

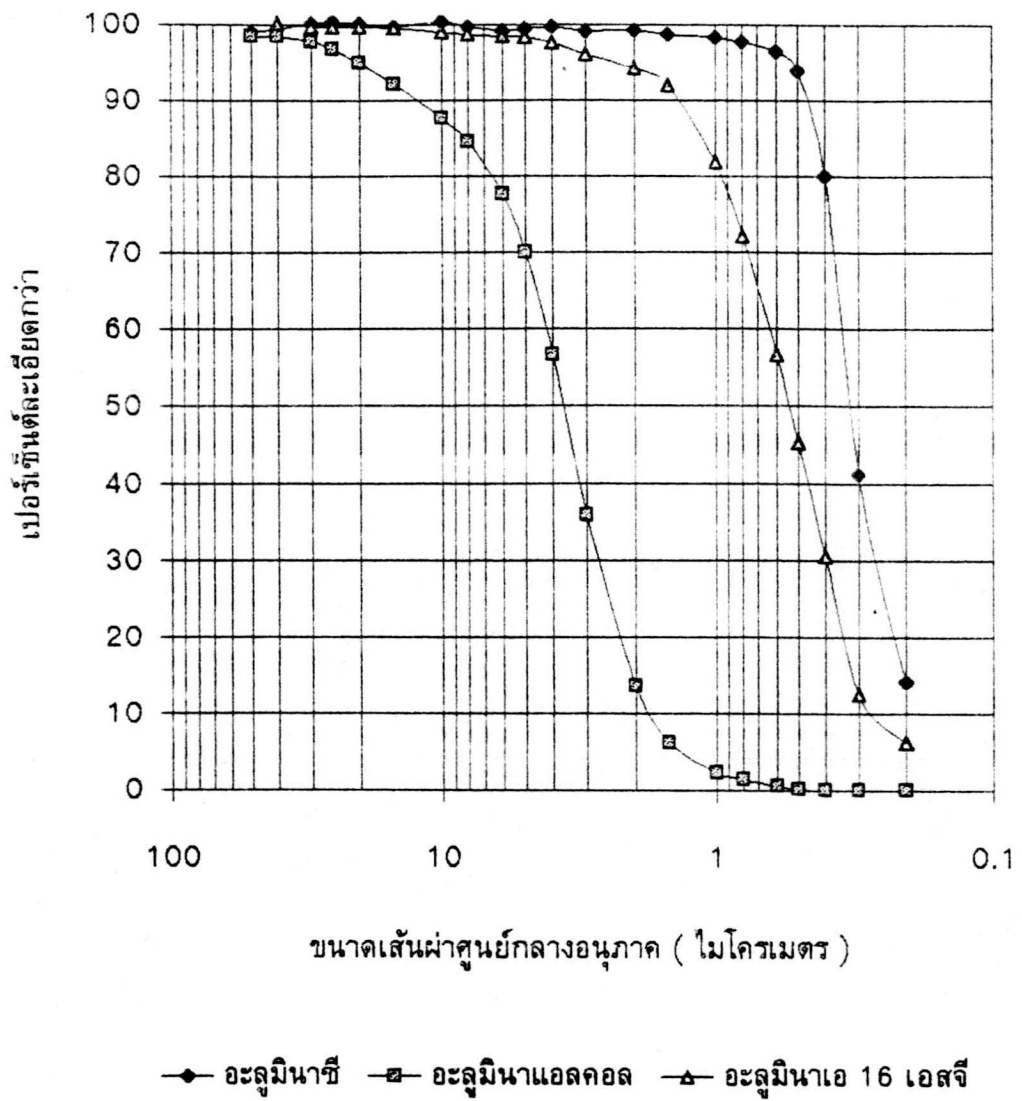
บทที่ 5

ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของอะลูมินา

อะลูมินาที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอะลูมินาแอลคอลล (A12) , อะลูมินาเอ 16 เอสจี (A16SG) และ อะลูมินาซี (AIC) สมบัติของอะลูมินาทั้ง 3 ชนิดแสดงในตาราง 5.1 และรูปที่ 5.1 พบว่า อะลูมินาแอลคอลลมีการกระจายตัวกว้าง ตั้งแต่ 0.5 ถึง 50 ไมโครเมตร ในขณะที่อะลูมินาเอ 16 เอสจี และอะลูมินาซีมีการกระจายตัวในช่วงแคบ ในรูป 5.2 แสดงลักษณะจุดโครงสร้างของอนุภาคอะลูมินาทั้ง 3 ชนิดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอะลูมินาแอลคอลล , อะลูมินาชนิดเอ 16 เอสจี และอะลูมินาซี มีขนาดอนุภาคใหญ่, ขนาดกลางและขนาดเล็กสุด ตามลำดับ อะลูมินาแอลคอลลและอะลูมินาซี ใช้ในการเตรียมตัวรองรับ ในขณะที่อะลูมินาเอ 16 เอสจี ใช้ในการเตรียมชั้นมันซ์ย่นต์ ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติของอะลูมินาทั้งสามชนิด

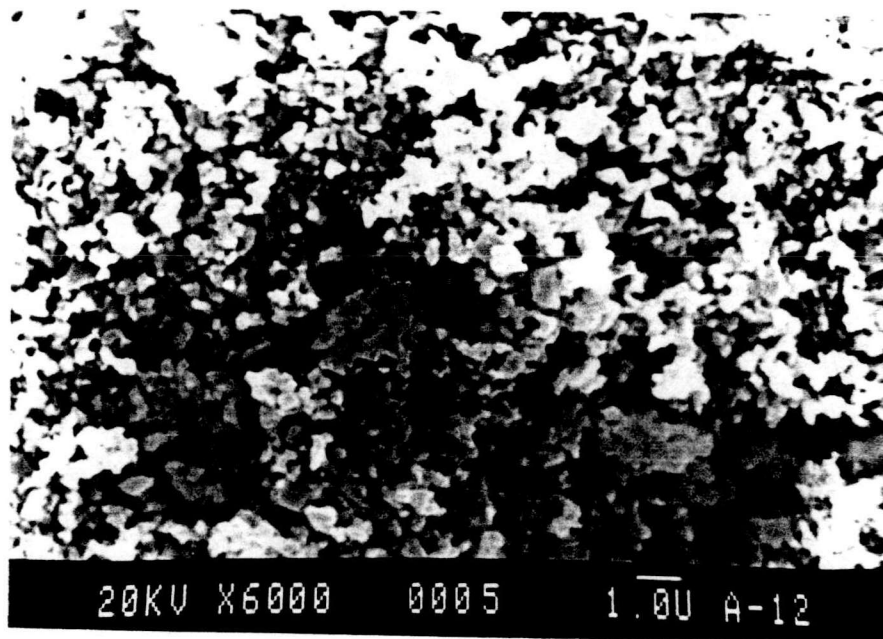
สมบัติ	A12	A16SG	AIC
ความหนาแน่น	3.97	3.97	3.13
ขนาดอนุภาค(ไมโครเมตร)			
ที่ 90 %	12.7	1.4	0.47
ที่ 50 %	3.7	3.7	0.32
ที่ 10 %	2.0	2.0	-
เฉลี่ย	3.64	0.54	0.32



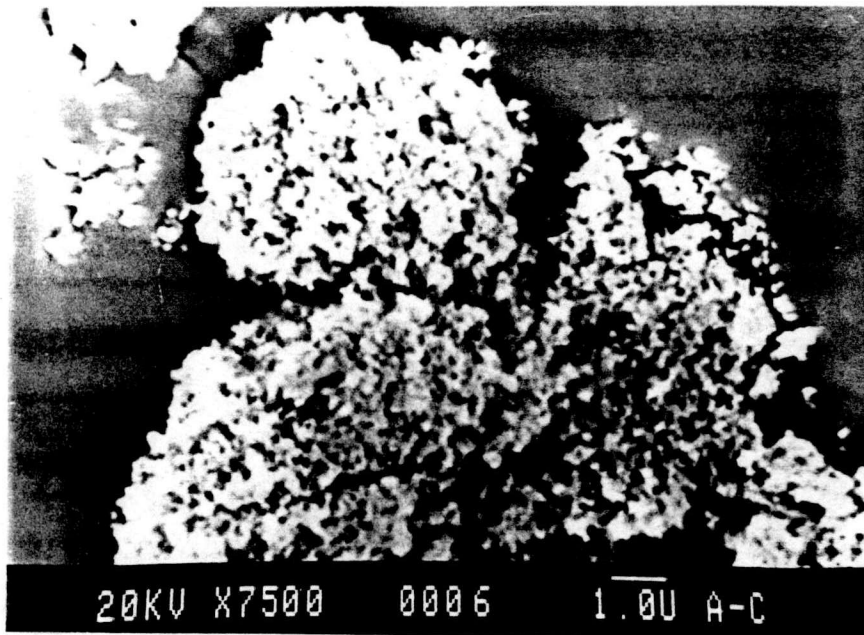
รูปที่ 5.1 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของอะลูมินาทั้ง 3 ชนิด



ก. อะลูมินาแอลคอลล



ข. อะลูมินาเอ 16 เอสจี



ค. อะลูมินาซี

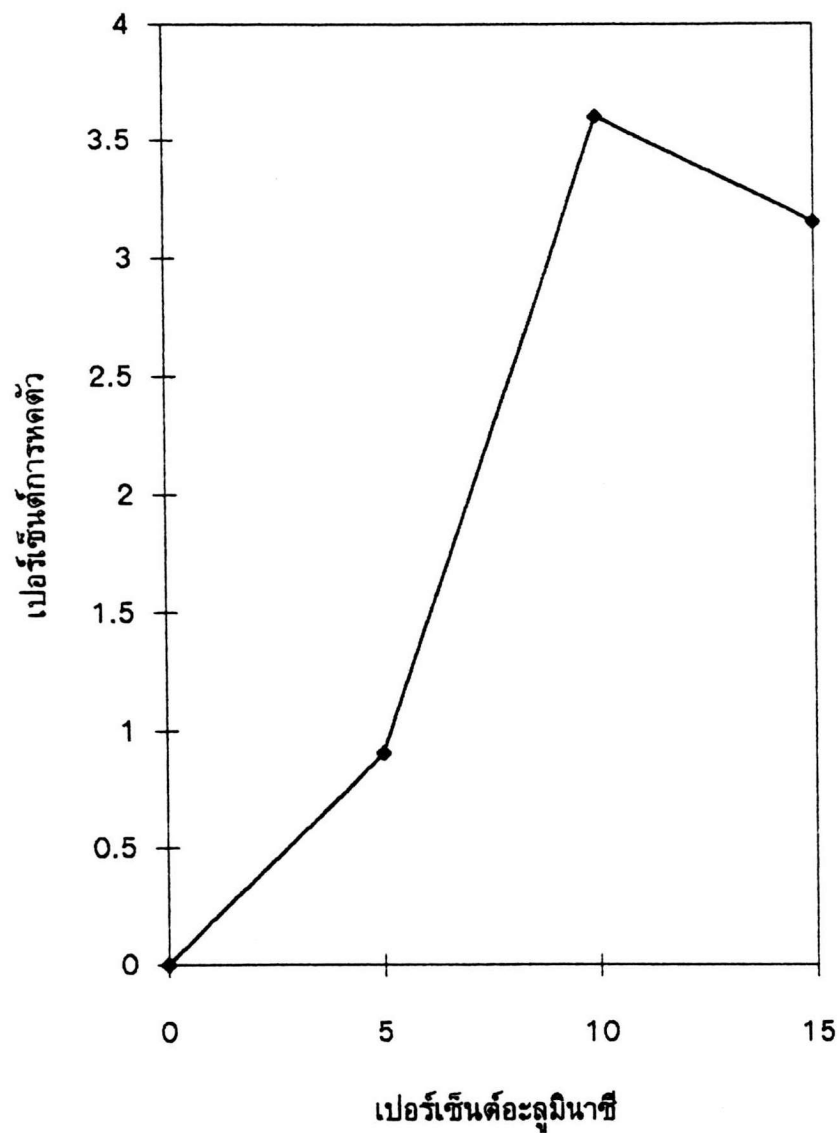
รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะจุลโครงสร้างของอะลูมินาทั้ง 3 ชนิด

- ก) อะลูมินาแอลคอด
- ข) อะลูมินาเอ 16 เอสจี
- ค) อะลูมินาซี

การศึกษาการเตรียมและสมบัติตัวรองรับ

1.1 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างอะลูมินาแอลคอลลและอะลูมินาซีต่อการร่อนของชิ้นงาน

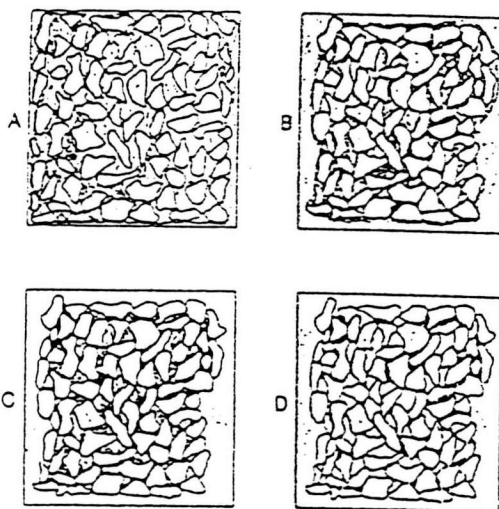
โดยทั่วไปการร่อนของชิ้นงานออกจากแบบเกิดจากการระเหยของน้ำออกจากชิ้นงาน เนื่องจากหลังจากหล่อ ชิ้นงานยังคงมีน้ำขังอยู่ระหว่างช่องว่างของอนุภาคและมีน้ำคลุมผิวอนุภาค (ในรูป 5.4 A) ในระหว่างการระเหยของน้ำในชิ้นงาน น้ำซึ่งขังอยู่ภายในระเหย และชั้นน้ำซึ่งปกคลุมผิวอนุภาคมีความหนาลดลง (ในรูป 5.4 B) ทำให้เกิดการหดตัวของชิ้นงานขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอะลูมินาซีในน้ำสลিপ ชิ้นงานเกิดการหดตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นงานร่อนจากแบบได้ง่าย เนื่องจากอะลูมินาซีมีขนาดเล็กและพื้นที่ผิวสูงกว่าอะลูมินาแอลคอลล ดังนั้นชิ้นงานที่เติมอะลูมินาซีจะมีปริมาณน้ำขังอยู่ภายในชิ้นงานและมีปริมาณน้ำที่ใช้ในการคลุมผิวสูงกว่าชิ้นงานซึ่งไม่ได้เติมอะลูมินาซี ทำให้ชิ้นงานที่เติมอะลูมินาซีเกิดการร่อนออกจากแบบได้ง่ายกว่า ปริมาณอะลูมินาซีที่เติมลงในน้ำสลิปที่เหมาะสมคืออัตราส่วนระหว่างอะลูมินาแอลคอลลต่ออะลูมินาซีเป็น 90 : 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและให้ค่าการหดตัวของชิ้นงาน 3.60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้น้ำสลิปที่ปริมาณของแข็ง 55.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณโซเดียมแอลจีเนต 0.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของของแข็ง และการเติมอะลูมินาซีลงในน้ำสลิป ทำให้เวลาที่ใช้ในการเทแบบนานขึ้นและชิ้นงานที่ได้เป็นแท่งกลวง ทำให้สามารถควบคุมความหนาของชิ้นงานได้ ในขณะที่การใช้อะลูมินาแอลคอลลเพียงชนิดเดียวทำให้เวลาในการเทแบบสั้นเกินไป ชิ้นงานที่ได้เป็นแท่งตัน ความหนาของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ และชิ้นงานไม่ร่อนออกจากแม่แบบ รูปที่ 5.5 แสดงการกระจายตัวของน้ำสลิปหลังจากเติมอะลูมินาซีลงในน้ำสลิป 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าน้ำสลิปมีอนุภาคขนาดต่ำกว่า 0.5 ไมครอนเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำสลิปมีอนุภาคขนาดคอลลอยด์ปริมาณสูงขึ้น อนุภาคขนาดคอลลอยด์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานและปรับปรุงสมบัติการเทแบบให้ดีขึ้น



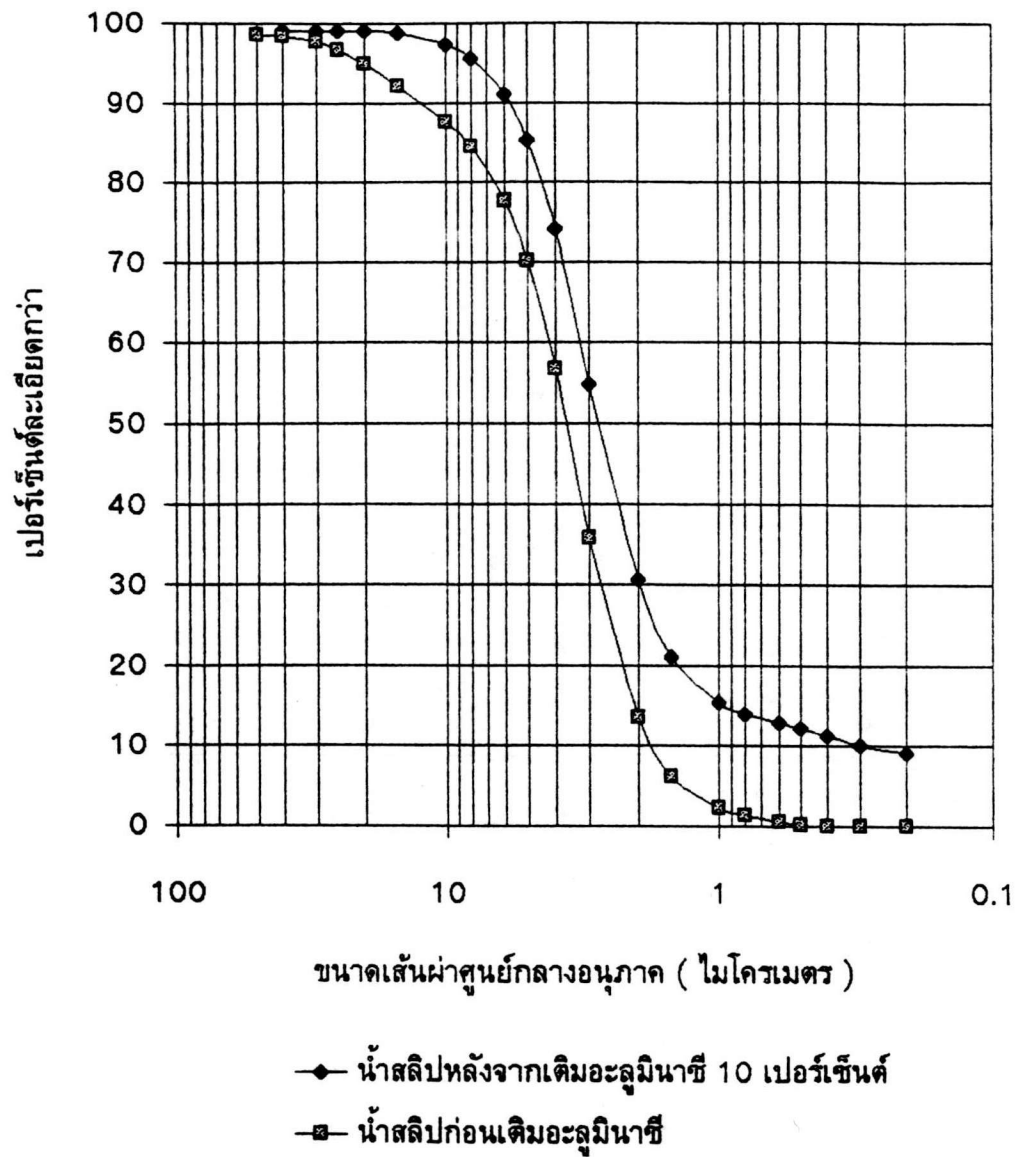
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนน้ำสีในน้ำสลิปและเปอร์เซ็นต์การหดรัดตัวของชิ้นงานหลังการเทแบบ

ตารางที่ 5.2 แสดงอัตราส่วนผสมระหว่างอะลูมินาแอลคอกอลและอะลูมินาซี

อะลูมินาแอลคอกอลต่ออะลูมินาซี (กรัมต่อกรัม)	เปอร์เซ็นต์การหดตัว	การร่อน จากแม่แบบ
100.0 : 0.0	0.00	✗
95.0 : 5.0	0.90	✓
90.0 : 10.0	3.60	✓
85.0 : 15.0	3.15	✓



