รายการอ้างอิง

1. Jha, L. J., *et al.* Preparation and characterization of fluoride-substituted apatites. Journal of Material Sciece: Materials in Medicine 8 (1997): 185-191.
2. กลศาสตร์ คงนาวัง. การศึกษาการตัดวัสดุเปราะชนิดมีรูพรุน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
3. สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์. การศึกษาปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูปที่มีผลต่อการเกิดรูพรุนของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
4. ศุภชัย วงศ์พิเชษฐชัย. รายงานผลการวิจัยโครงการวิจัยและพัฒนาลูกตาเทียม ตาปลอมเคลื่อนไหวได้ หน้ากากหนังตา-คิ้ว-ตาปลอม-ครึ่งหน้า. ภาควิชาจักษุ กองการศึกษา วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า กรมแพทย์ทหารบก, 2542.
5. วิริยะ สิริสิงห, มั่นเกียรติ โกศลนิรัตติวงษ์, และ ยิ่งศักดิ์ นิตยฤกษ์. 110 ธาตุ คุณสมบัติ และการค้นพบ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรวัฒนา, (ม.ป.ป.).
6. Tadic, D., Peters, F., and Epple, M. Continuous synthesis of amorphous carbonated apatites. Biomaterials 23 (2002): 2553-2559.
7. ดุจฤทัย พงษ์เก่า. พฤติกรรมการละลายของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากเถ้ากระดูกวัวควาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
8. Hench, L. L. Bioceramics. Journal of the American Ceramic Society 81, 7 (1998): 1705-1728.
9. Goto, T., *et al.* Resorption of synthetic porous hydroxyapatite and replacement by newly formed bone. Journal of Orthopaedic Science 6 (2001): 444-447.
10. U.S. patent 3,929,971 Roy, D.M. Porous biomaterial and method of making same. 1975.
11. นฤมล สุวรรณจันทร์ดี. การสังเคราะห์และศึกษาสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของเซรามิกส์ไฮดรอกซีอะพาไทต์. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

12. Kim, W., and Saito, F. Mechanochemical synthesis of hydroxyapatite from constituent powder mixtures by dry grinding. Journal of Chemical Engineering of Japan 33, 5 (2000): 768-772.

13. Raynaud, S., Champion, E., Bernache-Assollant, D., and Thomas, P. Calcium phosphate apatites with variable Ca / P atomic ratio I. Synthesis, characterization and thermal stability of powders. Biomaterials 23 (2002): 1065-1072.

14. Victoria, E. C., and Gnanam, F. D. Synthesis and characterisation of biphasic calcium phosphate. Trends in Biomaterials for Artificial Organs 16 (2002): 12-14.

15. Golden, D. C., and Ming, D. W. Nutrient-substituted hydroxyapatites: Synthesis and characterization. American Soil Science Society 63 (May-June 1999): 657-664.

16. Kweh, S. W. K., Khor, K. A., and Cheang, P. The production and characterization of hydroxyapatite (HA) powders. Journal of Materials Processing Technology 89–90 (1999): 373-377.

17. Vargas, G., Lopez, J., Acevedo, J., Mendez, J., and Mendez, M. Effect of ultrasonic vibration on the particle size distribution of hydroxyapatite chemically precipitated from $Ca(OH)_2$ and H_3PO_4. Bioceramics 11 (November 1998): 711-714.

18. Slosarczyk, A., and Piekarczyk, J. Ceramic materials on the basis of hydroxyapatite and tricalcium phosphate. Ceramics International 25 (1999): 561-565.

19. Koumoulidis, G. C., *et al.* Preparation of hydroxyapatite nanoparticles using a modified precipitation method. In Y. G. Gogotsi; and I. V. Uvarova (eds.), Nanostructured Materials and Coatings in Biomedical and Sensor Applications, pp. 83 – 91. Boston : Kluwer, 2002.

20. Georgiou, G., and Knowles, J. C. Glass reinforced hydroxyapatite for hard tissue surgery – Part 1: mechanical properties. Biomaterials 22 (2001): 2811-2815.

21. ภูมิ เหลืองจามีกร. PLC. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา 2104458 Automation. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

22. พรจิต ประทุมสุวรรณ. เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม: เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์, 2541.

23. ฐิติพัฒน์ องควัฒน์. สิ่งที่ควรรู้ในการควบคุมอุณหภูมิ. Industrial Technology Review 8, 98 (ฉบับพิเศษ 2545): 93 – 94.

24. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาเคมี. เคมีทั่วไป เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

25. Dean, J. A., *et al.* Lange's handbook of chemistry. 15th ed. New York: McGraw Hill, 1999.

26. Lide, D. R., *et al.* CRC Handbook of chemistry and physics. 75th ed. Florida: CRC, 1994.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายการวัสดุและครุภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในงานวิจัยนี้สามารถจำแนกพัสดุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยออกได้เป็นวัสดุและครุภัณฑ์ โดยที่วัสดุนั้นสามารถแยกย่อยออกได้เป็นวัสดุสิ้นเปลืองและวัสดุคงทนถาวร ทั้งวัสดุและครุภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มีทั้งส่วนที่มีอยู่พร้อมแล้วในห้องปฏิบัติการวิจัยและส่วนที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม ซึ่งในส่วนที่ต้องจัดหาเพิ่มเติมนั้นได้มาด้วยวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การจัดซื้อพัสดุเพิ่มเติมของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
- การหาซื้อพัสดุด้วยเงินทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย
- การหาซื้อพัสดุโดยผู้วิจัยออกเงินทุนส่วนตัว
- การขอยืมพัสดุจากหน่วยงานอื่นๆ เพื่อนำมาใช้งานในระหว่างการวิจัย
- การขอใช้บริการพัสดุจากหน่วยงานอื่นๆ โดยคิดค่าบริการ

ดังนั้นจึงสามารถจำแนกรายการพัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ออกเป็นส่วนย่อยต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ ก.1 ถึงตารางที่ ก.6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก.1 รายการวัสดุสิ้นเปลืองที่มีอยู่พร้อมแล้วในห้องปฏิบัติการวิจัย

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
1	ผงแคลเซียมไนเตรด	UNIVAR	-	กระป๋อง	2	เป็นสารตั้งต้น	กระป๋องละ 500 กรัม
2	ผงได-แอมโมเนียม ไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต	UNIVAR	-	กระป๋อง	1	เป็นสารตั้งต้น	กระป๋องละ 500 กรัม
3	สารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 28% w/w	UNIVAR	-	ขวด	1	เป็นสารตั้งต้น	ขวดละ 2.5 ลิตร
4	ท่อซิลิโคนขนาด 3/16"	WATSON MARLOW	910.0048 .016	ถุง	1	ลำเลียงสารตั้งต้น	ถุงละ 3 เมตร
5	กระดาษกรอง	MN	615	กล่อง	1	กรองตะกอน	บรรจุกล่องละ 100 แผ่น
6	กระดาษทราย เบอร์ 100	-	-	แผ่น	2	ขัดแต่งยางฝาปิดภาชนะปฏิกรณ์	

ตารางที่ ก.2 รายการวัสดุสิ้นเปลืองที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
1	ผงแคลเซียมไนเตรด	UNIVAR	-	กระป๋อง	1	เป็นสารตั้งต้น	กระป๋องละ 500 กรัม
2	ผงได-แอมโมเนียม ไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต	UNIVAR	-	กระป๋อง	1	เป็นสารตั้งต้น	กระป๋องละ 500 กรัม
3	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.01	ORION	-	ขวด	1	สอบเทียบ เครื่องวัดค่า pH	ขวดละ 475 ml
4	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.00	ORION	-	ขวด	1	สอบเทียบ เครื่องวัดค่า pH	ขวดละ 475 ml
5	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10.01	ORION	-	ขวด	1	สอบเทียบ เครื่องวัดค่า pH	ขวดละ 475 ml
6	ปลั๊กขั้วสัญญาณแบบ 25 ทาง	-	-	เส้น	1	เชื่อมต่อวงจร ควบคุมการเติม ผสมของปั๊ม	
7	สายไฟ ขนาด 1 ตาราง มม.	-	-	มัด	2	ต่อวงจรควบคุม	มัดละ 10 เมตร
8	หัวต่อสายไฟแบบ ปากจระเข้	-	-	หัว	4	ต่อวงจรควบคุม	
9	หัวต่อสายไฟแบบ หางปลาขนาดใหญ่	-	-	หัว	6	ต่อวงจรควบคุม	
10	หัวต่อสายไฟแบบ หางปลาขนาดเล็ก	-	-	หัว	9	ต่อวงจรควบคุม	
11	หัวต่อสายไฟแบบ หางปลาชนิดกลม	-	-	หัว	7	ต่อวงจรควบคุม	
12	หัวต่อสายไฟแบบ แท่งเสียบตัวผู้	-	-	หัว	2	ต่อวงจรควบคุม	
13	ตัวเชื่อมหัวต่อสายไฟ	-	-	ตัว	1	ต่อวงจรควบคุม	
14	เทปพันสายไฟ	-	-	ตลับ	1	พันสายไฟ	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) รายการวัสดุสิ้นเปลืองที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
15	เทปพันท่อ	-	-	ตลับ	2	พันเกลียวข้อต่อสเตนเลส	
16	ตะกั่วบัดกรี	-	-	ตลับ	1	บัดกรีสายไฟ	
17	จุกยาง เบอร์ 10	-	-	อัน	1	ปิดภาชนะบรรจุสารละลายแอมโมเนีย	
18	ยางธรรมชาติ (NR) ขนาด 5"x5"x1"	-	-	ก้อน	2	ทำฝาปิดภาชนะปฏิกรณ์	
19	ท่อซิลิโคนขนาด 1/2"	-	-	เมตร	1	ท่อทางของสารละลายแอมโมเนีย	
20	ท่อซิลิโคนขนาด 1/4"	-	-	เมตร	3	ท่อทางของสารละลายแอมโมเนียและท่อนำก๊าซ	
21	ท่อสเตนเลส เกรด 316 ขนาด 1/4"	-	-	ซ.ม.	15	ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับตามที่กำหนด	
22	ถุงมือยาง	-	-	คู่	1	อุปกรณ์ป้องกัน	
23	กล่องพลาสติกชนิดมีฝาปิด	-	-	ใบ	6	บรรจุผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 รายการวัสดุคงทนถาวรที่มีอยู่พร้อมแล้วในห้องปฏิบัติการวิจัย

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
1	บีกเกอร์ ขนาด 1000 ml	SCHOTT	-	ใบ	1	ภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1	
2	บีกเกอร์ ขนาด 600 ml	PYREX	-	ใบ	1	ภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2	
3	ขวด Funnel Dropping ขนาด 500 ml	PYREX	-	ขวด	1	ภาชนะปฏิกรณ์ที่ 3	
4	เวอร์เนียคาลิปเปอร์	Mitutoyo	-	อัน	1	วัดขนาดชิ้นงาน	
5	เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท	-	-	อัน	1	สอบเทียบอุปกรณ์ RTD	
6	แท่นยึดอุปกรณ์ทดลอง	-	-	อัน	1	ติดตั้งระบบเครื่องกลไก	
7	ที่ยึดมือจับเหล็ก	-	-	อัน	2	ติดตั้งระบบเครื่องกลไก	
8	มือจับเหล็ก	-	-	อัน	1	ติดตั้งระบบเครื่องกลไก	
9	จานแก้ว	-	-	ใบ	2	ตวงสารเพื่อชั่งน้ำหนัก	
10	กระบอกตวงสาร ขนาด 100 ml	PYREX	-	กระบอก	1	ตวงน้ำกลั่นและสารละลายแอมโมเนีย	
11	กระบอกตวงสาร ขนาด 25 ml	SCHOTT	-	กระบอก	1	ตวงน้ำกลั่นและสารละลายแอมโมเนีย	
12	แท่งกวนแม่เหล็กขนาด 50x8 mm	Spinbar	-	แท่ง	1	กวนสารละลายในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1	

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) รายการวัสดุคงทนถาวรที่มีอยู่พร้อมแล้วในห้องปฏิบัติการวิจัย

