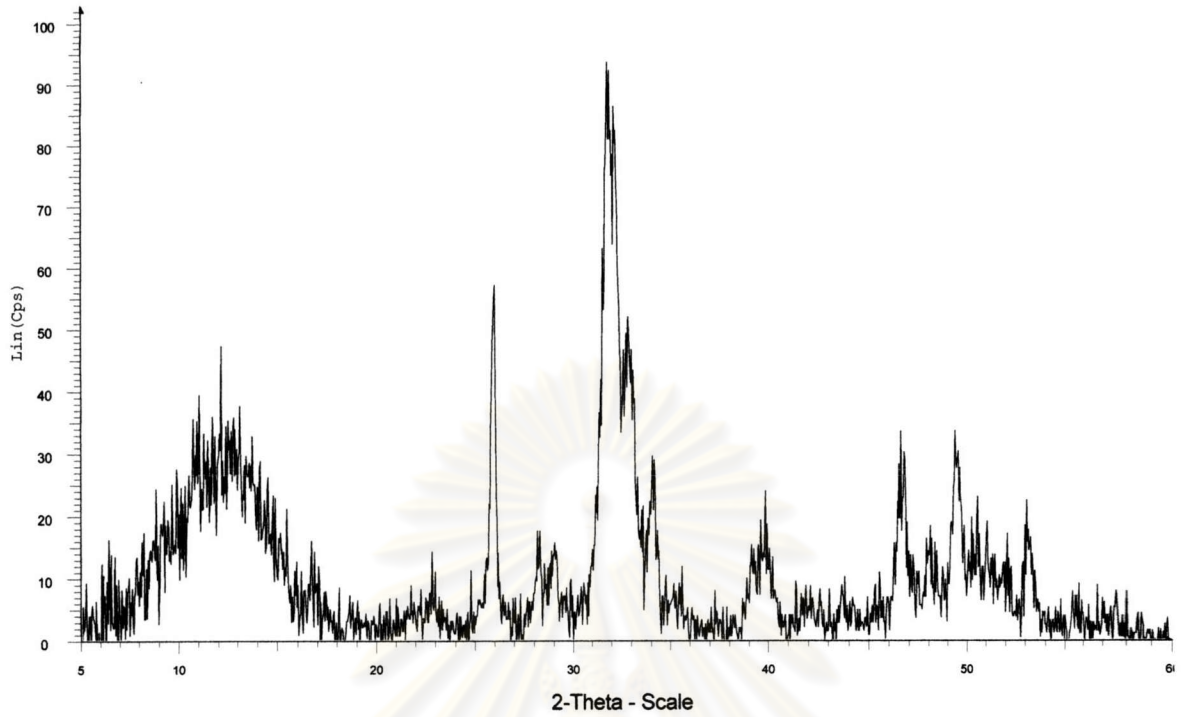
File name : B:470!
Sample name:



รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากการผลิตด้วยระบบปฏิบัติการควบคุม

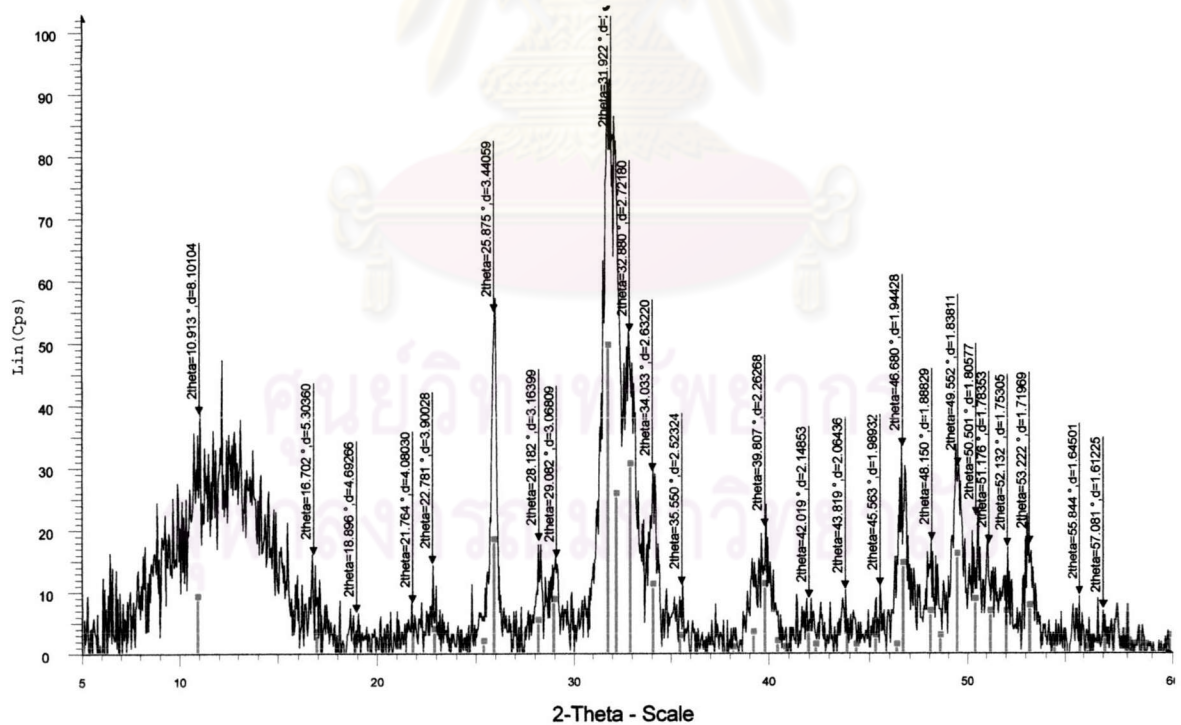


รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 1
 (ก) ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบปกติ
 (ข) ผลการวิเคราะห์เมื่อซ้อนกับยอดกราฟมาตรฐานอ้างอิงของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์



d:\vrd\No4.RAW - File: No4.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 60.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1.5 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5

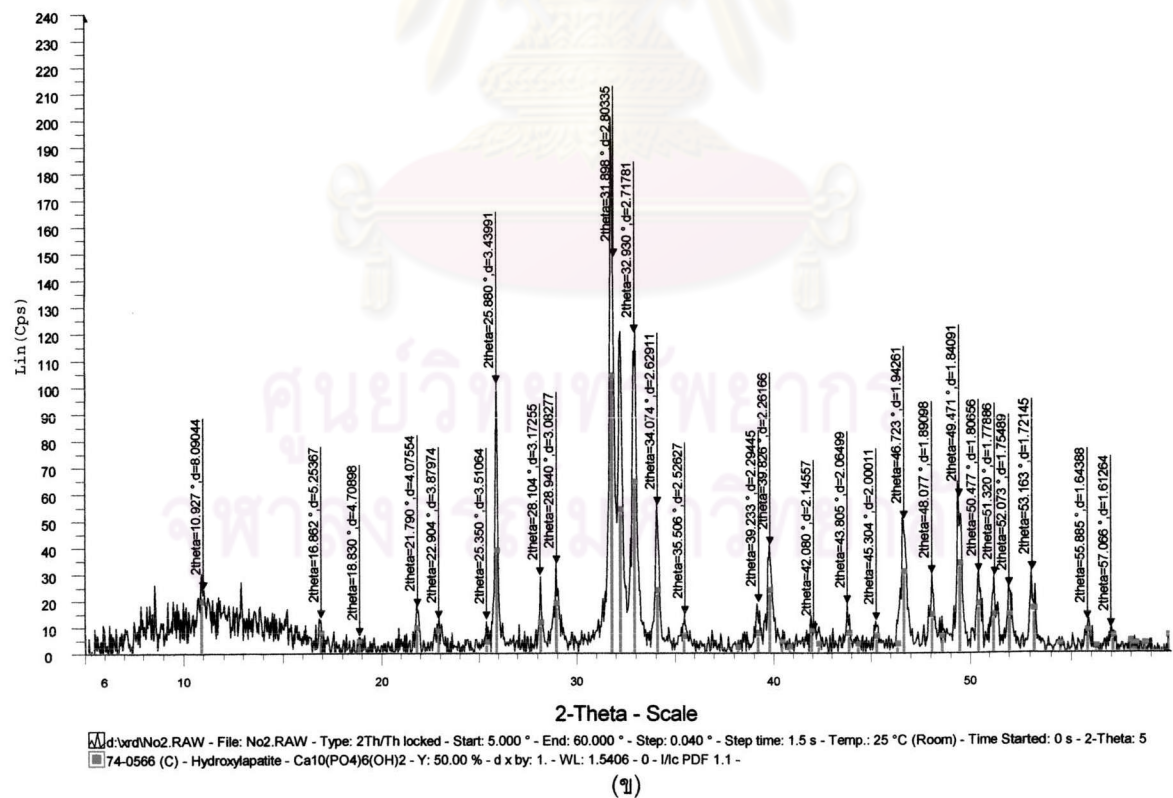
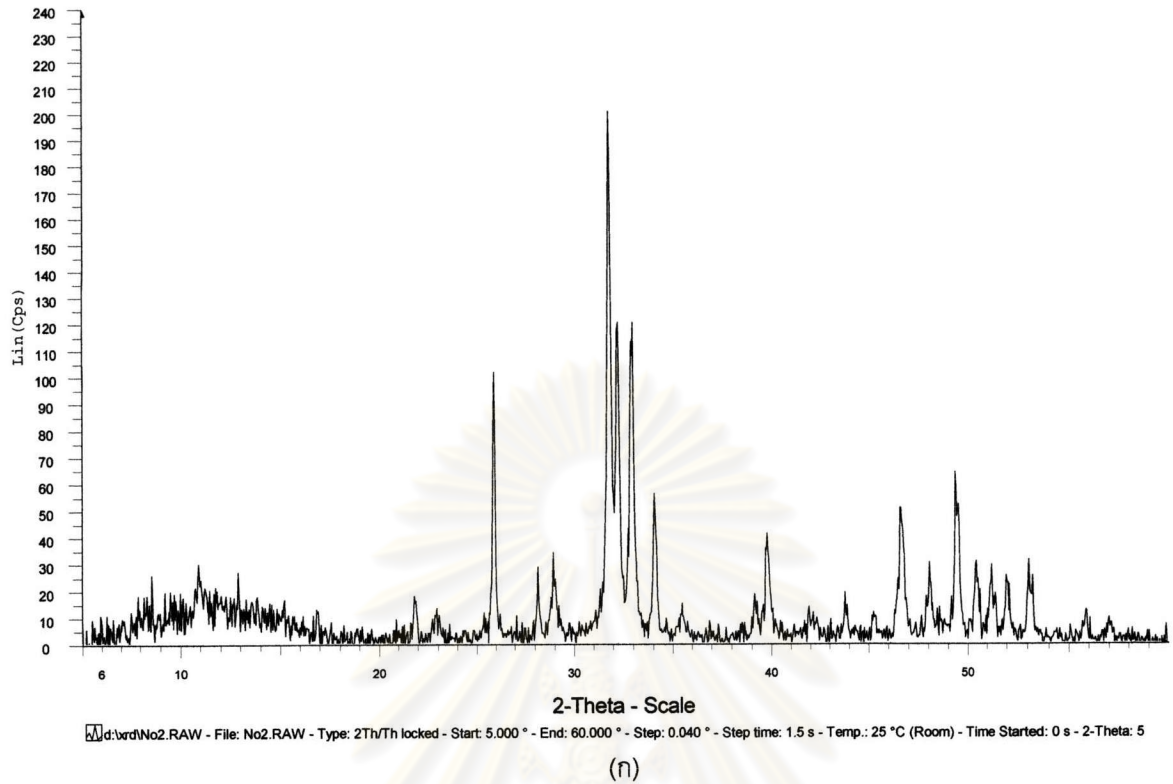
(ก)