รูปที่ 5.4 แสดงการการหดตัวของชิ้นงานในระหว่างการระเหยของน้ำจากชิ้นงาน

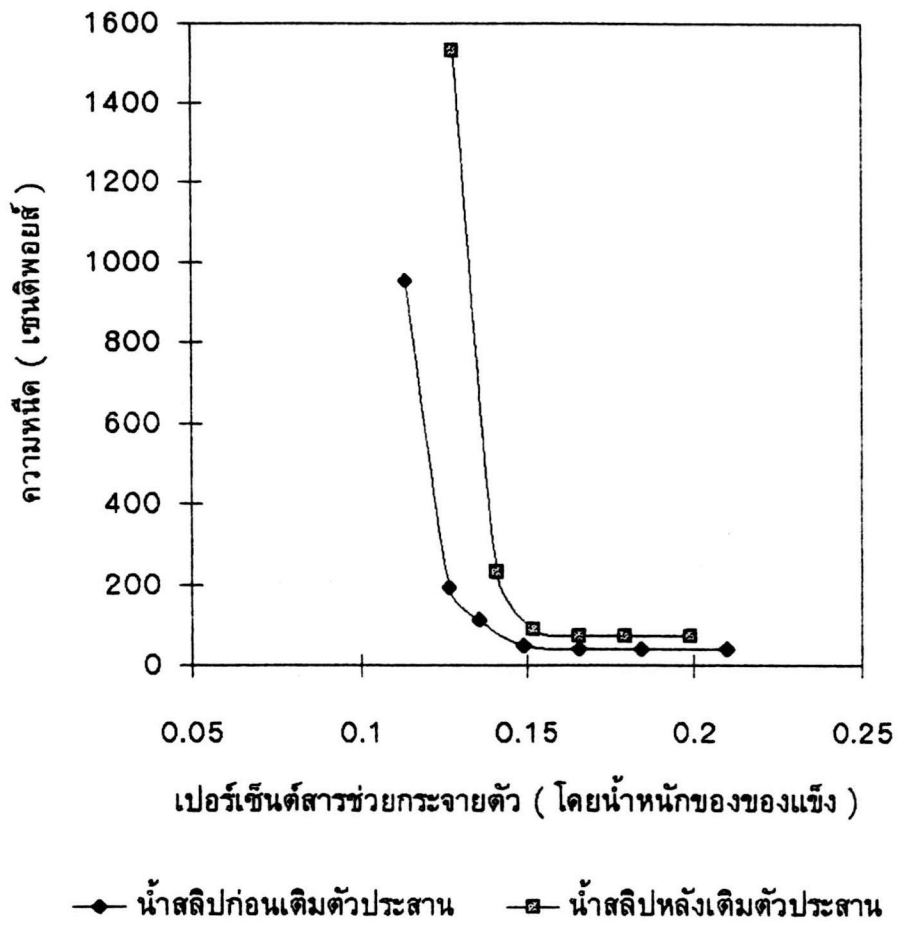


รูปที่ 5.5 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในน้ำสลิปก่อนเติมและหลังเติมอะลูมินาซี 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของแข็ง

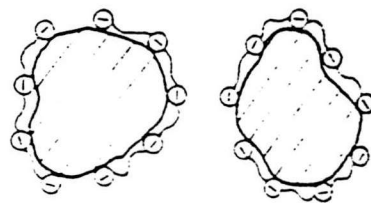
1.2. อิทธิพลของปริมาณสารช่วยกระจายตัวต่อสมบัติการไหลตัวของน้ำสลิปอะลูมินา

ในการวิจัยนี้เตรียมน้ำสลิปที่ความเข้มข้นของของแข็งเป็น 55.56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน A12 : AIC เป็น 90 : 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณโซเดียมแอลจีเนต 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของแข็ง พบว่าหลังจากเติมสารช่วยกระจายตัวลงในน้ำสลิปเพียงเล็กน้อย ทำให้ความหนืดของน้ำสลิปมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว สารช่วยกระจายตัวที่ใช้ในการทดลอง คือเกลือโซเดียมคาร์บอกซิลเลตซึ่งมีชื่อทางการค้าคือ ดิสเพลเอ็น-40 (Displex N-40) ปริมาณดิสเพลที่เหมาะสมในการวิจัยครั้งนี้ คือ 0.13 - 0.15 เปอร์เซ็นต์ น้ำสลิปมีความหนืดอยู่ในช่วง 88 - 72 เซนติพอยส์ ในรูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวและค่าความหนืดของน้ำสลิปอะลูมินา จากการทดลองพบว่าหลังจากเติมตัวประสานลงในน้ำสลิปพบว่า ความหนืดของน้ำสลิปมีค่าเพิ่ม

สารช่วยกระจายตัวสามารถลดค่าความหนืดของน้ำสลิปได้ เนื่องจากโมเลกุลของสารช่วยกระจายตัวเป็นสารไฮโดรคาร์บอนและประกอบด้วยกลุ่มคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถแตกตัวได้เป็นประจุลบ ทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์ละลายน้ำและเกิดประจุลบขึ้น ในขณะที่เมื่ออะลูมินากระจายตัวอยู่ในน้ำ ที่มีอนุภาคมีประจุค่อนข้างเป็นบวก (ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสลิปประมาณ 6 - 7) สารช่วยกระจายตัวถูกดูดซับไว้ที่ผิวอะลูมินา ทำให้อะลูมินาเกิดการกระจายตัวได้ดีในน้ำสลิป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคอะลูมินาซึ่งดูดซับสารช่วยกระจายตัวไว้ที่ผิว ดังที่แสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยกระจายตัวและค่าความหนืดของน้ำสลีปก่อนเติมตัวประสานและหลังจากเติมตัวประสาน



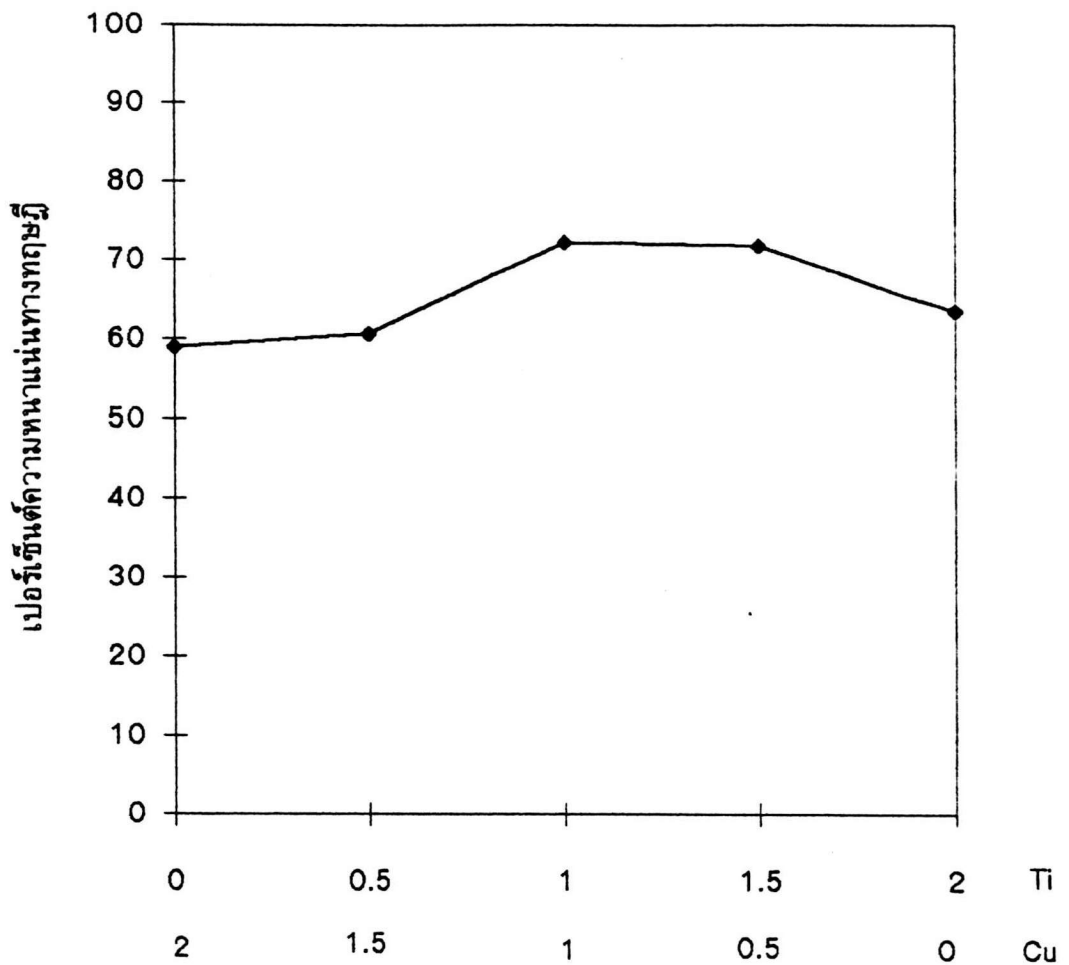
รูปที่ 5.7 แสดงการดูดซับของสารช่วยกระจายตัวบนผิวของอะลูมินา

1.3. อิทธิพลของอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยขึ้นเทอร์

ในการทดลองได้ใช้สารช่วยขึ้นเทอร์คือ โทเทเนียมไดออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ปริมาณสารช่วยขึ้นเทอร์ทั้งสองชนิดรวมกันเป็น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยการขึ้นเทอร์ที่ 1300 °ซ นาน 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยขึ้นเทอร์คือคอปเปอร์ออกไซด์ต่อโทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1 ความหนาแน่นเท่ากับ 68.98 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นทางทฤษฎี (รูปที่ 5.8) ในรูป 5.9 และ 5.10 พบว่าที่อัตราส่วนดังกล่าวเปอร์เซ็นต์ความพรุนและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีค่าต่ำสุด ในรูป 5.11 พบว่าที่อัตราส่วนดังกล่าวให้อัตราการขึ้นเทอร์สูงสุด คือ 12 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเติมสารช่วยขึ้นเทอร์เพียงชนิดเดียวให้อัตราการขึ้นเทอร์ต่ำ ผลการทดลองนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองของ Cutler และคณะ แต่จากการวิจัยของ Cutler และคณะพบว่าความหนาแน่นของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์มีค่าประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นทางทฤษฎี เนื่องจากการใช้อะลูมินาขนาดเล็กกว่า (A-14) ทำให้เกิดการขึ้นเทอร์ได้ดีกว่า และในรูป 5.12 แสดงสีของชิ้นงานเมื่อเติมสารช่วยขึ้นเทอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าชิ้นงานที่เติมโทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียวจะให้สีขาว ในขณะที่ชิ้นงานที่เติมคอปเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวจะให้สีแดงเข้ม

จากภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้แสดงรายละเอียด คือ ในชิ้นงานที่ไม่ได้เติมสารช่วยขึ้นเทอร์ (รูปที่ 5.13 ก) พบว่าอะลูมินาซีมีมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอโดยแทรกตัวอยู่ระหว่างอะลูมินาแอลคอลลซึ่งมีขนาดอนุภาคใหญ่ แล้วนำชิ้นงานไปขึ้นเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ นาน 2 ชั่วโมง พบว่าชิ้นงานที่ได้มีความหนาแน่นเป็น 51.22 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นทางทฤษฎี และจากจุลโครงสร้าง (รูปที่ 5.13 ข) พบว่าชิ้นงานยังขึ้นเทอร์ได้ไม่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าอะลูมินาขนาดเล็กมียังคงกระจายอยู่ทั่วไปในชิ้นงาน

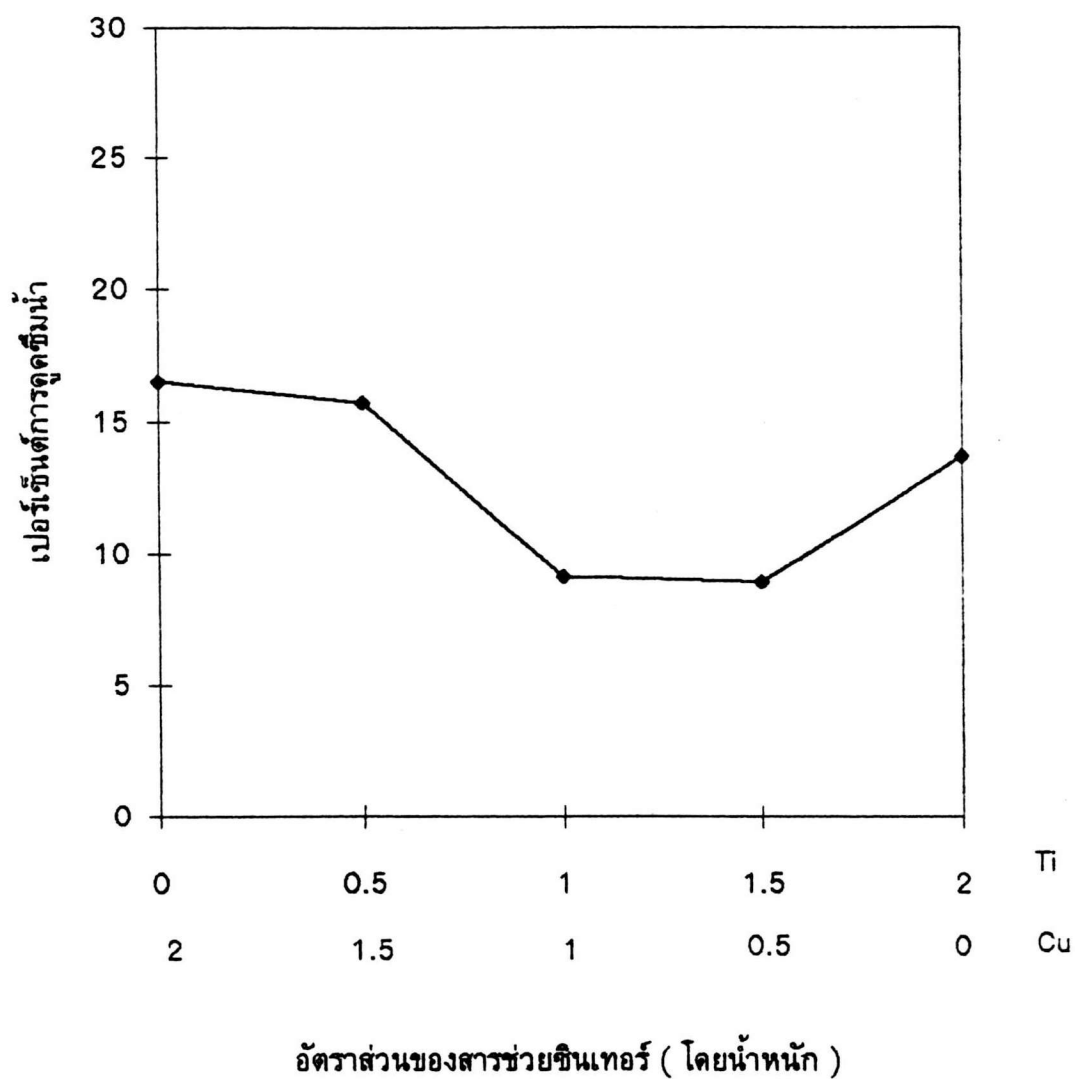
ในการทดลองเมื่อเติมสารช่วยซินเทอร์ พบว่าชิ้นงานที่เติมคอปเปอร์ออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (รูปที่ 5.14 ก) เกิดการโตของเกรนเกิดขึ้นจากอนุภาคซีเกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น (เปรียบเทียบกับรูปที่ 5.13 ข) และอนุภาคที่ได้มีลักษณะเป็นก้อน ในขณะที่ชิ้นงานที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (รูปที่ 5.14 จ) พบว่าอนุภาคขนาดเล็กเกิดการโตเป็นแผ่นรูปหกเหลี่ยม เมื่อเติมสารช่วยซินเทอร์ทั้งสองชนิด (ในรูปที่ 5.14 ข , 5.14 ค และ 5.14 ง) พบว่าอนุภาคขนาดเล็กเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (มีขนาดใหญ่กว่าในรูปที่ 5.14 ก) และอนุภาคขนาดเล็กยังเกิดการรวมตัวกับอนุภาคขนาดใหญ่



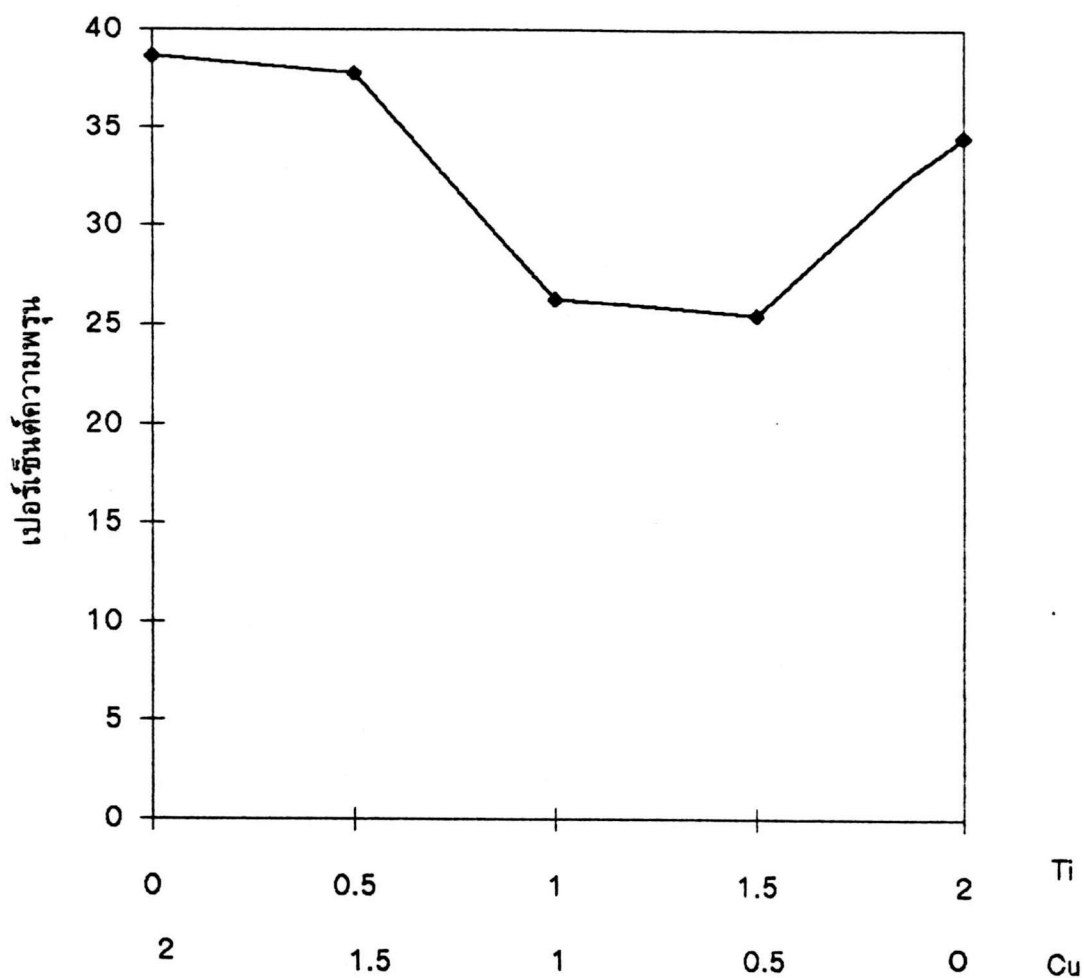
อัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์ (โดยน้ำหนัก)

รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์และเปอร์เซ็นต์ความหนา

แน่นทางทฤษฎีหลังการขึ้นเทอร์ที่ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



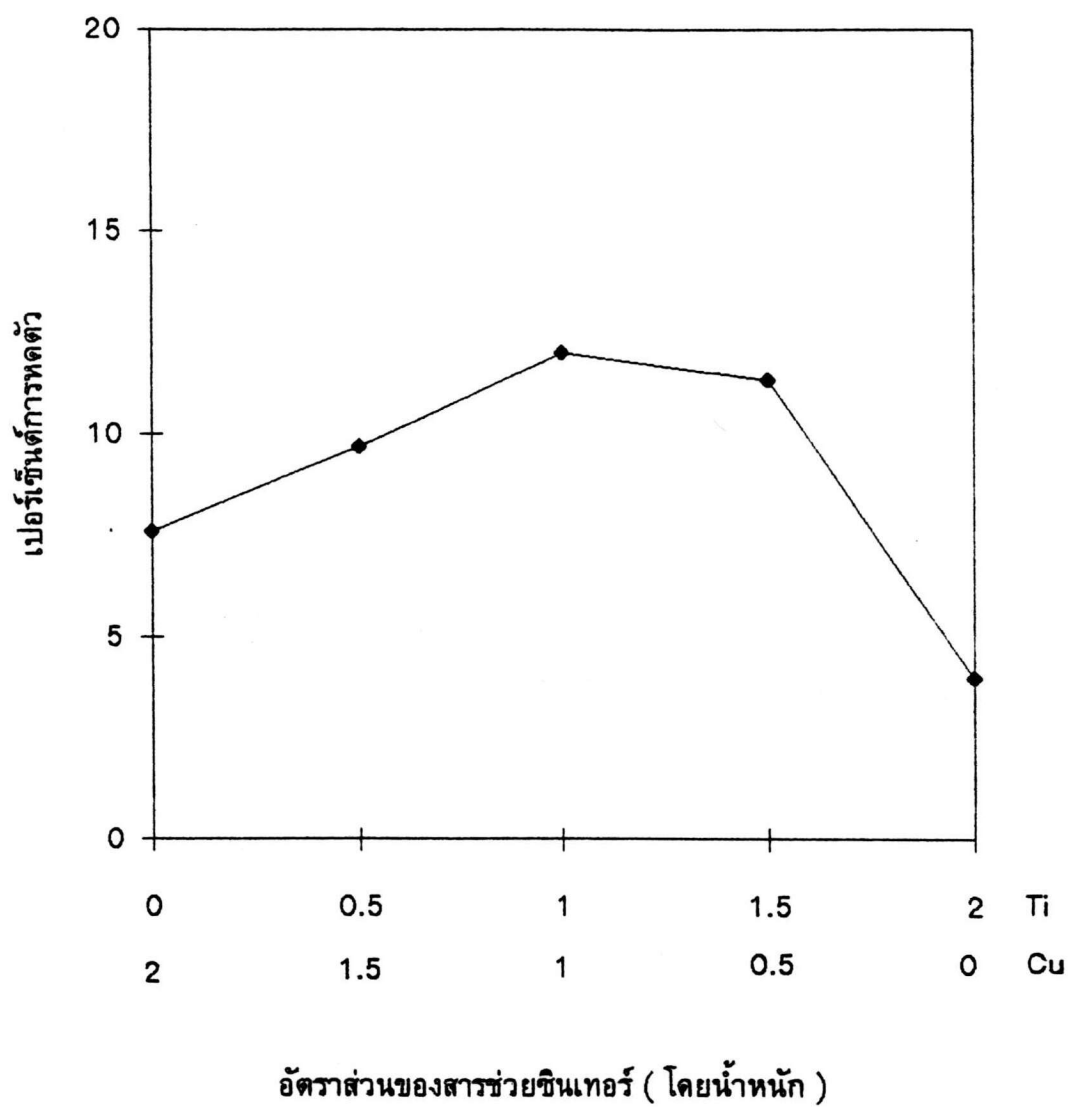
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์ที่ 1300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