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
13	แท่งกวนแม่เหล็กขนาด 30x8 mm	Spinbar	-	แท่ง	1	กวนสารละลายในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2	
14	แท่งแก้วกวน	-	-	แท่ง	1	กวนตะกอน	
15	ขวด Buchner Flask ขนาด 1,000 ml	PYREX	-	ขวด	1	ภาชนะกรองตะกอน	
16	กรวยกรอง ขนาด 110 ml	HCT	-	ใบ	1	กรองตะกอน	
17	ปั๊มสุญญากาศพร้อมชุดสายยาง	-	-	ชุด	1	กรองตะกอน	
18	ครกบดยา	-	-	ใบ	1	บดตะกอน	
19	ถ้วยทนความร้อน	-	-	ใบ	1	บรรจุผงไฮดรอกซีอะพาไทต์เพื่อนำไปเข้าเตาเผา	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.4 รายการวัสดุคงทนถาวรที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
1	อุปกรณ์ PLC	Koyo	D0-05DD	เครื่อง	1	ควบคุมลำดับกระบวนการ	
2	การ์ดอนาล็อก	Koyo	F0-2AD2DA-2	อัน	1	แปลงสัญญาณดิจิตอล / อนาล็อก	
3	แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 24V	MEAN WELL	S-100-24	เครื่อง	1	จ่ายไฟกระแสตรง 24V	
4	รีเลย์แบบสองทาง	OMRON	G5C-1	ตัว	1	ตัดต่อการทำงานของปั๊ม	
5	โซลินอยด์วาล์ว	Parker	121S122 JV-I-1S-C2	ตัว	2	ควบคุมการเปิดปิดการจ่ายสารละลายแอมโมเนีย	
6	อุปกรณ์ RTD ชนิด Pt -100	-	-	ตัว	2	ตรวจวัดอุณหภูมิของสารละลาย	
7	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับอย่างต่อเนื่อง	Leveltrak	LK 3022	ตัว	1	ตรวจวัดระดับสารละลายในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1	
8	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับตามที่กำหนด	NOHKEN	OLV-5	ตัว	1	ตรวจวัดระดับสารละลายในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2	
9	ขวดปากแคบขนาด 30 ml	-	-	ขวด	3	บรรจุสารละลายบัฟเฟอร์	
10	กรวยแก้ว	-	-	ใบ	1	เติมสารละลายแอมโมเนีย	
11	ที่ยึดมือจับเหล็ก	-	-	อัน	3	ติดตั้งระบบเครื่องกลไก	
12	มือจับเหล็ก	-	-	อัน	4	ติดตั้งระบบเครื่องกลไก	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.4 (ต่อ) รายการวัสดุคงทนถาวรที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
13	วาล์วแบบยก ขนาด 1/4"	KITZ	-	ตัว	2	ควบคุมการไหลของสารละลายแอมโมเนีย	
14	วาล์วแบบรูปทรงกลม ขนาด 1/4"	-	-	ตัว	1	ควบคุมการระบายความดัน	
15	ข้อต่อ 3 ทางสเตนเลส ขนาด 1/2"	-	-	ตัว	1	เชื่อมต่อท่อทางของสารละลายแอมโมเนีย	
16	ข้อต่อ 4 ทางสเตนเลส ขนาด 1/4"	-	-	ตัว	1	เชื่อมต่อท่อทางของก๊าซ	
17	ข้อต่อตรงสเตนเลส ขนาด 1/4"	-	-	ตัว	3	เชื่อมต่อวาล์วกับข้อต่ออื่นๆ	
18	ข้อลดสเตนเลส ขนาด 1/2" เป็น 1/4"	-	-	ตัว	2	ลดขนาดการเชื่อมต่อ	
19	ข้อต่อหางปลาไหลสเตนเลส ขนาด 1/2"	-	-	ตัว	1	เชื่อมต่อท่อซิลิโคน	
20	ข้อต่อหางปลาไหลสเตนเลส ขนาด 1/4"	-	-	ตัว	10	เชื่อมต่อท่อซิลิโคน	
21	แหวนรัดท่อ ขนาด 1/2"	-	-	วง	2	รัดท่อซิลิโคน	
22	แหวนรัดท่อ ขนาด 1/4"	-	-	วง	10	รัดท่อซิลิโคน	
23	หัวแร้ง	-	-	อัน	1	บัดกรีสายไฟ	
24	เครื่องมือช่าง	-	-	ชุด	1	ประกอบติดตั้งระบบ	

ตาราง ก.5 รายการครุภัณฑ์ที่มีอยู่พร้อมแล้วในห้องปฏิบัติการวิจัย

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
1	ตู้กำจัดกลิ่น	AIRONE	1200-GS (VAV)	เครื่อง	1	กำจัดไอระเหยแอมโมเนีย	
2	เครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์	ELGASTAT	OPTIMA	เครื่อง	1	ผลิตน้ำบริสุทธิ์	
3	เครื่องชั่งน้ำหนัก	Sartorius	BP 310 S	เครื่อง	1	ชั่งน้ำหนักสารตั้งต้น	
4	เครื่องออสซิลโลสโคป	DIGICON	PS-320	เครื่อง	1	วัดค่าพื้นฐานทางไฟฟ้า	
5	เครื่องกวนสารระบบแม่เหล็กพร้อมแผ่นทำความร้อน	CAT	M17.5	เครื่อง	2	กวนสารและควบคุมอุณหภูมิ	
6	เครื่องวัดค่า pH	WPA	CD7400	เครื่อง	1	วัดค่า pH ของสารละลายในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1	
7	ปั๊มควบคุมการไหล	WATSON MARLOW	313U	เครื่อง	1	ควบคุมการเติมผสมสารตั้งต้น	
8	เครื่องคอมพิวเตอร์	POWELL	CL 566	เครื่อง	1	ประมวลผลข้อมูล	
9	เครื่องบันทึกข้อมูล	YOKOGAWA	DX208-1-2	เครื่อง	1	แสดงผลข้อมูลแบบ real time	
10	เตาอบสุญญากาศ	WTB Binder	VD23	เครื่อง	1	อบแห้งตะกอนไฮดรอกซีอะพาไทต์	
11	เตาเผาชิ้นงาน	Nabertherm	LH 30/12	เครื่อง	1	เผาผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.6 รายการครุภัณฑ์ที่ต้องจัดหาเพิ่มเติม

ลำดับที่	รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	หน่วย	จำนวน	วัตถุประสงค์	หมายเหตุ
1	เครื่อง Potentiometric automatic titrator	KEM	AT-400	เครื่อง	1	วัดค่า pH ของสารละลายในภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2	ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวฯ
2	เครื่อง XRD	Jeol	JDX-8030	เครื่อง	1	ตรวจสอบลักษณะเฉพาะตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3	เครื่อง XRD	Bruker	D8Advance	เครื่อง	1	ตรวจสอบลักษณะเฉพาะตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	ของภาควิทยาธรณี คณะวิทยาศาสตร์
4	เครื่อง FT-IR	Perkin Elmer	1760X	เครื่อง	1	ตรวจสอบลักษณะเฉพาะตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5	เครื่อง PSLA	Mastersizer S	2.11	เครื่อง	1	ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาค	ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6	เครื่อง SEM	Jeol	JSM6400	เครื่อง	1	ศึกษาลักษณะรูปทรง	ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

เงินลงทุนและต้นทุนประมาณการของ
การผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยระบบอัตโนมัติที่ได้จากงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์ที่มีคุณภาพในเกรดดีและมีสิ่งเจือปนน้อยโดยเฉลี่ยแล้วตั้งราคาขายไว้ในท้องตลาดที่ประมาณ 15 - 20 ปอนด์สเตอร์ลิงค์ ต่อปริมาณสารไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์ 1 กรัม ซึ่งเมื่อคิดเป็นเงินบาทจะได้ราคาขายโดยประมาณเป็น 1,200 บาทต่อกรัม ในการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติที่ได้ออกแบบจากงานวิจัยนี้ทำให้สามารถผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์ออกมาได้ 30 กรัมต่อรอบการผลิตโดยประมาณ ซึ่งคิดเป็นราคาสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ประมาณ 36,000 บาทต่อรอบการผลิต

เงินลงทุนและต้นทุนประมาณการสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ในระบบอัตโนมัติที่ได้จากงานวิจัยนี้ เมื่อคิดที่กำลังการผลิต 30 กรัมต่อรอบการผลิตนั้นสามารถจำแนกออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1) <u>เงินลงทุน</u> ประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการผลิต ซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ดังนี้

(1)	ตู้กำจัดกลิ่น	600,000	บาท
(2)	เครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์	200,000	บาท
(3)	เครื่องชั่งน้ำหนัก	50,000	บาท
(4)	เครื่องออสซิลโลสโคป	50,000	บาท
(5)	เครื่องกวนสารระบบแม่เหล็กพร้อมแผ่นทำความร้อน (2 เครื่อง)	100,000	บาท
(6)	เครื่องวัดค่า pH (2 เครื่อง)	200,000	บาท
(7)	ปั๊มควบคุมการไหล	50,000	บาท
(8)	เครื่องคอมพิวเตอร์	20,000	บาท
(9)	เครื่องบันทึกข้อมูล	200,000	บาท
(10)	เตาอบสุญญากาศ	350,000	บาท
(11)	เตาเผาชิ้นงาน	500,000	บาท
(12)	อุปกรณ์ PLC และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม	16,500	บาท
(13)	โซลินอยด์วาล์ว (2 ตัว)	5,000	บาท
(14)	อุปกรณ์ RTD (2 ตัว)	3,600	บาท
(15)	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ	10,540	บาท
(16)	ภาชนะปฏิกรณ์	3,000	บาท
(17)	อุปกรณ์จับยึดภาชนะปฏิกรณ์	700	บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(18)	ภาชนะแก้วใส่สารเคมี	3,400	บาท
(19)	ท่อซิลิโคน	900	บาท
(20)	สายไฟและอุปกรณ์เชื่อมต่อสายไฟ	530	บาท
(21)	วัสดุจำพวกยาง	100	บาท
(22)	เครื่องมือและอุปกรณ์ช่าง	400	บาท
(23)	วาล์วและข้อต่อ	1,300	บาท
(24)	เวอร์เนียคาลิปเปอร์	350	บาท
(25)	เทอร์โมมิเตอร์	150	บาท
(26)	แท่งกวนแม่เหล็ก	230	บาท
(27)	วัสดุจำพวกสเตนเลส	500	บาท
(28)	กรวยกรอง	1,800	บาท
(29)	ปั๊มสุญญากาศพร้อมชุดสายยาง	1,350	บาท
(30)	ครกบดยา	1,550	บาท
(31)	ถ้วยทนความร้อน	1,200	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น		2,373,100	บาท

2) ต้นทุนการผลิต ประมาณการต่อรอบการผลิตหนึ่งรอบ โดยที่แต่ละรอบการผลิตใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 2 วันทำการ

ก) *วัตถุดิบ* ประกอบด้วย

(1)	ผงแคลเซียมไนเตรด (70.518 กรัม)	92	บาท
(2)	ผงได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต (23.661 กรัม)	32	บาท
(3)	สารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 28% w/w (500 ml)	120	บาท
(4)	น้ำกลั่น (480 ml)	0.005	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น ในแต่ละรอบการผลิต		244	บาท

ข) *แรงงานทางตรง* ประกอบด้วย

(1)	ผู้ควบคุมระบบอัตโนมัติ จำนวน 1 คน จ่ายค่าแรงวันละ 500 บาท	1,000	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น ในแต่ละรอบการผลิต		1,000	บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค) *โสหุ้ย* ประกอบด้วย

- *โสหุ้ยผันแปร* ได้แก่

(1)	ค่าไฟฟ้า	60	บาท
(2)	ค่าน้ำประปา	5	บาท
(3)	กระดาษกรอง	1.35	บาท
(4)	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.01	5	บาท
(5)	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.00	5	บาท
(6)	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10.01	5	บาท
(7)	กล่องพลาสติกชนิดมีฝาปิด	5	บาท
(8)	ฟิลเตอร์ของเครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ ที่ต้องเปลี่ยนตามอายุการใช้งาน	154	บาท
(9)	ฟิลเตอร์ของตู้กำจัดกลิ่น ที่ต้องเปลี่ยนตามอายุการใช้งาน	64	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น ในแต่ละรอบการผลิต		304	บาท