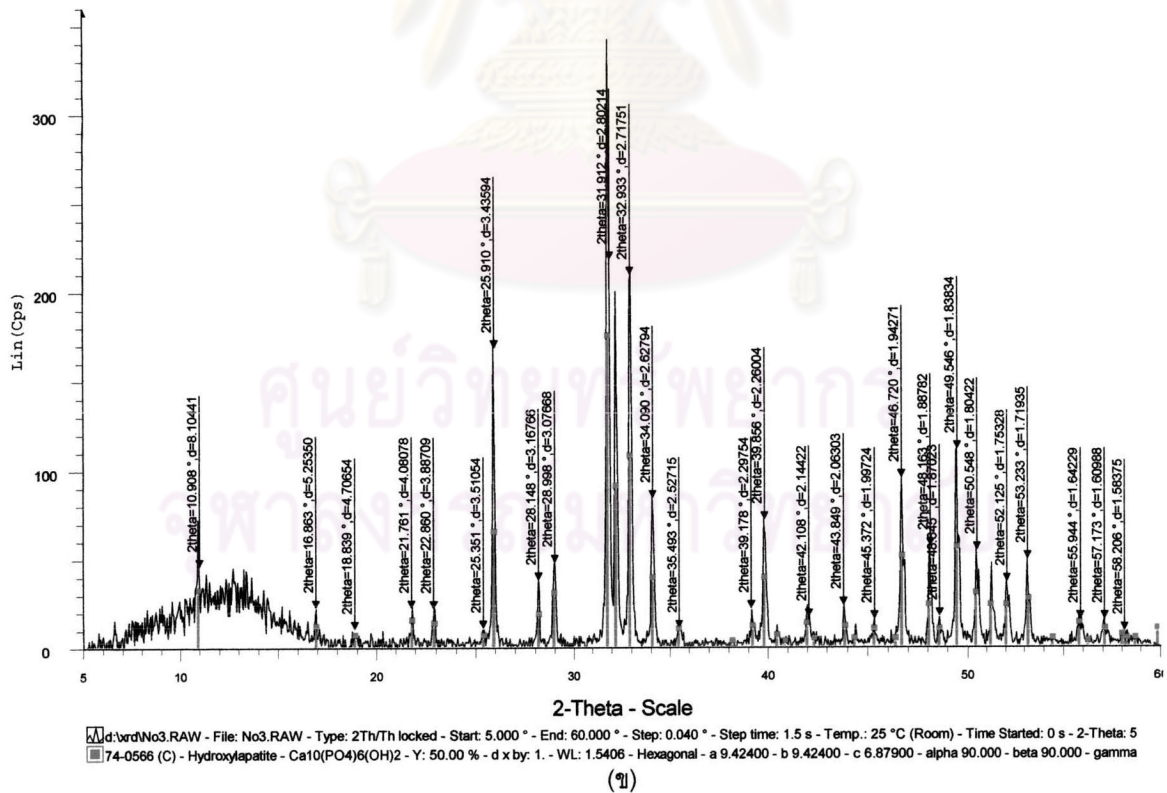
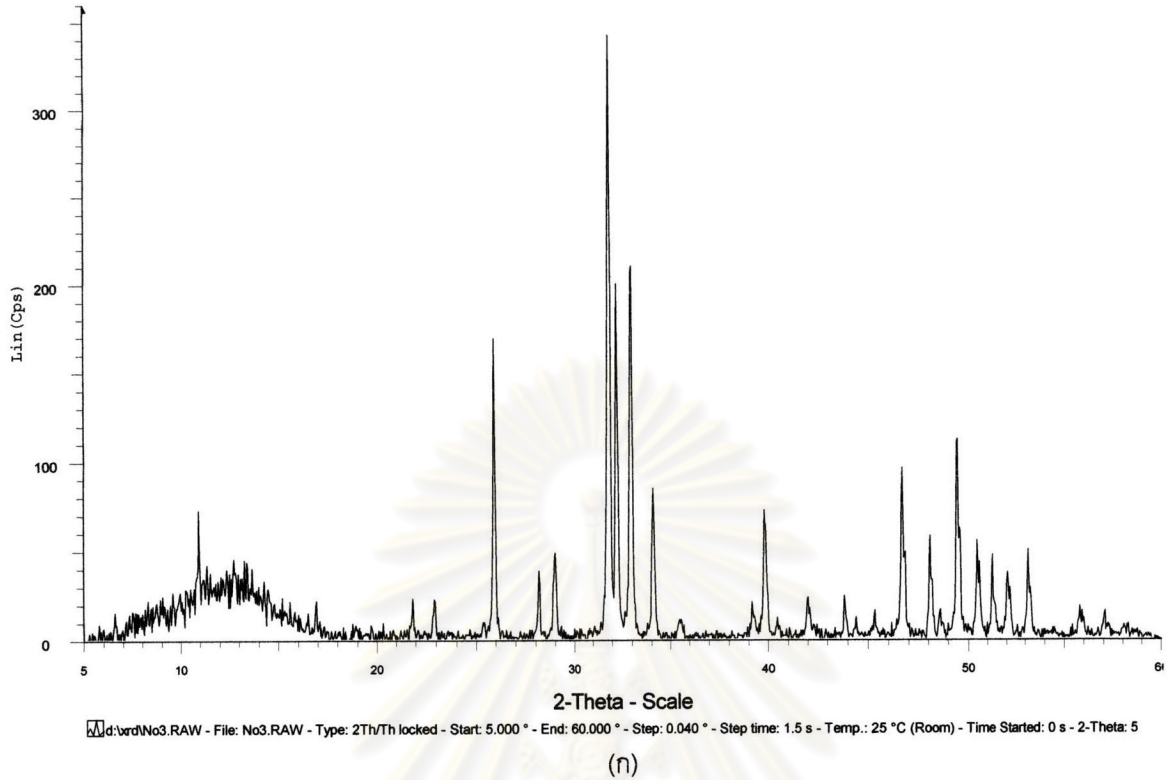
d:\vrd\No4.RAW - File: No4.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 60.000 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 1.5 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 5
 74-0586 (C) - Hydroxylapatite - Ca10(PO4)6(OH)2 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 9.42400 - b 9.42400 - c 6.87900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma

(ข)

รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2
 (ก) ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบปกติ
 (ข) ผลการวิเคราะห์ที่เมื่อซ้อนทับยอดกราฟมาตรฐานอ้างอิงของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์



- รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3
- (ก) ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบปกติ
- (ข) ผลการวิเคราะห์เมื่อซ้อนทับกับยอดกราฟมาตรฐานอ้างอิงของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

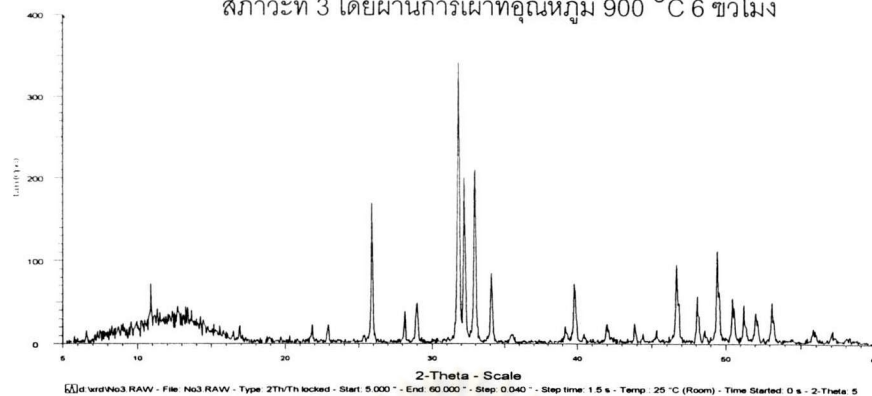


รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

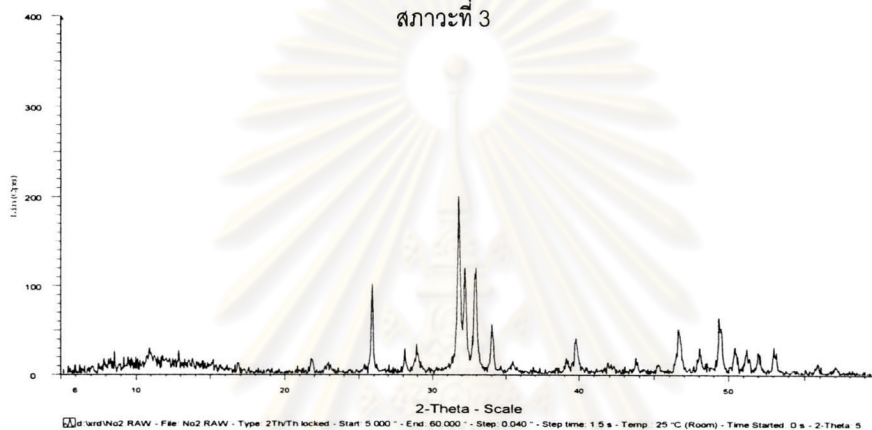
(ก) ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบปกติ

(ข) ผลการวิเคราะห์เมื่อซ้อนทับยอดกราฟมาตรฐานอ้างอิงของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

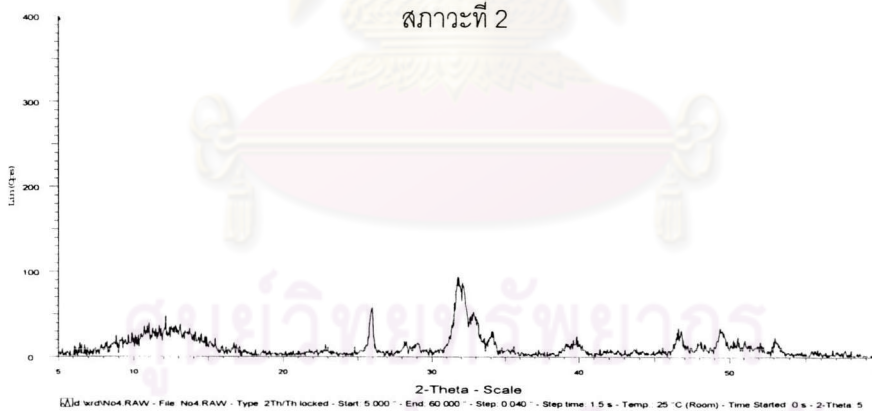
สภาวะที่ 3 โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C 6 ชั่วโมง



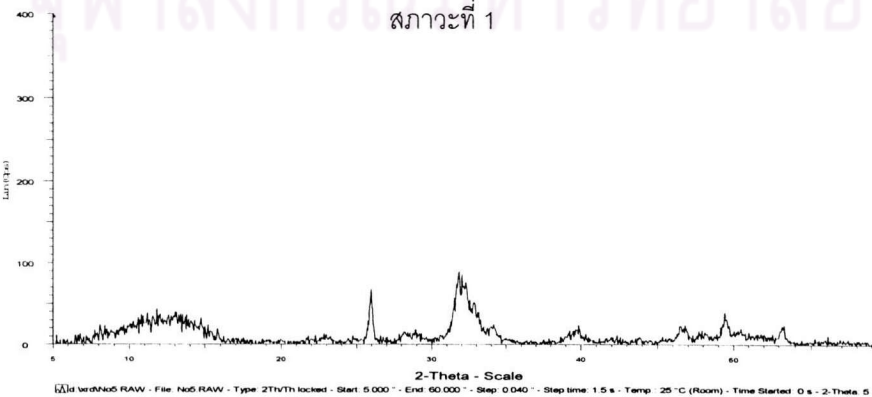
สภาวะที่ 3



สภาวะที่ 2



สภาวะที่ 1



รูปที่ 4.27

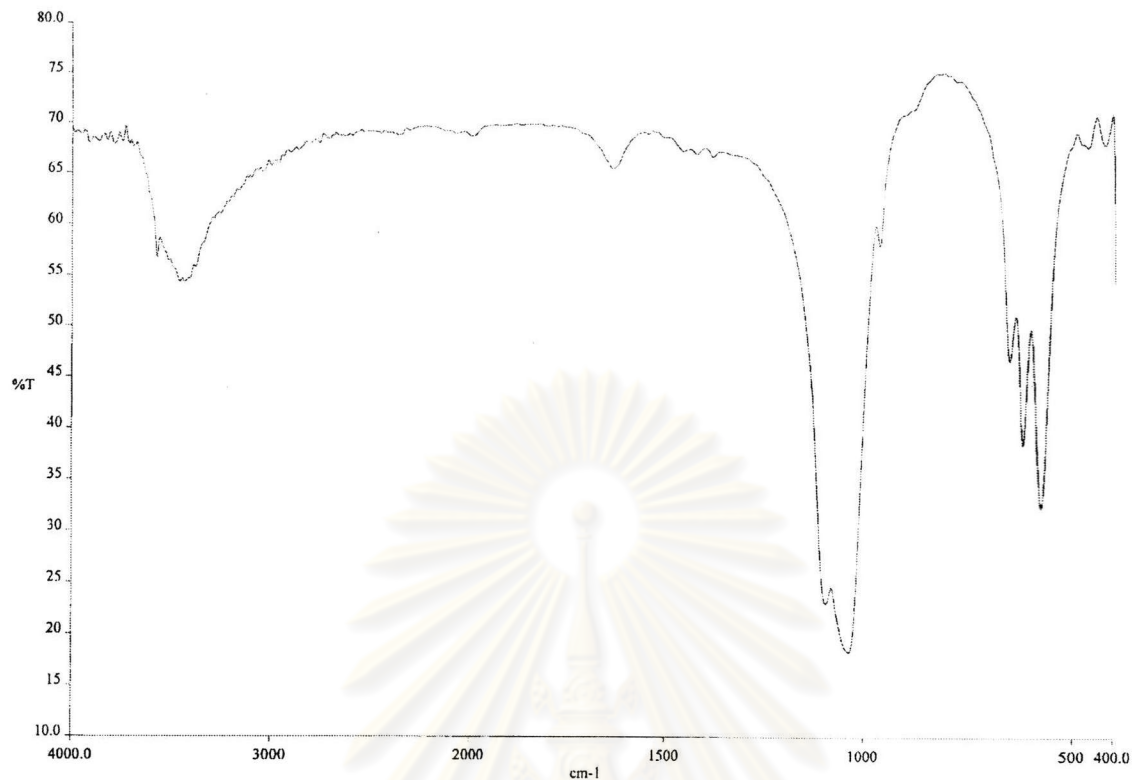
การเปรียบเทียบผลจากการทดสอบด้วยเครื่อง XRD ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งได้จากการผลิตโดยระบบอัตโนมัติที่สภาวะต่างๆ