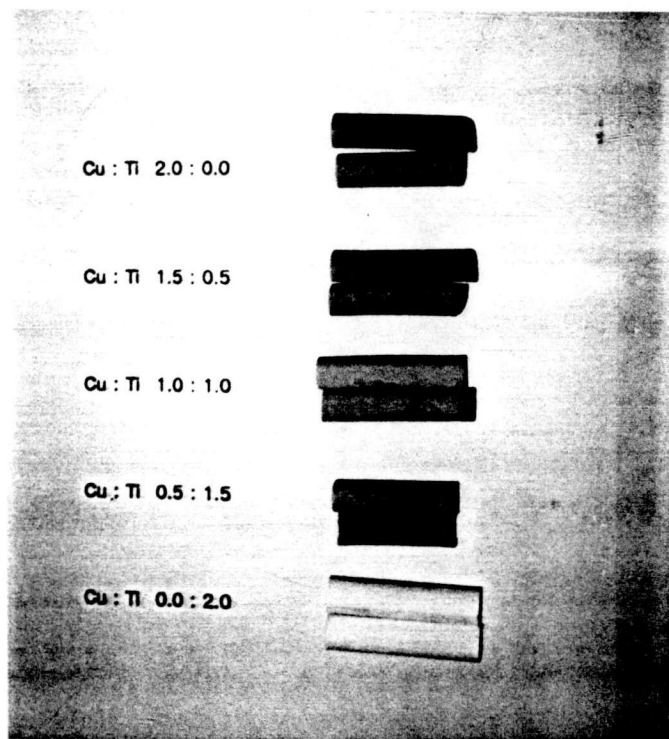
อัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์ (โดยน้ำหนัก)

รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์และเปอร์เซ็นต์

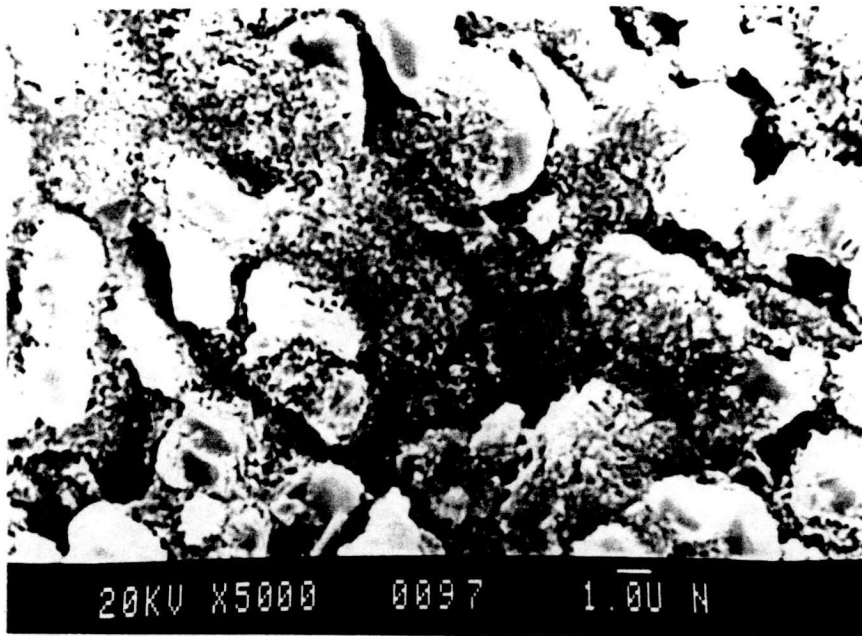
ความพยุนของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์ที่ 1300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์ที่ 1300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 5.12 แสดงสีของชิ้นงานเมื่อเติมสารช่วยขึ้นเทอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ หลังการขึ้นเทอร์ที่ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

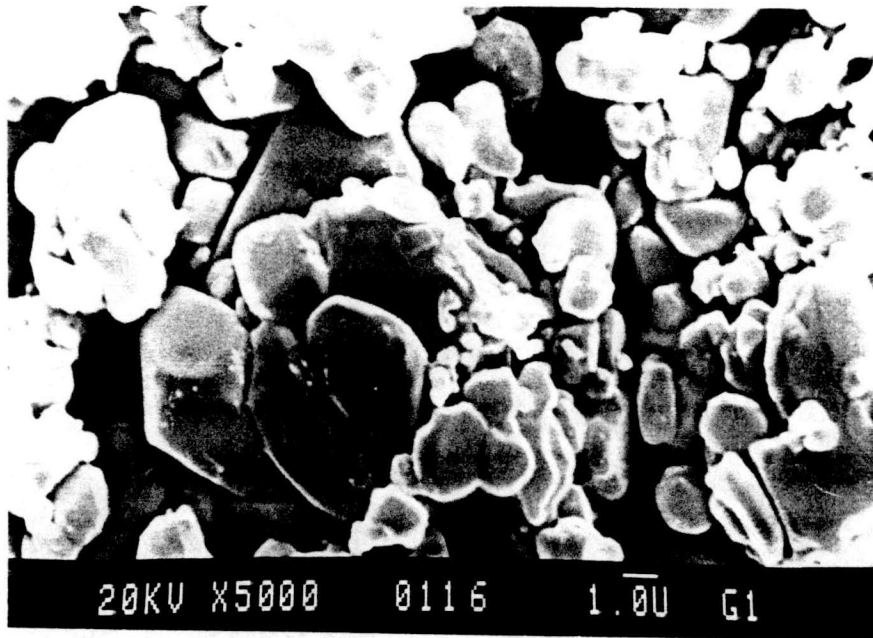


ก) ชิ้นงานก่อนชุบสังกะสี



ข) ชิ้นงานหลังชุบสังกะสี

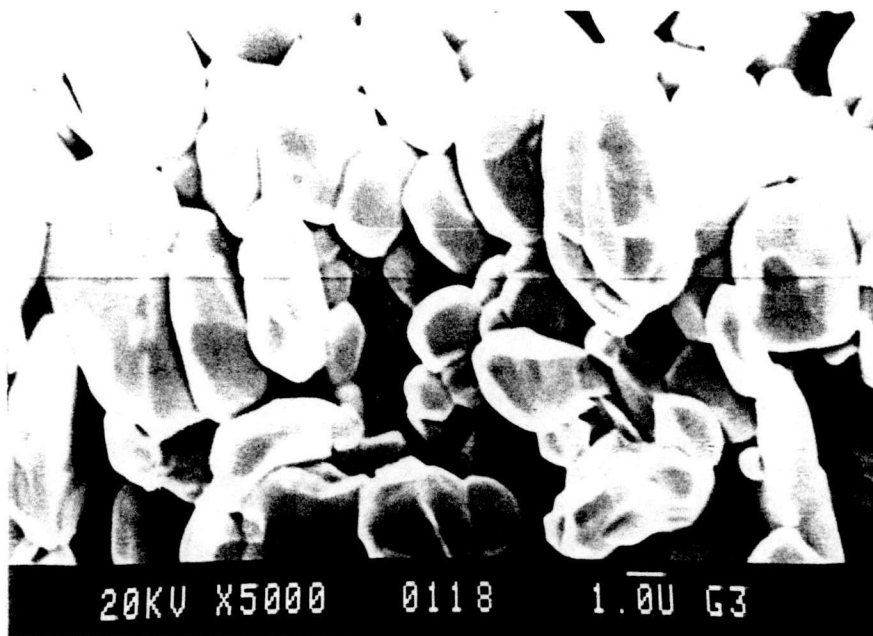
รูปที่ 5.13 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานที่ไม่ได้เติมสารช่วยชุบสังกะสี ก) ก่อนการชุบสังกะสี และ ข) หลังการชุบสังกะสีที่ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่กำลังขยาย 5000 เท่า



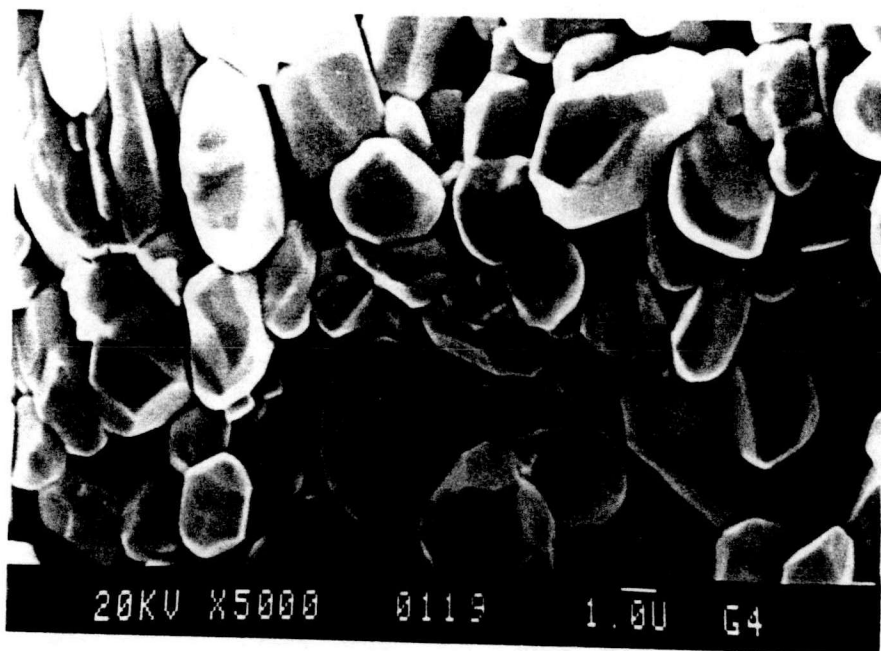
ก) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือคอปเปอร์ออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



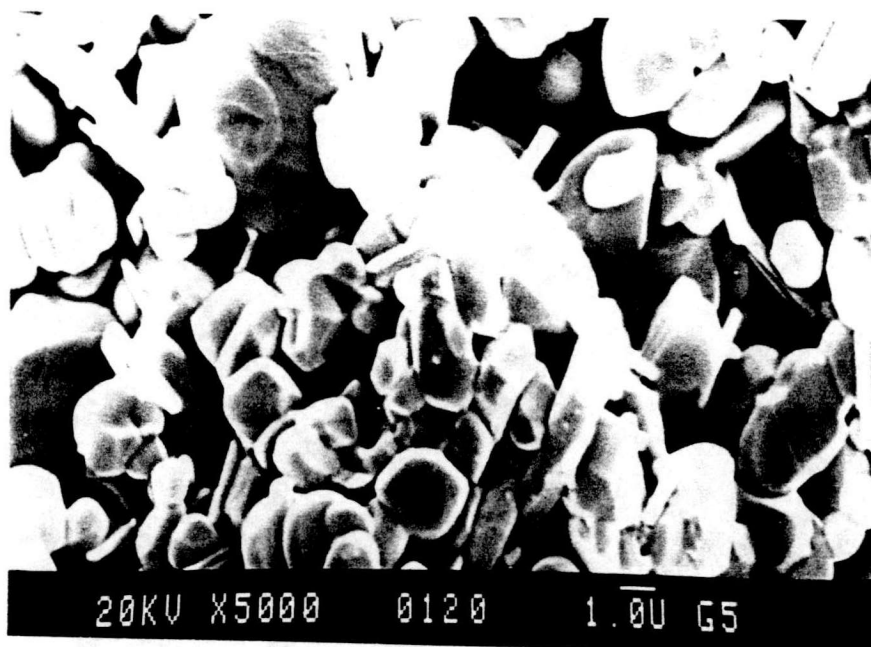
ข) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือ คอปเปอร์ออกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ค) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือ คอปเปอร์ออกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ง) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือ คอปเปอร์ออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



จ) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

รูปที่ 5.14 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้น

งานหลังซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 5000

เท่า ก) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือคอปเปอร์ออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ข) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือ คอปเปอร์ออกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

และไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ค) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือ คอปเปอร์ออกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

และไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ง) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือ คอปเปอร์ออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

และไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

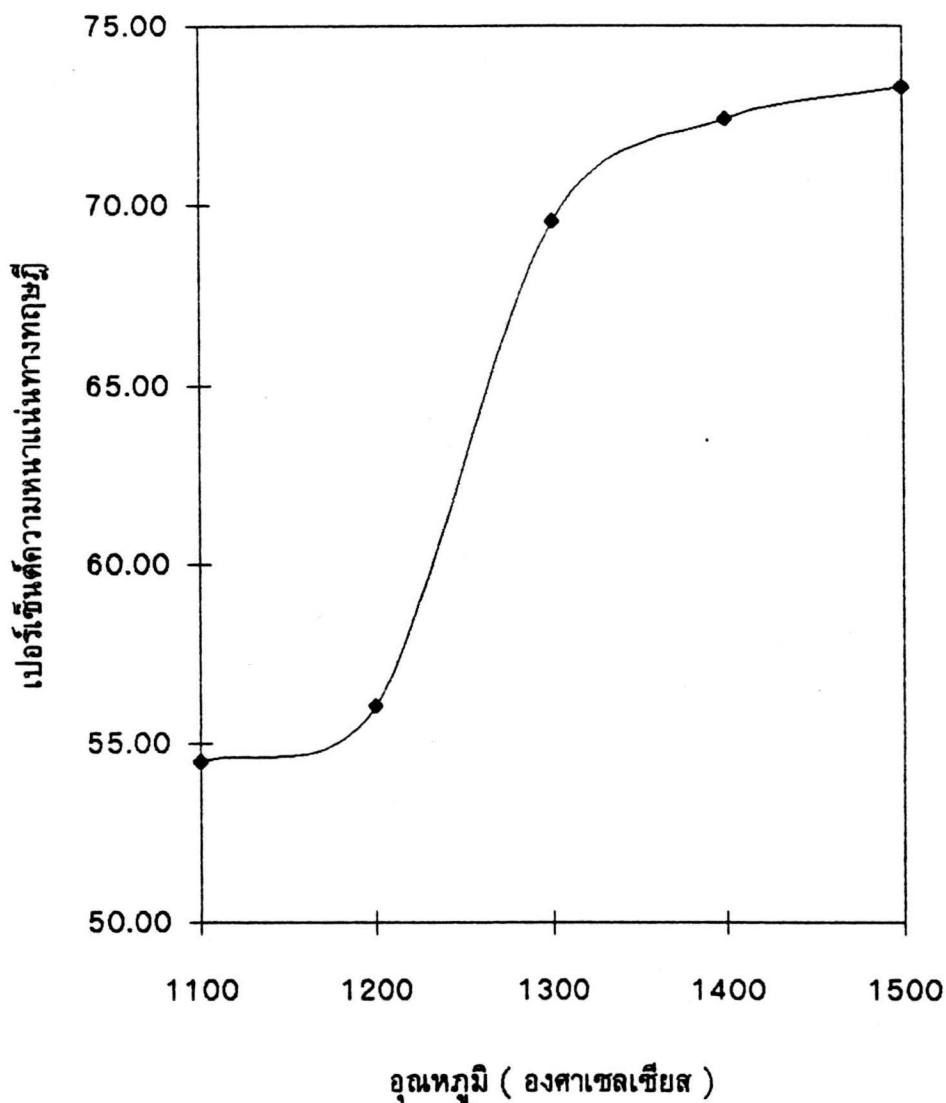
จ) เดิมสารช่วยซินเทอร์คือไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.4. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการชินเทอร์

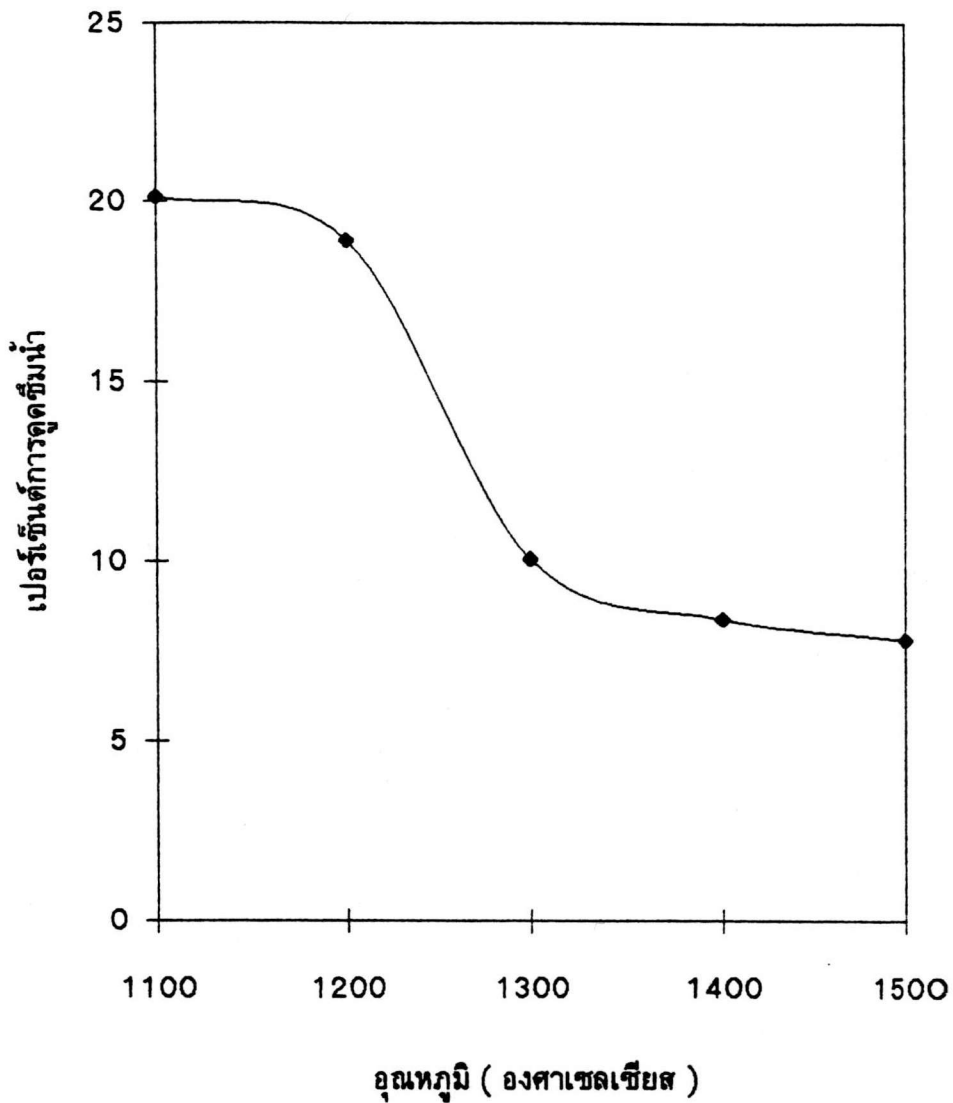
ในการทดลอง (หัวข้อ 1.3) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารช่วยชินเทอร์คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อคอปเปอร์ออกไซด์ เป็น 1:1 ในงานวิจัยต่อมาเป็นการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อการชินเทอร์ จากทฤษฎีพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการชินเทอร์ จะทำให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดของรูพรุนมีค่าลดลงเนื่องจากเกิดการหดตัวของชิ้นงาน ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการชินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1100 - 1500 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าในระยะเริ่มต้น อุณหภูมิ 1100 - 1200 °ซ (รูปที่ 5.15) ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การชินเทอร์ในช่วง 1400 - 1500 °ซ พบว่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อชินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการชินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ และ 1300 °ซ ความหนาแน่นที่ได้ต่ำกว่าความหนาแน่นสูงสุดประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอุณหภูมิในการชินเทอร์ที่เติมตัวช่วยในการชินเทอร์ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่เหมาะสมคือ 1300 °ซ ให้ความหนาแน่นในการชินเทอร์สูงสุดประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นทางทฤษฎี , ความพรุนมีค่าเป็น 26.99 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 5.16) และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ 27 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 5.17) จากรูป 5.18 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการชินเทอร์ทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเพิ่ม ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรง (รูปที่ 5.20) เนื่องจากการเชื่อมติดกันของอนุภาคดีขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการชินเทอร์มีค่าสูงขึ้น จากรูป 5.19 พบว่าขนาดรัศมีรูพรุนมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อชินเทอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1200 °ซ คือมีขนาดเท่ากับ 0.45 ไมครอน

ในรูปที่ 5.21 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานหลังการชินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1100 - 1500 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบ

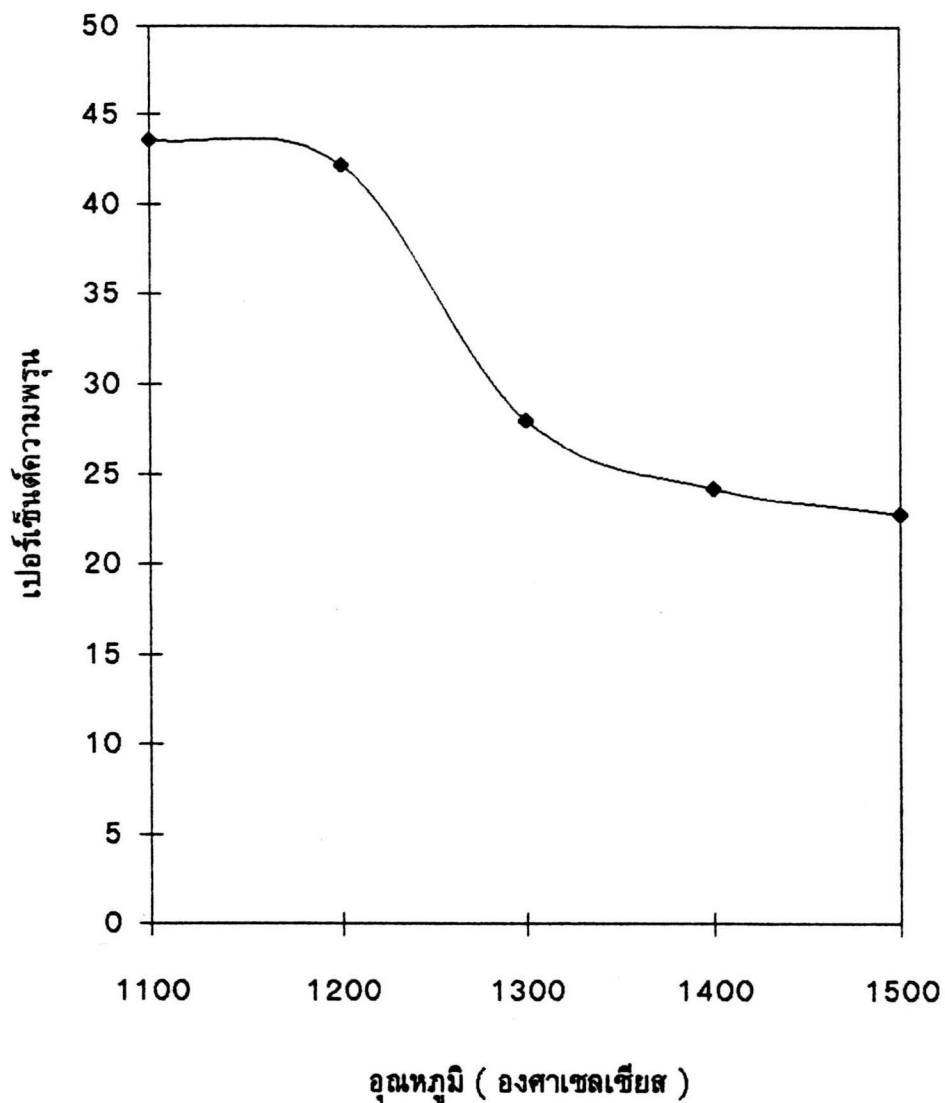
ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้เกรนเกิดการโตขึ้น ที่อุณหภูมิ 1100 °ซ พบว่าเกรนมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับเกรนที่ได้หลังจากการซินเทอร์ที่ 1500 °ซ



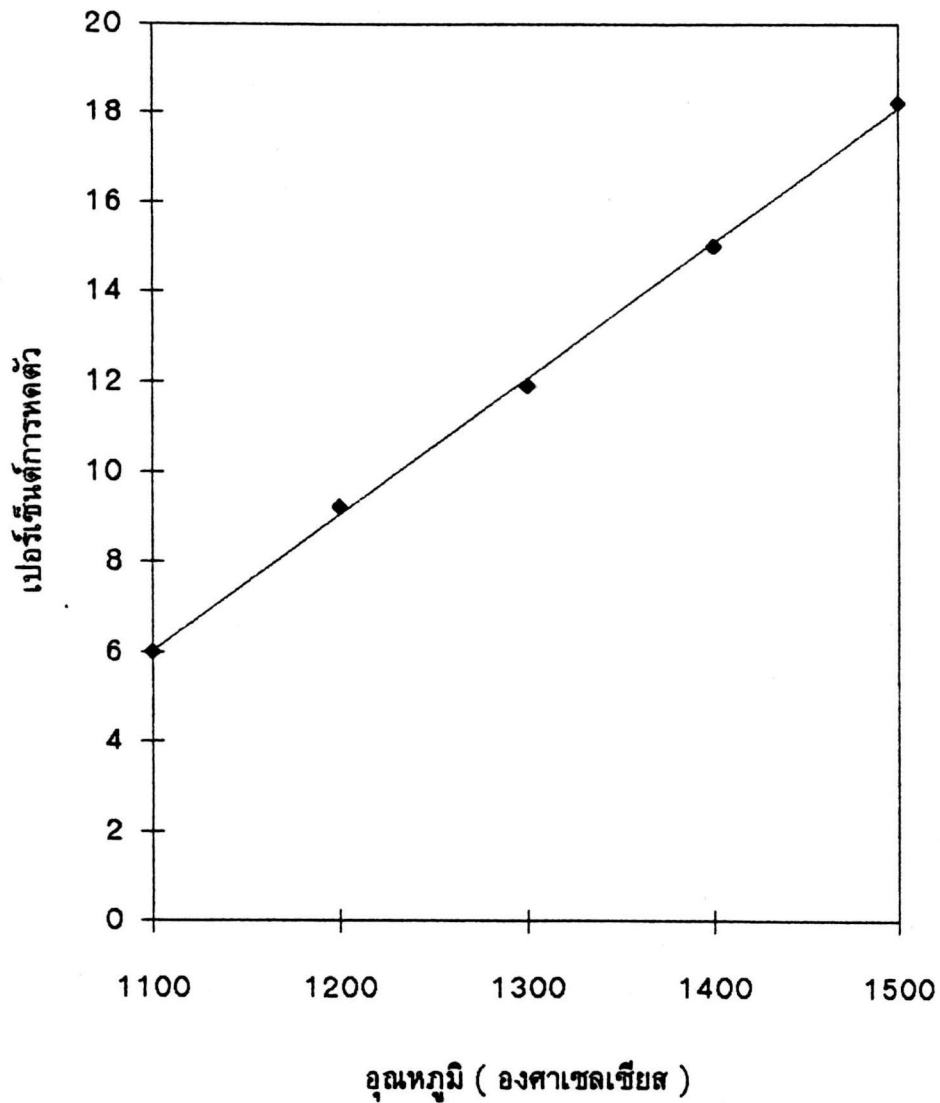
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการซินเทอร์และความหนาแน่นหลังการซินเทอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อกอปเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1 และปริมาณสารตัวช่วยซินเทอร์รวม 2 เปอร์เซ็นต์



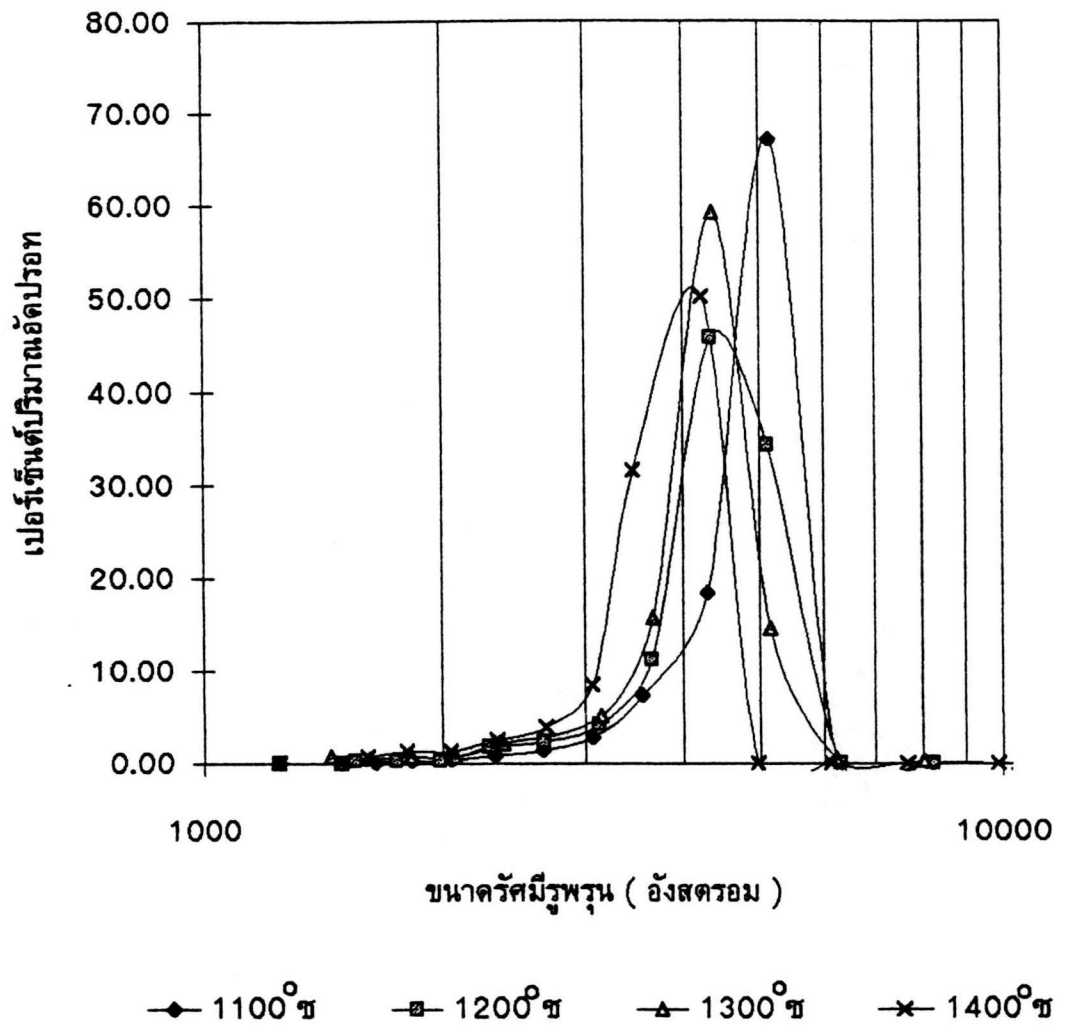
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์และเปอร์เซ็นต์การควบแน่น
 ของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนระหว่างไทเทเนียม
 ไคออกไซด์ต่อคอปเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1 และปริมาณสารช่วยขึ้นเทอร์รวม
 2 เปอร์เซ็นต์



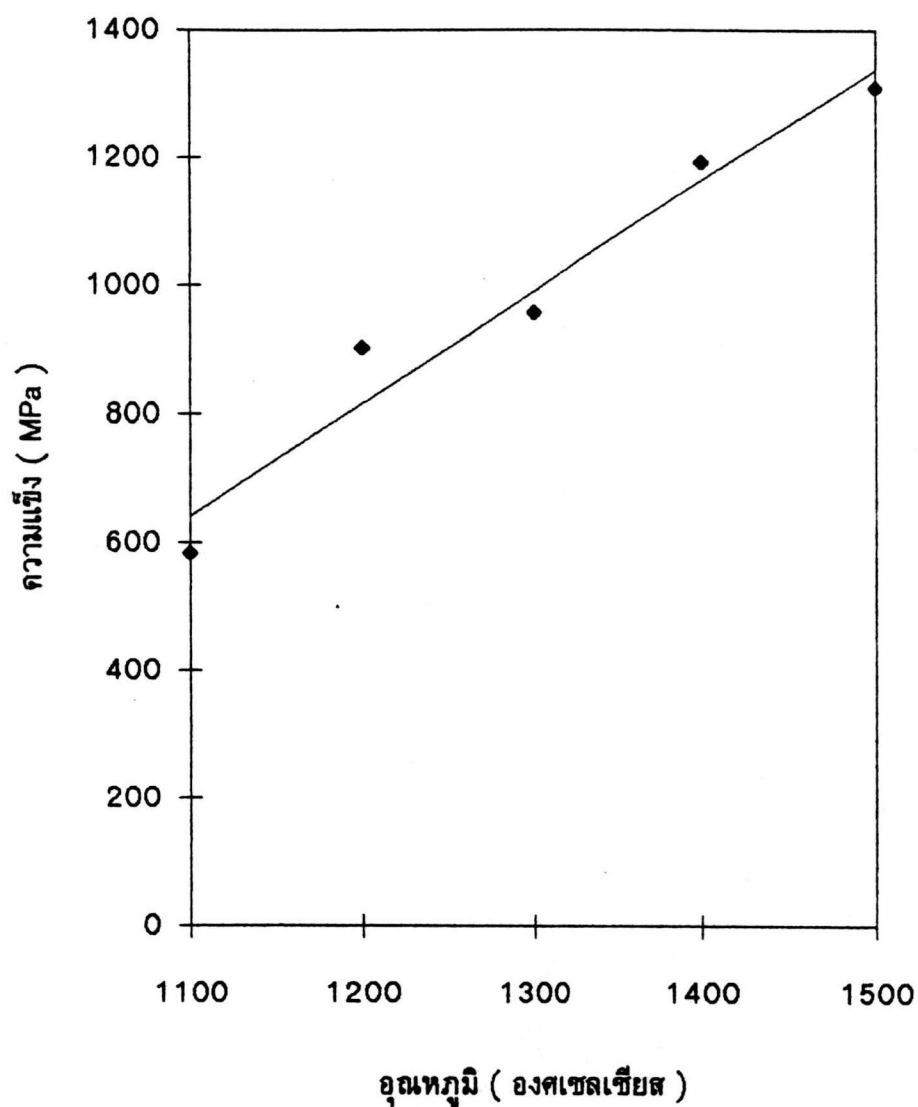
รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการซินเทอร์และเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ
 ชิ้นงานหลังการซินเทอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนระหว่างไทเทเนียม
 ไดออกไซด์ต่อคอปเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1 และปริมาณสารช่วยซินเทอร์รวม
 2 เปอร์เซ็นต์



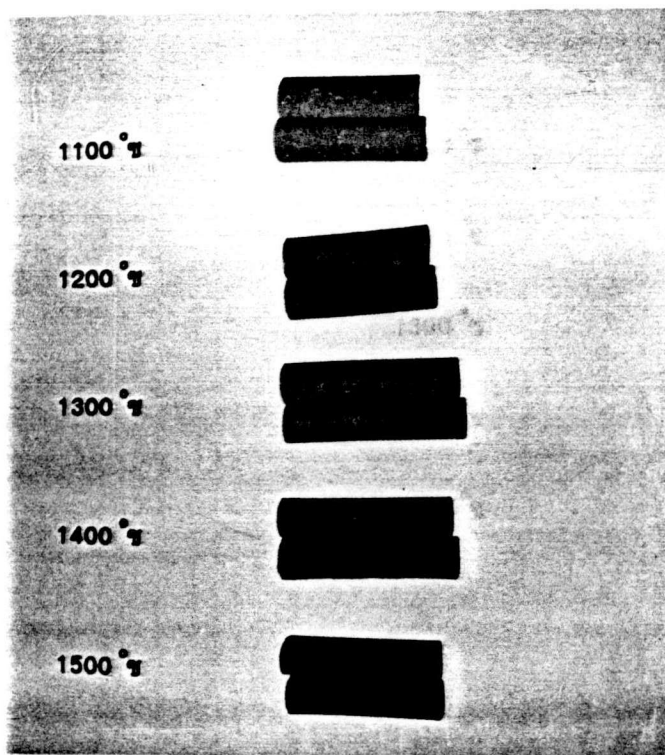
รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากในการขึ้นเทอร์และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ
 ชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนระหว่างไทเทเนียม
 ไดออกไซด์ต่อคอปเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1 และปริมาณสารช่วยขึ้นเทอร์รวม
 2 เปอร์เซ็นต์



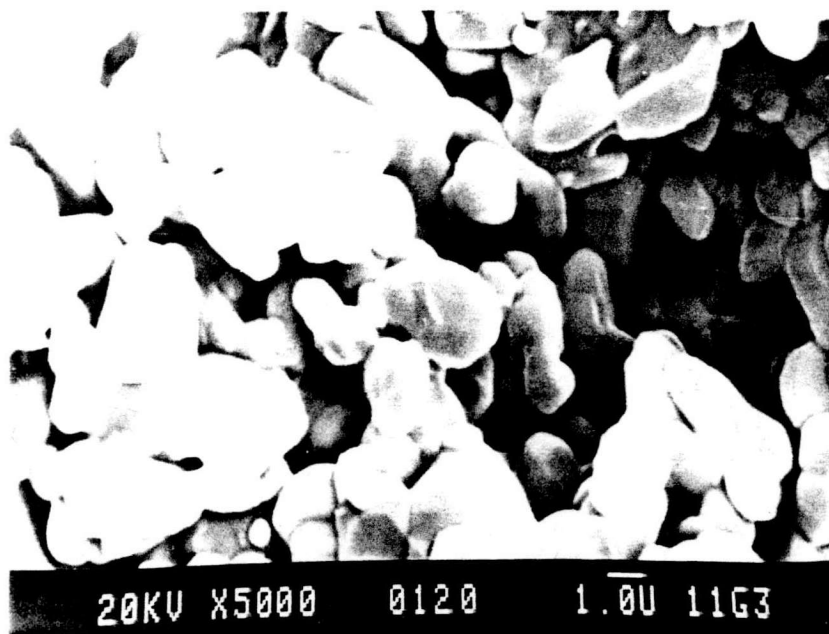
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการซิงเทรอร์และขนาดของรูพรุนภายในของ
 ชิ้นงานหลังการซิงเทรอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนระหว่างไทเทเนียม
 ไดออกไซด์ต่อคอปเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1 และปริมาณสารช่วยซิงเทรอร์รวม
 2 เปอร์เซ็นต์



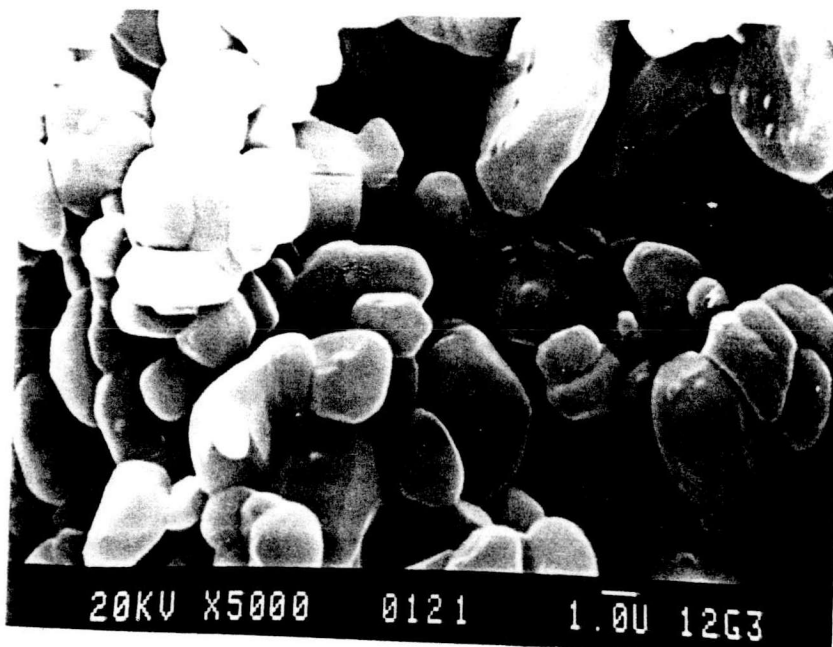
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์และความแข็งของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออัตราส่วนระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อกอปเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1 และปริมาณสารช่วยขึ้นเทอร์รวม 2 เปอร์เซ็นต์



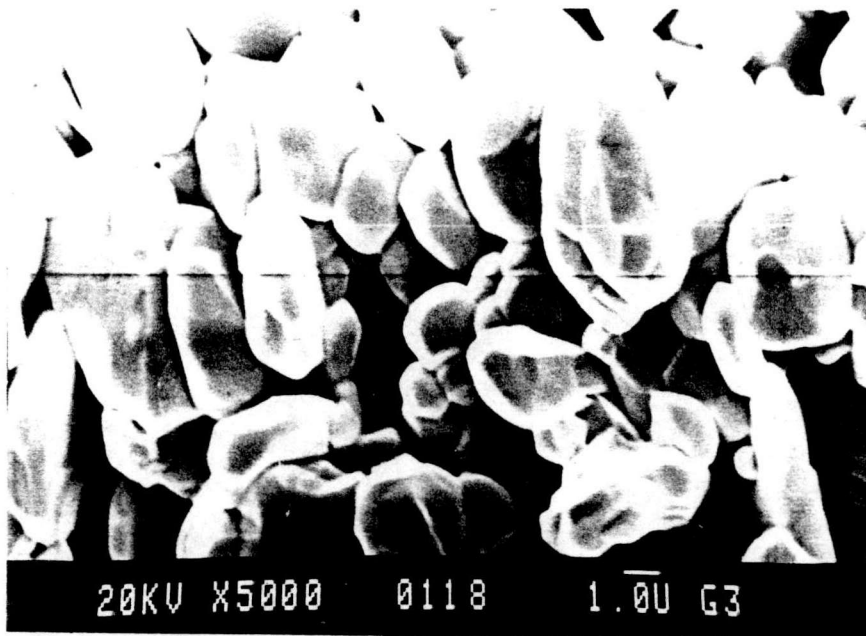
รูปที่ 5.21 แสดงสีของชิ้นงานหลังจากการซินเทอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
เมื่ออัตราส่วนระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อคอปเปอร์ออกไซด์เป็น 1:1
และปริมาณสารช่วยซินเทอร์รวม 2 เปอร์เซ็นต์