- *โสหุ้ยคงที่*

(1)	ค่าเช่าห้องปฏิบัติการ (เดือนละ 3,000 บาท โดยมีรอบการผลิต 10 รอบต่อเดือน)	300	บาท
(2)	ค่าเสื่อมราคา (คิด 3 ปี) จากเงินลงทุนทั้งหมด 2,373,100 บาท จะประมาณค่าเสื่อมราคาได้ปีละ 80,000 บาท โดยแต่ละปีมีรอบการผลิต 120 รอบ	667	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น ในแต่ละรอบการผลิต		967	บาท

คำนวณต้นทุนการผลิตทั้งหมดจากต้นทุนการผลิตต่อรอบการผลิตในแต่ละอย่างได้ดังนี้

	ต้นทุนวัตถุดิบทั้งหมด	244	บาท
	ต้นทุนแรงงานทางตรงทั้งหมด	1,000	บาท
	โสหุ้ยผันแปรทั้งหมด	304	บาท
	โสหุ้ยคงที่ทั้งหมด	967	บาท
∴	ต้นทุนการผลิตทั้งหมดต่อรอบการผลิต	2,515	บาท

หมายเหตุ ต้นทุนที่ได้จากการคำนวณนี้มิได้รวมถึงค่าใช้จ่ายในการบริหาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีของการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ปริมาณ 10 กรัม สามารถพิจารณาได้จากสมการเคมีที่ (2.7) และใช้วิธีการเทียบอัตราส่วนโมลของสารประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

$$10\ Ca(NO_3)_2 + 6\ (NH_4)_2HPO_4 + 8\ NH_4OH \implies Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 20\ NH_4NO_3 + 6\ H_2O$$

จากสมการเคมีดังกล่าว จะพบว่าอัตราส่วนโมลของ Ca / P มีค่าเท่ากับ 1.667 ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถสังเคราะห์สารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่บริสุทธิ์เพียงเฟสเดียว

สารประกอบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในแต่ละอย่างสามารถคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบ 1 โมลได้ดังต่อไปนี้

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	=	1004.64314	กรัม
$Ca(NO_3)_2$	=	164.0898	กรัม
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	=	236.15116	กรัม
$(NH_4)_2HPO_4$	=	132.05653	กรัม
NH_3	=	17.03061	กรัม
NH_4OH	=	35.04595	กรัม

สำหรับสารละลายแอมโมเนียที่ใช้มีความเข้มข้น 28% โดยมวล มีความหนาแน่น 0.89 g / ml สามารถคำนวณความเข้มข้นให้อยู่ในรูปโมล่าร์ (M หรือ mol / l) ได้ดังนี้

NH_3 28% (w/w)	=	NH_3 28 g / สารละลาย 100 g
	=	NH_3 28 g / สารละลาย (100/0.89) ml
	=	NH_3 28 g / สารละลาย 112.360 ml
	=	$(\frac{28}{112.360} \times 1000)$ g / l
	=	249.199 g / l
	=	(249.199 / 17.03061) M
	=	14.632 M

จากการเทียบอัตราส่วน หากต้องการสังเคราะห์สารไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) ปริมาณ 10 กรัม จะต้องกำหนดปริมาณสารตั้งต้นดังต่อไปนี้

$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	=	23.506 g
$(NH_4)_2HPO_4$	=	7.887 g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณสารละลายแอมโมเนียที่ใช้

NH_4OH = 2.791 g

หรือ NH_3 = 1.356 g

เมื่อความหนาแน่นของสารละลายแอมโมเนียคือ 0.89 g / ml ดังนั้น เทียบเป็นปริมาตรที่ต้องใช้สำหรับสารละลายแอมโมเนีย 28% (w/w)

ปริมาตรสารละลายแอมโมเนีย = (100 x 1.356 / 28) / 0.89

= 5.4 ml

กำหนดความเข้มข้นของสารละลายของสารตั้งต้นเป็น 1 M ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาตรของสารละลายที่ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปเป็นตัวทำละลายดังต่อไปนี้

$Ca(NO_3)_2.4H_2O$ ปริมาณ 23.506 g ความเข้มข้น 1M

ปริมาตรของสารละลาย = (1,000 / 236.15116) x 23.506

= 99.5 ml

$(NH_4)_2HPO_4$ ปริมาณ 7.887 g ความเข้มข้น 1M

ปริมาตรของสารละลาย = (1,000 / 132.05653) x 7.887

= 59.7 ml

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การสอบเทียบอุปกรณ์ RTD

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์ RTD ที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 4 ชิ้น (ใช้อุปกรณ์ RTD 2 ชิ้นต่อภาชนะปฏิกรณ์ 1 ใบ) จะต้องนำไปทำการสอบเทียบให้สามารถวัดค่าได้ตรงกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมาตรฐานเสียก่อน อุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่นำมาใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบคือเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอทที่มีช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ 0.0 – 100.0°C และความละเอียด 1 °C ทั้งนี้ก่อนที่จะนำไปใช้เป็นมาตรฐานได้นั้นจะต้องนำไปทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงตรงเสียก่อนโดยการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำแข็งและน้ำเดือดที่ความดัน 1 บรรยากาศโดยทดลองวัดหลายๆครั้ง พบว่าอ่านค่าอุณหภูมิได้ 0.0 °C และ 100.0 °C ตามลำดับซึ่งถือว่าสามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบได้

ในการสอบเทียบอุปกรณ์ RTD แต่ละชิ้นทำได้โดยการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ RTD แต่ละชิ้นโดยแปรเปลี่ยนค่าอุณหภูมิไปจนครอบคลุมช่วงที่ใช้งานทั้งหมด จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ RTD แต่ละชิ้นกับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน แล้วจึงสร้างเส้นแนวโน้มของการสอบเทียบขึ้นมาโดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด กำหนดให้เส้นแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นตรงเนื่องจากย่านการวัดอุณหภูมิของงานวิจัยนี้ถือได้ว่า RTD ชนิดแพลทินัมความต้านทาน 100Ω ที่ 0°C มีผลตอบสนองที่ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นในย่านการวัดช่วงนี้ ดังนั้นสมการเส้นแนวโน้มของการสอบเทียบจึงเป็นสมการเส้นตรงซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับแก้ข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดค่าได้สำหรับอุปกรณ์ RTD แต่ละชิ้น ข้อมูลของการสอบเทียบอุปกรณ์ RTD ทั้ง 4 ชิ้นได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ ง.1 และสามารถนำไปพล็อตเส้นแนวโน้มเพื่อหาสมการปรับแก้ข้อมูลได้ดังรูปที่ ง.1

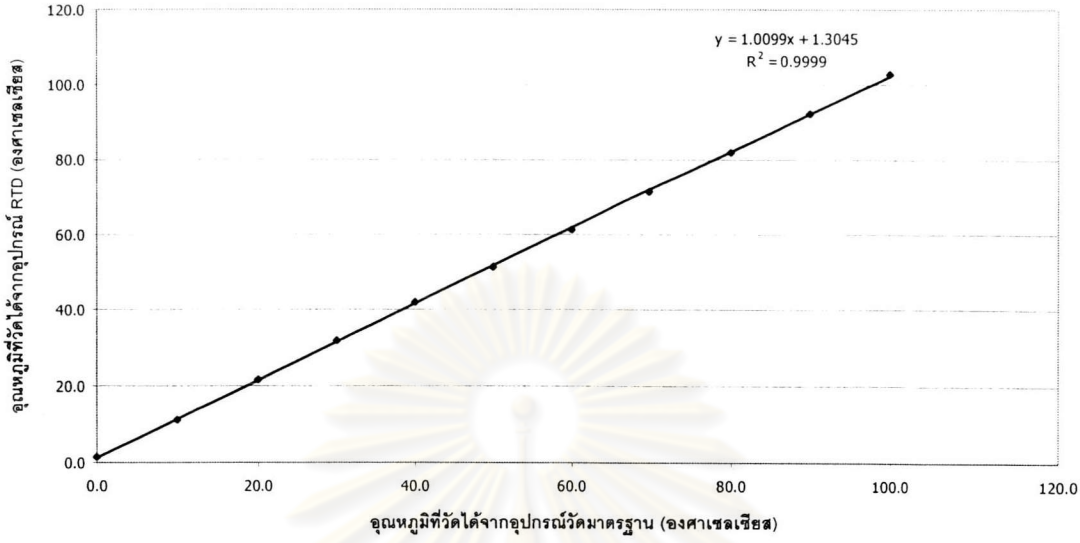
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการสอบเทียบอุปกรณ์ RTD ครอบคลุมย่านการวัดที่ใช้งานทั้งหมด

อุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิมาตรฐาน (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้จาก RTD ของเครื่องวัดค่า pH ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้จาก RTD ของเครื่องกวนสารฯ ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1 (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้จาก RTD ของเครื่องวัดค่า pH ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2 (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้จาก RTD ของเครื่องกวนสารฯ ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2 (°C)
0.0	1.5	1.5	-0.1	3.5
10.0	11.2	11.0	10.1	12.5
20.0	21.7	21.5	20.4	22.5
30.0	31.9	31.5	30.5	32.0
40.0	42.0	41.5	40.3	41.5
50.0	51.4	51.5	50.2	53.0
60.0	61.4	62.0	60.6	64.0
70.0	71.5	72.0	70.4	73.5
80.0	82.0	82.5	80.3	84.0
90.0	92.3	92.5	90.2	93.5
100.0	102.9	103.0	100.3	103.0

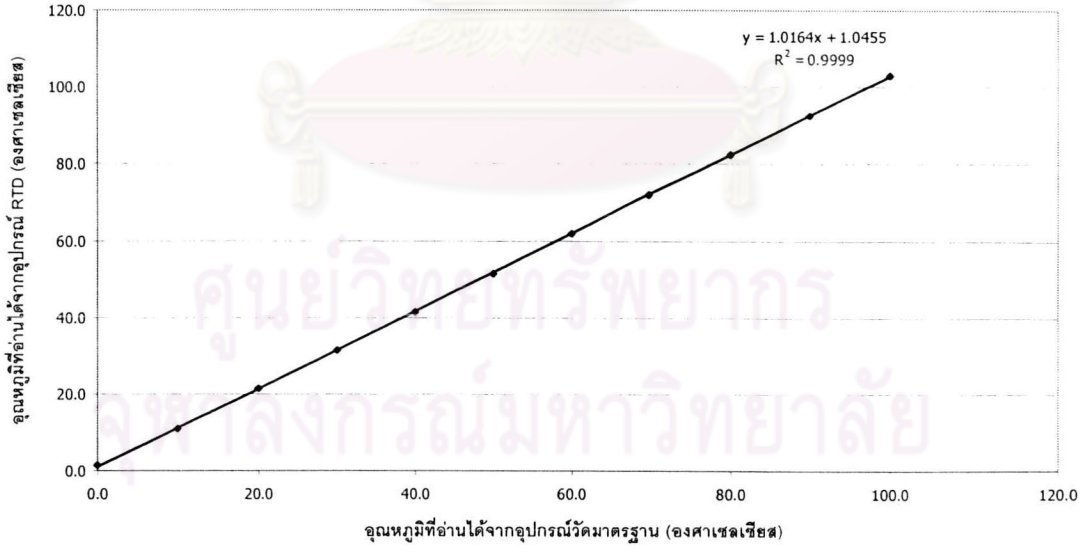
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟการสอบเทียบ RTD ของเครื่องวัดค่า pH ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1