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

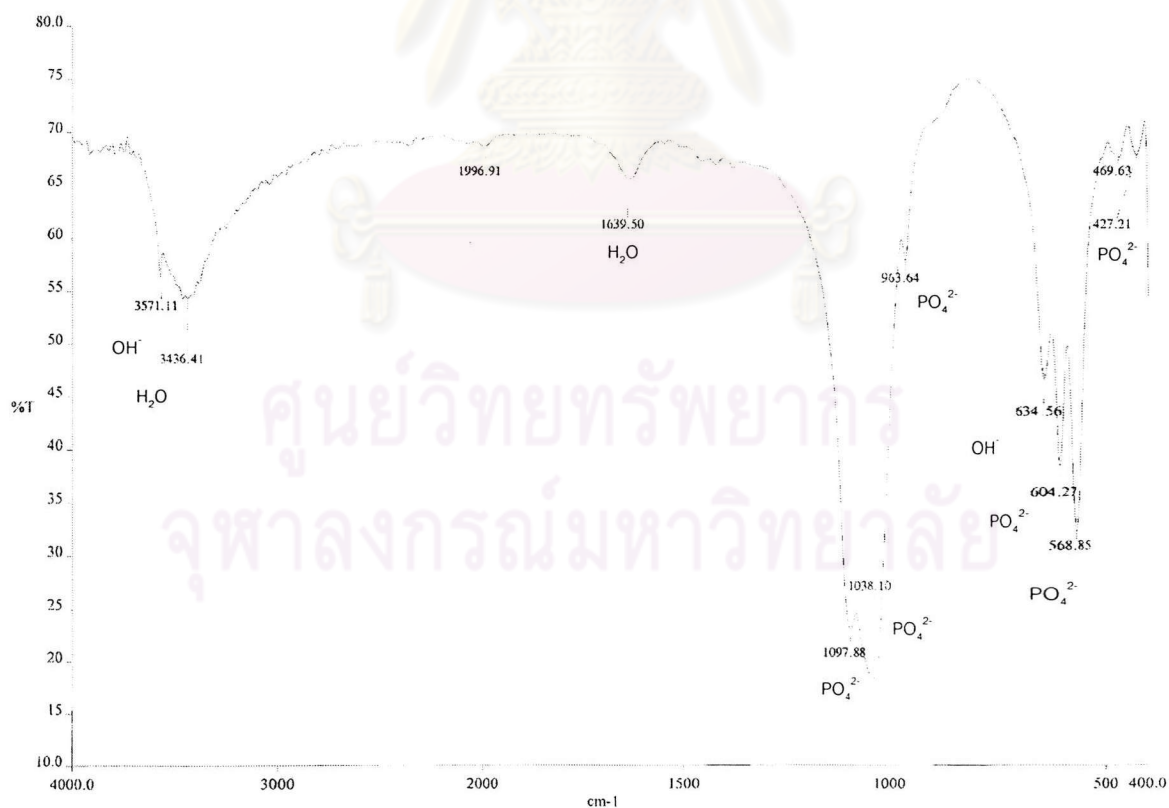
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR นั้นสามารถนำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้โดยการพิจารณาเลขคลื่นของยอดกราฟที่เกิดขึ้นในแต่ละยอด และนำไปตรวจสอบกับเลขคลื่นอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบว่าเลขคลื่นที่ปรากฏในผลการวิเคราะห์นั้นเป็นหมู่ฟังก์ชันใดบ้าง โดยพิจารณาผลที่ได้จาก FT-IR และการวิเคราะห์เลขคลื่นได้ ดังรูปที่ 4.28 – 4.32 ดังต่อไปนี้



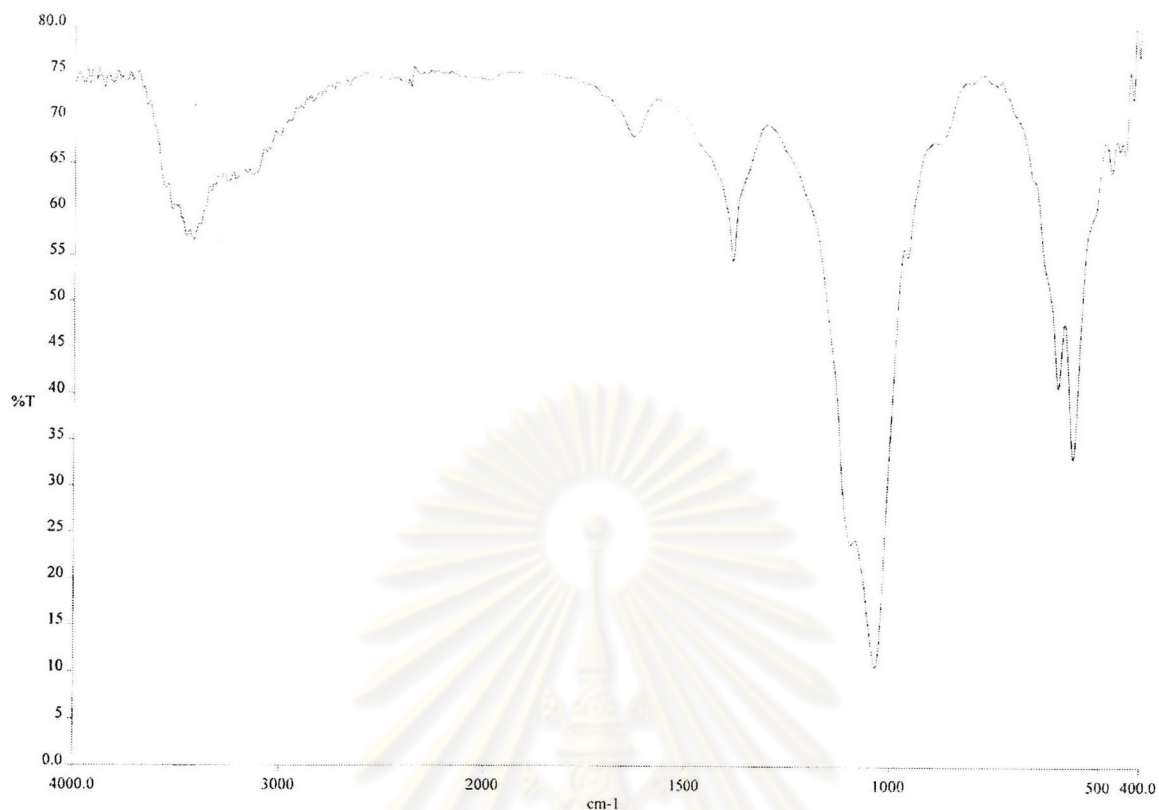
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



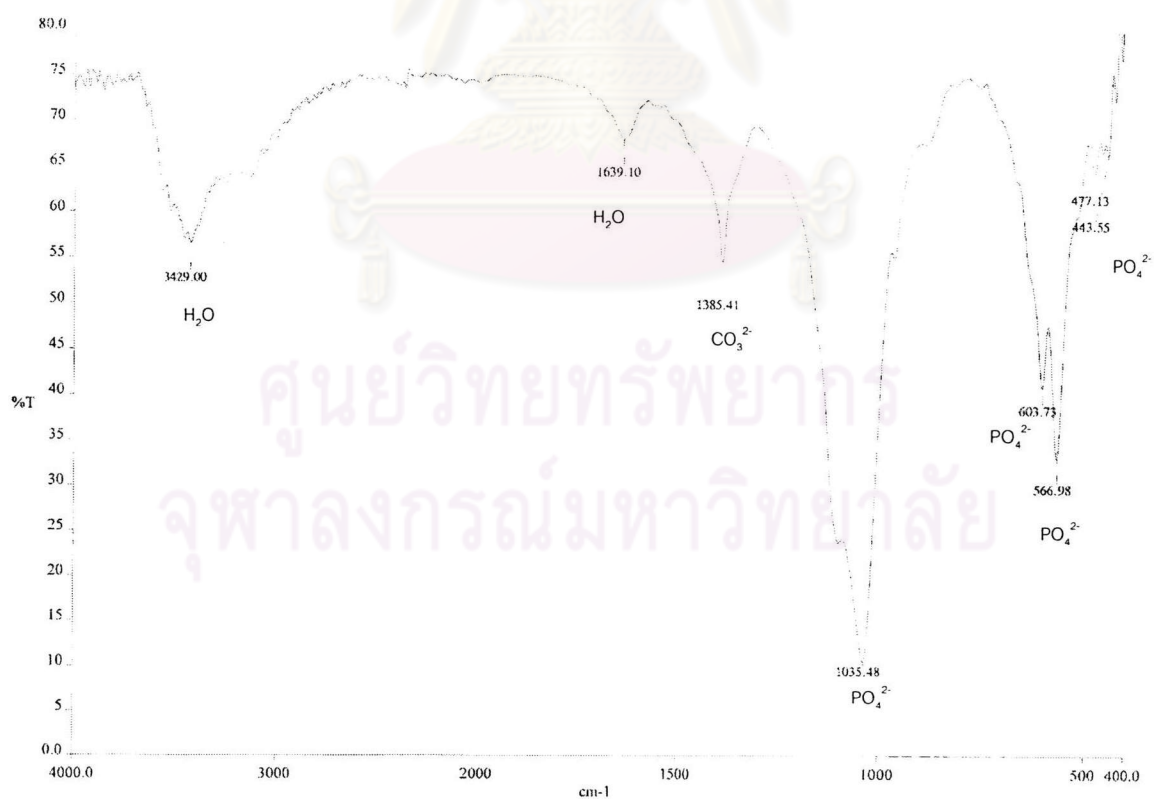
(ก) ผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือ FT-IR



(ข) ผลจากเครื่องมือ FT-IR ที่นำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันจากเลขคลื่นที่ยอดต่างๆ
รูปที่ 4.28 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR ของผงที่ได้จากการผลิตด้วยระบบผู้ปฏิบัติการ
ควบคุม