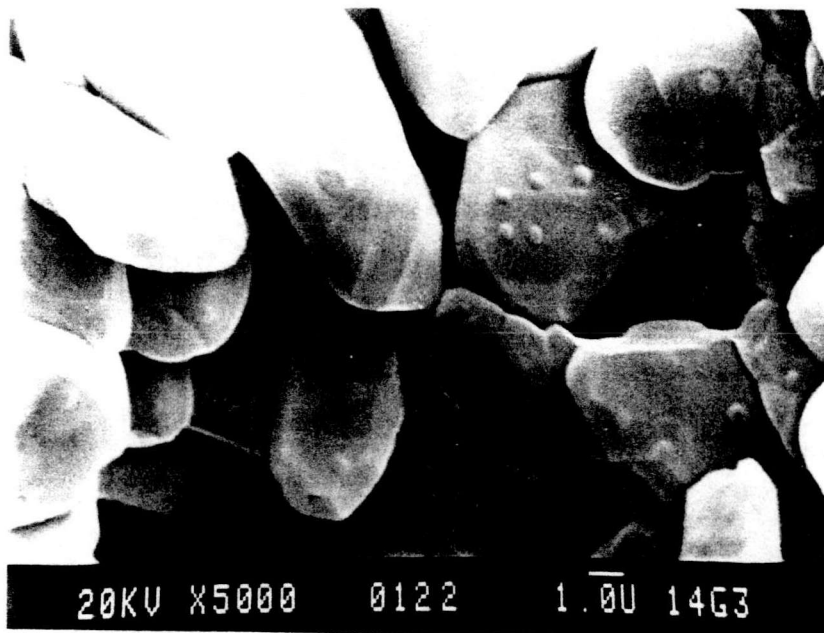
ก) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1100 °ซ



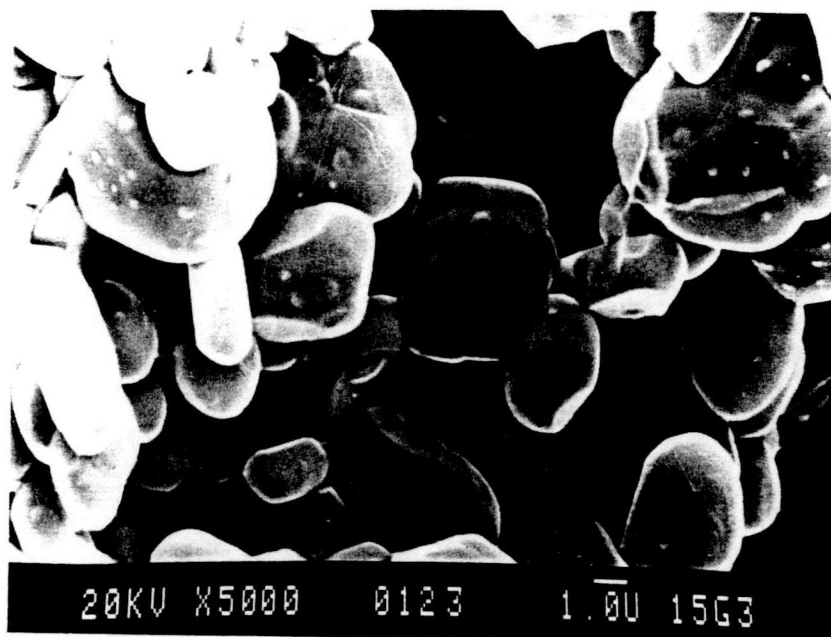
ข) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ



ค) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ



ง) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1400 °ซ



จ) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1500 °ซ

รูปที่ 5.22 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานที่เติมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในอัตราส่วนคอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1 หลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่กำลังขยาย 5000 เท่า

ก) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1100 °ซ

ข) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ

ค) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ

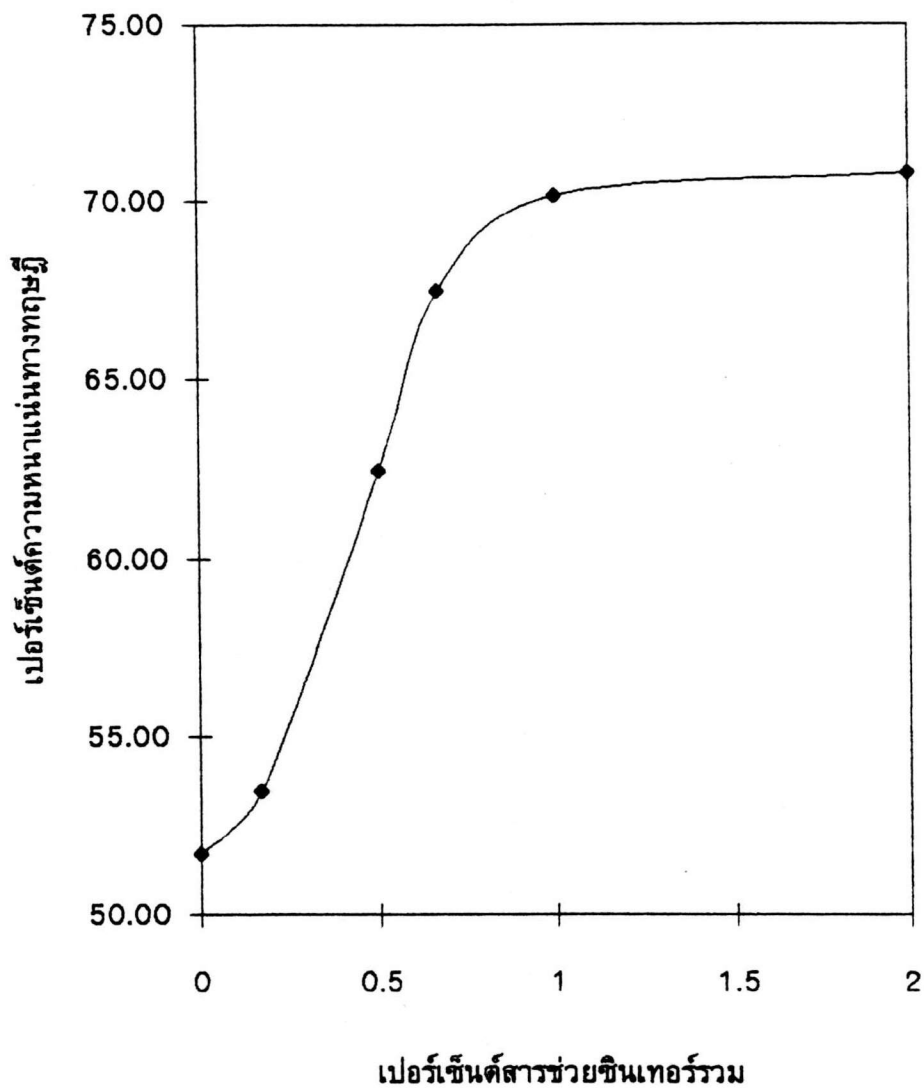
ง) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1400 °ซ

จ) ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1500 °ซ

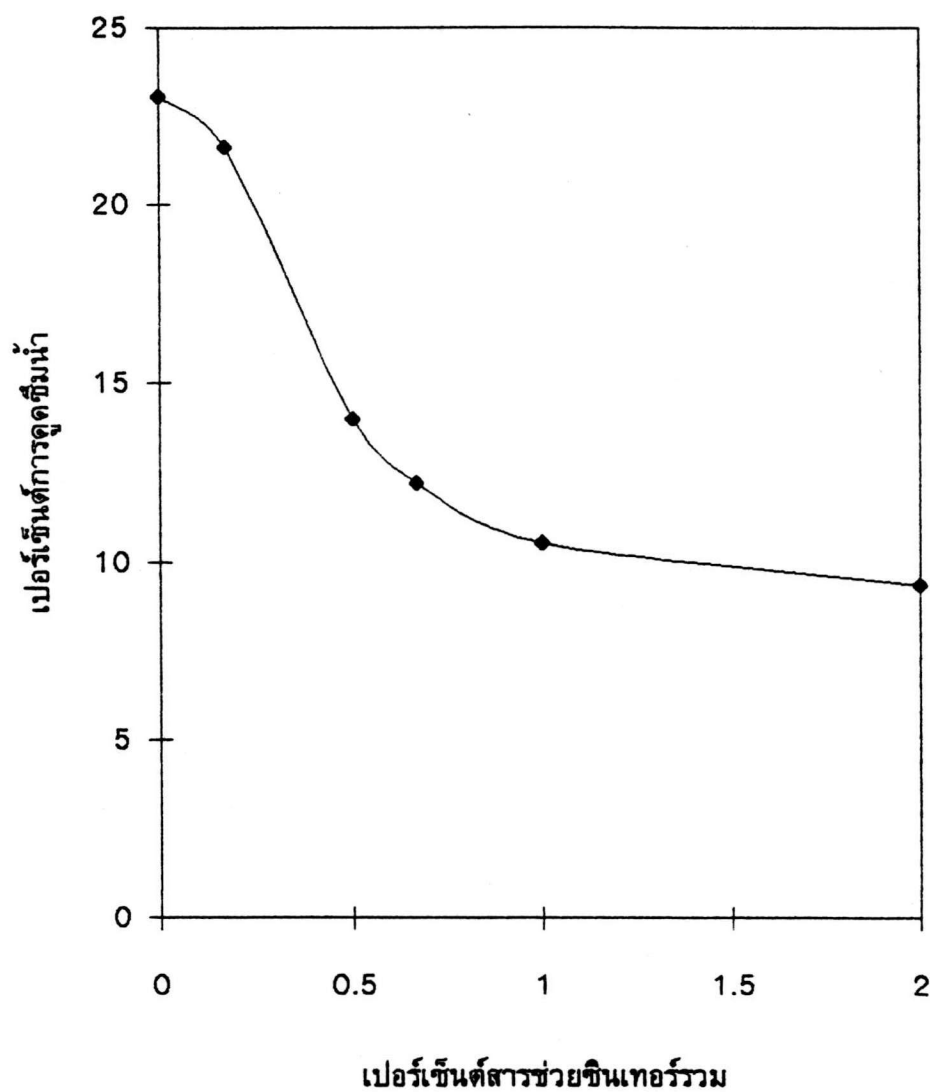
1.5 อิทธิพลของปริมาณสารช่วยซินเทอร์ที่เหมาะสม

ในข้อ 1.3 และ 1.4 จะพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยซินเทอร์คือ คอปเปอร์ ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1 และซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แต่เนื่องจากชิ้นงานที่ได้หลังจากซินเทอร์มีสีน้ำตาลแดง ทำให้ตัวกรองไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ดังนั้นจึงลดปริมาณสารช่วยซินเทอร์ลง โดยทำการศึกษาปริมาณสารช่วยซินเทอร์ตั้งแต่ 0 - 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยซินเทอร์และความหนาแน่นหลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยซินเทอร์ เมื่อปริมาณตัวช่วยซินเทอร์อยู่ในช่วง 0 - 0.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อปริมาณสารช่วยซินเทอร์อยู่ในช่วง 0.17 - 0.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราการเพิ่มความหนาแน่นมีค่าสูงขึ้น และเมื่อปริมาณสารช่วยซินเทอร์มากกว่า 0.667 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราการเพิ่มความหนาแน่นมีค่าลดลง ในขณะที่เมื่อปริมาณสารช่วยซินเทอร์อยู่ในช่วง 1.0 - 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในรูป 5.24 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และในรูปที่ 5.25 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวช่วยซินเทอร์ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและเปอร์เซ็นต์ความพรุนมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการหดตัวของชิ้นงาน การหดตัวของชิ้นงานแสดงในรูปที่ 5.26 ในรูป 5.27 แสดงการกระจายตัวของรัศมีรูพรุนภายในชิ้นงาน พบว่าในช่วงปริมาณสารช่วยซินเทอร์ 0.0 - 0.5 เปอร์เซ็นต์ รัศมีรูพรุนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคนาขนาดเล็กเกิดการรวมตัวกัน ทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น และในช่วง 0.67 - 1 เปอร์เซ็นต์พบว่ารัศมีรูพรุนมีใกล้เคียงกัน (ประมาณ 0.45 ไมครอน) และรูปที่ 5.28 แสดงความแข็งแรงของชิ้นงาน พบว่า ที่ปริมาณสารช่วยซินเทอร์ 0.67 เปอร์เซ็นต์ ให้ความแข็งแรงเท่ากับ 672 เมกะพาสคานและตัวกรองรับมีสีขาว (รูปที่ 5.29)

ในรูป 5.30 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ในรูป 5.28 ข ซึ่งเติมตัวขึ้นเทอร์ 0.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อะลูมินาที่เกิดการรวมตัวกันและมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อไม่เติมสารช่วยขึ้นเทอร์ (ในรูป 5.30 ก) ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยขึ้นเทอร์ ทำให้อะลูมินามีขนาดโตขึ้น เกรนมีรูปร่างเป็นแผ่นและเกิดการโตตามแนวยาว ซึ่งเป็นลักษณะการโตของเกรนที่ผิดปกติ เพื่อป้องกันการเกิดเกรนที่ผิดปกติ จึงเพิ่มเติมแมกนีเซียมออกไซด์เล็กน้อย โดยใช้อัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์ดังนี้ คอปเปอร์ออกไซด์ : ไทเทเนียมไดออกไซด์ : แมกนีเซียมออกไซด์เป็น 1 : 1 : 0.5 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารช่วยขึ้นเทอร์รวมเป็น 0.683 เปอร์เซ็นต์ ในรูปที่ 25.31 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานหลังการขึ้นเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



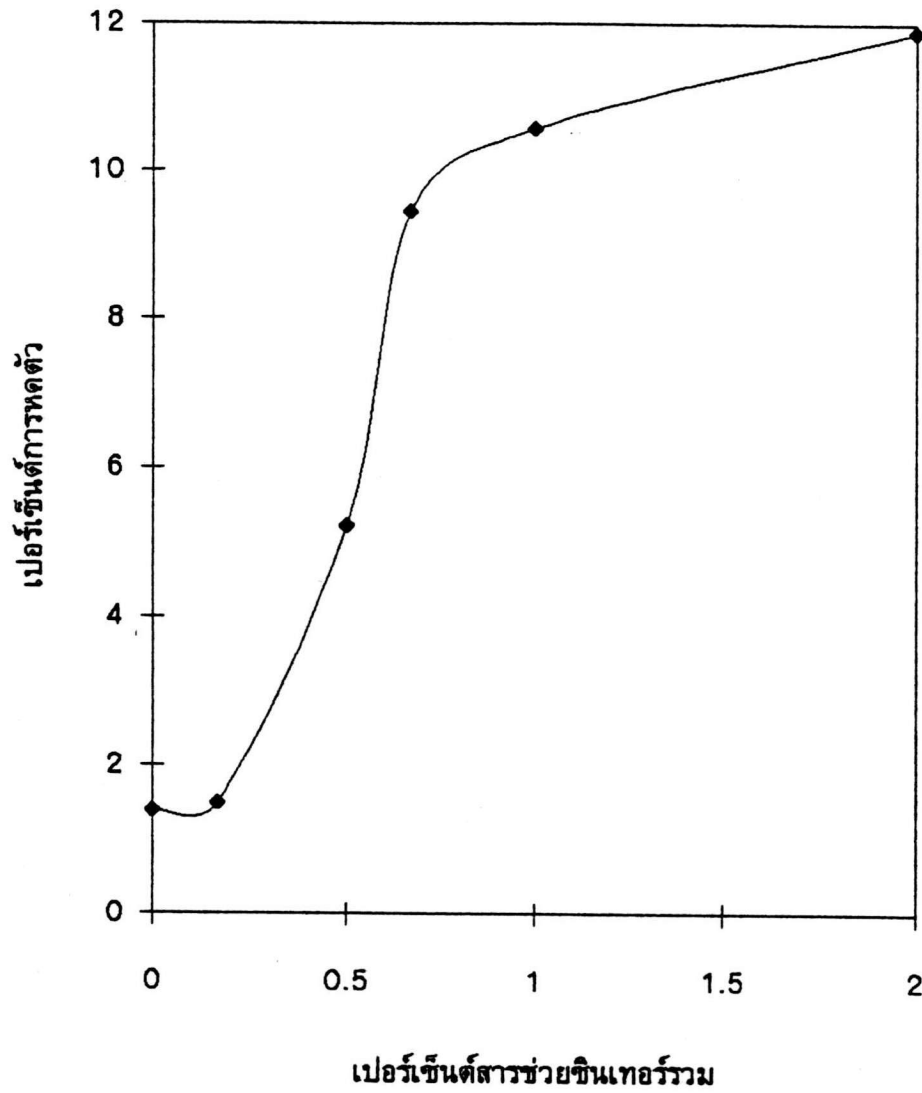
รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยซินเทอร์และความหนาแน่นหลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนคือคอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1



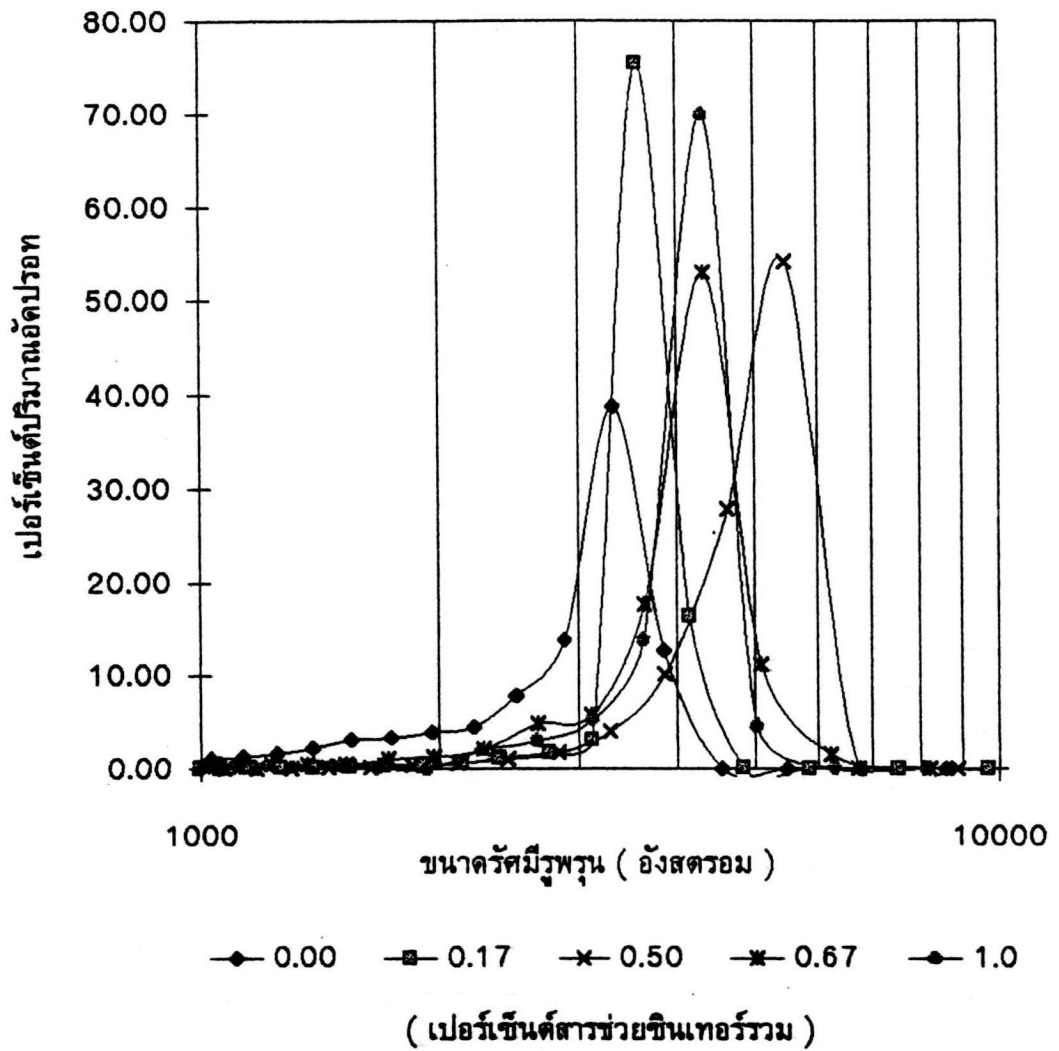
รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยซินเทอร์และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

หลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนคือคอป

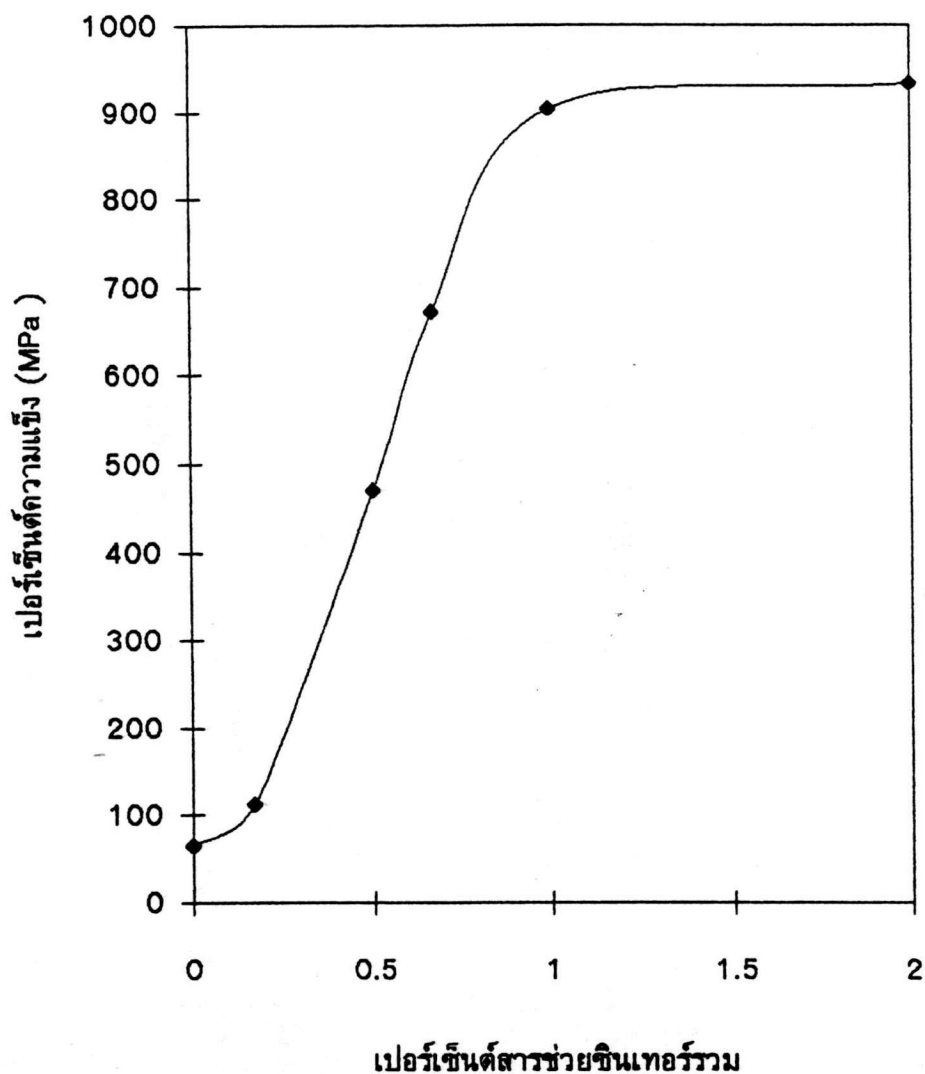
เปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1



รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยซินเทอร์และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ
 ชิ้นงานหลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนคือ
 คอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1



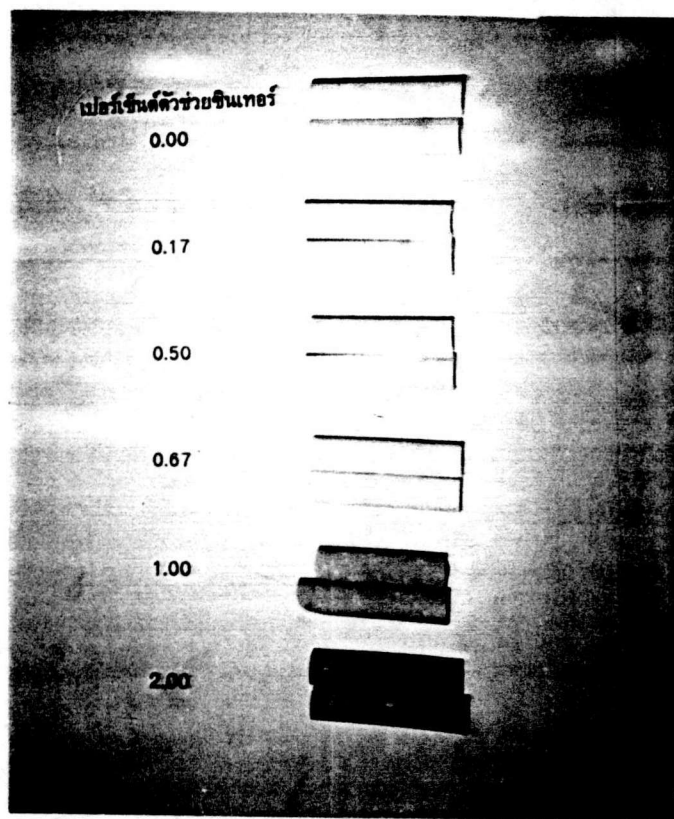
รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยซินเทอร์และขนาดของรัศมีรูพรุนภายในชิ้นงานหลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนคือคอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1



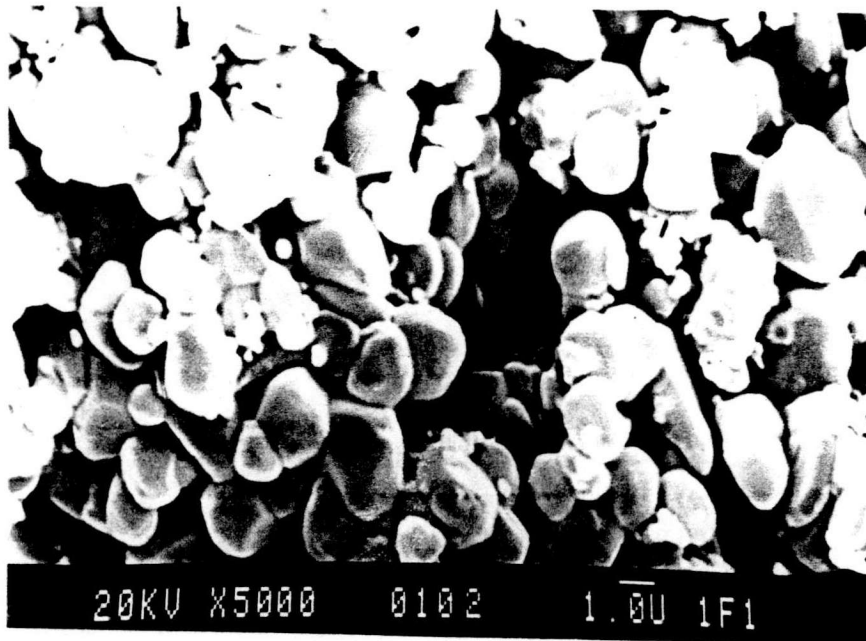
รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยซินเทอร์และความแข็งแรงของชิ้นงาน

หลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนคือ

คอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1



รูปที่ 5.29 แสดงสเปกตรัมของซิงเกอร์ที่เติมสารช่วยซิงเทอร์ในปริมาณต่าง ๆ หลังการซิงเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนคือคอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1



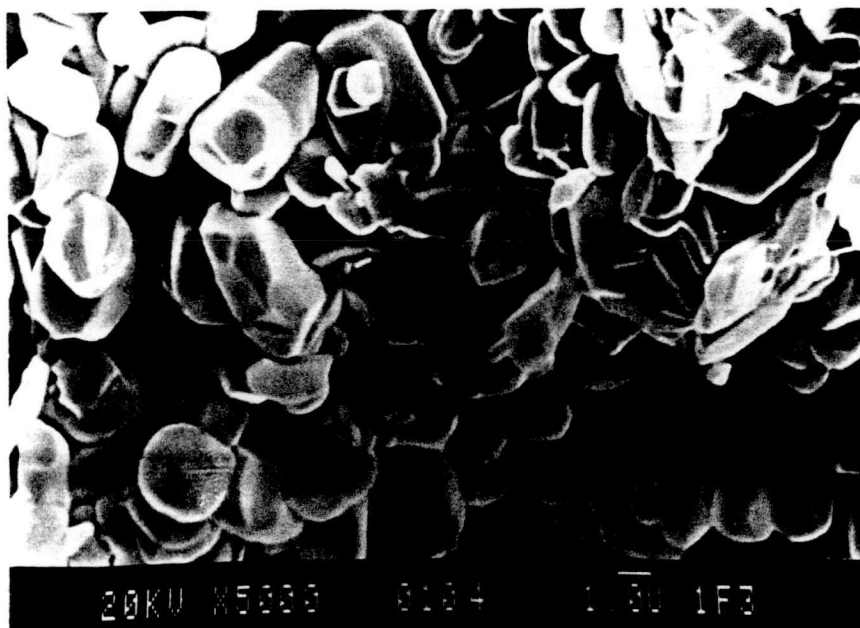
ก) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



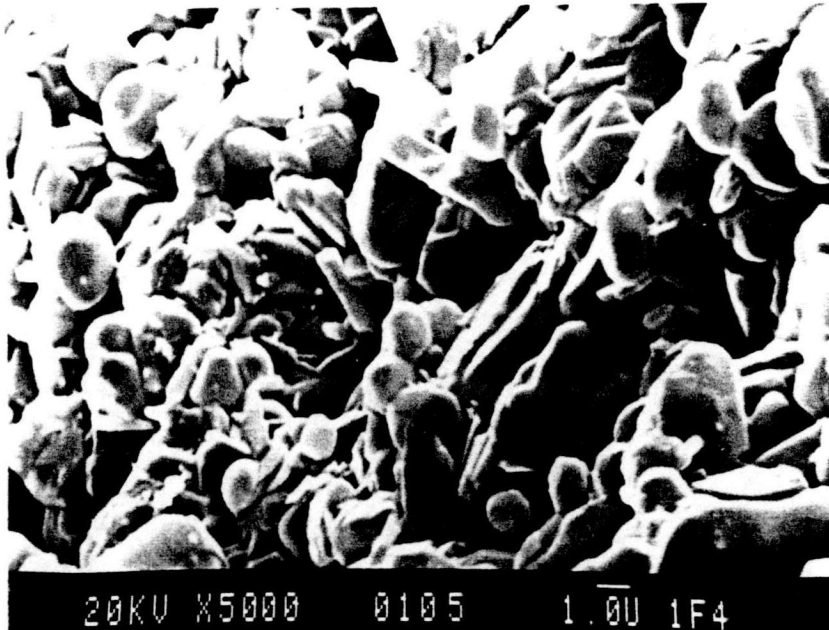
ข) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ค) เต็มสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ง) เต็มสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



จ) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

รูปที่ 5.30 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานเมื่อเติมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณต่าง ๆ ที่อัตราส่วนคอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 1 : 1 หลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

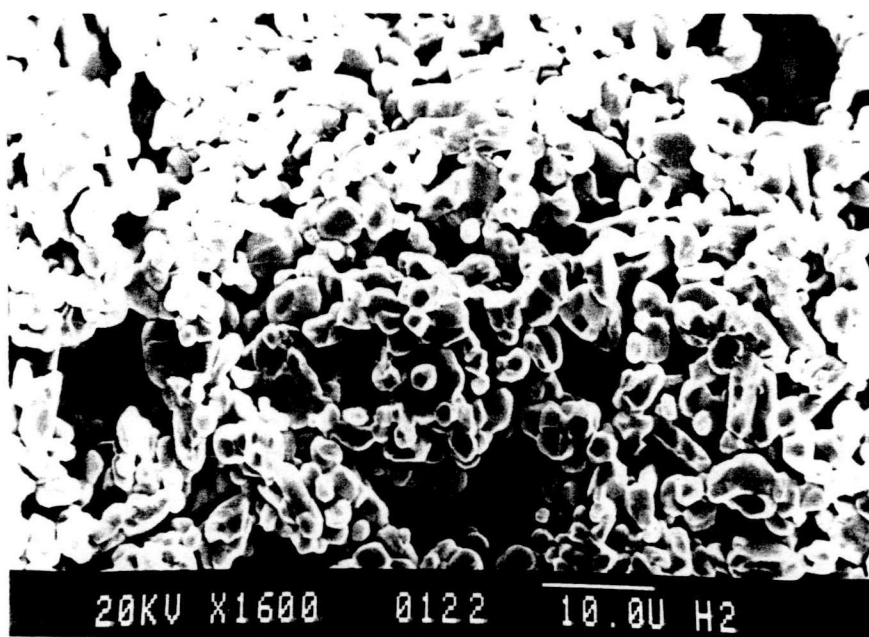
ก) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ข) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

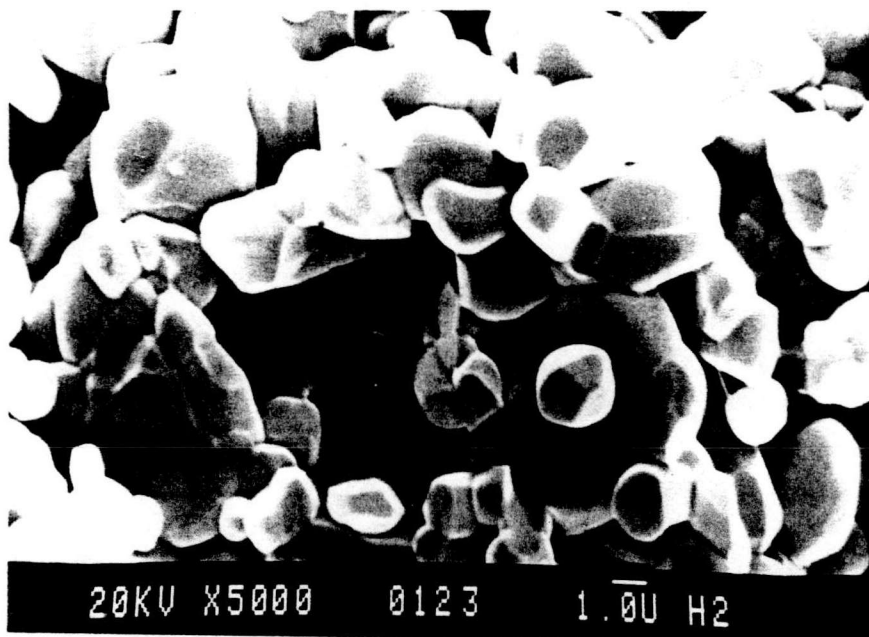
ค) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ง) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จ) เดิมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ก) ที่กำลังขยาย 1600 เท่า



ข) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

รูปที่ 5.31 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ
 ชิ้นงานที่เติมสารช่วยซินเทอร์ในปริมาณ 0.683 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในอัตรา
 ส่วนคอปเปอร์ออกไซด์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อแมกนีเซียมออกไซด์เป็น
 1 : 1 : 0.05 หลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

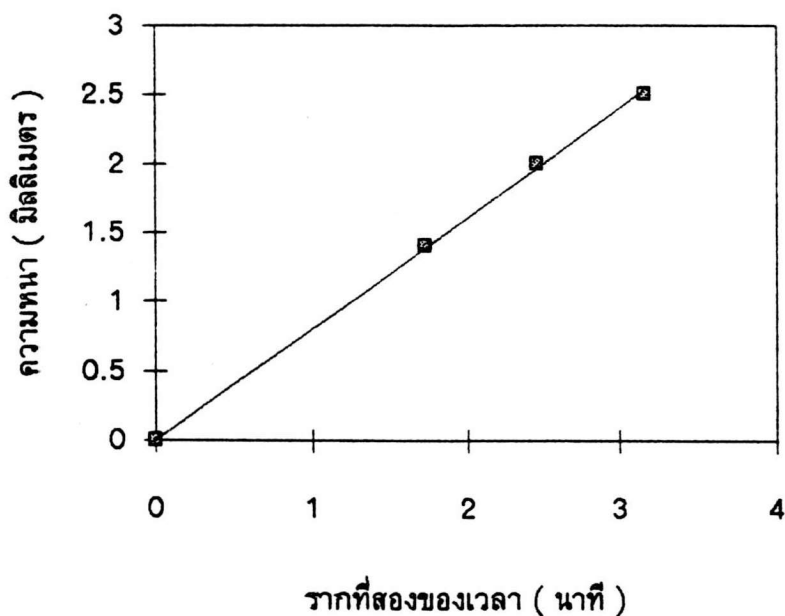
ก) ที่กำลังขยาย 1600 เท่า และ ข) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

1.6. การหาระยะเวลาในการหล่อชิ้นงานที่เหมาะสม

จากทฤษฎีการเทแบบ เมื่อใช้ระยะเวลาในการหล่อเพิ่มขึ้น ความหนาของชิ้นงานจะมีความหนาเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า ความหนาของชิ้นงานแปรตามรากที่สองของเวลา ดังแสดงในสมการ 5.1 ในรูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและเวลาที่ใช้ในการหล่อ

$$x = 0.802t^{1/2} \quad - (5.1)$$

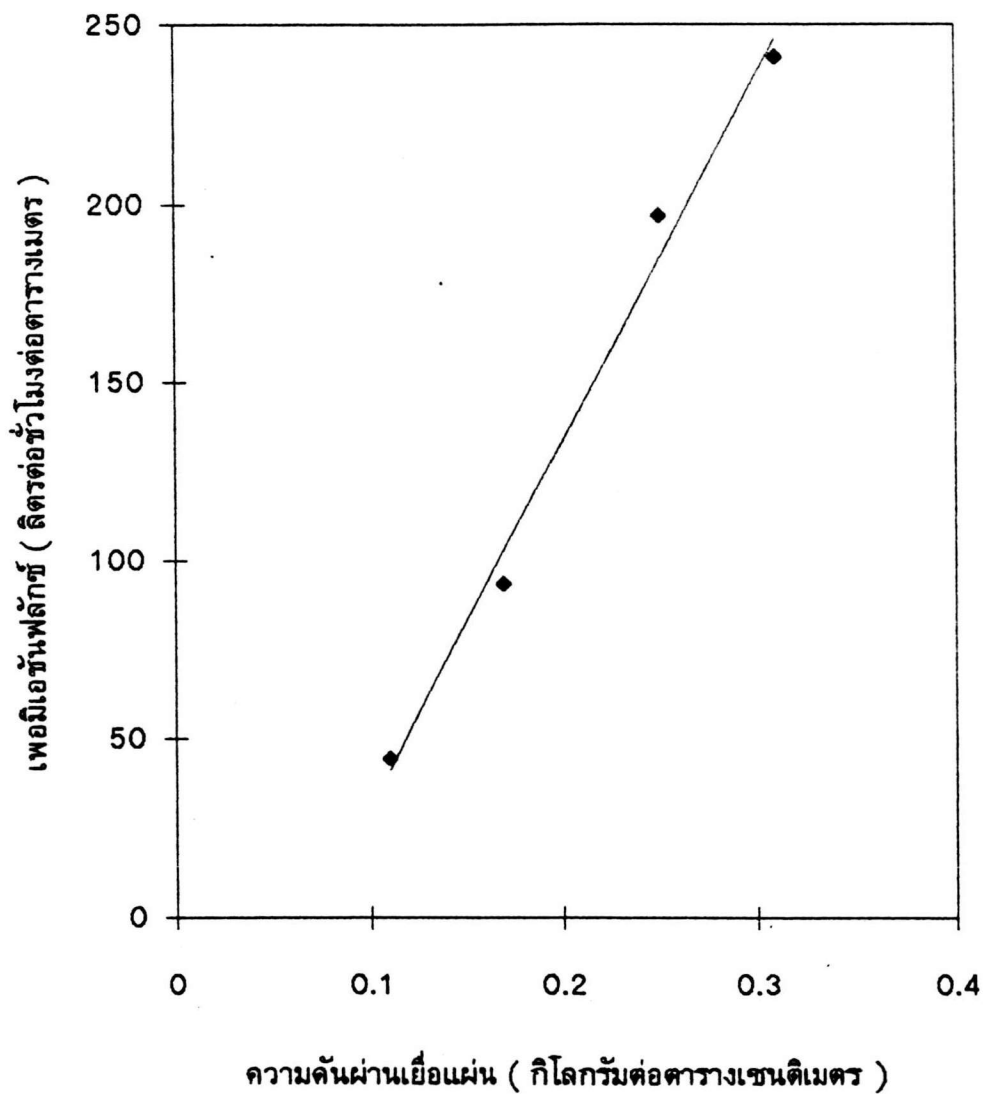
เมื่อ x เป็นความหนาของชิ้นงานที่เวลา t (มิลลิเมตร)
 t เป็นเวลาที่ใช้ในการหล่อ (นาที)



ในรูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการหล่อและความหนาของชิ้นงาน

1.7 การหาอัตรากรอง

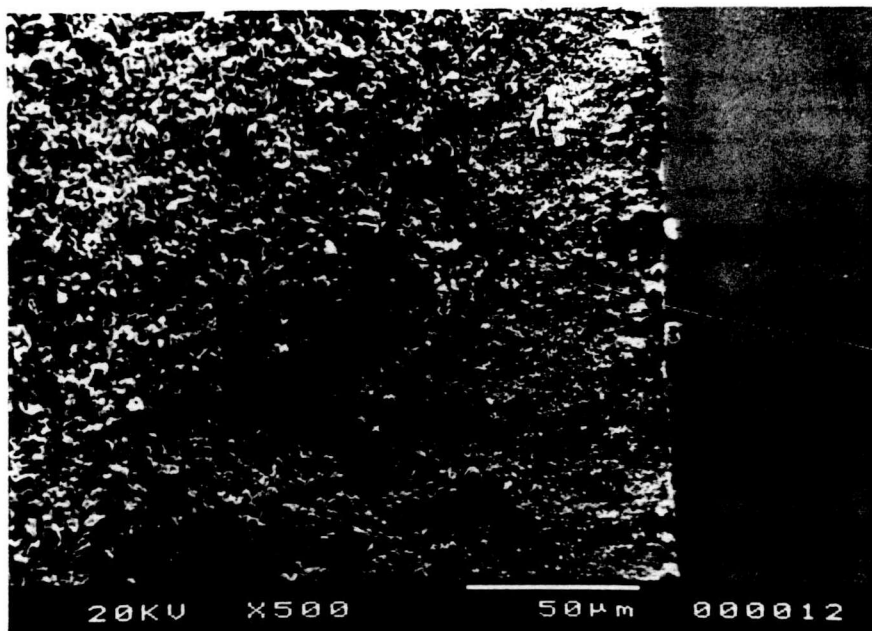
จากการทดลองพบว่าค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำที่ได้แปรผันตรงกับความดันผ่านเยื่อแผ่น ดังแสดงในรูป 5.33 ตัวกรองรับมีขนาดรูพรุน 0.90 ไมครอน และมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร



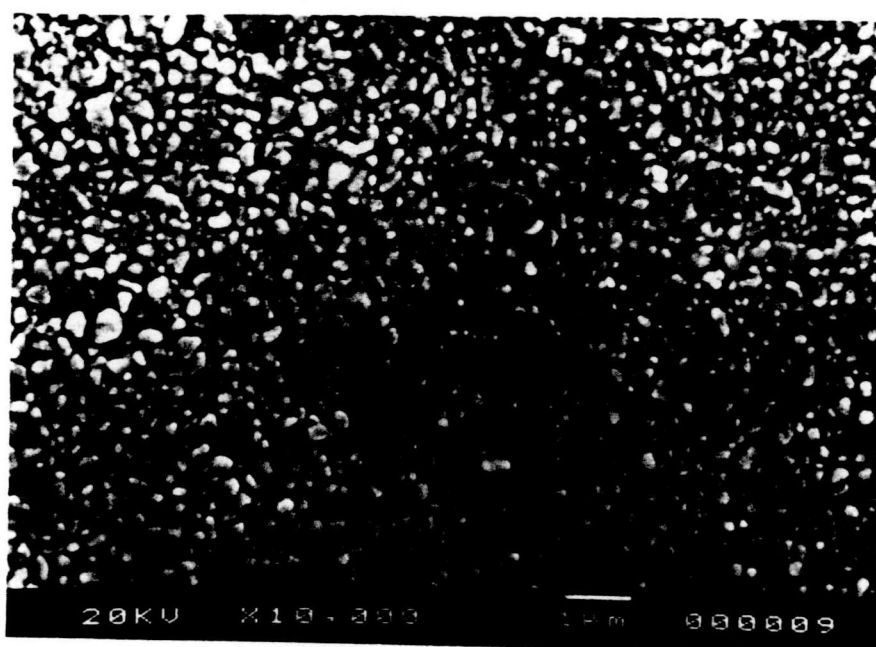
รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำและความดันผ่านเยื่อแผ่นของตัวกรองรับในการกรองน้ำ

การศึกษาการเตรียมและเคลือบชั้นมัธยันตร์บนตัวรองรับ

ในการทดลองได้เตรียมชั้นมัธยันตร์โดยใช้อะลูมินาชนิดเอ 16 เอสจี เคลือบบนตัวรองรับที่เตรียมได้จากการทดลองในข้อ 2.5 จากการทดลองได้ชั้นเทอร์ซันมัธยันตร์ที่อุณหภูมิ 900 , 1000 , 1100 และ 1200 °ซ เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ชั้นมัธยันตร์ซึ่งชั้นเทอร์ซันมัธยันตร์ที่อุณหภูมิ 900 และ 1000 °ซ มีความแข็งแรงต่ำและเกิดการหลุดจากตัวรองรับ ในขณะที่ชั้นมัธยันตร์ซึ่งชั้นเทอร์ซันมัธยันตร์ที่อุณหภูมิ 1100 และ 1200 °ซ ชั้นมัธยันตร์ที่ได้มีความแข็งแรงและไม่เกิดการหลุดจากตัวรองรับ การเตรียมชั้นมัธยันตร์ที่เตรียมใช้วิธีหล่อสลีป ใช้เวลาในการหล่อ 30 วินาที ชั้นมัธยันตร์มีความหนาประมาณ 50 - 70 ไมครอน จากจุดโครงสร้างของชั้นมัธยันตร์ (รูปที่ 5.34) พบว่าการกระจายตัวของรูพรุนมีความสม่ำเสมอ ขนาดรูพรุนของชั้นมัธยันตร์ประมาณ 0.12 ไมครอน (รูปที่ 5.35) และชั้นมัธยันตร์ที่เตรียมได้ไม่เกิดการแตกร้าว ชั้นมัธยันตร์ทำหน้าที่เป็นชั้นรอยต่อระหว่างชั้นเยื่อแผ่นและตัวรองรับ เมื่อนำแท่งกรองที่มีชั้นมัธยันตร์ซึ่งชั้นเทอร์ซันมัธยันตร์ที่อุณหภูมิ 1100 °ซ ไปทดสอบการกรองด้วยน้ำ พบว่าเมื่อเพิ่มความดันผ่านเยื่อแผ่น ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการหลุดบางส่วนของชั้นมัธยันตร์ ทำให้แท่งกรองเกิดการอุดตัน ในขณะที่เมื่อนำแท่งกรองที่มีชั้นมัธยันตร์ซึ่งชั้นเทอร์ซันมัธยันตร์ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ มาทดสอบการกรองด้วยน้ำ พบว่าเมื่อเพิ่มความดันที่ใช้ในการกรอง ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ยังคงเพิ่มเป็นเส้นตรง (รูปที่ 3.36)

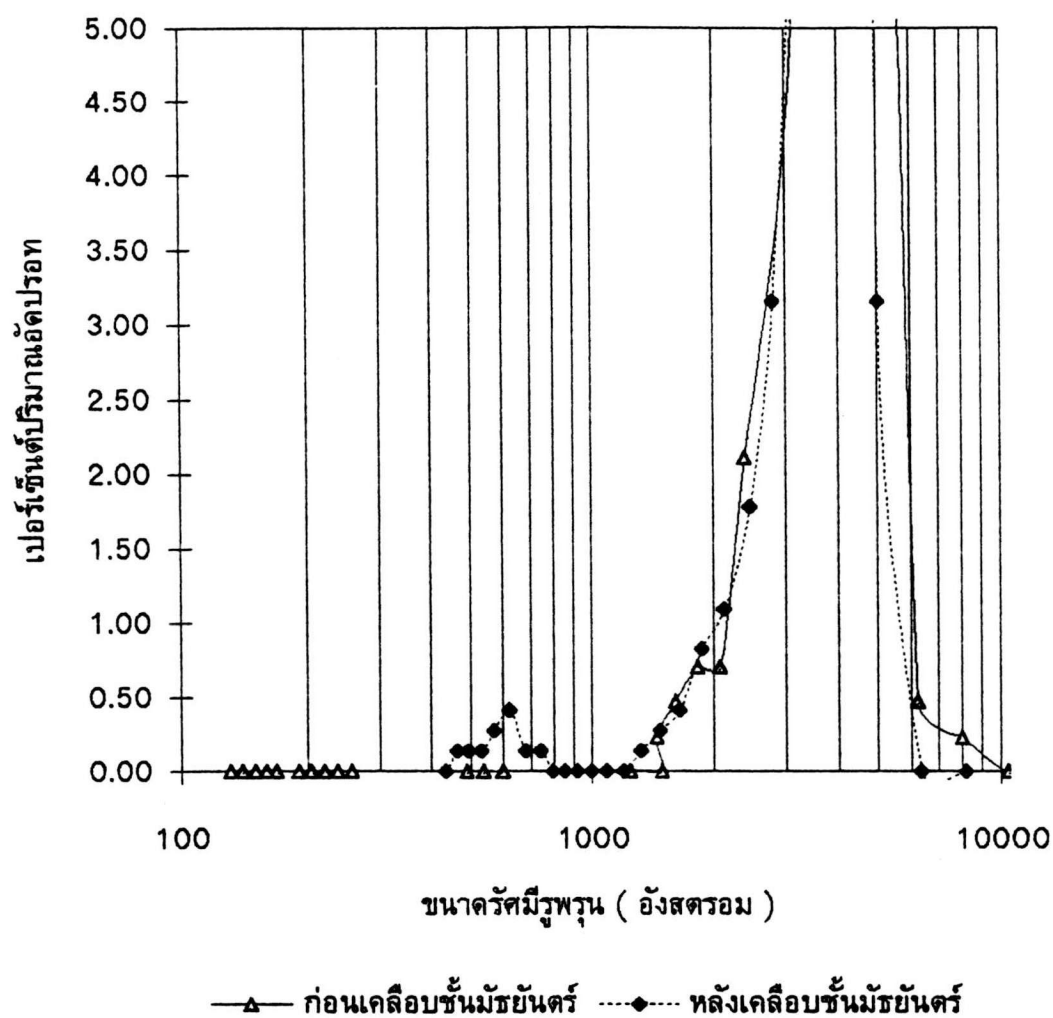


ก) ภาพตัดขวางของชั้นคาร์บอนไฟเบอร์



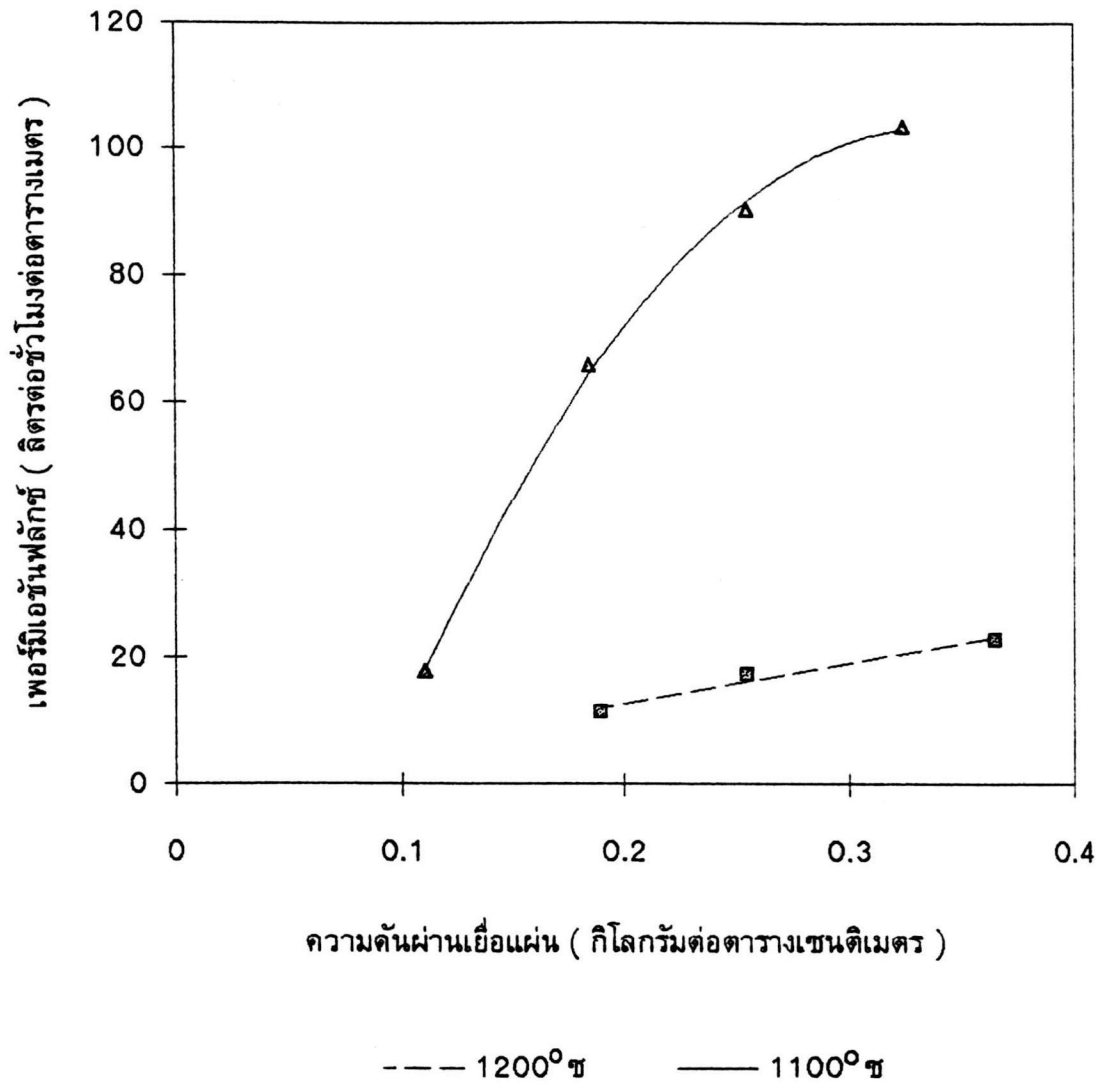
ข) ภาพผิวหน้าของชั้นคาร์บอนไฟเบอร์

รูปที่ 5.34 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชั้นคาร์บอนไฟเบอร์ หลังการซินเทอ์ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ก) ภาพตัดขวางของชั้นคาร์บอนไฟเบอร์ ข) ภาพผิวหน้าของชั้นคาร์บอนไฟเบอร์



รูปที่ 5.35 แสดงการกระจายตัวของรัศมีอนุภาคก่อนและหลังการเคลือบชั้นมัธยันตร์บน

ตัวรองรับหลังการซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลา 30 นาที

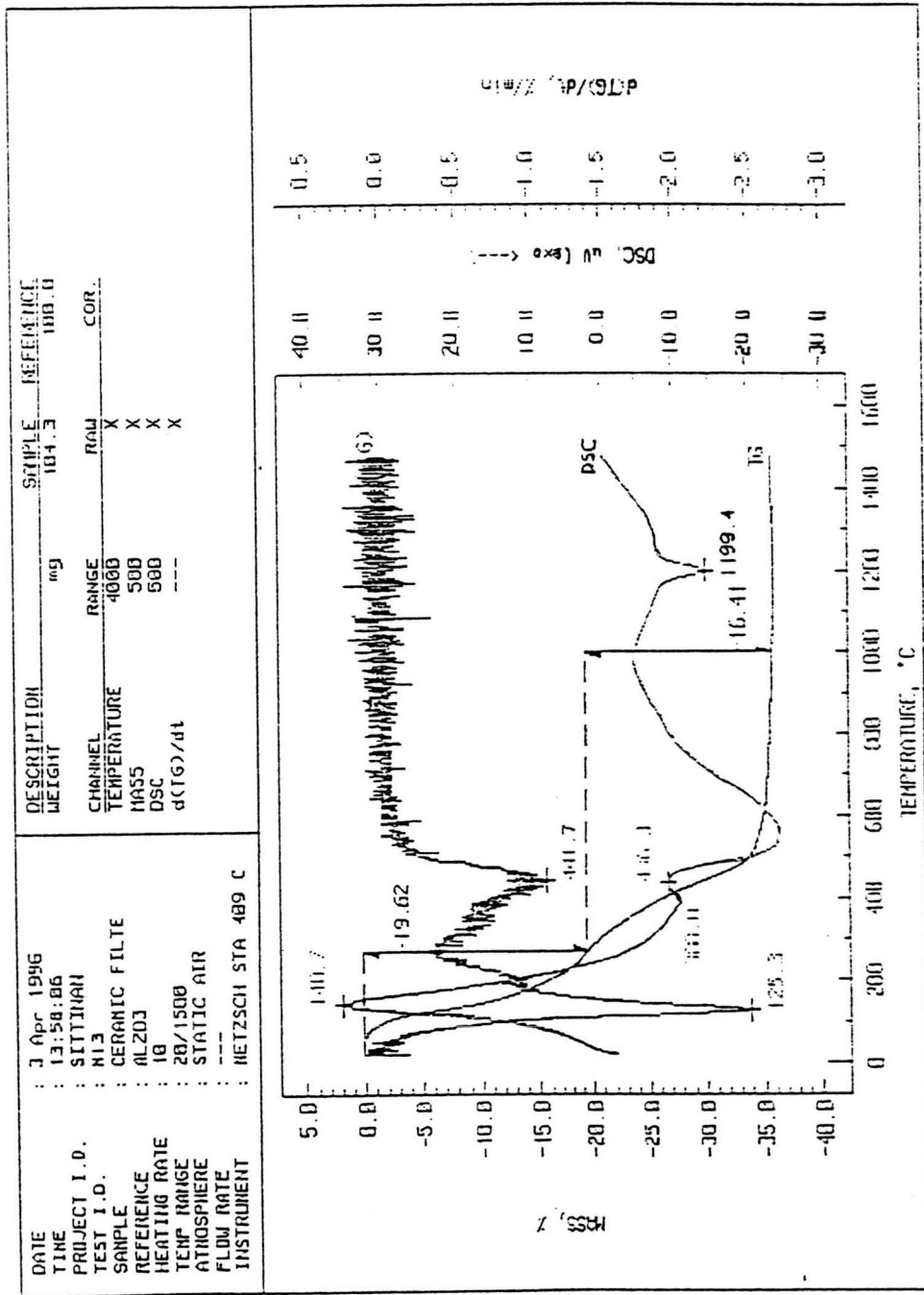


รูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำและความดันผ่านเยื่อแผ่น
เมื่อซินเทอร์ชั้นมัชยันตร์ที่อุณหภูมิ 1100 °ซ และ 1200 °ซ เป็นเวลา 30 นาที

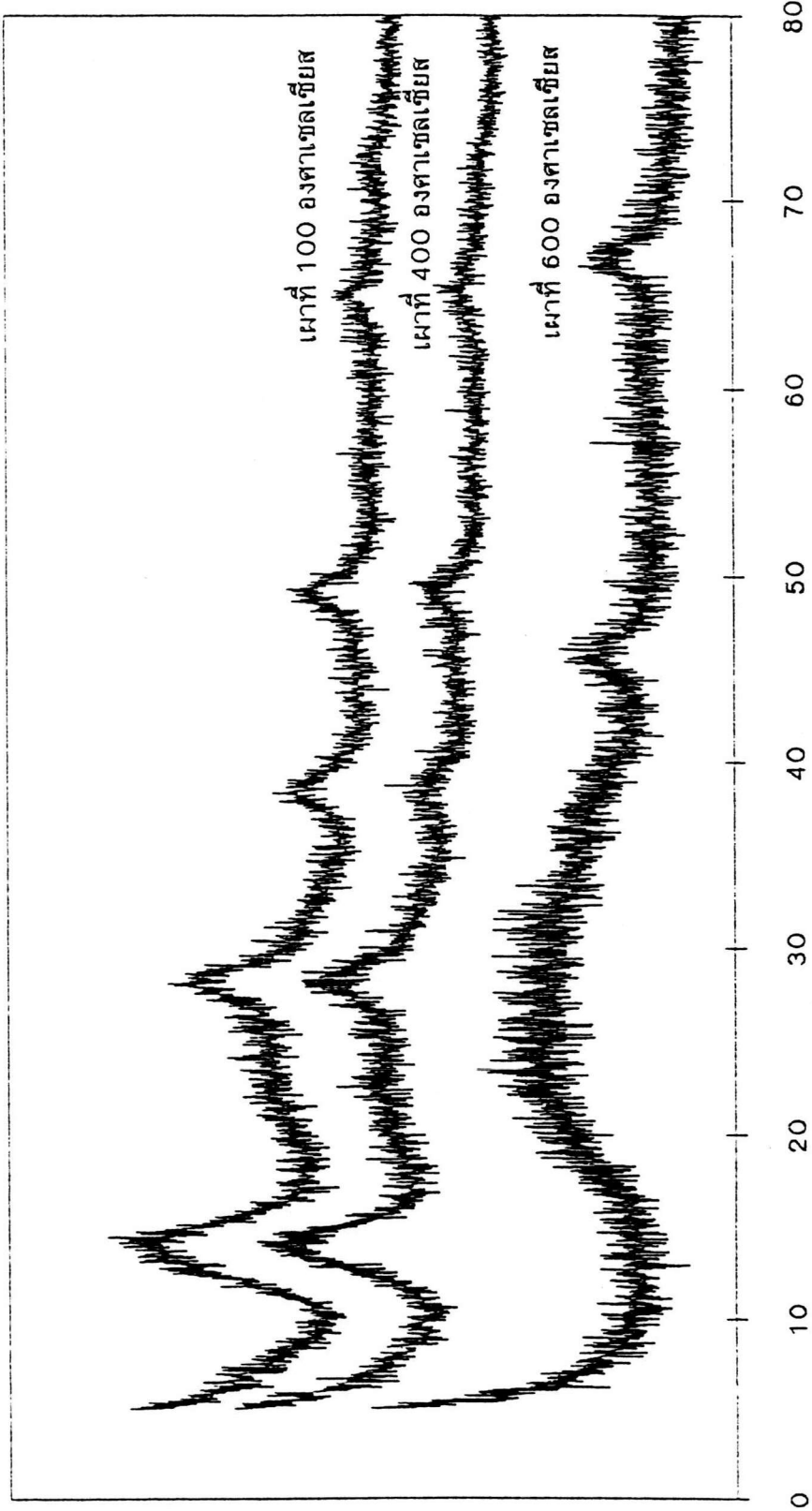
การศึกษาการเตรียมสารละลายโซล-เจลและเคลือบเยื่อแผ่น

ในการวิจัยได้เตรียมสารละลายโซลที่อัตราส่วนอะลูมิเนียมเซคกันคาร์บิวทอกไซด์ (ASB) ต่อน้ำเป็น 1 : 100 และใช้ปริมาณกรดต่อ ASB เป็น 0.07 : 1 โดยโมล พบว่าเมื่อเติมน้ำลงใน ASB จะเกิดตะกอนของโบรไมด์ขึ้น ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนขาวขุ่น หลังจากนั้นเติมกรดลงในสารแขวนลอย พบว่า สารแขวนลอยใสขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการควบแน่น ทำให้โบรไมด์เกิดการจับตัวกันเป็นสายโซ่ ในขั้นนี้สารละลายโซลที่ได้มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย และไม่มีสี สารละลายโซลนี้ใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่น