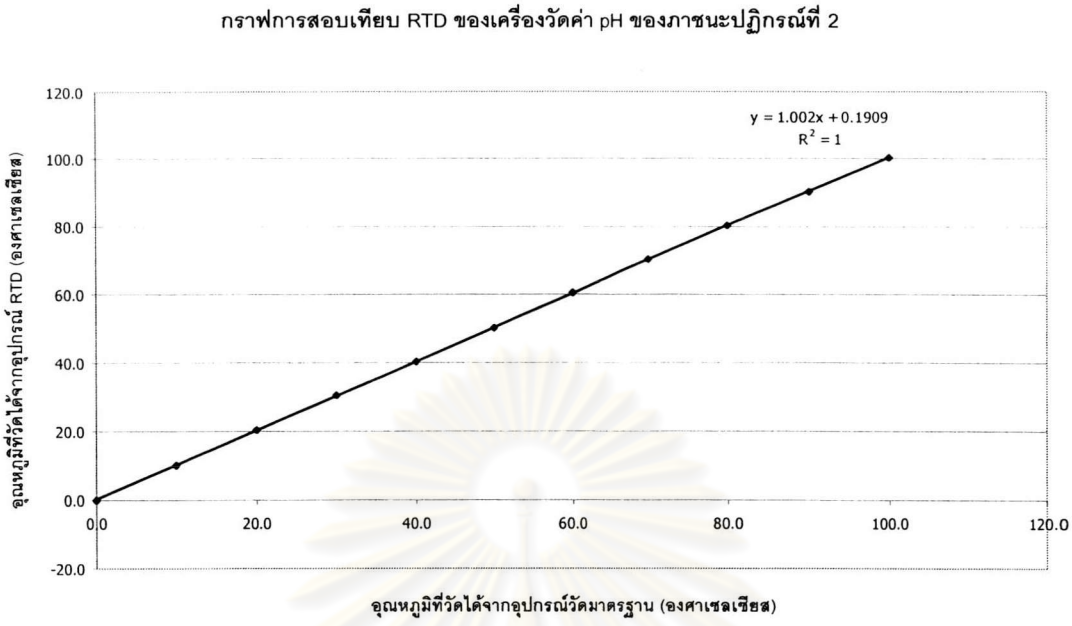
(ก)

กราฟการสอบเทียบ RTD ของเครื่องกวนสารระบบแม่เหล็กพร้อมแผ่นทำความร้อนของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1

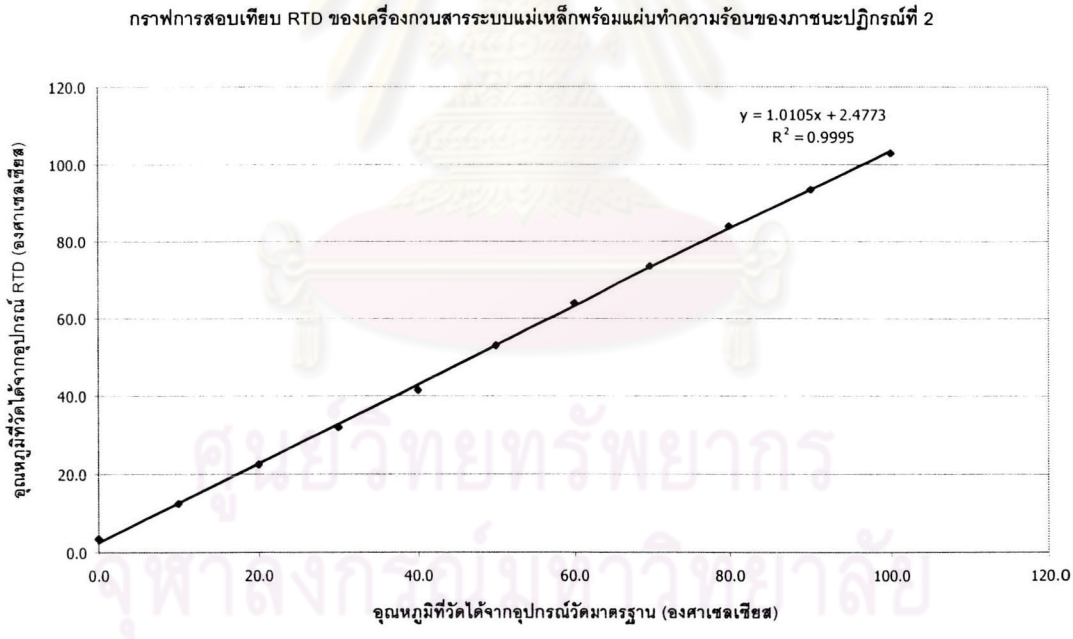


(ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค)



(ง)

รูปที่ ง.1 กราฟการสอบเทียบของอุปกรณ์ RTD ทั้ง 4 ชิ้น

(ก) อุปกรณ์ RTD ของเครื่องวัดค่า pH ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1

(ข) อุปกรณ์ RTD ของเครื่องกวนสารฯ ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 1

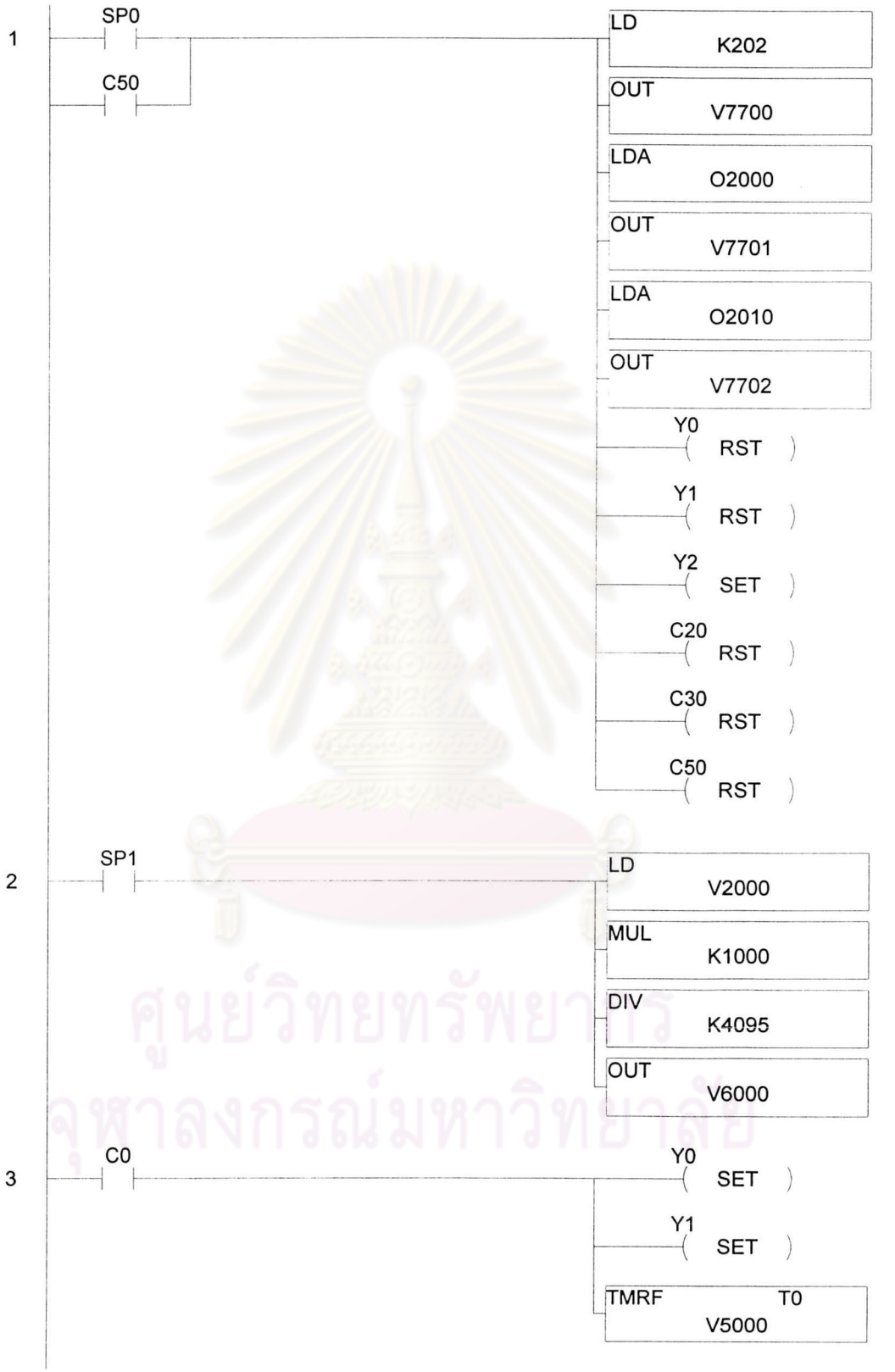
(ค) อุปกรณ์ RTD ของเครื่องวัดค่า pH ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2

(ง) อุปกรณ์ RTD ของเครื่องกวนสารฯ ของภาชนะปฏิกรณ์ที่ 2

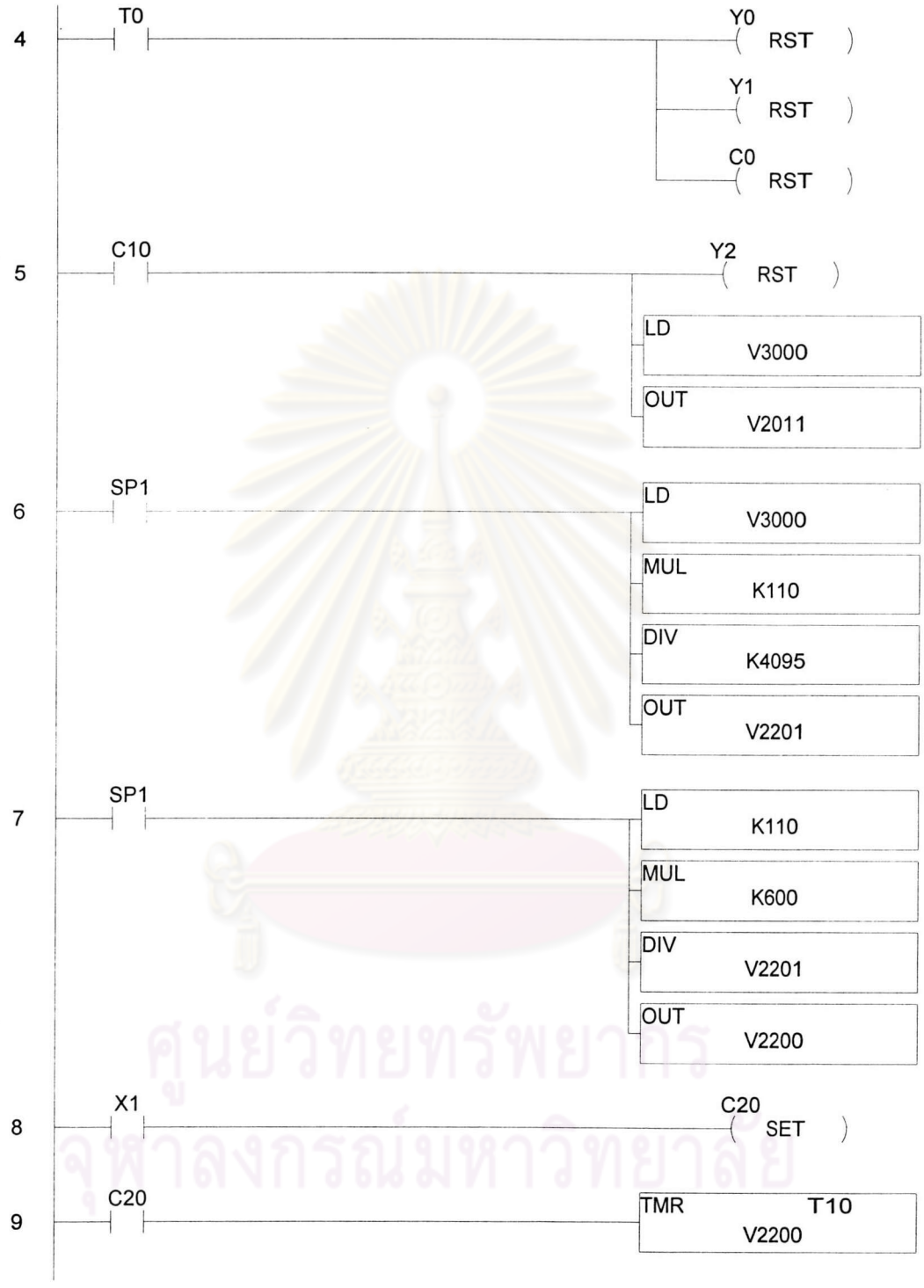
ภาคผนวก จ

แผนภาพแลดเดอร์ของระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

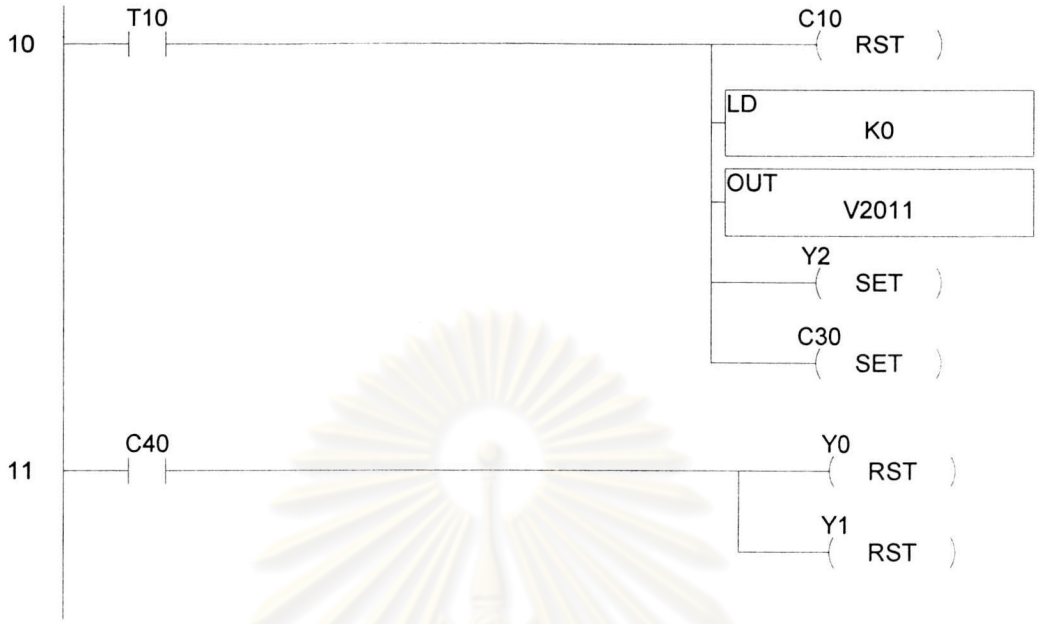
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