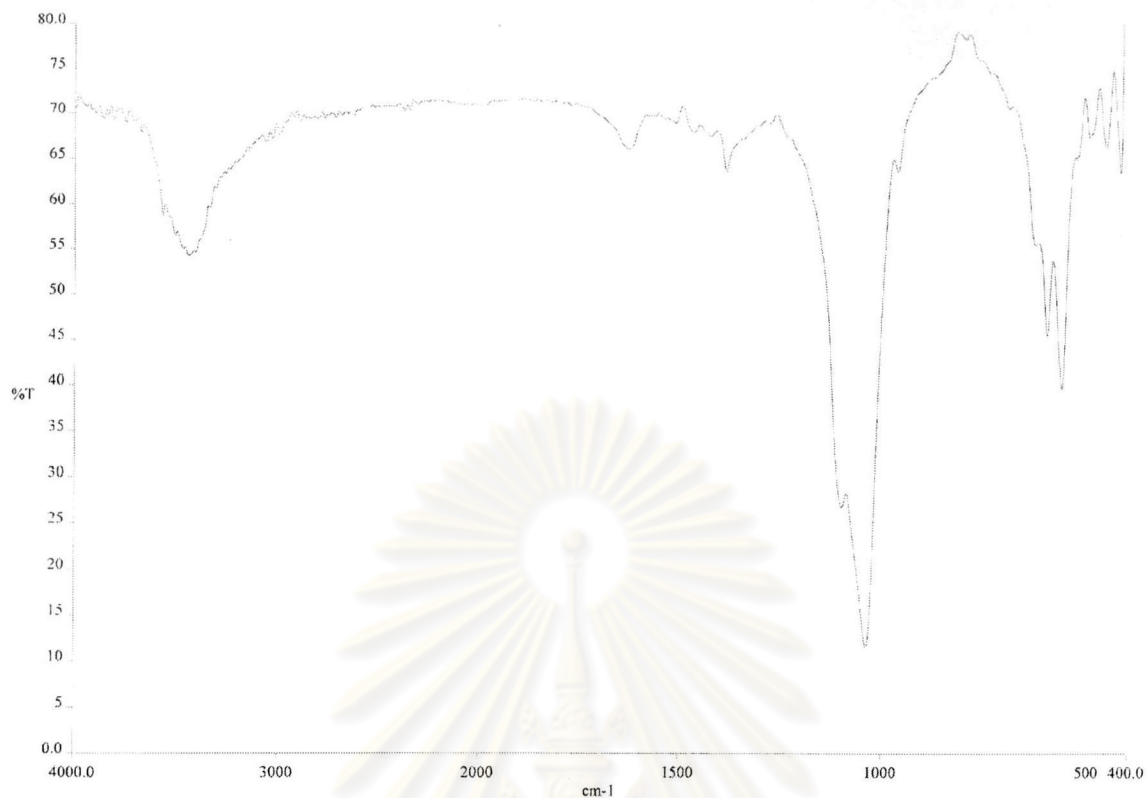


(ก) ผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือ FT-IR

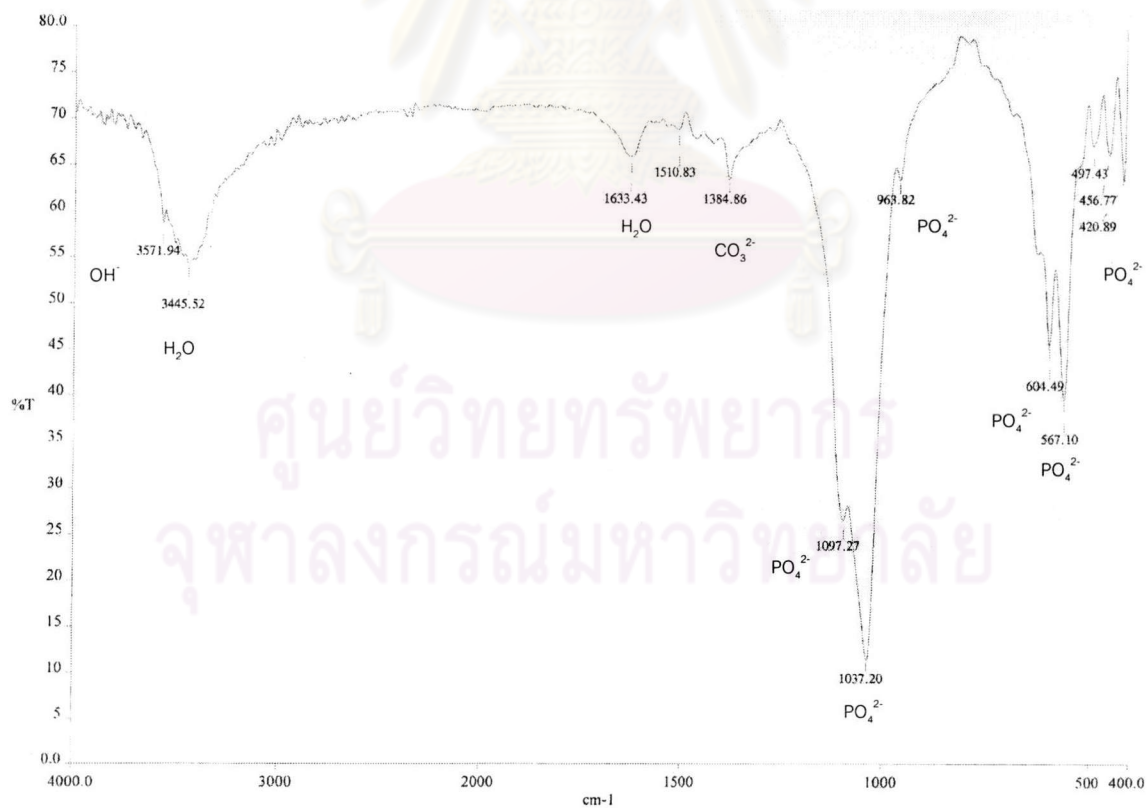


(ข) ผลจากเครื่องมือ FT-IR ที่นำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันจากเลขคลื่นที่ยอดต่างๆ

รูปที่ 4.29 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR ของผงที่ได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สถานะที่ 1

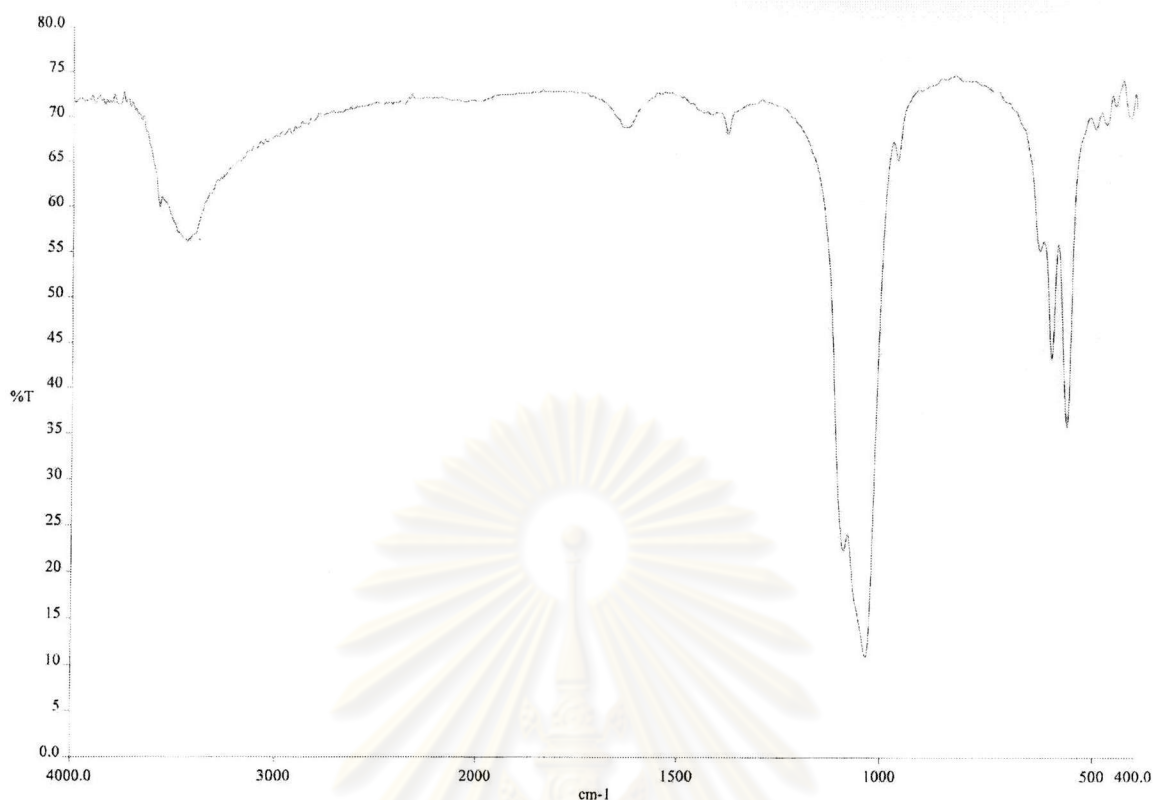


(ก) ผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือ FT-IR

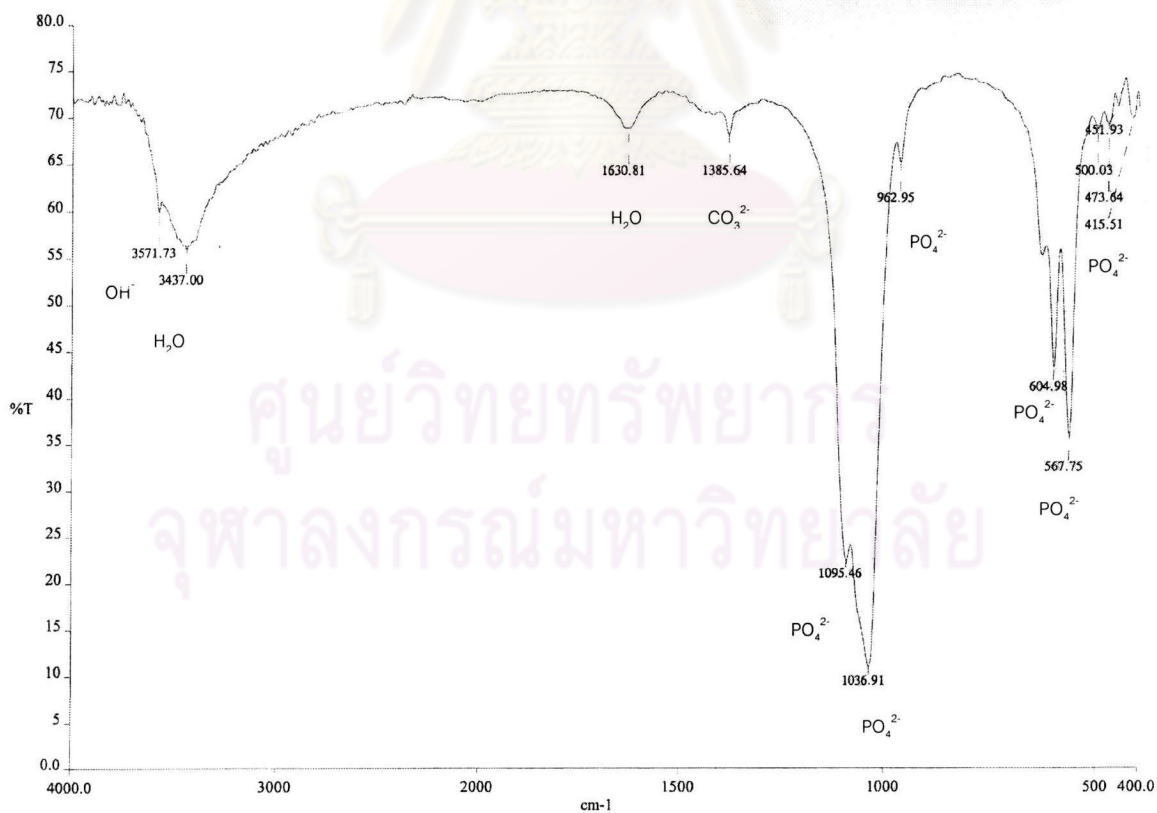


(ข) ผลจากเครื่องมือ FT-IR ที่นำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันจากเลขคลื่นที่ยอดต่างๆ

รูปที่ 4.30 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR ของผงที่ได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2