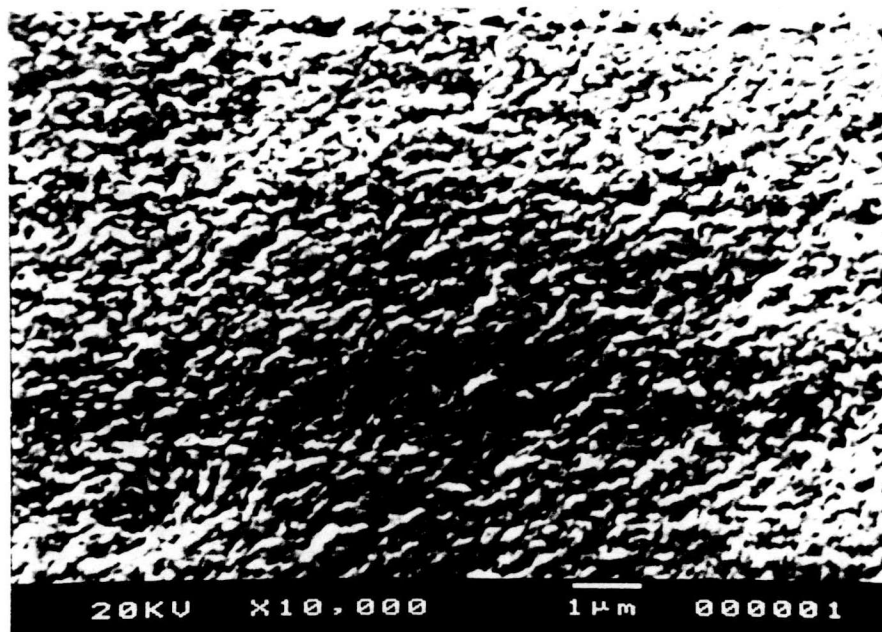
สารละลายโซลที่เตรียมได้นำไปทดสอบ DTA พบว่าโซลที่เตรียมได้เป็นโซลโบรไมด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.37 ในช่วงอุณหภูมิ 100 - 200 °ซ เป็นช่วงการสูญเสียน้ำ ในช่วงอุณหภูมิ 520 - 560 °ซ เป็นช่วงการสูญเสียน้ำภายในโครงสร้างผลึกของโบรไมด์ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่โบรไมด์เปลี่ยนเฟสเป็นแกมมาอะลูมินา และที่อุณหภูมิ 1199.4 °ซ แกมมาอะลูมินาเปลี่ยนเฟสเป็นแอลฟาอะลูมินา และจากการวิเคราะห์ XRD พบว่าเมื่อเผาโบรไมด์ที่อุณหภูมิ 600 °ซ โบรไมด์เปลี่ยนเฟสเป็นแกมมาอะลูมินา (ในรูปที่ 5.38) โบรไมด์เกิดการเปลี่ยนเฟส ในขณะที่เมื่อเผาที่ 400 °ซ โบรไมด์ยังคงไม่เปลี่ยนเฟส ในรูปที่ 5.38 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Dwivedi และ Gowda (รูปที่ 2.6) พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะคล้ายกันและลักษณะจุลโครงสร้างของโบรไมด์หลังจากเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 5.39 สำหรับการเตรียมเยื่อแผ่นใช้วิธีหล่อสลิต โดยใช้เวลา 30 วินาที พบว่า หลังจากเผาที่อุณหภูมิ 600 °ซ เยื่อแผ่นที่เตรียมได้ไม่มีรอยแตกและเยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุน 0.01 ไมโครเมตร (รูปที่ 5.40) เมื่อนำแท่งกรองที่มีชั้นเยื่อแผ่นซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 600 °ซ มาทดสอบการกรองด้วยน้ำ พบว่าเมื่อเพิ่มความดันผ่านเยื่อแผ่น ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5.41)



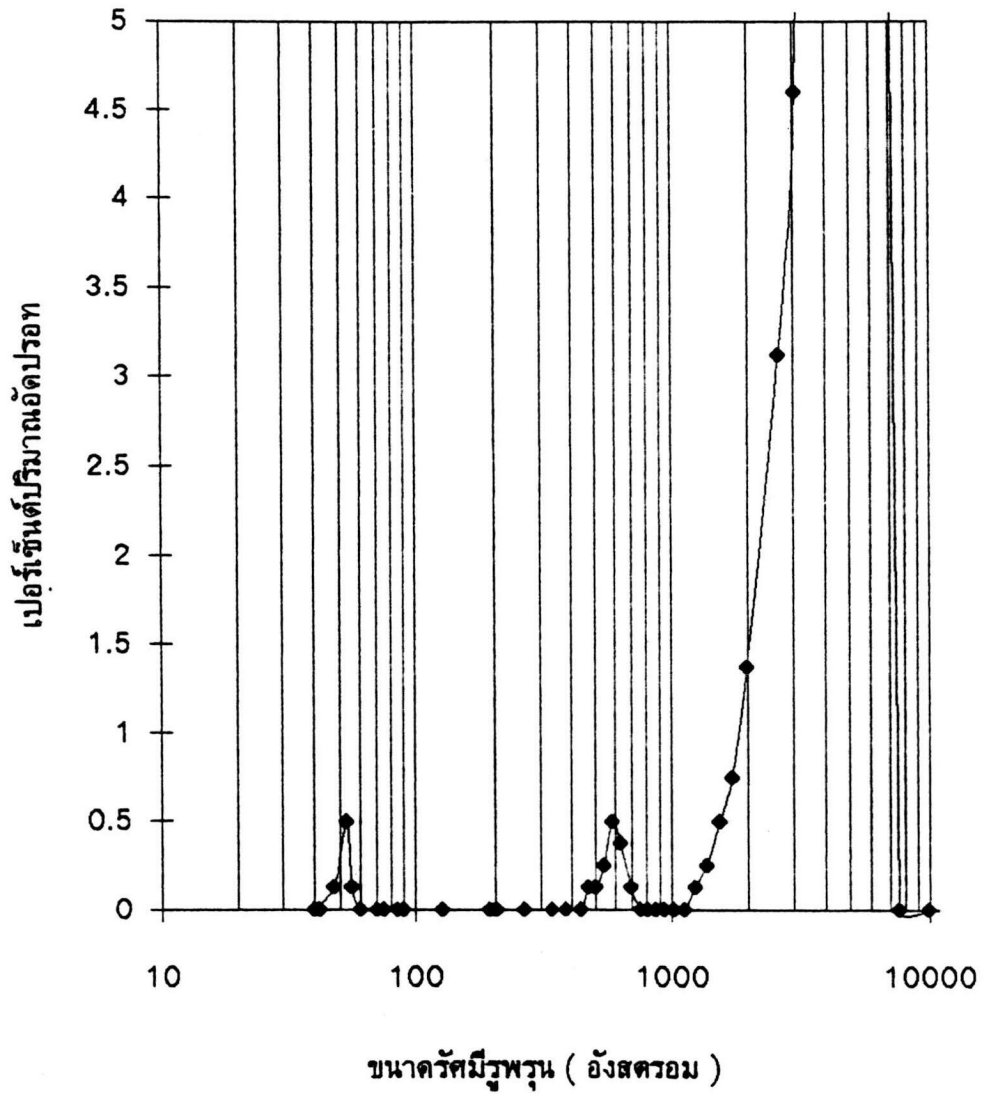
รูปที่ 5.37 แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและปริมาณความร้อนของโพรไบต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



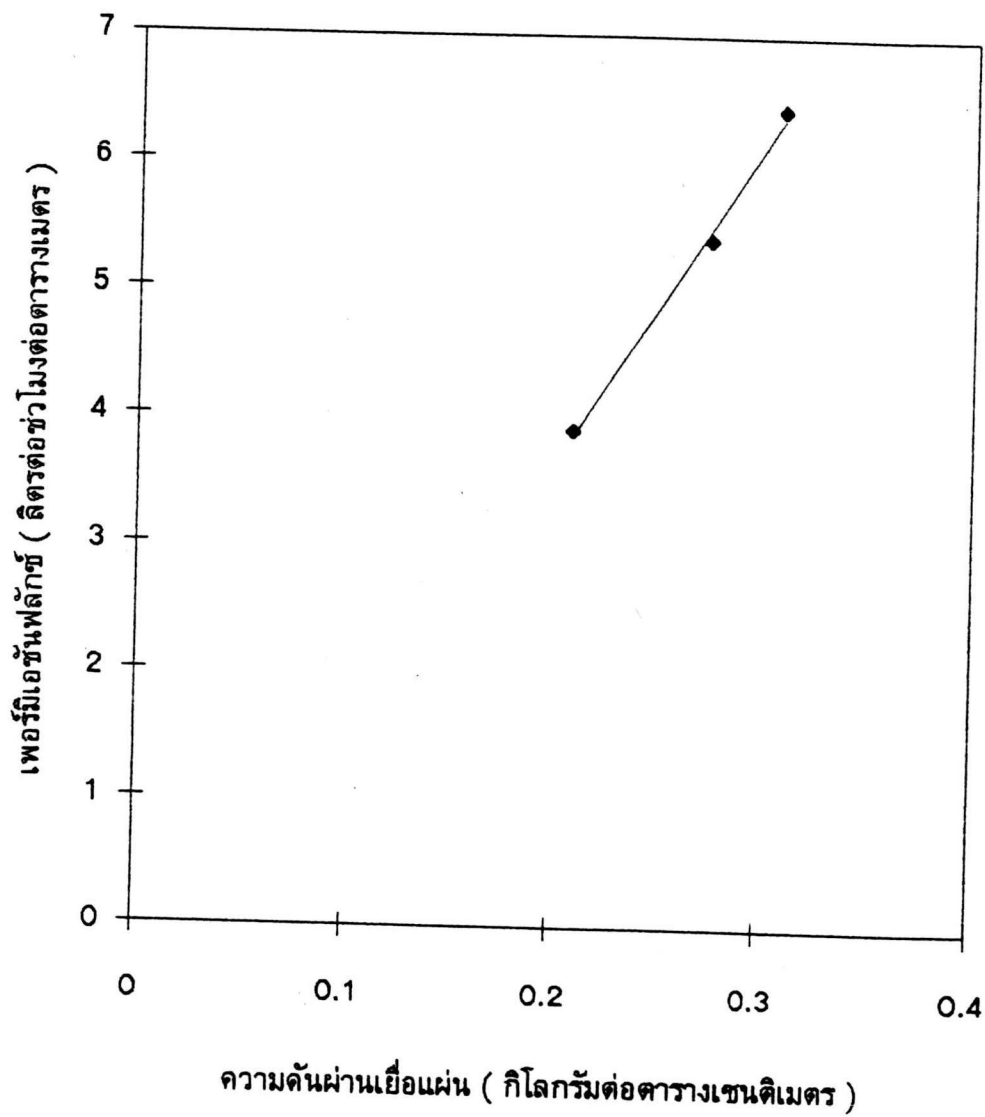
รูปที่ 5.38 แสดงการเปลี่ยนแปลงเฟสของโมรไมต์หลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 5.39 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชั้นเยื่อแผ่นหลังการเผาที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 30 นาที ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.40 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคหลังการเคลือบชั้นเยื่อแผ่นบนชั้นมัธยันตร์
เมื่อเผาเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำและความดันผ่านเยื่อแผ่น
เมื่อเผาเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 30 นาที

การศึกษาสมบัติการกรอง

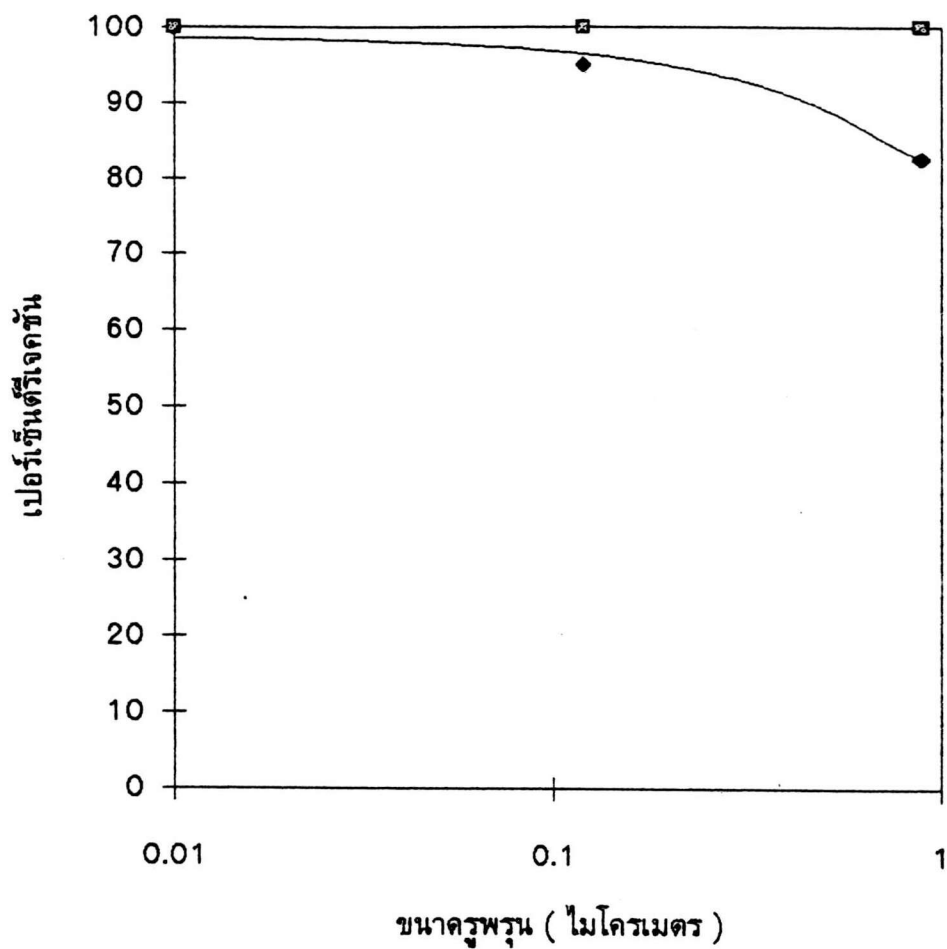
จากการทดสอบการกรองเชื้อแบคทีเรีย (*Alcaligenes eutrophus* ATCC17697) ซึ่งมีขนาดเซลล์กว้าง 0.7 ไมโครเมตร และมีขนาดยาว 1.2 - 2.0 ไมโครเมตร พบว่าตัวกรองรับ, ชั้นมัลชยันตร์และชั้นเยื่อแผ่นให้ค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน 82.5, 95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ในตารางที่ 5.3) ในขณะที่ทำการกรองเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ซึ่งมีขนาดเซลล์ประมาณ 10 ไมโครเมตร โดยใช้ตัวกรองรับ, ชั้นมัลชยันตร์ และชั้นเยื่อแผ่น (ในรูป 5.42 และในตารางที่ 5.4) พบว่าให้ค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันเท่ากันทั้ง 3 ชนิด คือมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในรูป 5.42 แสดงให้เห็นถึงค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันกับขนาดรูพรุนของตัวกรอง ในกรณีการกรองเชื้อยีสต์จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากเชื้อยีสต์มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของตัวกรอง และเมื่อกรองเชื้อแบคทีเรียจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันต่ำกว่าที่ได้จากการกรองเชื้อยีสต์ เนื่องจากขนาดของรูพรุนของตัวกรองรับมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเซลล์แบคทีเรีย และเมื่อขนาดรูพรุนมีค่าลดลงจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 5.3 แสดงสมบัติต่าง ๆ ของการกรองเชื้อแบคทีเรียที่ความเข้มข้นประมาณ 2 กรัมต่อลิตร (มีปริมาณเซลล์ 1×10^{11} เซลล์ต่อลิตร)

ชนิดตัวกรอง	ภาวะการกรอง	สมบัติการกรอง
ตัวอังกาบ	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์รีเจคชัน
	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มความเข้มข้น
ชั้นมัธยันตร์	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์รีเจคชัน
	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มความเข้มข้น
ชั้นเยื่อแผ่น	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์รีเจคชัน
	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มความเข้มข้น

ตารางที่ 5.4 แสดงสมบัติต่าง ๆ ของการกรองเชื้อยีสต์ที่ความเข้มข้นประมาณ 24 กรัมต่อลิตร (มีปริมาณเซลล์ประมาณ 300×10^{11} เซลล์ต่อลิตร)

ชนิดตัวกรอง	ภาวะการกรอง	สมบัติการกรอง
ตัวรองรับ	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์รีเจคชัน
	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มความเข้มข้น
ชั้นมัยันต์	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์รีเจคชัน
	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มความเข้มข้น
ชั้นเยื่อแผ่น	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์รีเจคชัน
	ความดันขาเข้าของสายป้อน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มความเข้มข้น



◆ เชื้อแบคทีเรียที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร

■ เชื้อยีสต์ที่ความเข้มข้น 24 กรัมต่อลิตร

รูปที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ที่ละเอียดกว่าและค่าเพอมีเอชันฟลักซ์เมื่อขนาดอนุภาคของตัวกรองเปลี่ยนไป เมื่อทำการกรองเชื้อแบคทีเรียและเชื้อยีสต์

สรุปผลการทดลอง

จากวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตตัวกรองชนิดไฮอะลูมินาที่มีรูพรุนขนาดเล็กหลายขนาด เพื่อใช้กรองจุลินทรีย์ออกจากน้ำหมัก การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเตรียมเยื่อแผ่น และการศึกษาสมบัติการกรอง

ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ต่อการเตรียมตัวกรอง พบว่า ในการเตรียมน้ำสลিপสำหรับการขึ้นรูปตัวกรองจำเป็นต้องเติมอะลูมินาที่มีขนาดเล็กลงไปใต้น้ำสลิป เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานและจำเป็นต้องควบคุมปริมาณอะลูมินาขนาดเล็กเพื่อให้ได้น้ำสลิปที่มีสมบัติการไหลตัวที่ดี เนื่องจากการเติมอะลูมินาขนาดเล็กลงไปใต้น้ำสลิปเป็นการเพิ่มความหนืดของน้ำสลิป ซึ่งให้ผลเหมือนกับการเติมตัวประสาน ดังนั้นการให้น้ำสลิปมีสมบัติการไหลตัวที่ดีจึงจำเป็นต้องเติมสารช่วยกระจายตัว หลังจากทราบบัญญัติต่าง ๆ ที่มีผลต่อน้ำสลิปแล้ว ยังจะต้องพิจารณาสารช่วยขึ้นเทอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์จากการทดลองพบว่าการใช้สารช่วยขึ้นเทอร์เพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง (คอปเปอร์ออกไซด์ หรือไทเทเนียมไดออกไซด์) จะทำให้เกิดการโตของเกรนผิดปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยขึ้นเทอร์ทั้งสองชนิด และการโตของเกรนยังขึ้นกับอุณหภูมิขณะขึ้นเทอร์คือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์สูงขึ้น จะทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกอุณหภูมิและอัตราส่วนของสารช่วยขึ้นเทอร์ที่เหมาะสม นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณของสารช่วยขึ้นเทอร์ทำให้อุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ลดลง แต่ก็ทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดการโตของเกรน ดังนั้นจึงได้เพิ่มเติมแมกนีเซียมออกไซด์เป็นสารช่วยขึ้นเทอร์อีกชนิดหนึ่ง สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวกรองไว้แสดงในตารางที่ 5.5

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเตรียมชั้นมัธยันตร์ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ทำให้ชั้นมัธยันตร์มีความแข็งแรงขึ้น ภาวะที่ใช้ในการเตรียมชั้นมัธ

ยันตร์แสดงในตาราง 5.5 และในการเตรียมเยื่อแผ่นสามารถเตรียมได้จากโซลโบรไมต์ โดยการเคลือบโซลโบรไมต์บนชั้นมัธยันตร์แล้วนำไปเผาอุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนโบรไมต์ไปเป็นแกมมาอะลูมินา จากการทดลองพบว่าแกมมาอะลูมินาจำเป็นต้องเผาที่อุณหภูมิ 600 °ซ จึงจะได้เยื่อแผ่น สำหรับภาวะในการเตรียมชั้นเยื่อแผ่นแสดงในตารางที่ 5.5

จากการทดลองการกรองเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) พบว่าตัวรองรับมีเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อกรองเชื้อแบคทีเรีย (*Alcaligenes eutrophus* ATCC17697) ตัวรองรับมีเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน 82.5 เปอร์เซ็นต์, ชั้นมัธยันตร์มีเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน 95 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อแผ่นมัธยันตร์มีเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน 100 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองขั้นต่อไปควรประยุกต์ใช้เยื่อแผ่นเซรามิกที่เตรียมได้ในกระบวนการแยกสารชีวโมเลกุลอื่น ๆ

ตารางที่ 5.5 แสดงภาวะในการเตรียมตัวรองรับ , ชั้นมัธยมศึกษาและชั้นเยื่อแผ่น

ภาวะการเตรียมตัวกรอง	ตัวรองรับ	ชั้นมัธยมศึกษา	เยื่อแผ่น
องค์ประกอบ	อะลูมินาซีตอะลูมินาแอลคอก 10 : 90 โดยน้ำหนัก	อะลูมินาซีตเอ 16 เอสซี	อะลูมิเนียมเซคกันคาร์บิวทอกไซต์ค่อน้ำ ต่อกรดในตริก 1:100:0.07 โดยโมล
ปริมาณของของแข็ง	55.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	28.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	-
สารช่วยกระจายตัว	ดิสเป็คเ็น 40 0.13-0.15 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก	การไฮโดรคอลลริก 1 นอแมล 5 มิลลิลิตร	
ตัวประสาน	โซเดียมแอลจีเนต 0.1 เปอร์เซ็นต์ของของแข็ง	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ของของแข็ง	
อุณหภูมิ	ในการขึ้นทอ 1300 °ซ 2 ชั่วโมง	ในการขึ้นทอ 1200 °ซ 30 นาที	ในเผา 600 °ซ 30 นาที
สารช่วยขึ้นทอ	CuO:TiO ₂ :MgO 1:1:0.05 ในปริมาณ 0.683 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	-	-
เวลาในการเตรียมชิ้นงาน	10 นาที	30 วินาที	30 วินาที
ขนาดรูพรุน (ไมโครเมตร)	0.9	0.12	0.01
ความหนาของชั้น	2 มิลลิเมตร	50 - 70 ไมโครเมตร	5 - 10 ไมโครเมตร