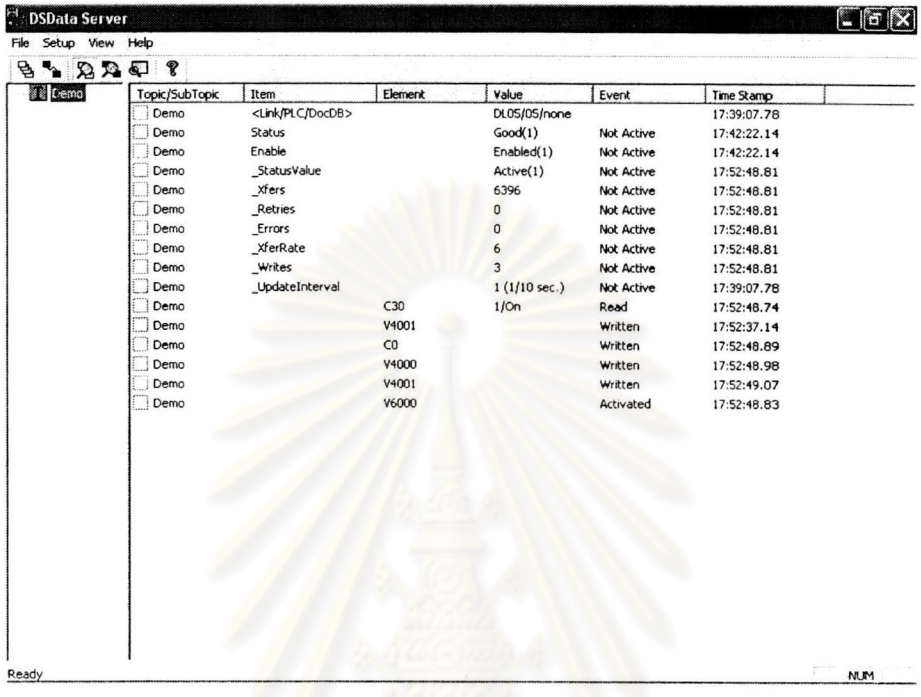
ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งานสำหรับควบคุมและแสดงผลการดำเนินงาน

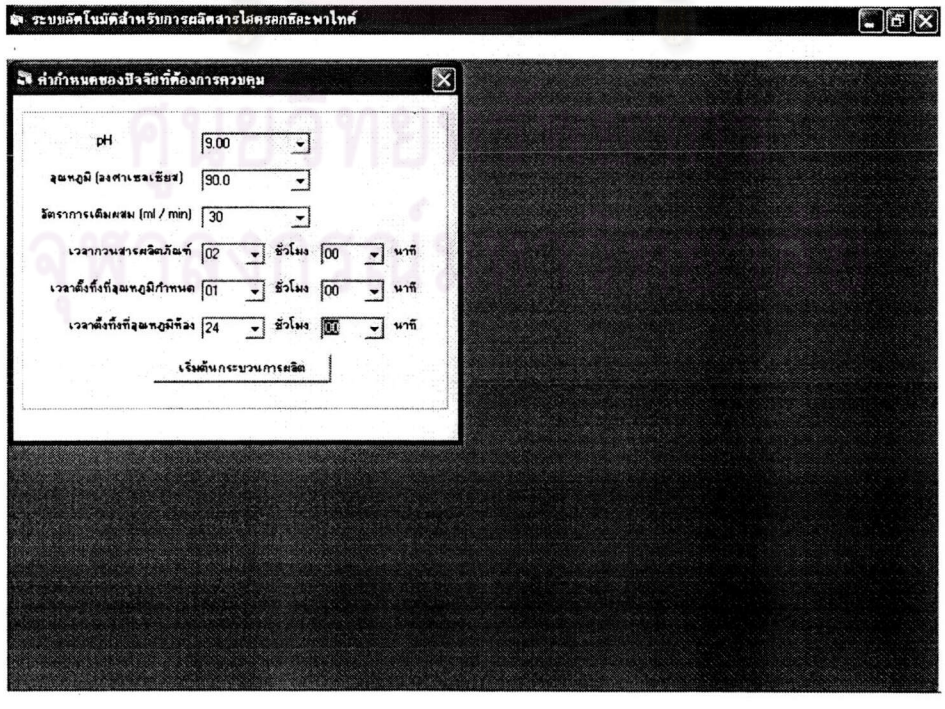
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ใช้ระบบอัตโนมัติในการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์สามารถดำเนินการเกี่ยวกับระบบซอฟต์แวร์ควบคุมและแสดงผลการดำเนินงานตามลำดับขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

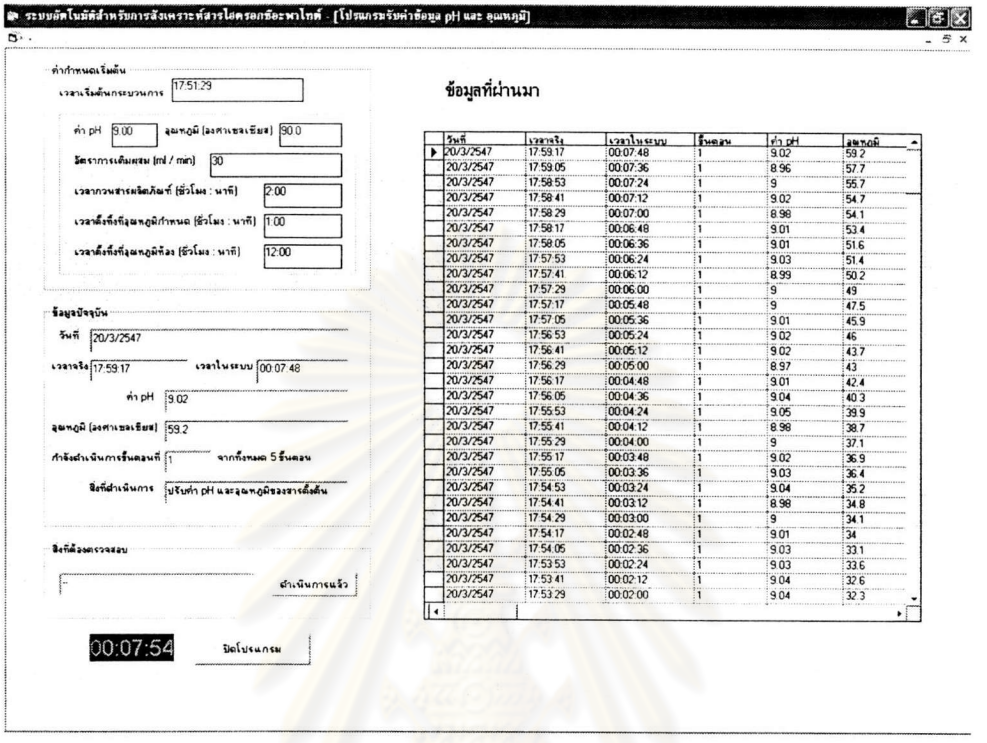
1) เปิดโปรแกรม DSData Server



2) เปิดโปรแกรมระบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยในตอนเริ่มต้นจะให้ผู้ใช้ระบบกำหนดค่าปัจจัยต่างๆ ตามที่ต้องการแล้วคลิกที่ปุ่ม “เริ่มต้นกระบวนการผลิต” เพื่อเริ่มดำเนินกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ

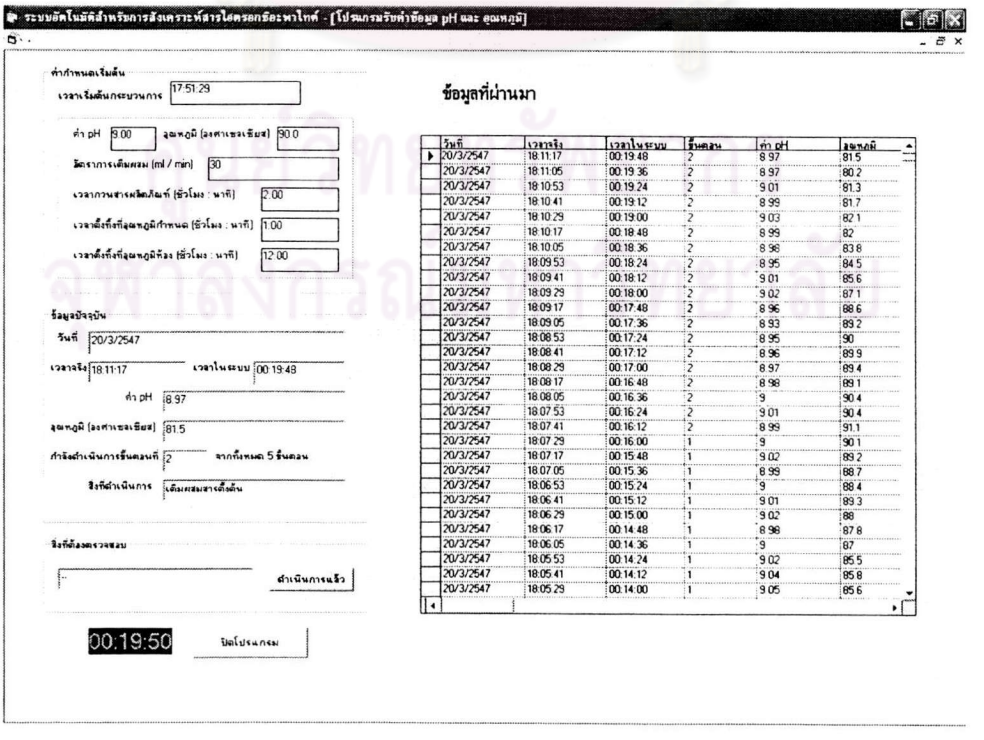


3) ระบบอัตโนมัติจะเริ่มต้นเข้าสู่ขั้นตอนที่ 1 กล่าวคือการปรับค่า pH และอุณหภูมิของสารตั้งต้น