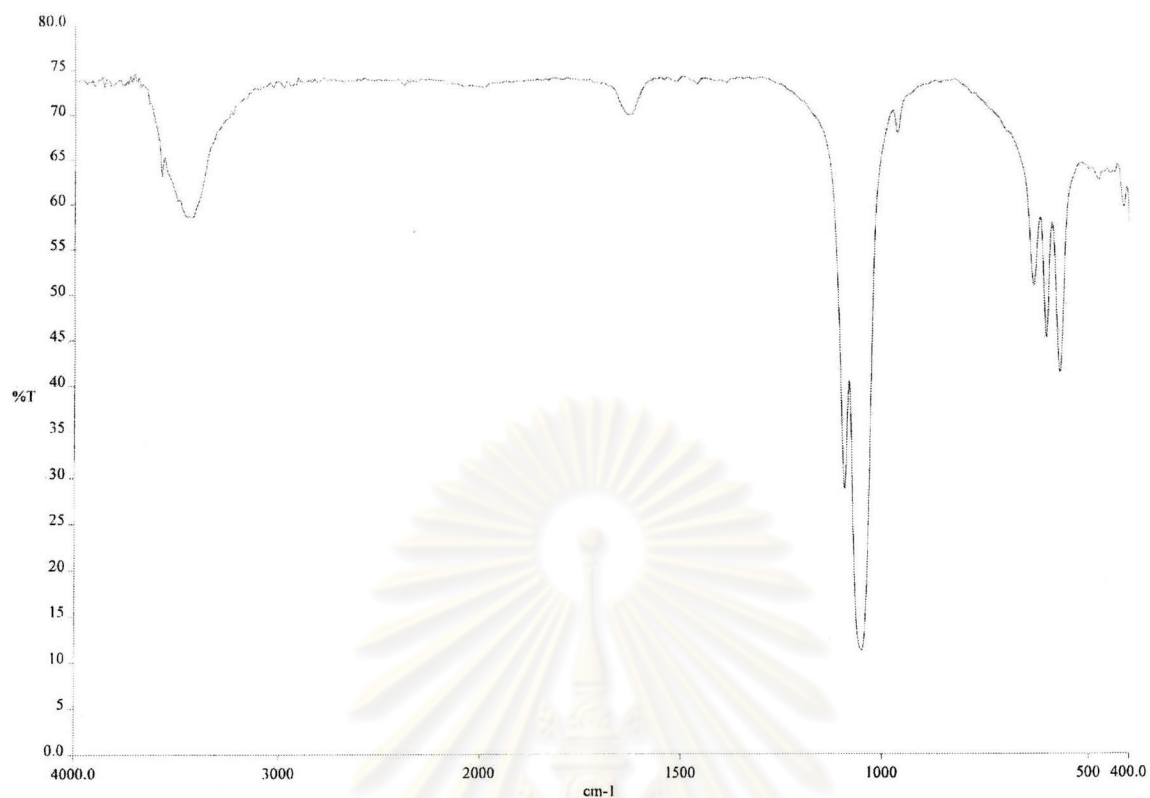


(ก) ผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือ FT-IR

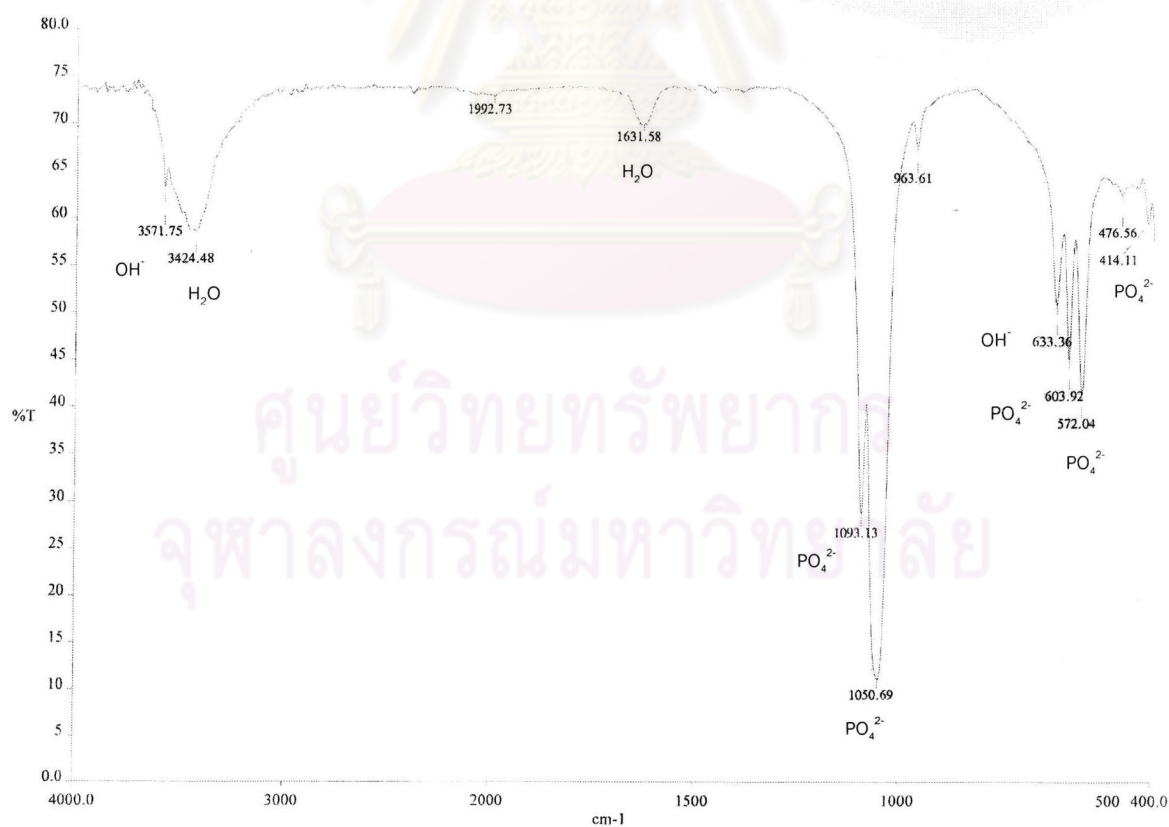


(ข) ผลจากเครื่องมือ FT-IR ที่นำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันจากเลขคลื่นที่ยึดต่างๆ

รูปที่ 4.31 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR ของผงที่ได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สถานะที่ 3



(ก) ผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือ FT-IR



(ข) ผลจากเครื่องมือ FT-IR ที่นำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันจากเลขคลื่นที่ขจัดต่างๆ

รูปที่ 4.32 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR ของผงที่ได้จากการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติ ที่สภาวะที่ 3 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.4 ผลการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

ผลของลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคนั้นสามารถแสดงได้อยู่ในรูปตารางแจกแจงความถี่ของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยแบ่งออกเป็นช่วงที่มีขนาดเล็ก ช่วงแต่ละช่วงของขนาดอนุภาคดังกล่าวจะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในระหว่างช่วงขนาดอนุภาคนั้นๆ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของขนาดผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากการผลิตทั้งระบบผู้ปฏิบัติการควบคุมและระบบอัตโนมัติในทุกๆ สภาวะ เลือกมาวิเคราะห์สภาวะละ 1 ตัวอย่าง โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงอยู่ในรูปที่ 4.33 – 4.37 และได้สรุปค่าที่สำคัญทางสถิติไว้ในตารางที่ 4.13



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

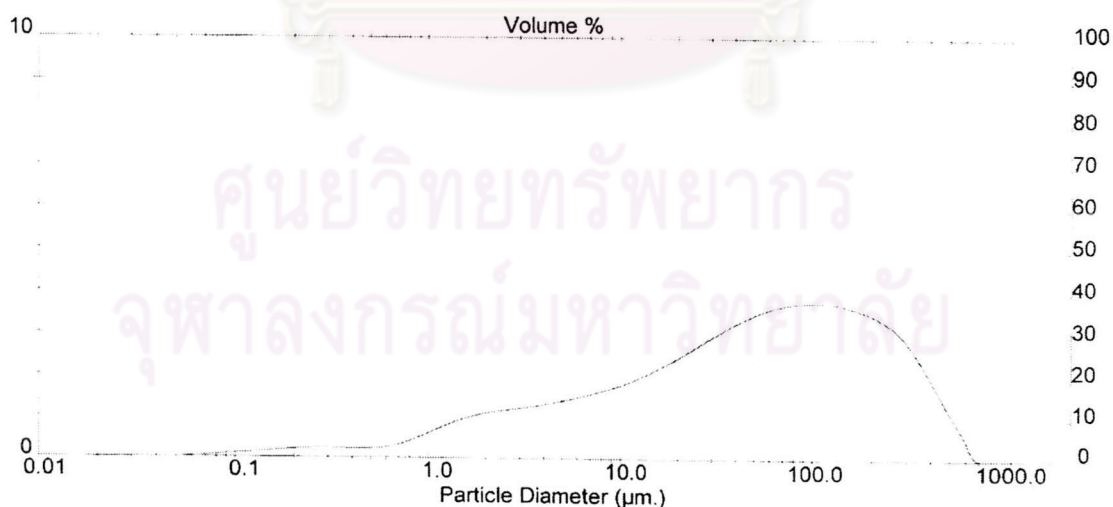
Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: APATITE	Run Number: 12	Measured: 3 Mar 2004 14:54PM
Sample File: SURAPREE	Record Number: 12	Analysed: 3 Mar 2004 14:54PM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : water Tested by Pranee Tethgatak		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 24.9 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.218 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0323 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.3838 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 2.58 um	D (v, 0.5) = 49.67 um	D (v, 0.9) = 269.67 um
D [4, 3] = 97.19 um	D [3, 2] = 4.34 um	Span = 5.377E+00	Uniformity = 1.627E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	1.58	7.72	19.86
0.06	0.04	0.07	0.06	7.72	1.67	9.00	21.53
0.07	0.06	0.08	0.12	9.00	1.76	10.48	23.29
0.08	0.08	0.09	0.20	10.48	1.88	12.21	25.17
0.09	0.10	0.11	0.30	12.21	2.01	14.22	27.18
0.11	0.12	0.13	0.43	14.22	2.16	16.57	29.34
0.13	0.15	0.15	0.58	16.57	2.32	19.31	31.66
0.15	0.17	0.17	0.75	19.31	2.50	22.49	34.16
0.17	0.20	0.20	0.95	22.49	2.68	26.20	36.84
0.20	0.22	0.23	1.17	26.20	2.87	30.53	39.71
0.23	0.24	0.27	1.41	30.53	3.05	35.56	42.75
0.27	0.25	0.31	1.66	35.56	3.22	41.43	45.97
0.31	0.24	0.36	1.90	41.43	3.38	48.27	49.35
0.36	0.23	0.42	2.13	48.27	3.51	56.23	52.86
0.42	0.23	0.49	2.36	56.23	3.62	65.51	56.48
0.49	0.24	0.58	2.60	65.51	3.70	76.32	60.18
0.58	0.28	0.67	2.88	76.32	3.75	88.91	63.93
0.67	0.35	0.78	3.23	88.91	3.77	103.58	67.70
0.78	0.47	0.91	3.70	103.58	3.76	120.67	71.46
0.91	0.60	1.06	4.29	120.67	3.75	140.58	75.21
1.06	0.73	1.24	5.03	140.58	3.67	163.77	78.88
1.24	0.86	1.44	5.89	163.77	3.57	190.80	82.45
1.44	0.98	1.68	6.87	190.80	3.45	222.28	85.90
1.68	1.06	1.95	7.93	222.28	3.27	258.95	89.17
1.95	1.13	2.28	9.05	258.95	3.00	301.68	92.18
2.28	1.17	2.65	10.23	301.68	2.63	351.46	94.80
2.65	1.21	3.09	11.44	351.46	2.14	409.45	96.94
3.09	1.25	3.60	12.69	409.45	1.58	477.01	98.51
3.60	1.30	4.19	13.99	477.01	1.02	555.71	99.53
4.19	1.36	4.88	15.35	555.71	0.47	647.41	100.00
4.88	1.43	5.69	16.78	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	1.50	6.63	18.28	754.23	0.00	878.67	100.00



รูปที่ 4.33 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบผู้ปฏิบัติการควบคุม