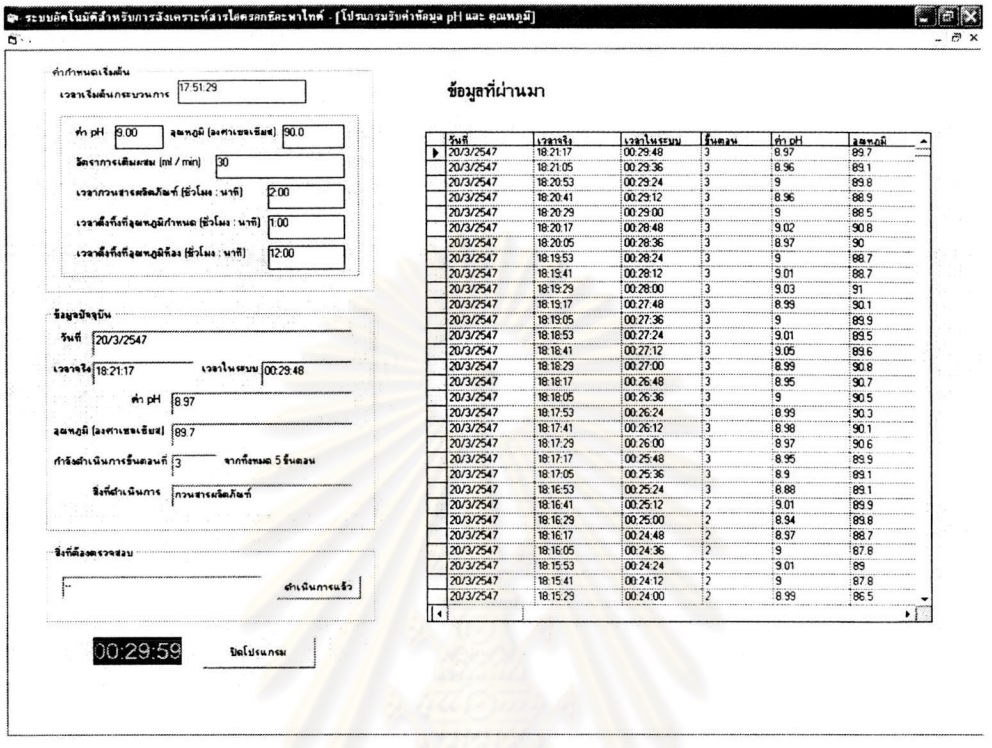
วันที่	เวลาจริง	เวลาในระบบ	ขั้นตอน	ค่า pH	อุณหภูมิ
20/3/2547	17:59:17	00:07:48	1	9.02	59.2
20/3/2547	17:59:05	00:07:36	1	8.96	57.7
20/3/2547	17:58:53	00:07:24	1	9	55.7
20/3/2547	17:58:41	00:07:12	1	9.02	54.7
20/3/2547	17:58:29	00:07:00	1	8.98	54.1
20/3/2547	17:58:17	00:06:48	1	9.01	53.4
20/3/2547	17:58:05	00:06:36	1	9.01	51.6
20/3/2547	17:57:53	00:06:24	1	9.03	51.4
20/3/2547	17:57:41	00:06:12	1	8.99	50.2
20/3/2547	17:57:29	00:06:00	1	9	49
20/3/2547	17:57:17	00:05:48	1	9	47.5
20/3/2547	17:57:05	00:05:36	1	9.01	45.9
20/3/2547	17:56:53	00:05:24	1	9.02	46
20/3/2547	17:56:41	00:05:12	1	9.02	43.7
20/3/2547	17:56:29	00:05:00	1	8.97	43
20/3/2547	17:56:17	00:04:48	1	9.01	42.4
20/3/2547	17:56:05	00:04:36	1	9.04	40.3
20/3/2547	17:55:53	00:04:24	1	9.05	39.9
20/3/2547	17:55:41	00:04:12	1	8.98	38.7
20/3/2547	17:55:29	00:04:00	1	9	37.1
20/3/2547	17:55:17	00:03:48	1	9.02	36.9
20/3/2547	17:55:05	00:03:36	1	9.03	36.4
20/3/2547	17:54:53	00:03:24	1	9.04	35.2
20/3/2547	17:54:41	00:03:12	1	8.98	34.8
20/3/2547	17:54:29	00:03:00	1	9	34.1
20/3/2547	17:54:17	00:02:48	1	9.01	34
20/3/2547	17:54:05	00:02:36	1	9.03	33.1
20/3/2547	17:53:53	00:02:24	1	9.03	33.6
20/3/2547	17:53:41	00:02:12	1	9.04	32.6
20/3/2547	17:53:29	00:02:00	1	9.04	32.3

4) เมื่อค่า pH และอุณหภูมิของสารตั้งต้นถูกต้องตามค่าที่กำหนด ระบบจะดำเนินการต่อไปในขั้นตอนที่ 2 กล่าวคือการเติมผสมสารตั้งต้น

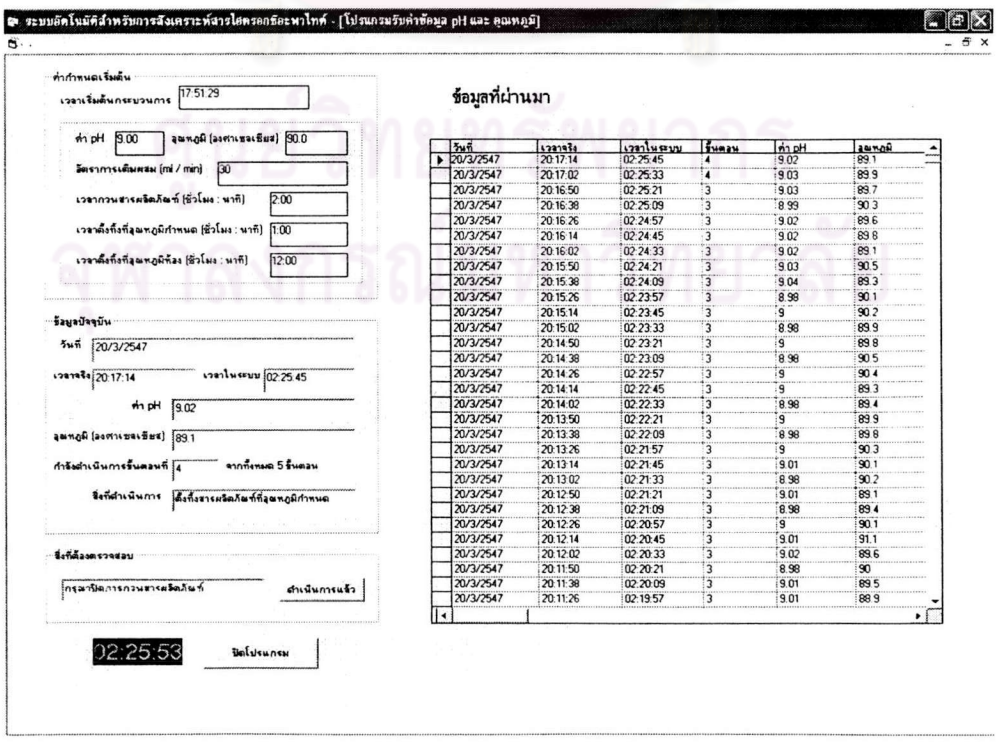


วันที่	เวลาจริง	เวลาในระบบ	ขั้นตอน	ค่า pH	อุณหภูมิ
20/3/2547	18:11:17	00:19:48	2	8.97	81.5
20/3/2547	18:11:05	00:19:36	2	8.97	80.2
20/3/2547	18:10:53	00:19:24	2	9.01	81.3
20/3/2547	18:10:41	00:19:12	2	8.99	81.7
20/3/2547	18:10:29	00:19:00	2	9.03	82.1
20/3/2547	18:10:17	00:18:48	2	8.99	82
20/3/2547	18:10:05	00:18:36	2	8.96	83.6
20/3/2547	18:09:53	00:18:24	2	8.95	84.5
20/3/2547	18:09:41	00:18:12	2	9.01	85.6
20/3/2547	18:09:29	00:18:00	2	9.02	87.1
20/3/2547	18:09:17	00:17:48	2	8.96	88.6
20/3/2547	18:09:05	00:17:36	2	8.93	89.2
20/3/2547	18:08:53	00:17:24	2	8.95	90
20/3/2547	18:08:41	00:17:12	2	8.96	89.9
20/3/2547	18:08:29	00:17:00	2	8.97	89.4
20/3/2547	18:08:17	00:16:48	2	8.98	89.1
20/3/2547	18:08:05	00:16:36	2	9	90.4
20/3/2547	18:07:53	00:16:24	2	9.01	90.4
20/3/2547	18:07:41	00:16:12	2	8.99	91.1
20/3/2547	18:07:29	00:16:00	1	9	90.1
20/3/2547	18:07:17	00:15:48	1	9.02	89.2
20/3/2547	18:07:05	00:15:36	1	8.98	88.7
20/3/2547	18:06:53	00:15:24	1	9	88.4
20/3/2547	18:06:41	00:15:12	1	9.01	89.3
20/3/2547	18:06:29	00:15:00	1	9.02	88
20/3/2547	18:06:17	00:14:48	1	8.98	87.8
20/3/2547	18:06:05	00:14:36	1	9	87
20/3/2547	18:05:53	00:14:24	1	9.02	85.5
20/3/2547	18:05:41	00:14:12	1	9.04	85.8
20/3/2547	18:05:29	00:14:00	1	9.05	85.6

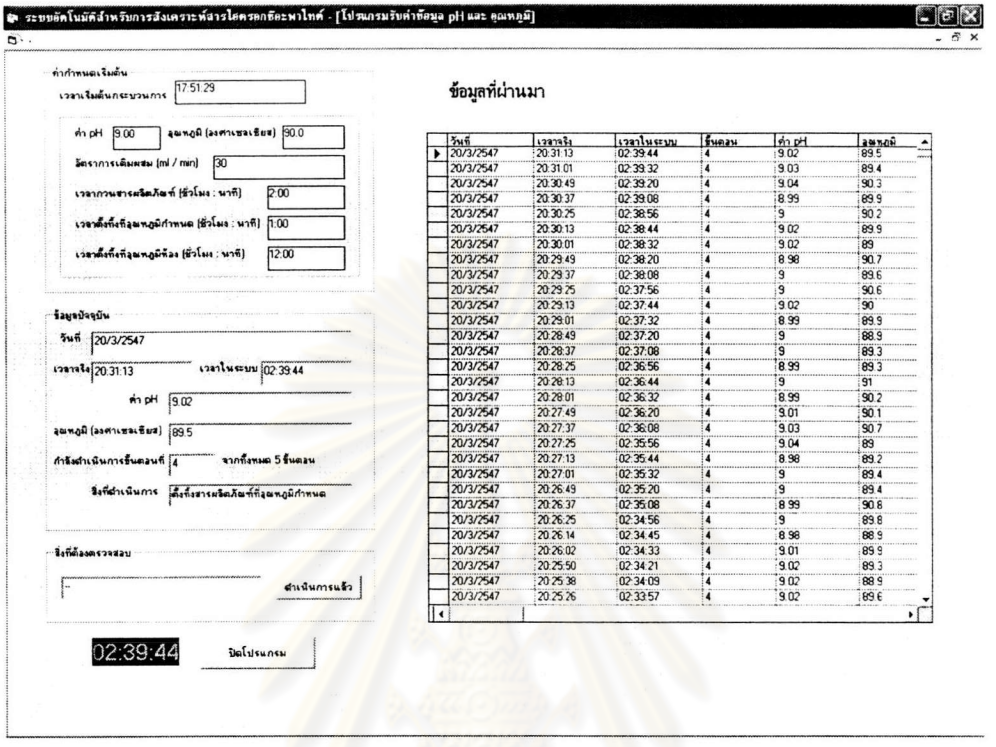
5) หลังจากเติมผสมสารตั้งต้นจนหมดแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 กล่าวคือการกวนสารผลิตภัณฑ์ โดยระบบอัตโนมัติจะเริ่มจับเวลาในการกวนสารผลิตภัณฑ์



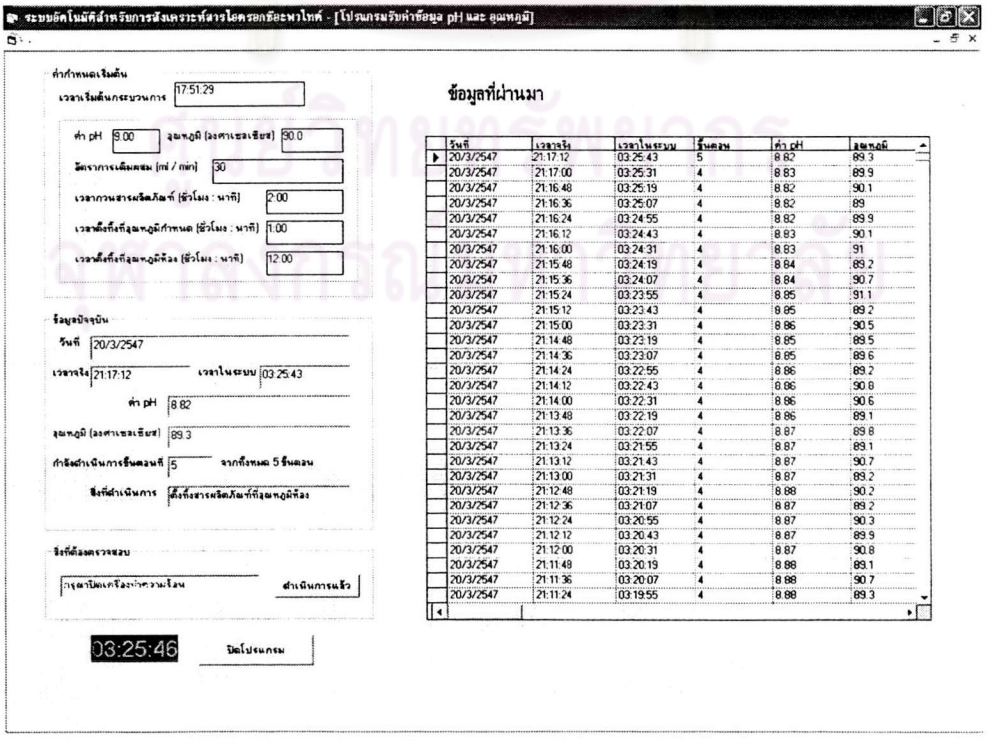
6) เมื่อกวนสารผลิตภัณฑ์จนครบตามเวลากวนที่กำหนดแล้ว ระบบจะดำเนินการต่อไปในขั้นตอนที่ 4 โดยเริ่มจับเวลาตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิกำหนดและแจ้งข้อความเตือนผู้ใช้ระบบเป็นตัวอักษรสีแดงให้ปิดการกวนสารผลิตภัณฑ์



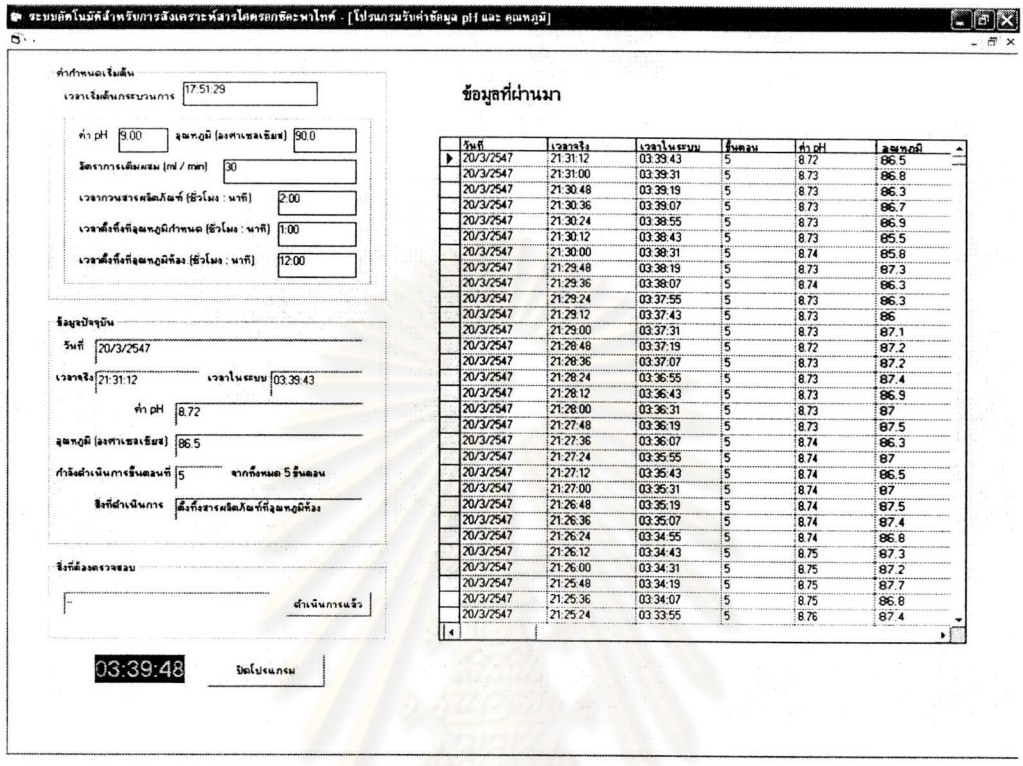
7) หลังจากที่ผู้ใช้ระบบปิดการกวนสารผลิตภัณฑ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และคลิกตอบรับระบบที่ปุ่ม “ดำเนินการแล้ว” ข้อความเตือนสีแดงจะหายไป



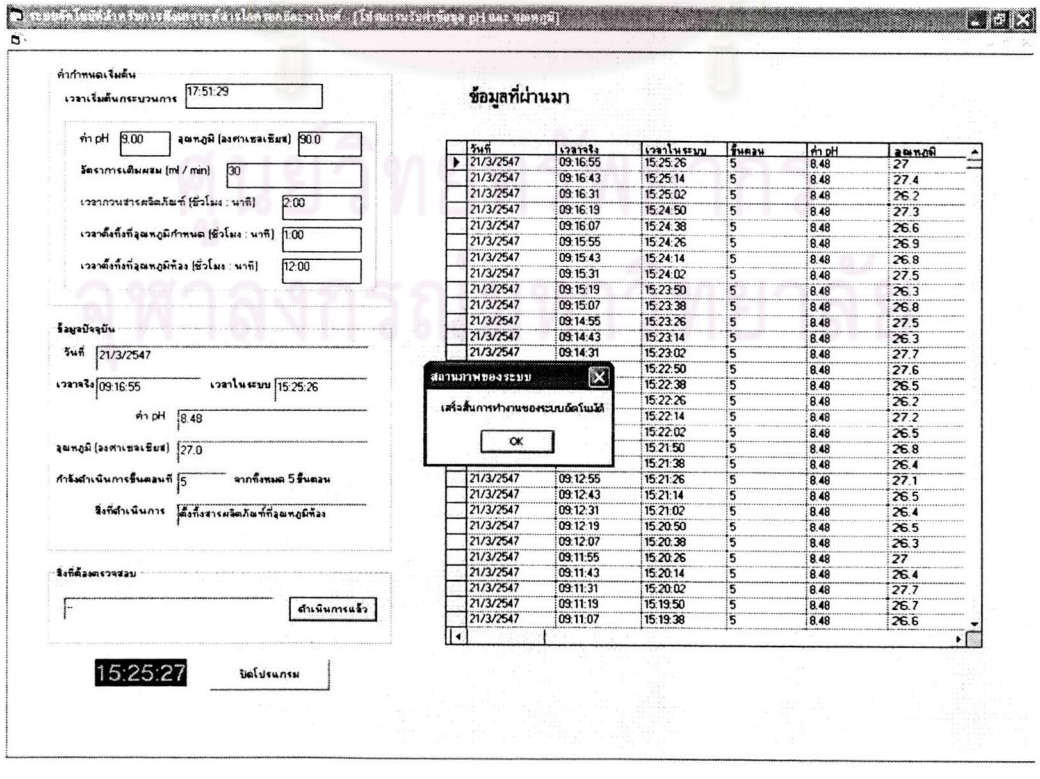
8) เมื่อครบกำหนดเวลาตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิกำหนดแล้ว ระบบจะดำเนินการต่อไปในขั้นตอนที่ 5 โดยเริ่มจับเวลาตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง และแจ้งข้อความเตือนผู้ใช้ระบบเป็นตัวอักษรสีแดงให้ปิดเครื่องทำความร้อน



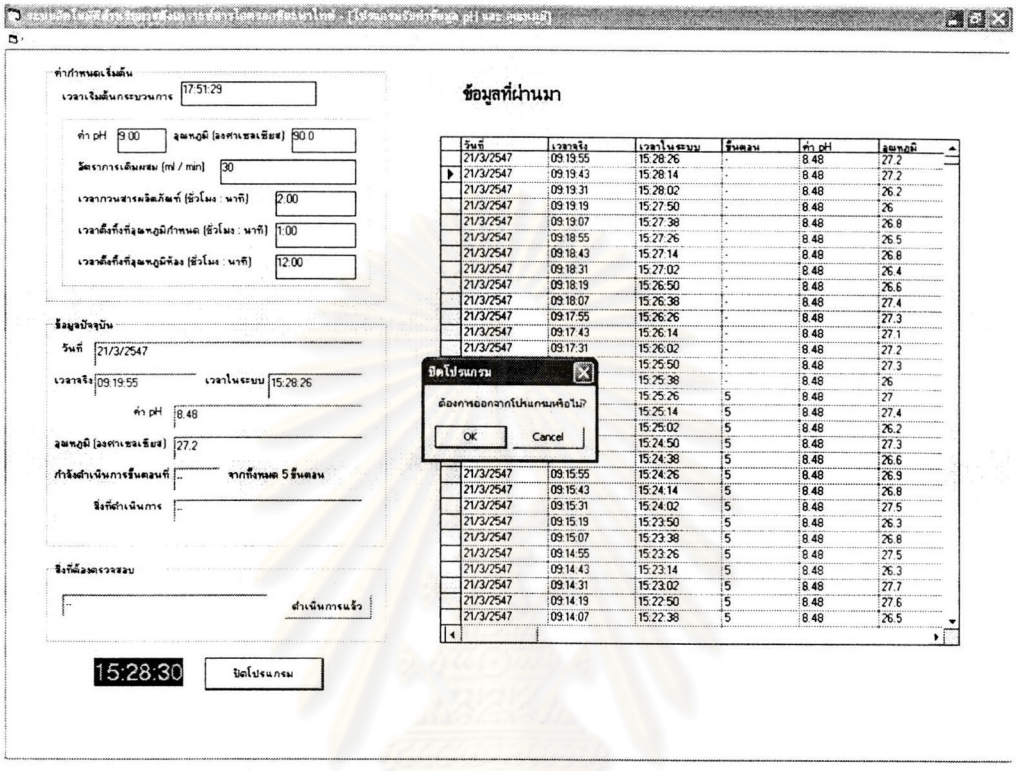
9) หลังจากที่ผู้ใช้ระบบปิดเครื่องทำความร้อนเรียบร้อยแล้ว และคลิกตอบรับระบบที่ปุ่ม “ดำเนินการแล้ว” ข้อความเตือนสีแดงจะหายไป



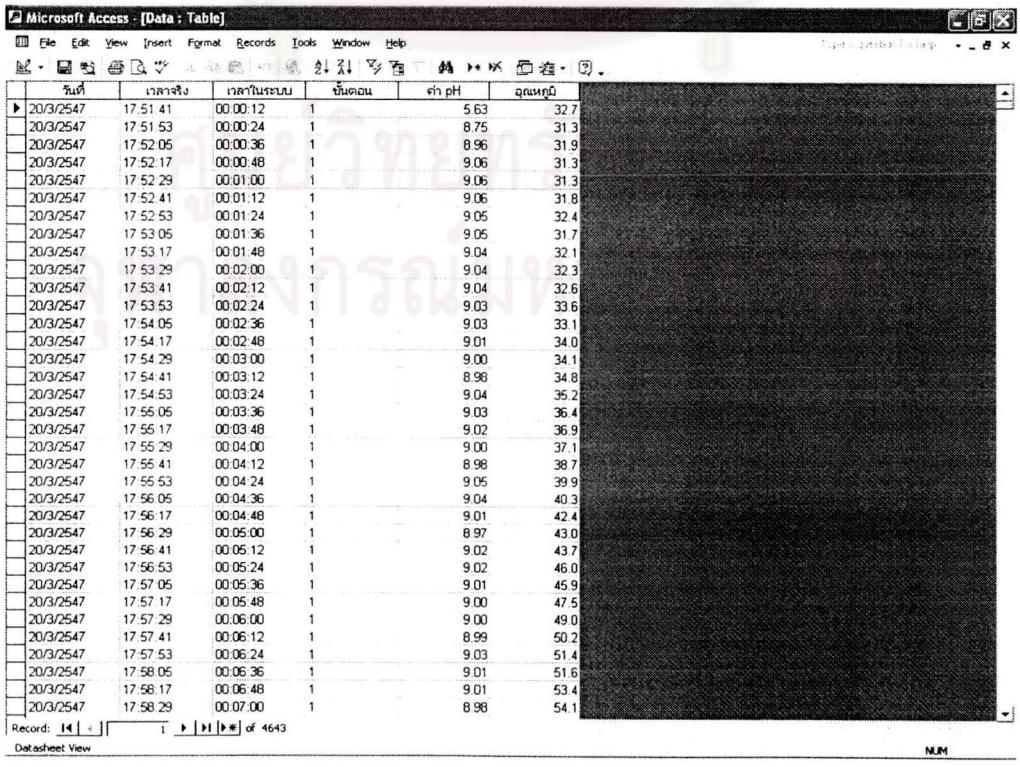
10) เมื่อครบกำหนดเวลาตั้งทิ้งสารผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องแล้ว ระบบจะแสดงกล่องข้อความแจ้งให้ผู้ใช้ระบบทราบว่าเสร็จสิ้นการทำงานของระบบอัตโนมัติแล้ว