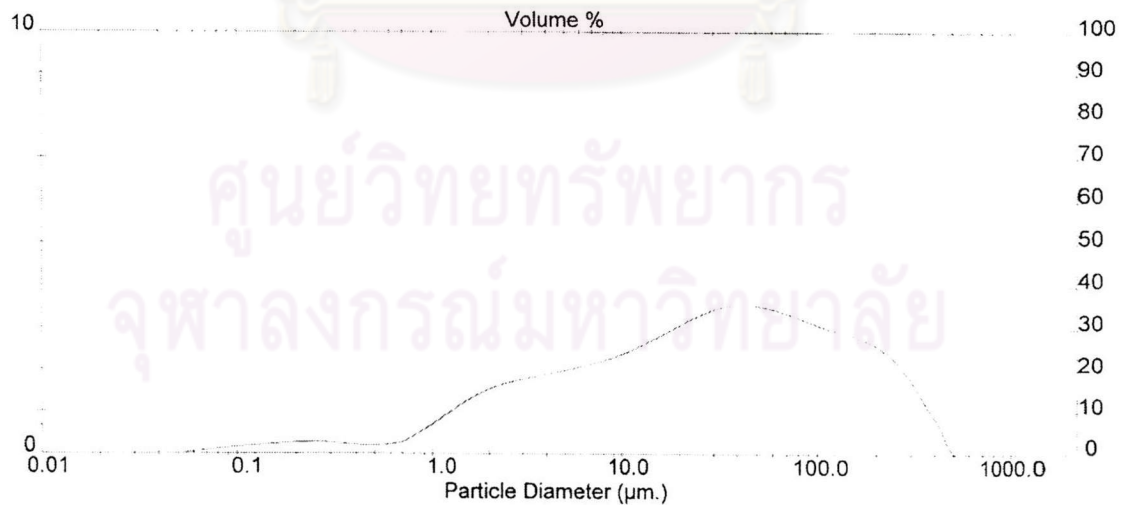
Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Hydroxyapatite/6	Run Number: 9	Measured: 23 Mar 2004 14:02PM
Sample File: SURAPREE	Record Number: 50	Analysed: 23 Mar 2004 14:02PM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : water Tested by Pranee Tethgatak		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 12.0 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.290 %
Analysis Model: Polydisperse	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
Modifications: Active --			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0116 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.7823 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 2.07 um	D (v, 0.5) = 28.60 um	D (v, 0.9) = 189.65 um
D [4, 3] = 64.88 um	D [3, 2] = 3.37 um	Span = 6.566E+00	Uniformity = 1.933E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.03	0.06	0.03	6.63	2.16	7.72	26.30
0.06	0.06	0.07	0.10	7.72	2.25	9.00	28.55
0.07	0.10	0.08	0.18	9.00	2.35	10.48	30.90
0.08	0.13	0.09	0.32	10.48	2.48	12.21	33.38
0.09	0.16	0.11	0.48	12.21	2.62	14.22	35.99
0.11	0.19	0.13	0.67	14.22	2.77	16.57	38.77
0.13	0.21	0.15	0.88	16.57	2.94	19.31	41.71
0.15	0.24	0.17	1.12	19.31	3.11	22.49	44.81
0.17	0.26	0.20	1.38	22.49	3.26	26.20	48.07
0.20	0.27	0.23	1.66	26.20	3.39	30.53	51.46
0.23	0.28	0.27	1.93	30.53	3.48	35.56	54.94
0.27	0.27	0.31	2.20	35.56	3.54	41.43	58.48
0.31	0.24	0.36	2.45	41.43	3.55	48.27	62.03
0.36	0.22	0.42	2.66	48.27	3.51	56.23	65.54
0.42	0.20	0.49	2.86	56.23	3.44	65.51	68.97
0.49	0.20	0.58	3.07	65.51	3.34	76.32	72.31
0.58	0.24	0.67	3.30	76.32	3.23	88.91	75.54
0.67	0.31	0.78	3.62	88.91	3.11	103.58	78.65
0.78	0.48	0.91	4.10	103.58	3.00	120.67	81.65
0.91	0.67	1.06	4.77	120.67	2.91	140.58	84.56
1.06	0.87	1.24	5.64	140.58	2.82	163.77	87.38
1.24	1.08	1.44	6.72	163.77	2.71	190.80	90.09
1.44	1.27	1.68	7.99	190.80	2.56	222.28	92.64
1.68	1.44	1.95	9.43	222.28	2.32	258.95	94.96
1.95	1.57	2.28	11.00	258.95	1.98	301.68	96.94
2.28	1.67	2.65	12.67	301.68	1.53	351.46	98.48
2.65	1.75	3.09	14.42	351.46	1.02	409.45	99.50
3.09	1.81	3.60	16.24	409.45	0.50	477.01	100.00
3.60	1.88	4.19	18.11	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.94	4.88	20.05	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.01	5.69	22.06	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.08	6.63	24.14	754.23	0.00	878.67	100.00



รูปที่ 4.34 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 1

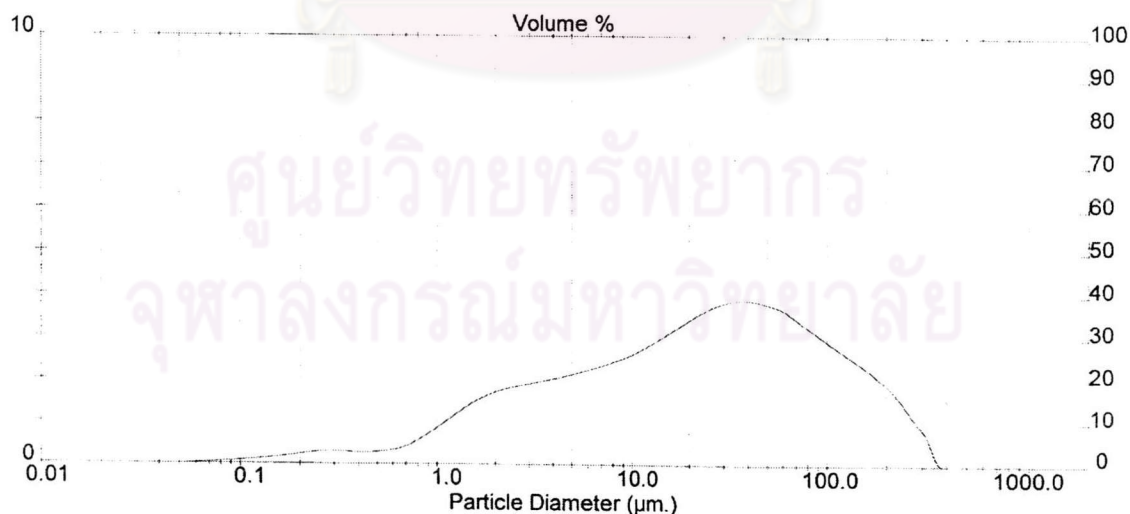
Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Hydroxyapatite/7	Run Number: 24	Measured: 23 Mar 2004 14:29PM
Sample File: SURAPREE	Record Number: 72	Analysed: 23 Mar 2004 14:29PM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : water Tested by Pranee Tethgatak		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 12.7 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.479 %
Analysis Model: Polydisperse	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
Modifications: Active -			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0110 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.6513 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.85 um	D (v, 0.5) = 23.17 um	D (v, 0.9) = 134.98 um
D [4, 3] = 48.08 um	D [3, 2] = 3.63 um	Span = 5.747E+00	Uniformity = 1.731E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	2.35	7.72	28.86
0.06	0.03	0.07	0.05	7.72	2.45	9.00	31.31
0.07	0.05	0.08	0.10	9.00	2.58	10.48	33.89
0.08	0.07	0.09	0.17	10.48	2.72	12.21	36.61
0.09	0.09	0.11	0.26	12.21	2.89	14.22	39.50
0.11	0.11	0.13	0.37	14.22	3.07	16.57	42.58
0.13	0.14	0.15	0.51	16.57	3.27	19.31	45.85
0.15	0.17	0.17	0.68	19.31	3.46	22.49	49.31
0.17	0.21	0.20	0.89	22.49	3.63	26.20	52.94
0.20	0.25	0.23	1.15	26.20	3.77	30.53	56.71
0.23	0.29	0.27	1.43	30.53	3.86	35.56	60.57
0.27	0.30	0.31	1.74	35.56	3.88	41.43	64.45
0.31	0.30	0.36	2.03	41.43	3.85	48.27	68.30
0.36	0.28	0.42	2.31	48.27	3.76	56.23	72.06
0.42	0.28	0.49	2.59	56.23	3.65	65.51	75.71
0.49	0.30	0.58	2.89	65.51	3.43	76.32	79.14
0.58	0.35	0.67	3.25	76.32	3.21	88.91	82.35
0.67	0.45	0.78	3.70	88.91	2.98	103.58	85.34
0.78	0.63	0.91	4.33	103.58	2.77	120.67	88.10
0.91	0.84	1.06	5.17	120.67	2.56	140.58	90.66
1.06	1.05	1.24	6.22	140.58	2.34	163.77	93.00
1.24	1.27	1.44	7.49	163.77	2.11	190.80	95.11
1.44	1.47	1.68	8.96	190.80	1.83	222.28	96.93
1.68	1.63	1.95	10.59	222.28	1.47	258.95	98.40
1.95	1.75	2.28	12.34	258.95	1.02	301.68	99.43
2.28	1.83	2.65	14.16	301.68	0.57	351.46	100.00
2.65	1.89	3.09	16.05	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.95	3.60	18.00	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	2.01	4.19	20.01	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.08	4.88	22.09	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.16	5.69	24.26	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.25	6.63	26.51	754.23	0.00	878.67	100.00



รูปที่ 4.35 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2

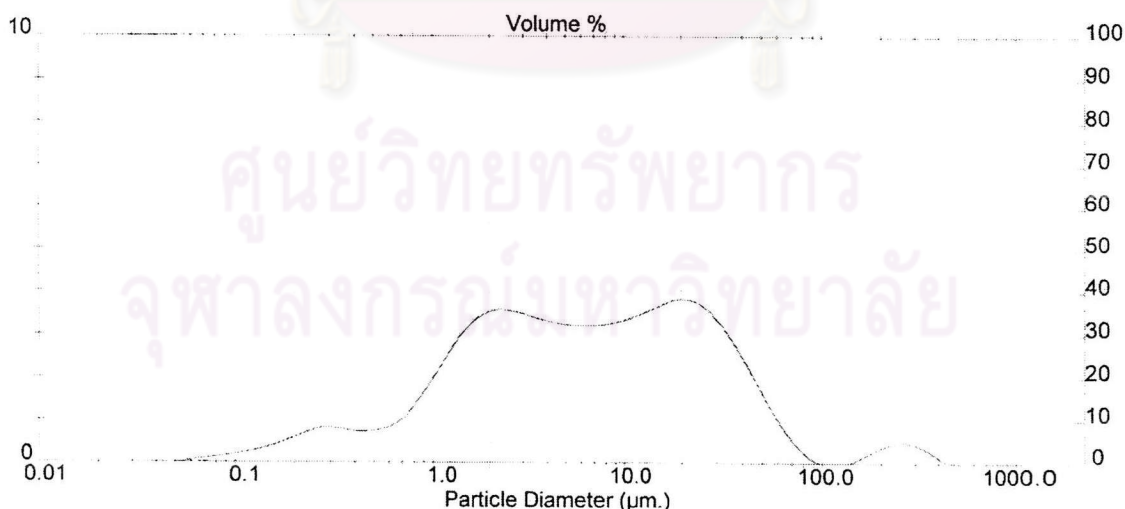
Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: Hydroxyapatite/8	Run Number: 17	Measured: 23 Mar 2004 14:49PM
Sample File: SURAPREE	Record Number: 11	Analysed: 23 Mar 2004 14:49PM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : water Tested by Pranee Tethgatuk		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 24.9 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.230 %
Analysis Model: Polydisperse	Killed Data Channels: Low 0; High 2		
Modifications: Active -			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0121 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 3.5397 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.85 um	D (v, 0.5) = 6.19 um	D (v, 0.9) = 36.11 um
D [4, 3] = 17.92 um	D [3, 2] = 1.70 um	Span = 5.695E+00	Uniformity = 2.516E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.03	0.06	0.03	6.63	3.20	7.72	54.62
0.06	0.07	0.07	0.10	7.72	3.24	9.00	57.86
0.07	0.11	0.08	0.21	9.00	3.31	10.48	61.17
0.08	0.15	0.09	0.38	10.48	3.41	12.21	64.58
0.09	0.20	0.11	0.56	12.21	3.53	14.22	68.11
0.11	0.26	0.13	0.81	14.22	3.66	16.57	71.76
0.13	0.33	0.15	1.14	16.57	3.79	19.31	75.56
0.15	0.41	0.17	1.55	19.31	3.82	22.49	79.38
0.17	0.53	0.20	2.08	22.49	3.73	26.20	83.10
0.20	0.65	0.23	2.73	26.20	3.49	30.53	86.60
0.23	0.77	0.27	3.50	30.53	3.12	35.56	89.71
0.27	0.82	0.31	4.32	35.56	2.63	41.43	92.34
0.31	0.80	0.36	5.12	41.43	2.07	48.27	94.42
0.36	0.74	0.42	5.86	48.27	1.50	56.23	95.92
0.42	0.73	0.49	6.58	56.23	0.97	65.51	96.89
0.49	0.77	0.58	7.36	65.51	0.53	76.32	97.42
0.58	0.86	0.67	8.22	76.32	0.21	88.91	97.62
0.67	1.07	0.78	9.29	88.91	0.02	103.58	97.64
0.78	1.47	0.91	10.76	103.58	0.00	120.67	97.64
0.91	1.90	1.06	12.66	120.67	0.00	140.58	97.64
1.06	2.36	1.24	15.02	140.58	0.10	163.77	97.75
1.24	2.82	1.44	17.84	163.77	0.25	190.80	98.00
1.44	3.19	1.68	21.02	190.80	0.40	222.28	98.40
1.68	3.42	1.95	24.45	222.28	0.48	258.95	98.88
1.95	3.55	2.28	28.00	258.95	0.48	301.68	99.37
2.28	3.55	2.65	31.55	301.68	0.38	351.46	99.75
2.65	3.50	3.09	35.04	351.46	0.21	409.45	99.96
3.09	3.41	3.60	38.45	409.45	0.04	477.01	100.00
3.60	3.32	4.19	41.77	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.25	4.88	45.02	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	3.21	5.69	48.23	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	3.19	6.63	51.42	754.23	0.00	878.67	100.00



รูปที่ 4.36 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3

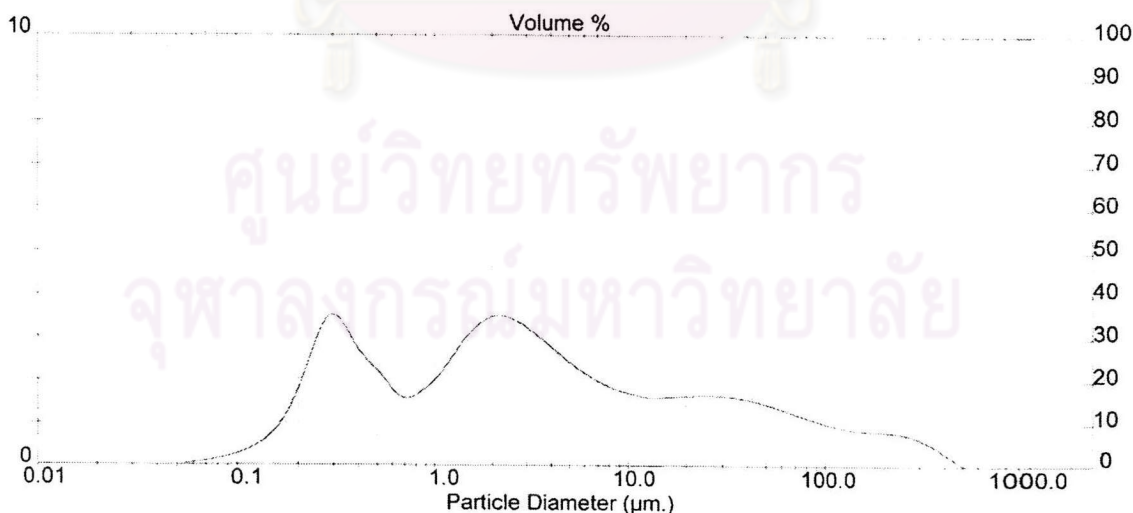
Analysis Result

Sample Details		
Sample ID: sin hydroxyapatite/8	Run Number: 6	Measured: 23 Mar 2004 15:03PM
Sample File: SURAPREE	Record Number: 31	Analysed: 23 Mar 2004 15:03PM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium : water Tested by Pranee Tethgatuk		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS17	Obscuration: 29.0 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.239 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0; High 2		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0103 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 6.9411 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.28 um	D (v, 0.5) = 2.80 um	D (v, 0.9) = 68.14 um
D [4, 3] = 24.54 um	D [3, 2] = 0.86 um	Span = 2.422E+01	Uniformity = 8.405E+00

Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	In %	Size_High (um)	Under%
0.05	0.04	0.06	0.04	6.83	1.97	7.72	67.10
0.06	0.08	0.07	0.11	7.72	1.83	9.00	68.93
0.07	0.12	0.08	0.24	9.00	1.73	10.48	70.66
0.08	0.19	0.09	0.42	10.48	1.66	12.21	72.32
0.09	0.27	0.11	0.70	12.21	1.61	14.22	73.93
0.11	0.40	0.13	1.09	14.22	1.62	16.57	75.54
0.13	0.59	0.15	1.68	16.57	1.64	19.31	77.18
0.15	0.89	0.17	2.57	19.31	1.65	22.49	78.83
0.17	1.39	0.20	3.96	22.49	1.66	26.20	80.49
0.20	2.13	0.23	6.10	26.20	1.66	30.53	82.15
0.23	2.99	0.27	9.09	30.53	1.63	35.56	83.78
0.27	3.50	0.31	12.59	35.56	1.59	41.43	85.37
0.31	3.31	0.36	15.90	41.43	1.52	48.27	86.90
0.36	2.79	0.42	18.70	48.27	1.44	56.23	88.33
0.42	2.41	0.49	21.11	56.23	1.34	65.51	89.67
0.49	2.11	0.58	23.22	65.51	1.23	76.32	90.90
0.58	1.73	0.67	24.95	76.32	1.13	88.91	92.03
0.67	1.58	0.78	26.53	88.91	1.03	103.58	93.06
0.78	1.72	0.91	28.25	103.58	0.95	120.67	94.01
0.91	1.97	1.06	30.22	120.67	0.89	140.58	94.90
1.06	2.32	1.24	32.55	140.58	0.85	163.77	95.75
1.24	2.76	1.44	35.30	163.77	0.82	190.80	96.57
1.44	3.13	1.68	38.44	190.80	0.81	222.28	97.38
1.68	3.38	1.95	41.82	222.28	0.78	258.95	98.16
1.95	3.51	2.28	45.33	258.95	0.70	301.68	98.86
2.28	3.45	2.65	48.78	301.68	0.57	351.46	99.42
2.65	3.31	3.09	52.09	351.46	0.38	409.45	99.80
3.09	3.08	3.60	55.17	409.45	0.20	477.01	100.00
3.60	2.84	4.19	58.02	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	2.60	4.88	60.61	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.36	5.69	62.97	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.15	6.63	65.12	754.23	0.00	878.67	100.00



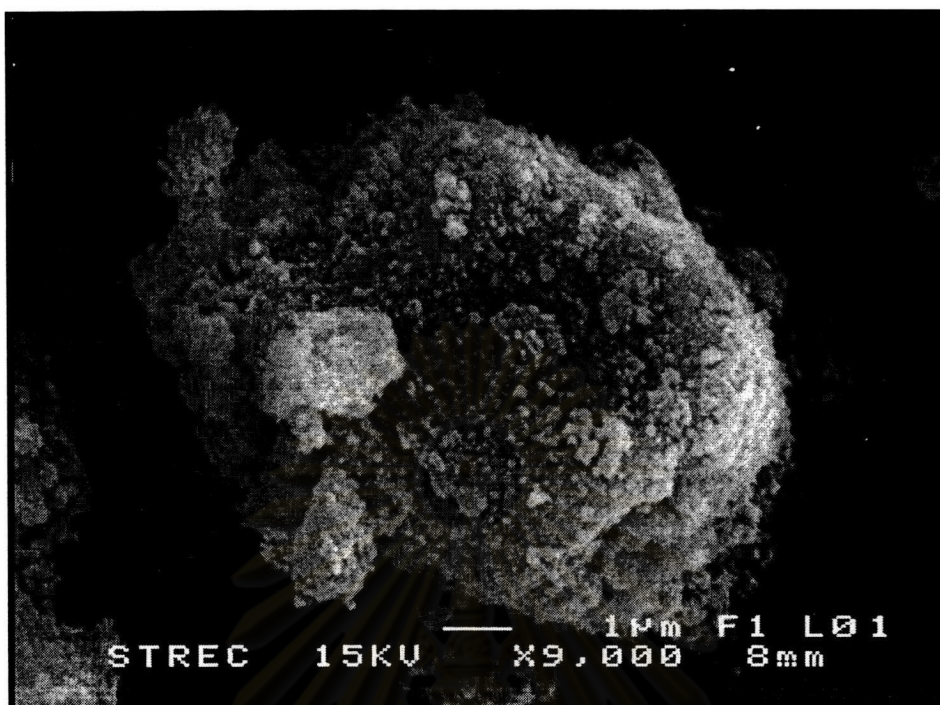
รูปที่ 4.37 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.13 สรุปค่าทางสถิติที่สำคัญของข้อมูลในการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

Condition	Mean (D[4, 3]) (μm)	Median (D(v, 0.5)) (μm)	Percentile 10 (D(v, 0.1)) (μm)	Percentile 90 (D(v,0.9)) (μm)	Span [(D(v,0.1)- D(V(0.9))/ D(V,0.5)]
Manual	97.19	49.67	2.58	269.67	5.377E+00
Automation 1	64.88	28.60	2.07	189.85	6.566E+00
Automation 2	48.08	23.17	1.85	134.98	5.747E+00
Automation 3	17.92	6.19	0.85	36.11	5.695E+00
Automation 3 (sintered)	24.54	2.80	0.28	68.14	2.422E+01

4.5 ผลการศึกษาลักษณะรูปทรง

การศึกษาลักษณะรูปทรงทำได้โดยการพิจารณาจากรูปถ่ายที่ได้จากเครื่องมือ SEM ดังรูปที่ 4.38 – 4.42 เกี่ยวกับลักษณะโดยรวมของผงอนุภาคและลักษณะพื้นผิวของผงอนุภาคทั้งที่ผลิตได้จากระบบปฏิบัติการควบคุมและระบบอัตโนมัติในทุกๆ สภาวะการผลิต โดยเลือกมาทำการวิเคราะห์สภาวะละ 1 ตัวอย่าง



(ก)

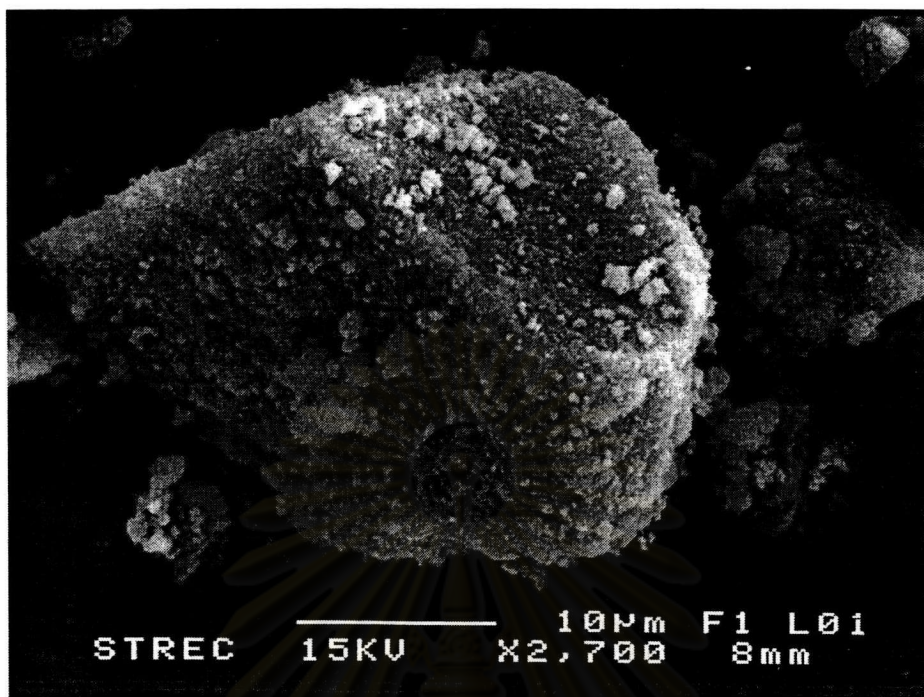


(ข)

รูปที่ 4.38 รูปถ่ายของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบผู้ปฏิบัติการควบคุม

(ก) ลักษณะโดยรวมของผงอนุภาค

(ข) ลักษณะพื้นผิวของผงอนุภาค



(ก)

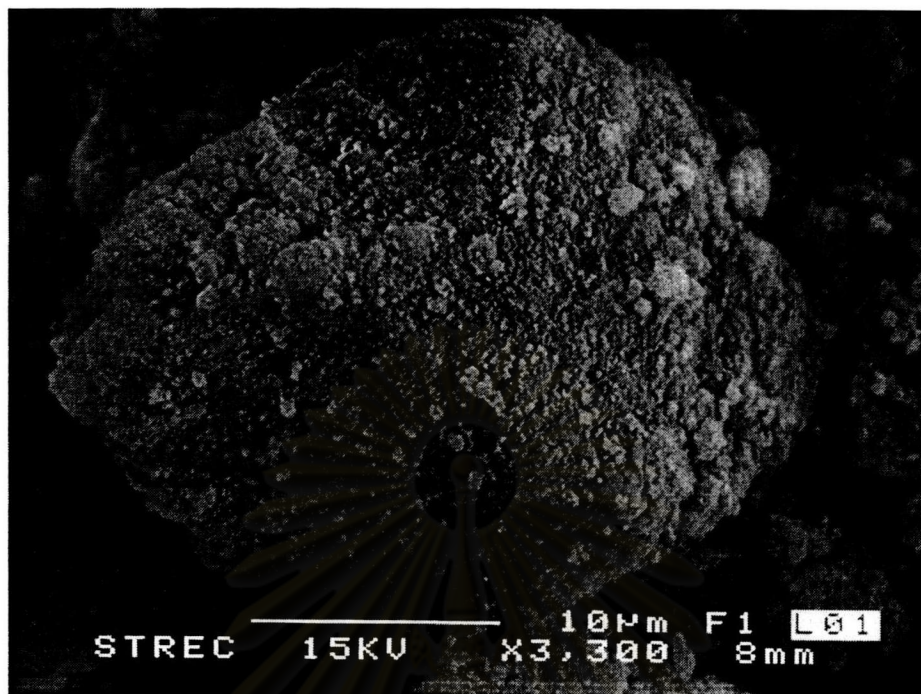


(ข)

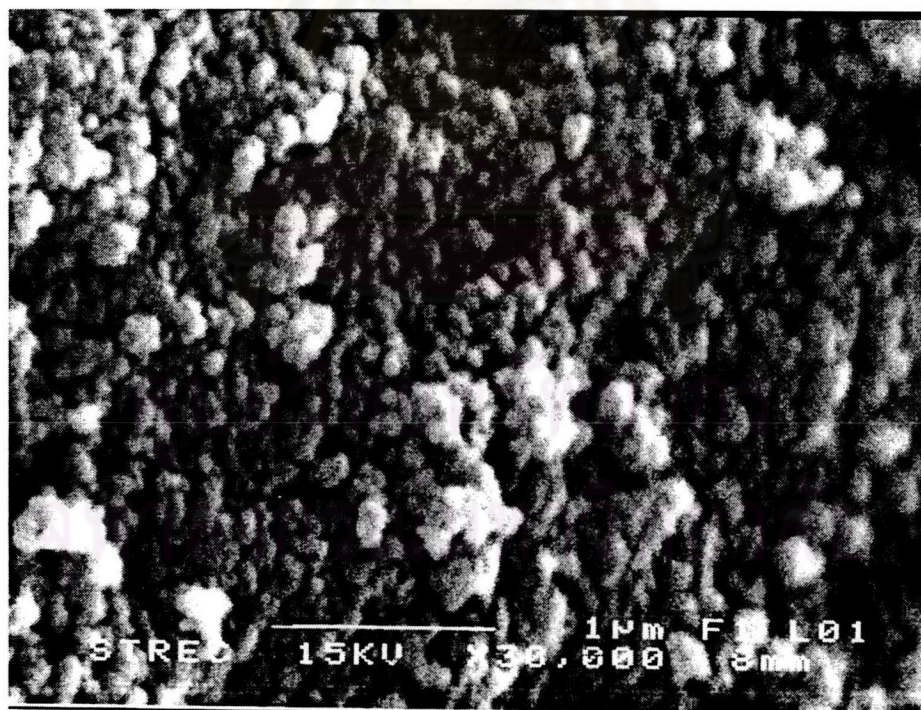
รูปที่ 4.39 รูปถ่ายของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 1

(ก) ลักษณะโดยรวมของผงอนุภาค

(ข) ลักษณะพื้นผิวของผงอนุภาค



(ก)

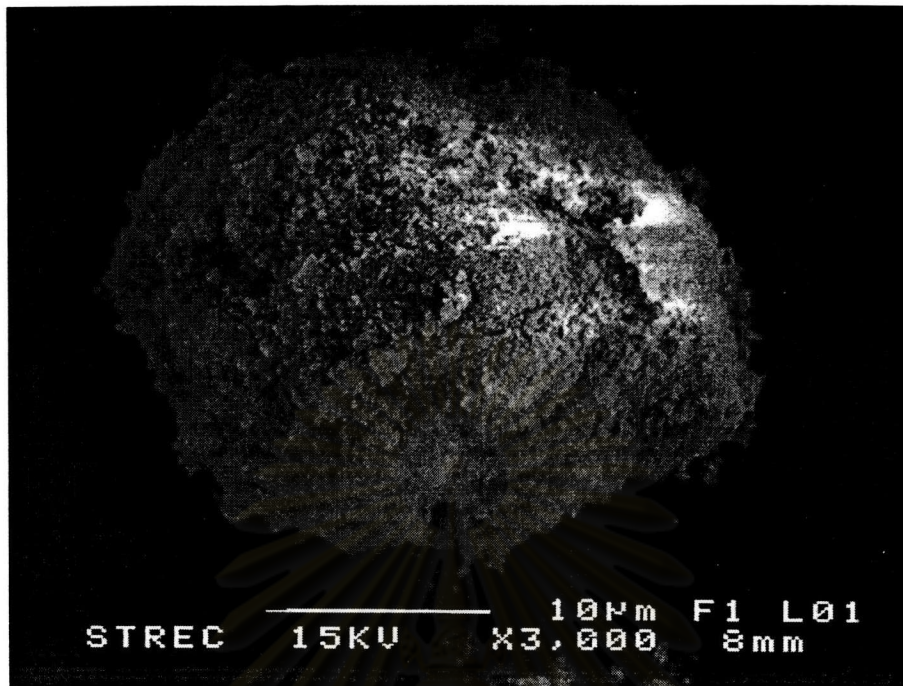


(ข)

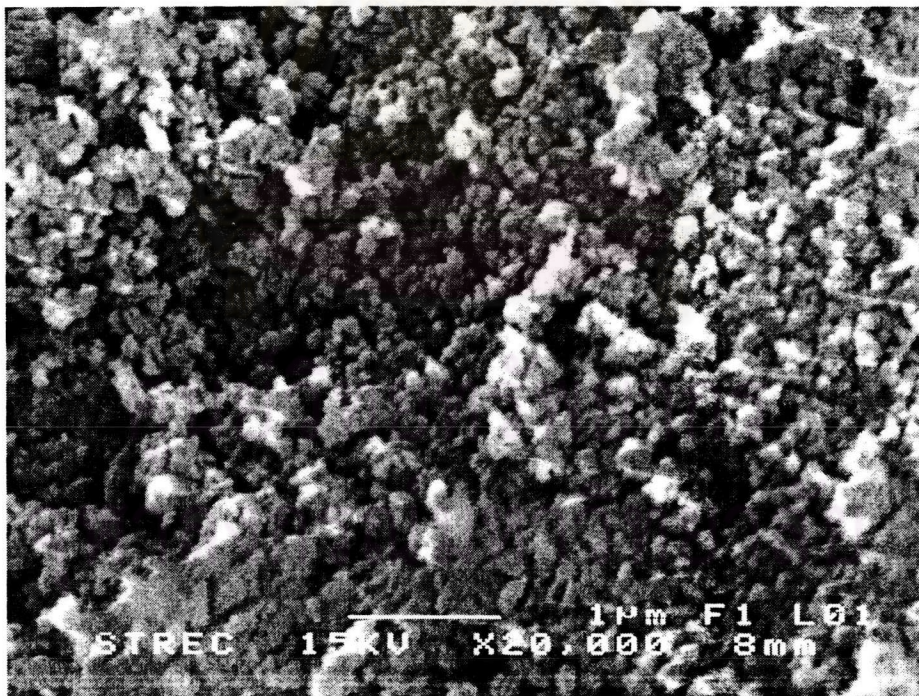
รูปที่ 4.40 รูปถ่ายของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 2

(ก) ลักษณะโดยรวมของผงอนุภาค

(ข) ลักษณะพื้นผิวของผงอนุภาค



(ก)

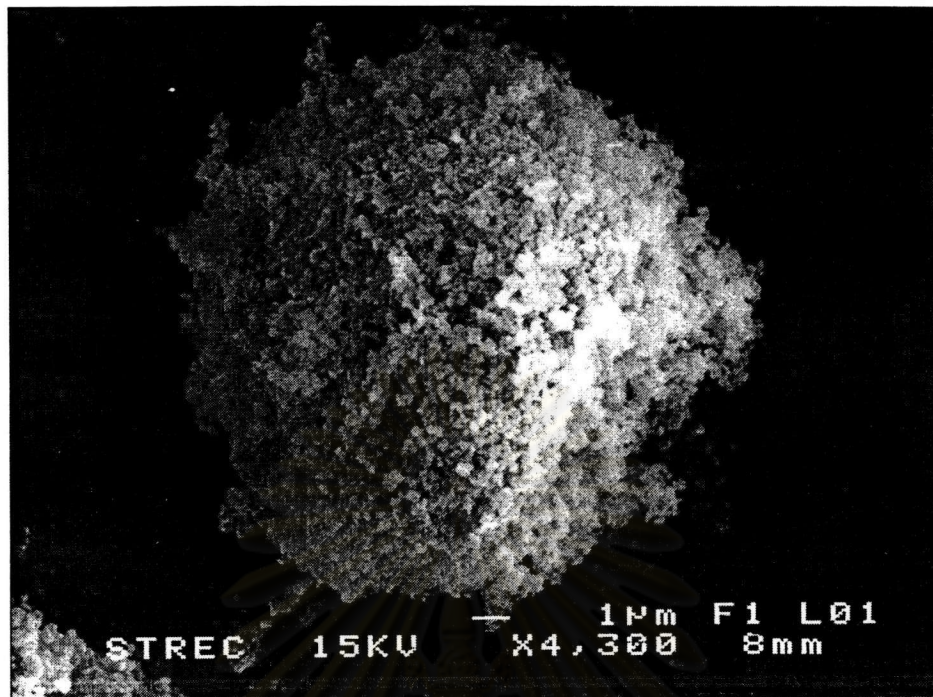


(ข)

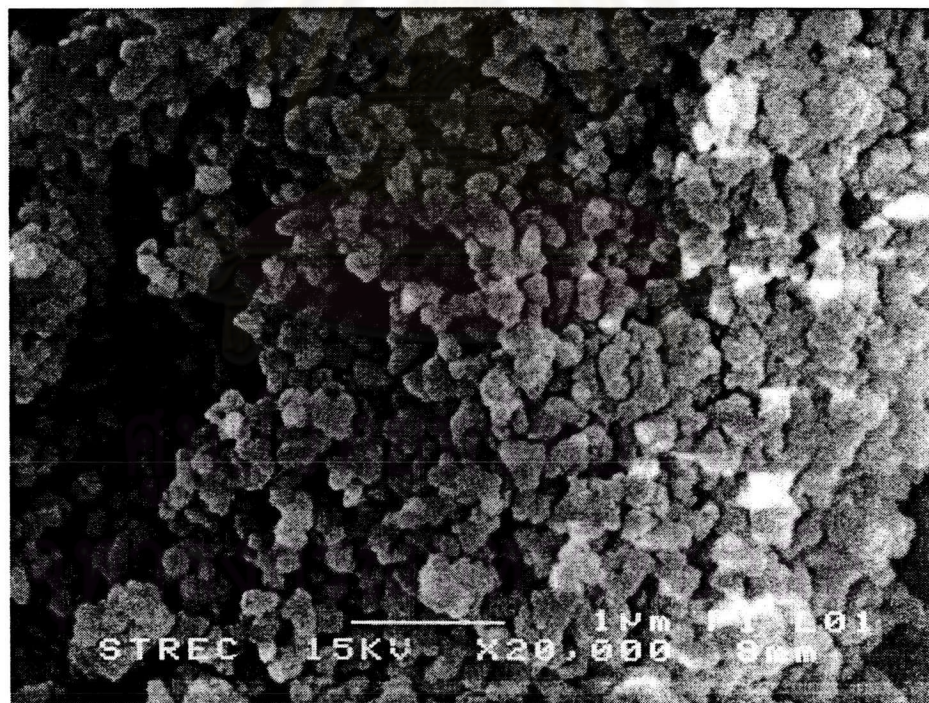
รูปที่ 4.41 รูปถ่ายของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่สภาวะที่ 3

(ก) ลักษณะโดยรวมของผงอนุภาค

(ข) ลักษณะพื้นผิวของผงอนุภาค



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.42 รูปถ่ายของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผลิตด้วยระบบอัดโนมิติที่สภาวะที่ 3 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

(ก) ลักษณะโดยรวมของผงอนุภาค

(ข) ลักษณะพื้นผิวของผงอนุภาค