11) หลังจากที่ผู้ใช้ระบบรับทราบว่าระบบดำเนินการเสร็จสิ้นโดยการคลิกที่ปุ่ม “OK” แล้ว ผู้ใช้ระบบสามารถคลิกที่ปุ่ม “ปิดโปรแกรม” แล้วเลือก “OK” เพื่อออกจากระบบ



12) ผู้ใช้ระบบสามารถเรียกดูข้อมูลทั้งหมดได้จากไฟล์ฐานข้อมูลซึ่งเปิดโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access XP



วันที่	เวลาจริง	เวลาในระบบ	ขั้นตอน	ค่า pH	อุณหภูมิ
20/3/2547	17:51:41	00:00:12	1	5.63	32.7
20/3/2547	17:51:53	00:00:24	1	8.75	31.3
20/3/2547	17:52:05	00:00:36	1	8.96	31.9
20/3/2547	17:52:17	00:00:48	1	9.06	31.3
20/3/2547	17:52:29	00:01:00	1	9.06	31.3
20/3/2547	17:52:41	00:01:12	1	9.06	31.8
20/3/2547	17:52:53	00:01:24	1	9.05	32.4
20/3/2547	17:53:05	00:01:36	1	9.05	31.7
20/3/2547	17:53:17	00:01:48	1	9.04	32.1
20/3/2547	17:53:29	00:02:00	1	9.04	32.3
20/3/2547	17:53:41	00:02:12	1	9.04	32.6
20/3/2547	17:53:53	00:02:24	1	9.03	33.6
20/3/2547	17:54:05	00:02:36	1	9.03	33.1
20/3/2547	17:54:17	00:02:48	1	9.01	34.0
20/3/2547	17:54:29	00:03:00	1	9.00	34.1
20/3/2547	17:54:41	00:03:12	1	8.98	34.8
20/3/2547	17:54:53	00:03:24	1	9.04	35.2
20/3/2547	17:55:05	00:03:36	1	9.03	36.4
20/3/2547	17:55:17	00:03:48	1	9.02	36.9
20/3/2547	17:55:29	00:04:00	1	9.00	37.1
20/3/2547	17:55:41	00:04:12	1	8.98	38.7
20/3/2547	17:55:53	00:04:24	1	9.05	39.9
20/3/2547	17:56:05	00:04:36	1	9.04	40.3
20/3/2547	17:56:17	00:04:48	1	9.01	42.4
20/3/2547	17:56:29	00:05:00	1	8.97	43.0
20/3/2547	17:56:41	00:05:12	1	9.02	43.7
20/3/2547	17:56:53	00:05:24	1	9.02	46.0
20/3/2547	17:57:05	00:05:36	1	9.01	45.9
20/3/2547	17:57:17	00:05:48	1	9.00	47.5
20/3/2547	17:57:29	00:06:00	1	9.00	49.0
20/3/2547	17:57:41	00:06:12	1	8.99	50.2
20/3/2547	17:57:53	00:06:24	1	9.03	51.4
20/3/2547	17:58:05	00:06:36	1	9.01	51.6
20/3/2547	17:58:17	00:06:48	1	9.01	53.4
20/3/2547	17:58:29	00:07:00	1	8.98	54.1

ภาคผนวก ช

มาตรฐาน XRD ของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Pattern : 74-566 **Radiation =** 1.540600 **Quality :** Calculated

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$

Hydroxylapatite / Calcium Hydroxide Phosphate

Lattice : Hexagonal ***Mol. weight =*** 1004.64

S.G. : P63/m (176) ***Volume [CD] =*** 529.09

a = 9.42400 ***Dx =*** 3.153

c = 6.87900

Z = 1 ***I/Icor =*** 1.06

ICSD COLLECTION CODE : 026205
TEMPERATURE FACTOR : ATF
SAMPLE SOURCE OR LOCALITY : Specimen from Holly Springs, GA, USA.
ADDITIONAL PATTERN : See PDF 9-432.
DATA COLLECTION FLAG: Ambient.

*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference :

*Acta Crystallogr., Sec. B, volume 25, page 1534. (1969)

2th	I	h	k	l
10.832	17	1	0	0
16.842	5	1	0	1
18.817	2	1	1	0
21.762	7	2	0	0
22.858	6	1	1	1
25.357	2	2	0	1
25.883	36	0	0	2
28.131	9	1	0	2
28.921	16	2	1	0
31.766	100	2	1	1
32.195	51	1	1	2
32.897	61	3	0	0
34.063	21	2	0	2
35.455	4	3	0	1
38.168	<1	2	2	0
39.197	5	2	1	2
39.791	21	1	3	0
40.436	2	2	2	1
40.845	<1	1	0	3
41.986	6	1	3	1
42.325	1	3	0	2
43.876	5	1	1	3
44.362	1	4	0	0
45.330	4	2	0	3
46.381	1	4	0	1
46.694	28	2	2	2
48.081	12	1	3	2
48.586	4	2	3	0
49.490	31	2	1	3
50.475	16	3	2	1
51.255	12	1	4	0
52.075	12	4	0	2
*52.075	12	3	0	3
53.220	14	0	0	4
54.484	1	1	0	4
55.863	6	3	2	2
56.318	<1	5	0	0
57.134	4	3	1	3
58.027	2	5	0	1
58.164	1	2	0	4
58.295	1	4	1	2
58.737	1	3	3	0
59.925	4	2	4	0
60.404	3	3	3	1
61.571	3	2	4	1
61.704	5	1	2	4
62.982	8	5	0	2
63.404	2	5	1	0
63.998	7	3	0	4
64.165	9	3	2	3
65.000	7	5	1	1
66.412	2	1	4	3
67.359	<1	2	2	4
68.461	<1	3	1	4
68.985	<1	6	0	0
69.193	<1	1	0	5
69.673	2	5	1	2
70.075	<1	4	3	0
70.517	<1	6	0	1
70.799	<1	5	0	3
71.362	<1	1	1	5
71.596	4	4	3	1
72.232	3	5	2	0
72.436	2	2	0	5
72.947	<1	3	3	3
73.735	2	5	2	1
74.012	4	2	4	3
74.916	1	2	3	4
75.031	1	6	0	2
75.622	5	2	1	5
76.085	2	3	4	2
76.473	2	6	1	0
77.021	5	1	4	4
77.174	4	5	1	3
77.720	<1	3	0	5
77.947	1	1	6	1
78.179	6	2	5	2
80.836	<1	2	2	5
81.180	1	5	0	4
81.673	2	4	4	0
81.870	1	1	3	5
82.323	1	1	6	2
*82.323	1	6	0	3
82.703	1	7	0	0
83.123	1	4	4	1
83.240	1	3	3	4
83.391	4	4	3	3
84.268	3	2	4	4
84.423	2	0	0	6
84.953	<1	4	0	5
85.443	2	5	2	3
*85.443	2	1	0	6
85.782	1	2	6	0
87.338	2	5	1	4
87.494	4	4	4	2
*87.494	4	1	1	6
88.021	2	2	3	5
88.471	6	3	5	2
89.530	<1	1	6	3

Pattern : 74-566 **Radiation =** 1.540600 **Quality :** Calculated

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$

Hydroxylapatite / Calcium Hydroxide Phosphate

Lattice : Hexagonal ***Mol. weight =*** 1004.64

S.G. : P63/m (176) ***Volume [CD] =*** 529.09

a = 9.42400 ***Dx =*** 3.153

c = 6.87900

Z = 1 ***I/Icor =*** 1.06

ICSD COLLECTION CODE : 026205
TEMPERATURE FACTOR : ATF
SAMPLE SOURCE OR LOCALITY : Specimen from Holly Springs, GA, USA.
ADDITIONAL PATTERN : See PDF 9-432.
DATA COLLECTION FLAG: Ambient.

*Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997) primary reference :

*Acta Crystallogr., Sec. B, volume 25, page 1534. (1969) :

d (Å)	I	h	k	l
8.16142	17	1	0	0
5.25985	5	1	0	1
4.71200	2	1	1	0
4.08071	7	2	0	0
3.88745	6	1	1	1
3.50965	2	2	0	1
3.43950	36	0	0	2
3.16953	9	1	0	2
3.08473	16	2	1	0
2.81468	100	2	1	1
2.77811	51	1	1	2
2.72047	61	3	0	0
2.62992	21	2	0	2
2.52983	4	3	0	1
2.35600	<1	2	2	0
2.29645	5	2	1	2
2.26357	21	1	3	0
2.22890	2	2	2	1
2.20753	<1	1	0	3
2.15016	6	1	3	1
2.13372	1	3	0	2
2.06183	5	1	1	3
2.04036	1	4	0	0
1.99902	4	2	0	3
1.95612	1	4	0	1
1.94372	28	2	2	2
1.89084	12	1	3	2
1.87236	4	2	3	0
1.84027	31	2	1	3
1.80663	16	3	2	1
1.78097	12	1	4	0
1.75482	12	4	0	2
*1.75482	12	3	0	3
1.71975	14	0	0	4
1.68280	1	1	0	4
1.64449	6	3	2	2
1.63228	<1	5	0	0
1.61089	4	3	1	3
1.58819	2	5	0	1
1.58477	1	2	0	4
1.58153	1	4	1	2
1.57067	1	3	3	0
1.54236	4	2	4	0
1.53126	3	3	3	1
1.50500	3	2	4	1
1.50209	5	1	2	4
1.47465	8	5	0	2
1.46583	2	5	1	0
1.45365	7	3	0	4
1.45028	9	3	2	3
1.43365	7	5	1	1
1.40655	2	1	4	3
1.38906	<1	2	2	4
1.36936	<1	3	1	4
1.36024	<1	6	0	0
1.35666	<1	1	0	5
1.34848	2	5	1	2
1.34173	<1	4	3	0
1.33440	<1	6	0	1
1.32977	<1	5	0	3
1.32066	<1	1	1	5
1.31691	4	4	3	1
1.30687	3	5	2	0
1.30370	2	2	0	5
1.29582	<1	3	3	3
1.28391	2	5	2	1
1.27979	4	2	4	3
1.26657	1	2	3	4
1.26491	1	6	0	2
1.25649	5	2	1	5
1.24999	2	3	4	2
1.24461	2	6	1	0
1.23712	5	1	4	4
1.23504	4	5	1	3
1.22773	<1	3	0	5
1.22472	1	1	6	1
1.22166	6	2	5	2
1.18807	<1	2	2	5
1.18391	1	5	0	4
1.17800	2	4	4	0
1.17567	1	1	3	5
1.17034	1	1	6	2
*1.17034	1	6	0	3
1.16592	1	7	0	0
1.16110	1	4	4	1
1.15976	1	3	3	4
1.15805	4	4	3	3
1.14822	3	2	4	4
1.14650	2	0	0	6
1.14070	<1	4	0	5
1.13541	2	5	2	3
*1.13541	2	1	0	6
1.13179	1	2	6	0
1.11558	2	5	1	4
1.11400	4	4	4	2
*1.11400	4	1	1	6
1.10868	2	2	3	5
1.10420	6	3	5	2
1.09386	<1	1	6	3

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย สุรปรีช์ เมาลีกุล เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วุฒิการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล เมื่อปี พ.ศ. 2544 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ในปี พ.ศ. 2544

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย