

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การเกิดโฟลิมเมอร์แบบแขวนลอย

4.1.1 ผลของปริมาณโมโนเมอร์ต่อการเกิด โฟลิมเมอร์แบบแขวนลอย

ปริมาณโมโนเมอร์ในระบบเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิด โฟลิมเมอร์แบบแขวนลอย จากการทดลองที่ 1-5 (สังเคราะห์ที่ 70°ซ. 4 ชม. และ 90°ซ. 2 ชม.) ในตารางที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณโมโนเมอร์ต่อการเกิด โฟลิมเมอร์แบบแขวนลอย โดยมีการลดร้อยละของ โมโนเมอร์ลงเป็นลำดับคือร้อยละ 30, 20, 10, 7.5 และ 5.0 จากการทดลองดังกล่าวพบว่า บางการทดลองบีดไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หรือบีดที่ได้มีขนาดเล็กเกินไปไม่เหมาะสมที่จะนำมาศึกษา ต่อ

จากการทดลองดังกล่าว ในกรณีสภาวะที่โมโนเมอร์ในระบบมีปริมาณมากกว่า ร้อยละ 10 บีดไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะในระหว่างปฏิบัติการเกิดโฟลิมเมอร์เกิดขึ้นมีหยดของโมโนเมอร์จำนวนมากเกิน มีผลให้โอกาสที่หยดของโมโนเมอร์มาเกาะกันเป็นไปไม่ได้สูงและประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลงด้วยเพราะตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนคือน้ำมีปริมาณน้อย จึงทำให้บีดที่ได้ติดกันเป็นก้อน แต่ในสภาวะที่ปริมาณโมโนเมอร์ในระบบน้อยกว่าร้อยละ 7.5 ให้ผลในทางที่ตรงกันข้ามคือทำให้บีดที่ได้มีขนาดเล็กมากจนเป็นผง ดังนั้น ปริมาณโมโนเมอร์ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 7.5 ซึ่งได้โฟลิมเมอร์ออกมามีลักษณะเป็นบีด

4.1.2 ผลของเวลาต่อการเกิด โฟลิมเมอร์แบบแขวนลอย

อุณหภูมิและเวลาเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดบีด จากการทดลองที่ 4, 6-8 ในตารางที่ 4.1 แสดงผลของเวลาต่อการเกิด โฟลิมเมอร์แบบแขวนลอยโดยใช้ปริมาณโมโนเมอร์ ร้อยละ 7.5 HPMC ร้อยละ 0.4 และ HEC ร้อยละ 0.76 และใช้สภาวะการทดลองดังนี้

สภาวะ 70°ซ. 2 ชม. และ 90°ซ. 4 ชม.

สภาวะ 70°ซ. 3 ชม. และ 90°ซ. 3 ชม.

สภาวะ 70°ซ. 4 ชม. และ 90°ซ. 2 ชม.

สภาวะ 70°ซ. 5 ชม. และ 90°ซ. 1 ชม.

พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดบีดคือ 70 °ซ.- 3 ชม. และ 90°ซ.- 3 ชม. (การทดลองที่ 6) 70°ซ. - 4 ชม. และ 90°ซ. - 2 ชม. (การทดลองที่ 4) เมื่อนำบีดที่ได้จากทั้งสองสภาวะ ไปวัดอัตราส่วนการบวมพบว่าบีดจากการทดลองที่ 6 มีค่าอัตราส่วนการบวม 8.6 ซึ่งสูงกว่าบีดจากการทดลองที่ 4 ที่มีอัตราส่วนการบวม 7.5 เพราะบีดจากการทดลองที่ 6 มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 19.8 ตร.ม./ก. ในขณะที่บีดจากการทดลองที่ 4 มีอัตราส่วนการบวม 7.5 และมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 14.9 ตร.ม./ก. เมื่อพิจารณาถึงขนาดพบว่าบีดจากการทดลองที่ 4 มีขนาดใหญ่กว่า 10 เมซร้อยละ 90.04 โดยที่บีดจากการทดลองที่ 6 มีขนาดใหญ่กว่า 10 เมซร้อยละ 82.16 ดังนั้นบีดจากการทดลองที่ 6 มีขนาดใหญ่กว่าบีดจากการทดลองที่ 4 ทั้งนี้ เพราะเมื่อพิจารณาจาก Half life ของตัวริเริ่มปฏิกิริยา คือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ พบว่าที่อุณหภูมิ 70°ซ. มี Half life 7.3 ชม. และที่ 90°ซ. มีค่าดังกล่าวประมาณ 1 ชม. ซึ่งมีผลต่อการเกิดบีด โดยที่ทุกสภาวะการทดลองจะเกิดบีดที่ 90°ซ. ดังนั้นในการทดลองที่ 6 บีดจะเกิดในช่วงต้นของระบบที่อุณหภูมิ 90°ซ. ที่สภาวะนี้ค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัสของหยดไมโนเมอร์ที่กระจายตัวอยู่ในระบบกับวัฏภาคน้ำมีค่าไม่สูงมากนัก เนื่องจากสารแขวนลอยที่อุณหภูมิสูงค่าแรงตึงผิวจะลดลง ดังนั้นที่สภาวะนี้จึงเกิดบีดที่มีขนาดใหญ่ได้ดี ส่วนที่สภาวะการทดลองที่ 4 บีดเกิดในช่วงต้นของระบบที่อุณหภูมิ 90°ซ. เช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาที่ทำการทดลองมาทั้งหมดจะใช้เวลานานกว่า ทำให้ค่าแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคทั้งสองมีค่าลดลงสูงกว่า จึงมีผลทำให้บีดมีขนาดเล็ก

สำหรับสภาวะ 70°ซ.-2 ชม. และ 90°ซ.-4 ชม. (การทดลองที่ 7) บีดที่ได้มีขนาดเล็กจนเป็นผง เพราะที่สภาวะนี้บีดเกิดที่ 90°ซ. เป็นสภาวะที่แรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัสของหยดของไมโนเมอร์ที่กระจายตัวในระบบกับสารแขวนลอยมีค่าสูงขึ้น ส่วนที่สภาวะ 70°ซ. 5 ชม. และ 90°ซ. 1 ชม. (การทดลองที่ 8) บีดจะรวมตัวเป็นก้อน ปรากฏการณ์ดังกล่าวอธิบายได้จากอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเคมีมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเร็วขึ้นตามกฎของอาร์เรเนียส แต่ที่สภาวะดังกล่าวบีดเกิดในช่วงที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 70°ซ. เป็น 90°ซ. เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวมีผล

ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงผิวอย่างรวดเร็ว บัดจะรวมตัวกันเป็นก้อน

4.1.3 ผลของสารแขวนลอยต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้สารเคมี 2 ชนิดคือ HPMC (มีความหนืด 4×10^6 พาสคัล.วินาที และมีค่าแรงดึงผิว 50-56 มิลลินิวตัน/ม.) และ HEC (มีความหนืด 1×10^6 พาสคัล.วินาที และมีค่าแรงดึงผิว 66.3 มิลลินิวตัน/ม.) เพื่อศึกษาผลของสารแขวนลอยต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย จากการทดลองที่ 6, 9-11 (สังเคราะห์ที่ 70°C . 3 ชม. และ 90°C . 3 ชม. ใช้โมโนเมอร์ร้อยละ 7.5) ตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าสารแขวนลอยมีผลต่อขนาดของบัตคือการทดลองที่ 9 บัตที่ได้มีขนาดเล็กเป็นผลเนื่องจากในระบบมี HPMC ร้อยละ 0.8 เพียงชนิดเดียว ดังนั้น หดโมโนเมอร์กระจายตัวได้ดีทำให้บัตที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก สำหรับการทดลองที่ 11 ทดลองโดยเพิ่มปริมาณของ HEC เป็นร้อยละ 0.09 แต่ปริมาณ HPMC คงที่ ผลที่ได้คือบัตมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบัตจากการทดลองที่ 9 เพราะ HEC ทำหน้าที่เป็นสารลดแรงดึงผิว ทำให้โอกาสที่หดโมโนเมอร์มารวมตัวกันมีมากขึ้นจึงได้บัตขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการทดลองที่ 10 ทดลองโดยลดปริมาณ HPMC ลงเป็นร้อยละ 0.2 และเพิ่มปริมาณ HEC เป็นร้อยละ 0.114 ผลที่ได้คือบัตจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากแรงดึงผิวลดลง เมื่อนำบัตที่ได้จากการทดลองที่ 10 เปรียบเทียบกับบัตจากการทดลองที่ 6 โดยการวัดอัตราการบวม บัตจากการทดลองที่ 10 มีอัตราการบวมมากกว่าเนื่องจากมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าดังตารางที่ 4.5 สรุปได้ว่าบัตจากการทดลองที่ 10 มีขนาดใหญ่กว่า 10 เมซร้อยละ 92.28 และมีการบวมตัว 9.2 เท่า จึงมีสมบัติดีกว่าบัตจากการทดลองที่ 6 ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 10 เมซร้อยละ 90.04 และมีอัตราการบวม 8.6 ดังนั้น ปริมาณสารแขวนลอยที่เหมาะสมคือ ใช้ HPMC ร้อยละ 0.2 และ HEC ร้อยละ 0.114

4.1.4 ผลของตัวทำเจือจางต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย

ตัวทำเจือจางมีผลต่อสมบัติการดูดซึมของบัต เมื่อพิจารณาการทดลองที่ 12-14 ปฏิกริยาเกิดที่ 70°C . 3 ชม. และ 90°C . 3 ชม. มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเจือจางคือ ร้อยละ 0.02, 0.01 และ 0.006 บัตที่ได้มีสมบัติในการดูดซึมดีขึ้น เนื่องจากโมโนเมอร์ทั้งสองสามารถละลายได้ในตัวทำเจือจางคือ โทลูอีน ดังนั้นการเกิดการเชื่อมขวางจึงลดลง ทำให้บัตมีความพรุนมากขึ้น สังเกตได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าสูงขึ้นเช่นบัตจากการทดลองที่ 14 มีค่าเท่ากับ 123.7 ตร.ม./ก. และเมื่อศึกษาด้วยจุลภาพด้วยอิเล็กตรอนรูปที่ 4.1 กับ

4.32-4.34 จากภาพแสดงให้เห็นว่าบีดมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมากขึ้น แต่บีดที่ได้มีความแข็งแรงลดลงด้วย เพราะตัวทำ เจือจางสามารถละลาย โพลีเมอร์บางส่วนได้ในระหว่างการเกิด โพลีเมอร์

4.1.5 ผลของตัวบับบ่งปฏิกิริยาต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอย

ในระหว่างที่บีดเกิดในกระบวนการเกิดโพลีเมอร์มีการรวมตัวกันของหยด ไมโนเมอร์ จึงมีโอกาสที่โพลีเมอร์ติดใบพัดและทำให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากตัวบับบ่งปฏิกิริยาจะช่วยลดอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ลง โอกาสที่โพลีเมอร์ติดใบพัดลดลงทำให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์เพิ่ม สังเกตได้จากการทดลองที่ 15-17 (เติมตัวบับบ่งปฏิกิริยา ร้อยละ 0.01, 0.008 และ 0.004 ตามลำดับ) แต่เมื่อศึกษาถึงขนาดของบีดพบว่าบีดที่ได้มีขนาดเล็กลงคือ บีดส่วนใหญ่มีขนาด 10-20 เมช เนื่องจากตัวบับบ่งปฏิกิริยา ไปลดการเกิดโพลีเมอร์ โอกาสที่หยดไมโนเมอร์รวมตัวกันมีน้อยลงบีดที่ได้จึงมีขนาดเล็ก แต่ทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูงขึ้นคือ ร้อยละ 80.1-82.4

จากการศึกษาปัจจัยที่ผลต่อการเกิดบีดคือซิมสไดรีน เช่น ปริมาณไมโนเมอร์ สารแขวนลอย ตัวทำเจือจาง ตัวบับบ่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ สังเคราะห์โพลีเมอร์ที่ 70°C.-3 ชม. และ 90°C.-3 ชม. ใช้ไมโนเมอร์ร้อยละ 7.5 HPMC ร้อยละ 0.2 และ HEC ร้อยละ 0.114 นั่นคือการทดลองที่ 10 เป็นบีดที่มีสมบัติเหมาะสม โดยมีขนาดใหญ่กว่า 10 เมชร้อยละ 92.28 มีอัตราส่วนการบวม 9.2

นอกจากนี้ยังมีสภาวะการทดลองที่สำคัญอีก 2 สภาวะการทดลองคือ การทดลองที่ 14 เป็นสภาวะที่ทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 10 แต่เติมตัวเจือจางร้อยละ 0.006 พบว่าบีดมีสมบัติคือมีขนาดใหญ่กว่า 10 เมชร้อยละ 96.28 มีอัตราส่วนการบวม 13.8 และการทดลองที่ 15 เป็นสภาวะที่ทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 10 แต่เติมตัวบับบ่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.01 พบว่าบีดมีสมบัติคือมีขนาดใหญ่กว่า 10 เมชร้อยละ 23.57 แต่มีร้อยละของผลิตภัณฑ์ 82.41 มีอัตราส่วนการบวม 13.0

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณไมโนเมอร์ อุณหภูมิ เวลาและปริมาณสารแขวนลอยต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

การทดลอง	เวลา(ชม.)ที่ อุณหภูมิ		ร้อยละ HPMC	ร้อยละ HEC	ร้อยละ ไมโนเมอร์	ลักษณะของ โพลีเมอร์	ร้อยละ ผลิตภัณฑ์	ขนาดของปีค(เมซ)			อัตราส่วน การบวม
	(70%)	(90%)						>10	10-20	<20	
1	4	2	0.4	0.076	30.0	ติดกันเป็นก้อน	-	-	-	-	-
2	4	2	0.4	0.076	20.0	ติดกันเป็นก้อน	-	-	-	-	-
3	4	2	0.4	0.076	10.0	เป็นผง	-	-	-	-	-
4	4	2	0.4	0.076	7.5	เป็นปืด	69.88	82.16	16.87	0.97	7.3
5	4	2	0.4	0.076	5.0	เป็นผง	-	-	-	-	-
6	3	3	0.4	0.076	7.5	เป็นปืด	64.88	90.04	8.31	1.65	8.6

วัฏภาคน้ำ : HPMC, HEC, โซเดียมไนคาร์บอเนตร้อยละ 2.0

วัฏภาคไมโนเมอร์: ไมโนเมอร์สไตรีนร้อยละ 99.4 เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ไดไวนิลเบนซีนร้อยละ 0.3

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

การทดลอง	เวลา(ชม.)ที่		ร้อยละ HPMC	ร้อยละ HEC	ร้อยละ ไมโนเมอร์	ลักษณะของ โพลีเมอร์	ร้อยละ ผลิตภัณฑ์	ขนาดของบีด(เมซ)			อัตราส่วน การบวม
	อุณหภูมิ							>10	10-20	<20	
	(70%)	(90%)									
7	2	4	0.4	0.076	7.5	เป็นผง	-	-	-	-	
8	5	1	0.4	0.076	7.5	ติดกันเป็นก้อน	-	-	-	-	
9	3	3	0.8	-	7.5	เป็นผง	-	-	-	-	
10	3	3	0.2	0.114	7.5	เป็นบีด	64.33	92.28	6.76	0.96	9.2
11	3	3	0.4	0.090	7.5	เป็นบีด	57.92	56.80	41.76	1.44	-

วิภาคน้ำ : HPMC ,HEC, โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 2.0

วิภาคไมโนเมอร์: ไมโนเมอร์สไตรีนร้อยละ 99.4 เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.3
ไดไวนิลเบนซีนร้อยละ 0.3

หมายเหตุ

การทดลองที่ 1-5 ผลของปริมาณไมโนเมอร์ต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

การทดลองที่ 4,6-8 ผลของเวลาต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

การทดลองที่ 6,9-11 ผลของปริมาณสารแขวนลอยต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

ตารางที่ 4.2 ผลของตัวทำเจือจางและตัวบับบ่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

การทดลอง	เวลา(ชม.)ที่		ตัวบับบ่ง ปฏิกิริยา (%)	ตัวทำ เจือจาง (%)	โมโนเมอร์ (%)	ลักษณะของ โพลีเมอร์	ร้อยละ ผลิตภัณฑ์	ขนาดของเม็ด(เมซ)			อัตราส่วน การรวม
	อุณหภูมิ							>10	10-20	<20	
	(70%)	(90%)									
12	3	3	-	0.02	7.5	เป็นเม็ด	70.12	95.17	3.73	1.10	8.8
13	3	3	-	0.01	7.5	เป็นเม็ด	70.51	18.49	78.73	2.78	8.0
14	3	3	-	0.006	7.5	เป็นเม็ด	71.33	96.28	2.69	1.03	13.8
15	3	3	0.01	-	7.5	เป็นเม็ด	82.41	23.57	70.83	5.60	13.0
16	3	3	0.008	-	7.5	เป็นเม็ด	81.15	4.02	93.15	2.83	8.0
17	3	3	0.004	-	7.5	เป็นเม็ด	80.10	1.75	89.39	8.86	12.8

วัตถุดิบ : HPMC ร้อยละ 2 , HEC ร้อยละ 0.114, โซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 2.0

วัตถุดิบโมโนเมอร์ : โมโนเมอร์สไตรีน ร้อยละ 99.4 แบนไซอิลเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 0.3

ไดไวนิลเบนซีน ร้อยละ 0.3

หมายเหตุ

การทดลองที่ 12-14 ผลของปริมาณตัวทำเจือจางต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

การทดลองที่ 15-17 ผลของปริมาณตัวบับบ่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์

4.2 การเกิดโพลีเมอร์แบบแวนลอยที่มีการเลี้ยงบีด

4.2.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแวนลอยที่มีการเลี้ยงบีด

เมื่อนำบีดจากการทดลองที่เหมาะสมคือ การทดลองที่ 10 นำไปแช่ในสารละลายไมโนเมอร์นาน 14 ชม. บีดจะบวมตัวเต็มที่ แล้วนำมาใส่ในขวดที่มีสารละลายของสารแวนลอยอยู่ เมื่อให้ความร้อนแก่ระบบ กระบวนการเกิดโพลีเมอร์แบบแวนลอยสามารถเกิดขึ้นได้ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการทดลองต่าง ๆ ดังนี้

70°ซ.	2 ชม.	และ 90°ซ.	10 ชม.	(การทดลองที่ 18)
70°ซ.	2 ชม.	และ 90°ซ.	8 ชม.	(การทดลองที่ 19)
70°ซ.	2 ชม.	และ 90°ซ.	4 ชม.	(การทดลองที่ 20)
70°ซ.	3 ชม.	และ 90°ซ.	3 ชม.	(การทดลองที่ 21)
70°ซ.	4 ชม.	และ 90°ซ.	2 ชม.	(การทดลองที่ 22)

พบว่าบีดที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะ เมื่อนำบีดที่สังเคราะห์ได้มาแช่ในสารละลายไมโนเมอร์สายโซ่ของโพลีเมอร์จะเกิดการคายตัวจึงทำให้ขนาดของบีดใหญ่ขึ้น เมื่อใส่บีดลงในระบบพร้อมทั้งให้ความร้อน บีดจะเริ่มคายไมโนเมอร์ออกมาพร้อมทั้งมีปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันเกิดขึ้นที่ผิวของบีด สังเกตได้จากจุลภาพด้วยอิเล็กตรอนรูปที่ 4.2 แสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 10 กับจุลภาพด้วยอิเล็กตรอนรูปที่ 4.3 แสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 21 พบว่าผิวของบีดขรุขระมากขึ้นแสดงว่าปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันเกิดขึ้นที่ผิวบีดจริง

นอกจากนี้ เวลาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของบีดที่สำคัญ คืออัตราส่วนการบวม ดังนั้นสามารถอธิบายผลของเวลาได้ เมื่อเลี้ยงบีดที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ไมโนเมอร์ที่อยู่ในโพรงของบีดสามารถออกมาที่ผิวได้มากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันได้มากขึ้น และไมโนเมอร์บางส่วนที่อยู่ในโพรงก็ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เช่นกัน และเมื่อการเลี้ยงบีดสิ้นสุดลงก่อนนำไปใช้งานต้องมีการกำจัดไมโนเมอร์ออก ดังนั้น ในกรณีนี้ไมโนเมอร์ที่ถูกกำจัดออกเหลือน้อยลง จากปรากฏการณ์ให้มีผลต่อค่าพื้นที่ผิวในการดูดซับลดลงมีผลให้อัตราการบวมลดลงเช่นกัน ดังเช่น บีดจากการทดลองที่ 20 มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 26.2 ตร.ม./ก. บีดจากการทดลองที่ 20 มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 30.7 ตร.ม./ก. บีดจากการทดลองที่ 20 มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 43.3

ตร.ม./ก. สำหรับกรณีที่เลี้ยงบีดเป็นเวลานานจะให้ผลเช่นเดียวกัน

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมกับการเลี้ยงบีดคือ เลี้ยงบีดที่อุณหภูมิ 70°ซ. 2 ชม. และ 90°ซ. 4 ชม. บีดที่สภาวะดังกล่าวคือบีดจากการทดลองที่ 22 ซึ่งมีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ หุ่นที่ผิวจำเพาะมีค่า 43.4 ตร.ม./ก. มีขนาดเฉลี่ย 5.2 มม. มีอัตราส่วนการบวม 14.7

4.2.2 ผลของจำนวนครั้งที่เลี้ยงบีดต่อการเกิดโพลีเมอร์แบบแขวนลอยที่มีการเลี้ยงบีด

เมื่อนำบีดในตอนที่ 4.2.1 มาทำการเลี้ยงโดยวิธีเดิมซ้ำอีกทีหนึ่ง สมบัติในการดูซึมของบีดลดลง เพราะ โพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของบีดจะบีบให้โครงสร้างที่เป็นโพรงยุบตัวลง ผลที่ได้คือบีดมีความพรุนลดลง ตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเลี้ยงบีดซ้ำปริมาตรของโพรงจะลดลงเช่น บีดจากการทดลองที่ 20 ซึ่งเป็นสภาวะที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง พบว่าปริมาตรของโพรงมีค่า 0.409 มล./ก. เมื่อนำมาเลี้ยงซ้ำอีกครั้งคือ บีดจากการทดลองที่ 23 บีดดังกล่าวมีปริมาตรของโพรงเท่ากับ 0.205 มล./ก. นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงจุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนรูปที่ 4.4. กับรูปที่ 4.5 โดยจุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนรูปที่ 4.4 แสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 20 และจุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนรูปที่ 4.5 แสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 23. จากรูปทั้งสองแสดงให้เห็นบีดมีโครงสร้างที่เป็นโพรงลดลงจริง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาดำเนินปฏิบัติการเกิดโพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบิด

การทดลองที่	เวลา(ชม.)ที่ อุณหภูมิ		จำนวนครั้งที่ เลี้ยงบิด	ขนาดของบิด(มม.)			ขนาดเฉลี่ย (มม.)	อัตราส่วน การบวม
	(70%)	(90%)		รอบละ	รอบละ	รอบละ		
18	2	10	1	4	89	4	4.5	7.7
19	4	8	1	10	86	4	4.9	8.0
20	2	4	1	5	88	7	5.2	9.2
21	3	3	1	-	87	13	5.2	11.0
22	4	2	1	-	88	12	5.2	14.7
23	2	4	2	-	90	10	6.5	10.1
24	3	3	2	-	86	14	7.0	11.5

ตารางที่ 4.3 ต่อ

การทดลองที่	เวลา(ชม.)ที่		จำนวนครั้งที่ ที่ เลี้ยงบีด	ขนาดของบีด(มม.)			ขนาดเฉลี่ย (มม.)	อัตราส่วน การบวม
	อุณหภูมิ			ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ		
	(70%)	(90%)						
25	4	2	2	-	6.0-7.0 96	> 7.0 4	6.5	10.9
26	4	2	1	-	2.5-3.5 97	3.5-4.5 3	3.1	17.7
27	4	2	1	-	3.5-4.5 8	4.5-5.5 92	4.8	15.3

หมายเหตุ

- การทดลองที่ 18-19 ปฏิบัติการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง 12 ชม. บีดที่ใช้นำมาจากการทดลองที่ 10
- การทดลองที่ 20-22 ปฏิบัติการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง 6 ชม. บีดที่ใช้นำมาจากการทดลองที่ 10
- การทดลองที่ 23-25 ปฏิบัติการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด 2 ครั้ง 6 ชม. บีดที่ใช้นำมาจากการทดลองที่ 10
- การทดลองที่ 26 ปฏิบัติการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง 6 ชม. บีดที่ใช้นำมาจากการทดลองที่ 14
- การทดลองที่ 27 ปฏิบัติการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง 6 ชม. บีดที่ใช้นำมาจากการทดลองที่ 15

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ

- การทดลองที่ 4 อุณหภูมิ 70°C, 4 ชม. 90°C, 2 ชม. HPMC ร้อยละ 0.4 HEC ร้อยละ 0.076
- การทดลองที่ 6 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.4 HEC ร้อยละ 0.076
- การทดลองที่ 10 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.2 HEC ร้อยละ 0.114
- การทดลองที่ 12 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.2 HEC ร้อยละ 0.114 คิวท่าเงี้ยว ร้อยละ 0.02
- การทดลองที่ 13 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.2 HEC ร้อยละ 0.114 คิวท่าเงี้ยว ร้อยละ 0.01
- การทดลองที่ 14 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.2 HEC ร้อยละ 0.114 คิวท่าเงี้ยว ร้อยละ 0.006
- การทดลองที่ 15 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.2 HEC ร้อยละ 0.114 คิวบับขี้มูกิรีบา ร้อยละ 0.01
- การทดลองที่ 16 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.2 HEC ร้อยละ 0.114 คิวบับขี้มูกิรีบา ร้อยละ 0.008
- การทดลองที่ 17 อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. HPMC ร้อยละ 0.2 HEC ร้อยละ 0.114 คิวบับขี้มูกิรีบา ร้อยละ 0.004
- การทดลองที่ 18 เลี้ยงบีด 1 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 2 ชม. 90°C, 10 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 19 เลี้ยงบีด 1 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 4 ชม. 90°C, 8 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 20 เลี้ยงบีด 1 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 2 ชม. 90°C, 4 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 21 เลี้ยงบีด 1 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 22 เลี้ยงบีด 1 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 4 ชม. 90°C, 2 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 23 เลี้ยงบีด 2 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 2 ชม. 90°C, 4 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 24 เลี้ยงบีด 2 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 3 ชม. 90°C, 3 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 25 เลี้ยงบีด 2 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 4 ชม. 90°C, 2 ชม. (ใช้บีดจากการทดลองที่ 10)
- การทดลองที่ 26 เลี้ยงบีด 1 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 4 ชม. 90°C, 2 ชม. มีคิวท่าเงี้ยว (ใช้บีดจากการทดลองที่ 14)
- การทดลองที่ 27 เลี้ยงบีด 1 ครั้ง อุณหภูมิ 70°C, 4 ชม. 90°C, 2 ชม. มีคิวบับขี้มูกิรีบา (ใช้บีดจากการทดลองที่ 15)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลของตัวทำละลายต่อการดูดซึมของบีด

จากตารางที่ 4.4 แสดงการดูดซึมตัวทำละลายแต่ละชนิดของบีด พบว่าความสามารถในการดูดซึมตัวทำละลายของบีดขึ้นกับพหุคูณของกำลังการละลาย ถ้าค่าความสามารถในการละลายมีค่าสูงทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซึมตัวทำละลายสูงขึ้น ผลที่ได้คืออัตราส่วนการบวมที่สูงขึ้น นอกจากนี้ ยังสามารถพิจารณาในด้านของความสามารถในการเกิดพันธะ ไฮโดรเจนของตัวทำละลายโดยแบ่งตัวทำละลายออกเป็นสองกลุ่มดังนี้คือ

กลุ่มที่ 1 เกิดพันธะ ไฮโดรเจนได้ยาก ได้แก่ ไซลีน, เบนซีน, คลอโรฟอร์ม, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และ 1,1,2 ไตรคลอโรเอเทน

กลุ่มที่ 2 เกิดพันธะ ไฮโดรเจนได้ปานกลาง ได้แก่ อะซีโตน, เตตระคลอโรเอทิลีน และ เมทิลเอทิลคีโตน

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 พบว่าตัวทำละลายในกลุ่มที่ 1 ถูกดูดซึมได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับตัวทำละลายกลุ่มที่ 2 เพราะบีดมีการเชื่อมขวางของสไตรีนด้วยไดไวนิลเบนซีนจึงเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบไม่มีขั้ว ดังนั้นตัวทำละลายกลุ่มที่ 1 จะถูกดูดซึมได้ดีกว่าตัวทำละลายกลุ่มที่ 2



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนการบวมของบีดในตัวทำละลายต่างๆ(ใช้บีดจากการทดลองที่ 22)

ตัวทำละลาย	Solubility parameter (แคลอรี/ซม ³ .) ^{1/2}	อัตราส่วนการบวม
Methyl ethyl ketone	9.9(m)	4.29
Tetrachloroethylene	9.1(m)	6.98
1,1,2 Trichloroethane	9.6(p)	6.59
Benzene	9.2(p)	9.47
Xylene	8.8(p)	8.27
Chloroform	9.3(p)	12.58
Carbon Tetrachloride	8.6(p)	6.56
Turpentine oil	-	1.80
Acetone	9.9(m)	1.83
Toluene	8.9(m)	14.7

p = เกิดพันธะ ไฮโดรเจน ได้ยาก

m = เกิดพันธะ ไฮโดรเจน ได้พอสมควร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 สมบัติของบีด

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าพื้นที่ผิวจำเพาะกับความหนาแน่นของบีดพบว่า ถ้ามีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงบีดนั้นจะมีความหนาแน่นต่ำ เพราะบีดมีโครงสร้างที่เป็นโพรงมากขึ้น เห็นได้จากจุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนรูปที่ 4.6 เป็นภาพที่แสดงถึงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 6 (กรณีที่ไม่มีการเลี้ยงบีด) กับจุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนรูปที่ 4.7 เป็นภาพที่แสดงภาพตัดขวางของการทดลองที่ 10 (กรณีที่ไม่มีการเลี้ยงบีด) พบว่าบีดจากการทดลองที่ 6 มีความหนาแน่น 0.879 ก./ซม.^3 และบีดจากการทดลองที่ 10 มีความหนาแน่น 0.722 ก./ซม.^3 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กับค่า crosslink density นั่นคือบีดมีโครงสร้างที่เป็นโพรงมากขึ้นเกิดจากการเชื่อมขวางมีน้อย มีผลทำให้ค่า crosslink density ลดลง สำหรับสัมประสิทธิ์การแพร่ จะกล่าวถึงอย่างละเอียดในหัวข้อ 4.7

สำหรับกรณีปริมาตรของโพรงของบีดทั้งหมดที่สังเคราะห์ที่สภาวะต่าง ๆ นั้น สามารถแบ่งพิจารณาเป็นกรณีต่าง ๆ คือ การทดลองที่ 12-14 เป็นบีดจากสภาวะที่ไม่มีการเลี้ยงบีดและมีตัวทำเจือจาง พบว่ามีปริมาตรสูงคือ $1.088 - 2.309 \text{ มล./ก.}$ เพราะว่าเป็นกรณีที่มีการเติมตัวทำเจือจาง เมื่อเทียบกับกรณีบีดจากการทดลองที่ 4, 6, 10 ซึ่งเป็นในสภาวะที่ไม่มีการเลี้ยงบีด พบว่าปริมาตรมีค่าอยู่ระหว่าง $0.484 - 0.823 \text{ มล./ก.}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเพราะ ไม่มีตัวทำเจือจาง ในระบบ ส่วนกรณีที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง คือการทดลองที่ 18-22, 26 จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง $0.248-0.259 \text{ มล./ก.}$ เพราะมีการเลี้ยงบีดเพียงครั้งเดียวและเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 23-25 ซึ่งมีการเลี้ยงบีด 2 ครั้ง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $0.176 - 0.279 \text{ มล./ก.}$ ซึ่งน้อยกว่าบีดของการทดลองที่ 18-22

กรณีพื้นที่ผิวจำเพาะของบีดทั้งหมดที่สังเคราะห์ที่สภาวะต่าง ๆ จากตารางที่ 4-5 สามารถพิจารณาได้เป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้ คือ กรณีไม่มีการเลี้ยงบีด โดยไม่เติมตัวทำเจือจางและตัวบับยังปฏิกิริยา คือ บีดจากการทดลองที่ 4, 6, 10 มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง $14.9-27.3 \text{ ตร.ม./ก.}$ เมื่อเปรียบเทียบกับบีดจากการทดลองที่ 13-14 ซึ่งเป็นบีดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเลี้ยงบีดเช่นกัน แต่มีการเติมตัวเจือจางลงไปในระบบพบว่ามีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง $114.5-123.7 \text{ ตร.ม./ก.}$ ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับกรณีการทดลองที่ 4, 6, 10 เนื่องจากตัวทำเจือจางทำให้เกิดโพรงในบีดมากขึ้น กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง คือ การทดลองที่ 18-22 (เลี้ยงบีดด้วยระยะเวลาต่างกันโดยการทดลองที่ 18-19 เลี้ยงบีด 12 ชม. และการทดลองที่ 20-22

เลี้ยงบีด 6 ชม. แต่เลี้ยงที่ 70°ซ. และ 90°ซ. ในระยะเวลาต่างกัน) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 26.2 - 43.4 ตร.ม./ก. และการทดลองที่ 26 (นำบีดจากการทดลองที่ 14 มาเลี้ยง) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 94.4 ตร.ม./ก. สำหรับกรณีที่เลี้ยงบีด 2 ครั้งคือ การทดลองที่ 23-25 (เลี้ยงที่ 70°ซ. และ 90°ซ. ในระยะเวลาที่ต่างกัน) มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 19.3-35.7 ตร.ม./ก. ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากรณีเลี้ยงบีด 1 ครั้ง เนื่องมาจากมีการเลี้ยงบีด 2 ครั้ง

สำหรับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรโพรงหาได้จากรูปที่ 4.8-4.9 โดยที่แต่ละรูปมีเส้นโค้ง 3 เส้นที่ 1 แสดงถึงการกระจายตัวของโพรงพบว่าการทดลองที่ 10 ขนาดของโพรงส่วนใหญ่อยู่ในช่วง $1.0 \times 10^3 - 1.0 \times 10^4$ Å. ส่วนบีดจากการทดลองที่ 22 การกระจายตัวของขนาดโพรงมี 2 ช่วงคือ $7.0 \times 10^3 - 5.0 \times 10^4$ Å. และ $1.0 \times 10^2 - 1.0 \times 10^3$ Å. เส้นที่ 2 แสดงถึงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยคิดเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสะสม เส้นที่ 3 แสดงถึงค่าปริมาตรโพรง โดยคิดเป็นค่าปริมาตรโพรงสะสม ตัวอย่างเช่น บีดจากการทดลอง 22 มีค่าปริมาตรโพรงสะสม 0.248 มล./ก. และมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสะสม 43.4 ตร.ม./ก. จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าถ้าโพรงมีขนาดเล็กพื้นที่ผิวจำเพาะจะมีค่ามากขึ้น

กรณีความหนาแน่นของบีดทุกสภาวะการทดลองพบว่ามีค่าน้อยกว่า 1 ก./ซม.³ เพราะบีดมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนทำให้ความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นจึงลอยน้ำได้ พบว่าบีดของทุกการทดลองมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.518-0.980 ก./ซม.³. สำหรับการทดลองที่ 12-14 เป็นบีดที่ไม่ได้ผ่านการเลี้ยงและเติมตัวทำเจือจาง บีดมีค่าความหนาแน่นน้อยโดยอยู่ในช่วง 0.518 - 0.584 ก./ซม.³ เนื่องมาจากมีการเติมตัวทำเจือจางในระหว่างกระบวนการเกิดโพลีเมอร์ กรณีการทดลองที่ 6, 4, 10 เป็นบีดจากสภาวะที่ไม่ได้เลี้ยงบีด บีดมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.722 - 0.879 ก./ซม.³ ซึ่งมีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับช่วงทั้งหมด เพราะเป็นบีดที่ได้จากกระบวนการเกิดโพลีเมอร์โดยยังไม่เลี้ยงบีด ส่วนการทดลองที่ 18-22 และ 26 เป็นบีดที่ผ่านการเลี้ยง 1 ครั้งเทียบกับการทดลองที่ 23-25 ซึ่งเป็นบีดที่มีการเลี้ยง 2 ครั้ง พบว่าบีดจากการทดลองที่ 18-22 และ 26 เบากว่าบีดของการทดลองที่ 23-25 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.681 - 0.980 ก./ซม.³ ส่วนการทดลองที่ 23-25 ได้บีดมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.866-0.926 ก./ซม.³ เนื่องมาจากมีการเลี้ยงบีด 2 ครั้ง

การคำนวณเกี่ยวกับ crosslink density คำนวณได้จากสมการที่ 9

$$q = M_0/M_c \dots \dots \dots (9)$$

q คือ crosslink density

M_c คือ น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์

M_c คือ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยระหว่างการเกิดการเชื่อมขวาง

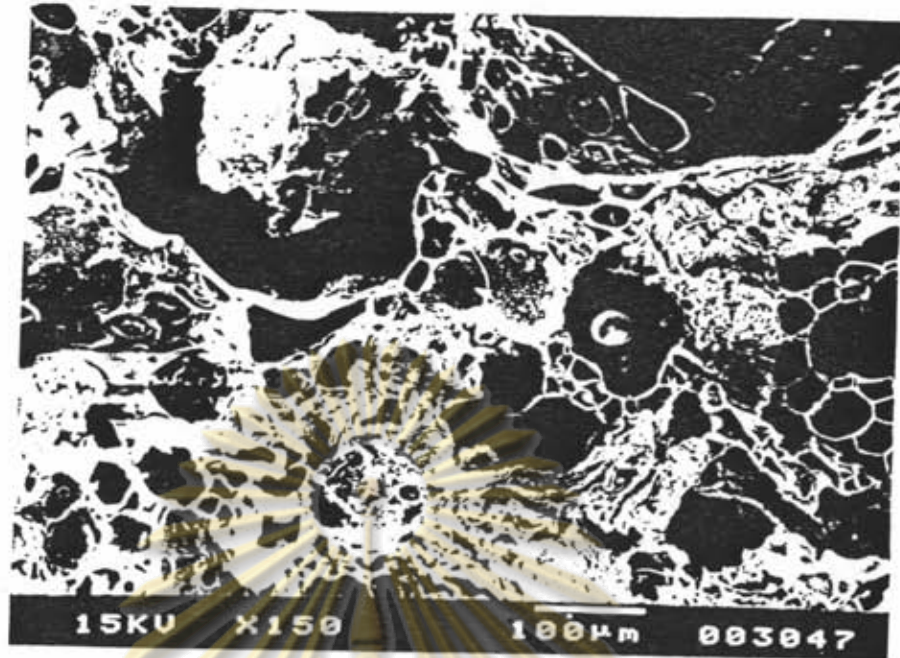
จากตารางที่ 4.5 crosslink density ของบีดที่สังเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 6.91-15.90 และพบว่าบีดที่ผ่านการเลี้ยง 1 ครั้งและใช้เวลาในการเลี้ยงบีด 6 ชม. จะมีค่า crosslink density ค่อนข้างต่ำ โดยอยู่ในช่วง 6.911- 9.682(การทดลองที่ 20-22 และ 26) ส่วนกรณีบีดที่เกิดจากกระบวนการเกิดโพลิเมอร์ที่ไม่มีการเลี้ยงบีดมีค่า crosslink density ที่สูงอยู่ในช่วง 9.993-15.598 คือ บีดจากการทดลองที่ 4, 6, 10 และ 12-15 และบีดจากการทดลองที่ 23-25 เป็นบีดที่ผ่านการเลี้ยง 2 ครั้งจะมีค่าอยู่ในช่วง 8.888 - 10.680



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 สมบัติของบีด

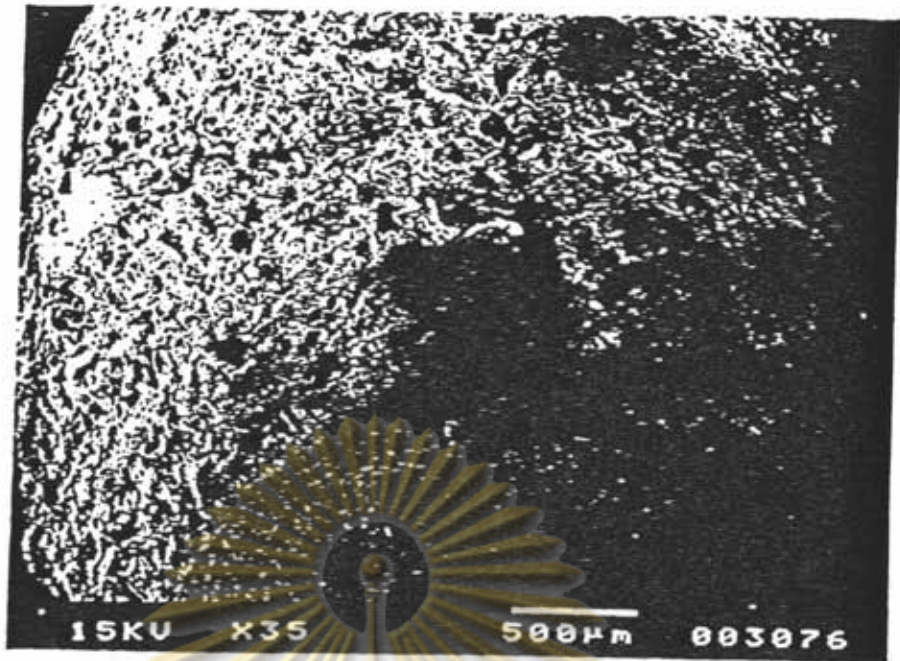
การทดลอง	อัตราส่วน การบวม	ปริมาตร โพร่ง (มล./ก.)	พื้นที่เฉพาะ (ตร.ม./ก.)	ความหนาแน่น (ก./ซม. ³)	crosslink density	สัมประสิทธิ์ การแพร่ (ตร.ซม./นาทึ)
4	7.3	0.823	14.9	0.846	10.98	-
6	8.6	0.484	19.8	0.879	9.99	-
10	9.2	0.507	27.3	0.722	11.80	-
18	7.7	0.302	32.3	0.799	11.51	0.015
19	8.0	0.459	39.0	0.749	12.40	0.014
20	9.2	0.409	26.2	0.902	9.26	0.023
21	11.0	0.418	30.7	0.834	9.49	0.022
22	14.7	0.248	43.4	0.980	6.91	0.031
23	10.1	0.205	35.7	0.886	10.68	0.030
24	11.5	0.279	25.2	0.874	9.25	0.032
15	10.9	0.176	19.3	0.926	8.88	0.031
12	8.8	2.309	29.4	0.531	13.01	-
13	8.0	1.743	114.5	0.518	15.58	-
14	13.8	1.088	123.7	0.584	14.89	-
26	17.7	0.281	94.4	0.618	9.68	0.009
15	13.0	1.377	176.2	0.751	11.58	-
27	15.3	0.648	126.6	0.789	8.26	0.011



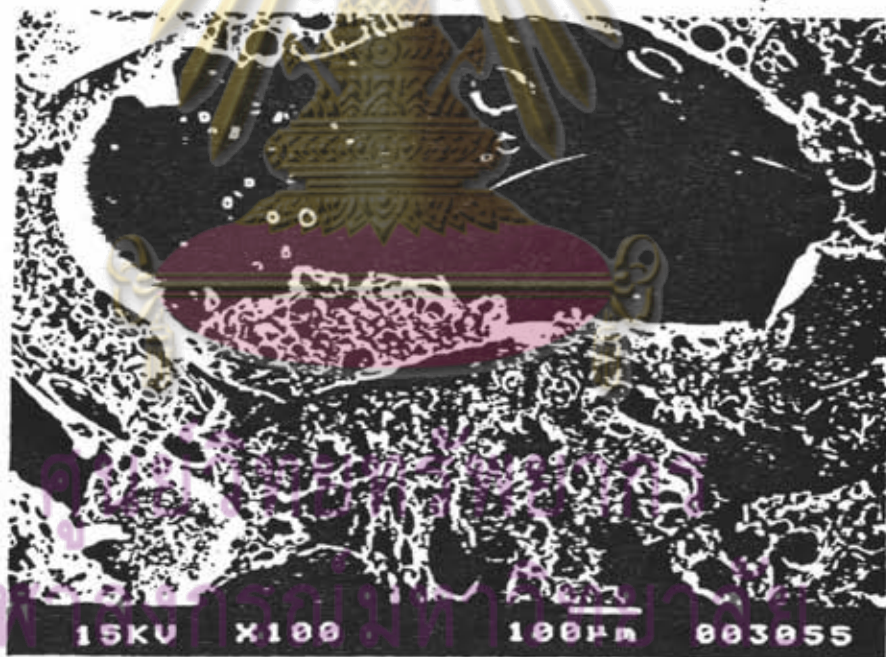
รูปที่ 4.1 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 4 กำลังขยาย 150 เท่า



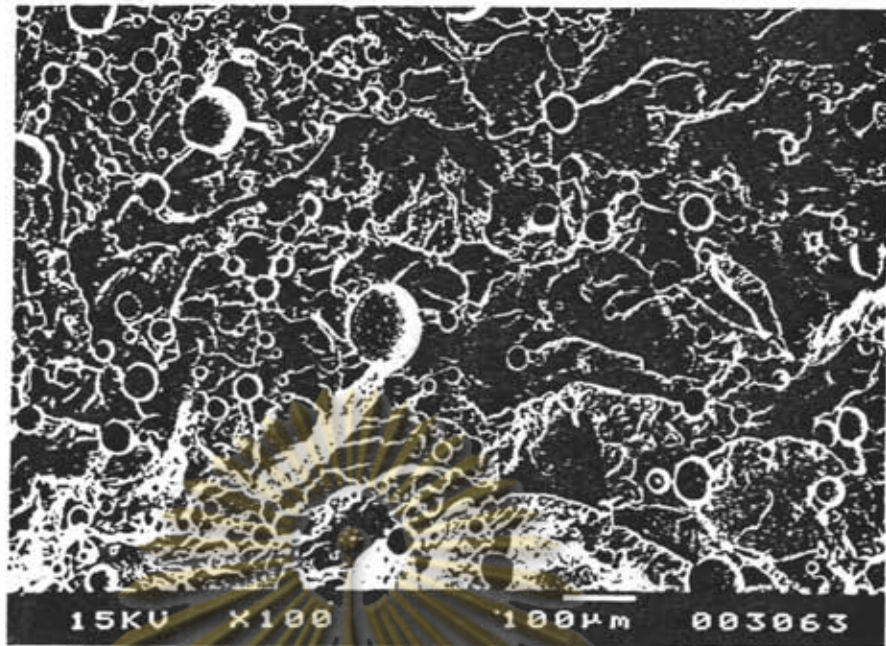
รูปที่ 4.2 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 10 กำลังขยาย 26 เท่า



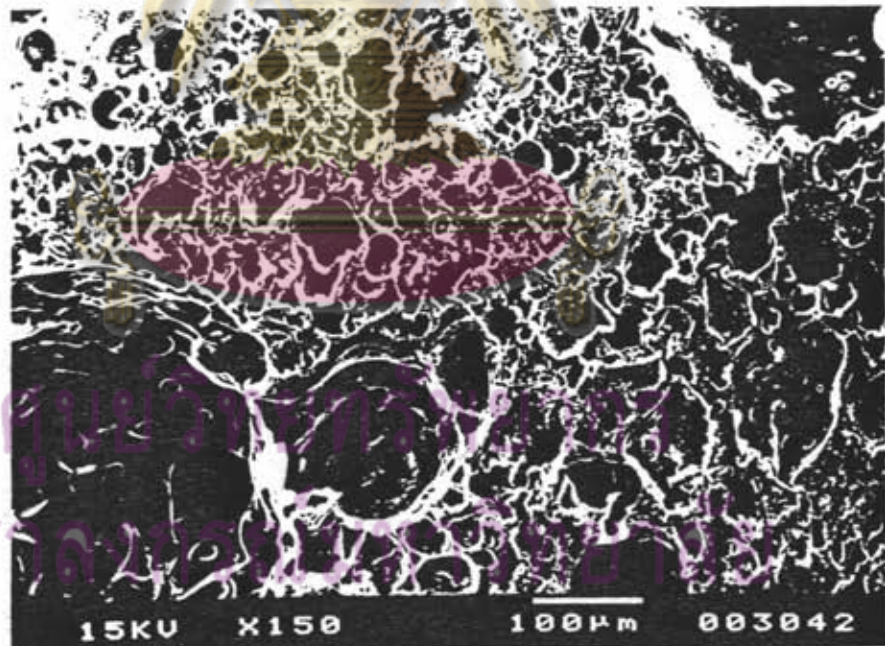
รูปที่ 4.3 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 21 กำลังขยาย 35 เท่า



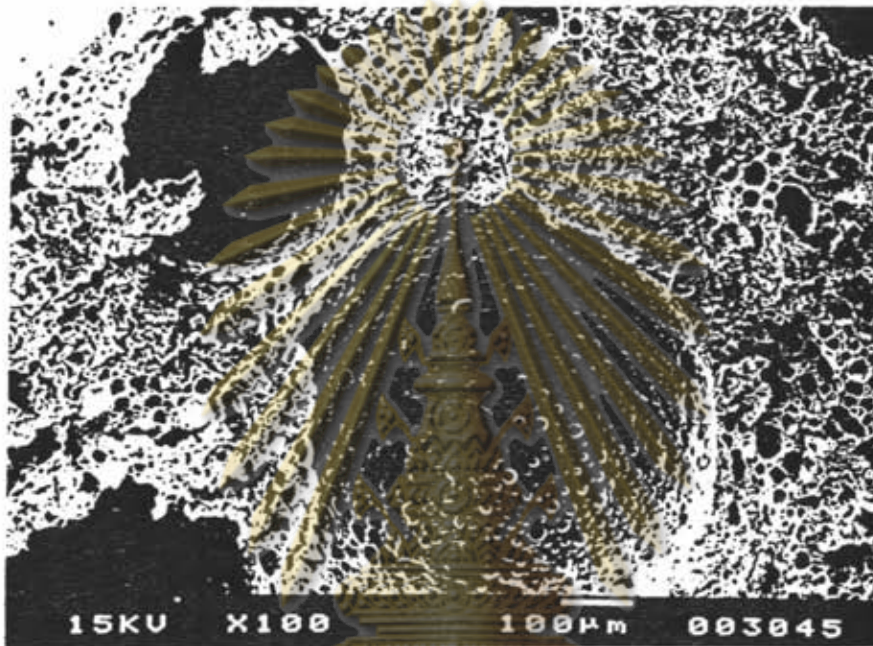
รูปที่ 4.4 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 20 กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.5 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 23 กำลังขยาย 100 เท่า

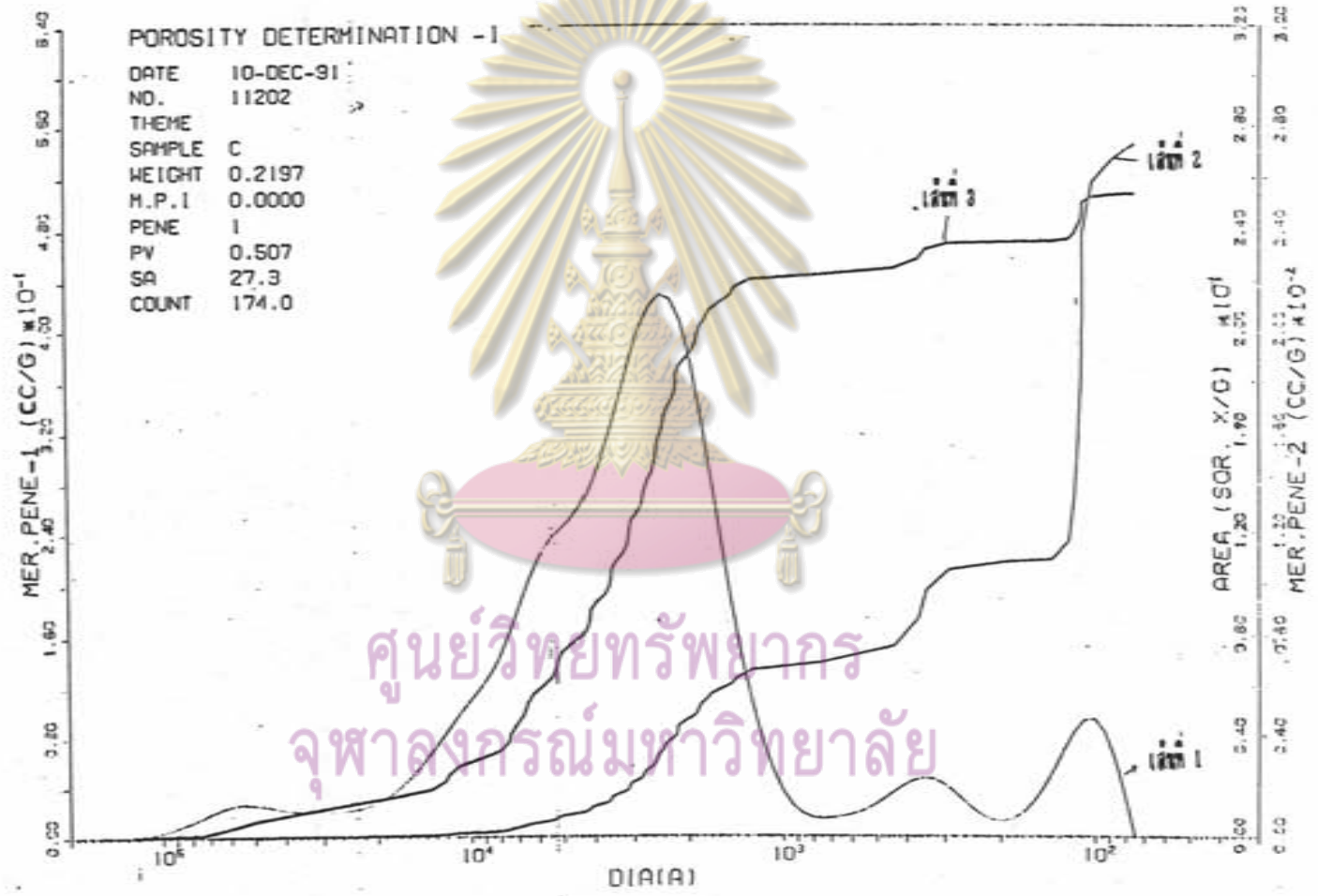


รูปที่ 4.6 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 6 กำลังขยาย 150 เท่า

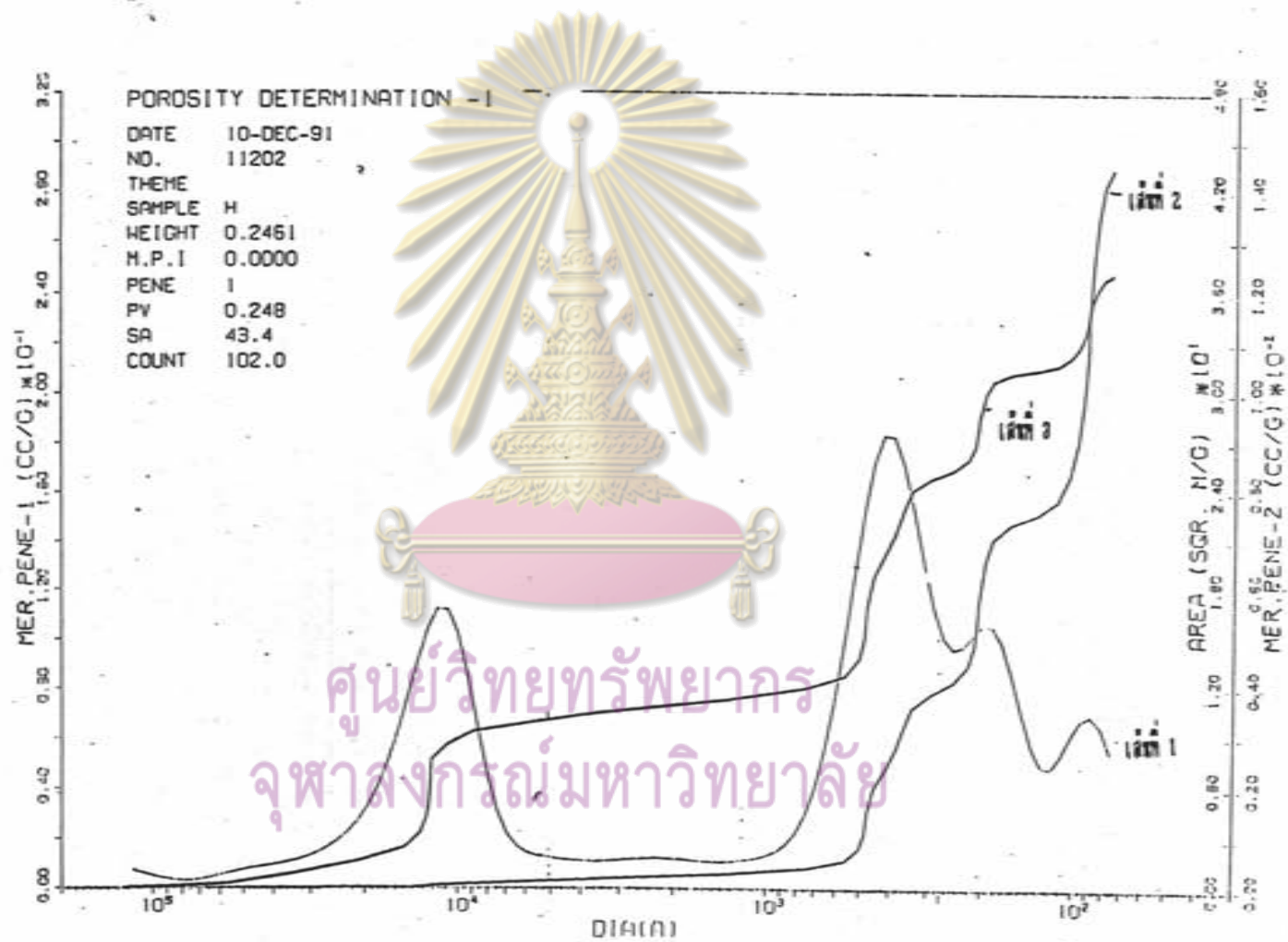


รูปที่ 4.7 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของเมล็ดจากการทดลองที่ 10 กำลังขยาย 100 เท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ข้อมูลในการหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและค่าปริมาตรโพรงของบีดจากการทดลองที่ 10



รูปที่ 4.9 ข้อมูลในการหาค่าพื้นที่จำเพาะและค่าปริมาตรโพรงของบีดจากการทดลองที่ 22

4.5 สมบัติการดูดซึมและการคายตัวทำละลายของบีด

4.5.1 สมบัติการดูดซึมตัวทำละลายของบีด

จากการศึกษาสมบัติการดูดซึมตัวทำละลายของบีดในแต่ละสภาวะ พบว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันคือ การดูดซึมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้นการดูดซึมเกิดอย่างช้าลงจนคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.13 จากปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้สามารถอธิบายได้ว่าในตอนแรกเมื่อตัวทำละลายถูกดูดซึมเข้าไปในโพรงของบีด สายโซ่ของโพลีเมอร์ที่มีการเชื่อมขวางเกิดการคายตัวทำให้บีดบวมและมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่เมื่อปรากฏการณ์ดังกล่าวผ่านไปนาน ๆ ทำให้โพลีเมอร์เกิดการคายตัวน้อยลง ทำให้อัตราการขยายตัวของบีดลดลงตาม อัตราการดูดซึมจึงลดลงดังนั้น ถ้ามีการพิจารณาแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

4.5.1.1 สมบัติบีดที่สังเคราะห์โดยไม่มีการเติมตัวทำเจือจางและตัวยับยั้งปฏิกิริยา

กรณีที่ไม่มี การเลียงบีด ได้แก่การทดลองที่ 4, 6, 10 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการสังเคราะห์ เมื่อนำบีดจากการทดลองดังกล่าวมาแช่ในโพลูอิน พบว่าบีดจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากโพลูอินถูกดูดซึมเข้าไปในบีด โดยบีดจากการทดลองที่ 4 (สังเคราะห์ที่ 70°C . 4 ชม. และ 90°C . 2 ชม.) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเปลี่ยนจาก 0.3875 ซม. เป็น 0.75 ซม. ในเวลา 6.5 ชม. และบีดมีอัตราส่วนการบวมตัว 7.5 บีดจากการทดลองที่ 6 (สังเคราะห์ที่ 70°C . 3 ชม. และ 90°C . 3 ชม.) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางจะเปลี่ยนจาก 0.3125 ซม. เป็น 0.575 ซม. ในเวลา 3.5 ชม. บีดมีขนาดใหญ่ขึ้น 8.6 เท่า และบีดจากการทดลองที่ 10 (สังเคราะห์ที่ 70°C . 3 ชม. และ 90°C . 3 ชม. ใช้ HPMC ร้อยละ 0.2 และ HEC ร้อยละ 0.114) ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางจะเปลี่ยนจาก 0.33875 ซม. เป็น 0.8125 ซม. ในเวลา 8 ชม. บีดมีอัตราส่วนการบวมคือ 9.2 ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงในตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ก. แต่บีดยังมีลักษณะกลมอยู่ เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลาดังรูปที่ 4.10 จากรูปนี้พบว่าบีดมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วใน 2 ชม. แรก หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงเกิดช้าลง

4.5.1.2 สมบัติบีดที่ได้จากการเลียง 12 ชั่วโมง 1 ครั้ง

กรณีที่มีการเลียงบีด 12 ชม. 1 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่

18-19 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเวลาของการเลี้ยว เมื่อนำบีดจากการทดลองดังกล่าวมาแช่ใน ไทลูอินจะเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับกรณีบีดที่ไม่ได้ผ่านการเลี้ยว โดยบีดจากการทดลองที่ 18 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 2 ชม. และ 90° ซ. 10 ชม.) มีขนาดใหญ่มากขึ้น 7.7 เท่า และบีดจากการทดลองที่ 19 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 4 ชม. และ 90° ซ. 8 ชม.) มีอัตราส่วนการบวม 8.0 และใช้เวลาในการดูดซึมจนบีดอิมตัวด้วยตัวทำละลาย 9 ชม. ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงดังตารางที่ 4.3 และภาคผนวกที่ ก. สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลา ได้ดังรูปที่ 4.10 จากรูปดังกล่าวพบว่าบีดจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วใน 2 ชม.แรก หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงช้าลง และเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเลี้ยวบีดกราฟจะอยู่สูงกว่าเนื่องจากบีดที่ได้มีขนาดใหญ่มากขึ้น

4.5.1.3 สมบัติบีดที่ได้จากการเลี้ยว 6 ชั่วโมง 1 ครั้ง

กรณีที่มีการเลี้ยวบีด 6 ชม. 1 ครั้ง ได้แก่ การทดลองที่ 20-22 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาในการเลี้ยวบีด เมื่อนำบีดจากการทดลองดังกล่าวมาแช่ใน ไทลูอินพบว่าเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่กล่าวมาแล้วคือ บีดจากการทดลองที่ 20 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 2 ชม. และ 90° ซ. 4 ชม.) มีอัตราส่วนการบวมตัว 9.2 บีดจากการทดลองที่ 21 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 3 ชม. และ 90° ซ. 3 ชม.) มีขนาดใหญ่มากขึ้น 11 เท่า และบีดจากการทดลองที่ 22 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 4 ชม. และ 90° ซ. 2 ชม.) มีอัตราส่วนการบวมเท่ากับ 14.7 และใช้เวลาในการดูดซึม 20 ชม. ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวถึงแสดงในตารางที่ 4.3 และภาคผนวก ก. แต่บีดยังมีลักษณะกลมอยู่ นอกจากนี้สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.11 จากรูปดังกล่าวพบว่าบีดมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วใน 4 ชม.แรก หลังจากนั้นจะช้าลง

4.5.1.4 สมบัติบีดที่ได้จากการเลี้ยว 6 ชั่วโมง 2 ครั้ง

กรณีที่มีการเลี้ยวบีด 6 ชม. 2 ครั้ง ได้แก่ การทดลองที่ 23-25 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาในการเลี้ยวบีด เมื่อนำบีดจากการทดลองดังกล่าวมาแช่ใน ไทลูอินพบว่า ปรากฏการณ์การดูดซึมเกิดเช่นเดียวกับกรณีเลี้ยวบีด 1 ครั้ง โดยบีดจากการทดลองที่ 23 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 2 ชม. และ 90° ซ. 4 ชม.) มีขนาดใหญ่มากขึ้น 10.1 เท่า บีดจากการทดลองที่ 24 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 3 ชม. และ 90° ซ. 3 ชม.) มีอัตราส่วนการบวมตัว 11.5 และบีดจากการทดลองที่ 25 (เลี้ยวบีดที่ 70° ซ. 4 ชม. และ 90° ซ. 2 ชม.) มีอัตราส่วนการบวมเท่ากับ 10.9 ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงดังตารางที่ 4.3 และภาคผนวก ก. ใช้เวลา

ในการดูดซึมตัวทำละลาย 20 ซม. สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลา ได้ดังรูปที่ 4.11 จากรูปดังกล่าวพบว่าบีดจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วใน 5 ซม. แรก หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงเกิดช้าลง

4.5.1.5 สมบัติบีดที่สังเคราะห์โดยที่มีการเติมตัวทำเจือจางและตัวยับยั้งปฏิกิริยา

กรณีที่ไม่มีการเลี้ยงบีดและมีการเติมตัวทำเจือจาง ได้แก่ การทดลองที่ 12-14 (มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวทำเจือจาง แต่สังเคราะห์ที่ 70°C . 3 ซม. และ 90°C 3 ซม.) และมีการเติมตัวยับยั้งปฏิกิริยาในการทดลองที่ 15 เมื่อนำบีดจากการทดลองดังกล่าวมาแช่ในโหลอื่นพบว่าเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับกรณีบีดจากสภาวะที่ไม่มีการเลี้ยงบีด บีดจากการทดลองที่ 12 (เติมตัวทำเจือจางร้อยละ 0.02) มีอัตราส่วนการบวมตัว 8.8 บีดจากการทดลองที่ 13 (เติมตัวทำเจือจางร้อยละ 0.01) มีขนาดใหญ่ขึ้น 8.0 เท่า บีดจากการทดลองที่ 14 (เติมตัวทำเจือจางร้อยละ 0.006) มีอัตราส่วนการบวมเท่ากับ 13.0 และบีดจากการทดลองที่ 15 (เติมตัวยับยั้งปฏิกิริยาร้อยละ 0.01) มีอัตราส่วนการบวมตัว 8.8 ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงในตารางที่ 4.2 และภาคผนวก ก. และบีดใช้เวลาในการดูดซึม 4 ซม. เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลาจะ ได้ดังรูปที่ 4.12 จากรูปดังกล่าวพบว่าบีดมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกรณีบีดที่ไม่ผ่านการเลี้ยงเช่นกัน

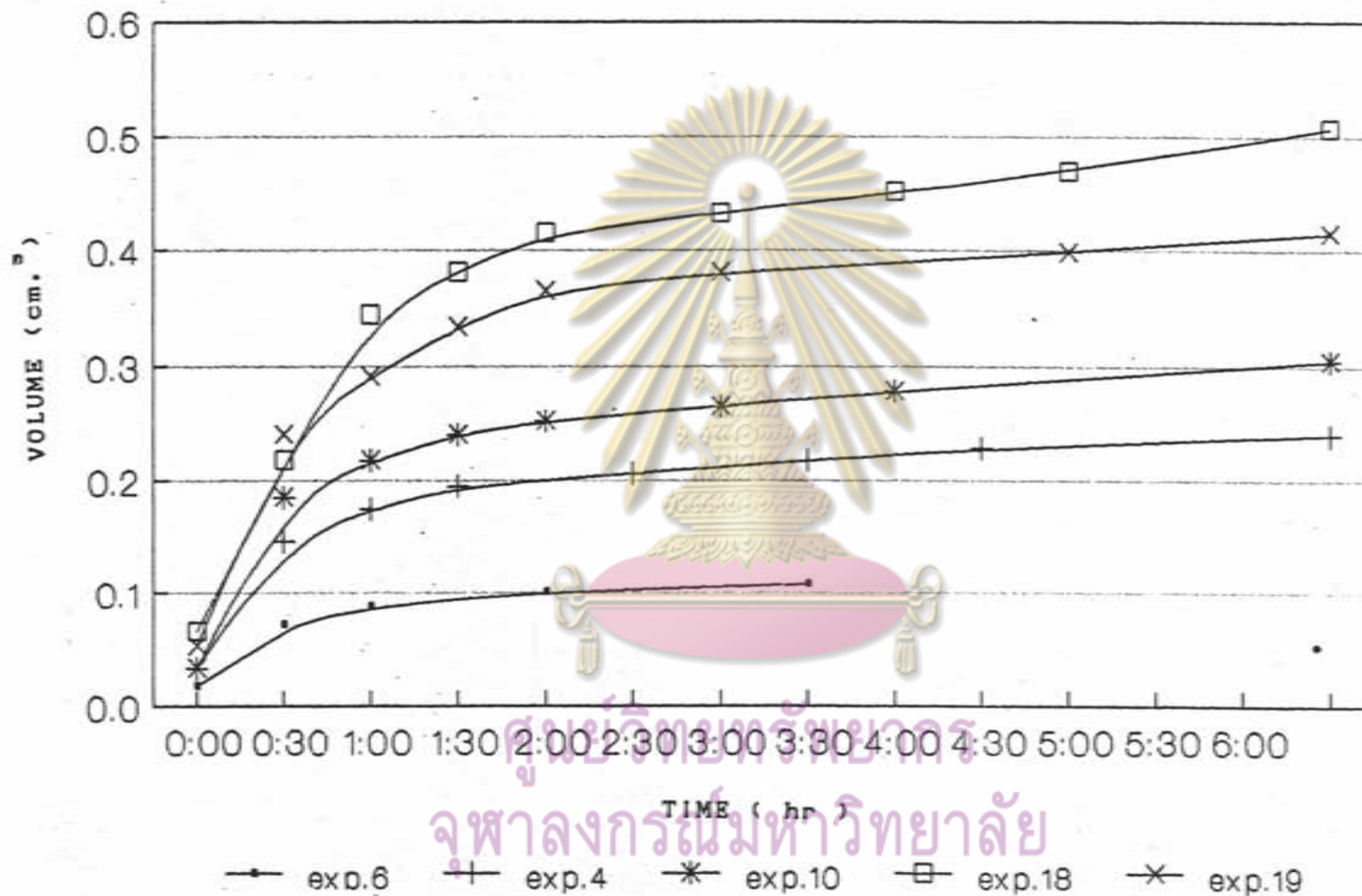
4.5.1.6 สมบัติบีดที่ได้จากการเลี้ยง 6 ชั่วโมง 1 ครั้ง โดยใช้บีดจากการทดลอง 14 และ 15

กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 6 ซม.1 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่ 26 (ใช้บีดจากการทดลองที่ 14 มาเลี้ยง) การทดลองที่ 27 (ใช้บีดจากการทดลองที่ 15 มาเลี้ยง) นำบีดจากการทดลองดังกล่าวมาแช่ในโหลอื่น พบว่าปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหมือนกับกรณีที่กล่าวมาแล้ว โดยบีดจากการทดลองที่ 26 มีอัตราส่วนการบวมเท่ากับ 17.7 และบีดจากการทดลองที่ 27 มีขนาดใหญ่ขึ้น 15.3 เท่า ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงดังตารางที่ 4.3 และภาคผนวก ก. และใช้เวลาในการดูดซึม 20 ซม. เช่นเดียวกับกรณีที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง ดังนั้น เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลาจะ ได้ดังรูปที่ 4.12 จากรูปดังกล่าวจะเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับกรณีเลี้ยงบีด 1 ครั้ง และเมื่อเขียนกรณีที่ไม่มีการเลี้ยงบีดกราฟจะอยู่สูงกว่าเนื่องจากบีดที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า บิดจากการทดลองที่ 22, 26, 27 เป็นบิดที่น่าสนใจ เพราะมีค่าอัตราส่วนการบวมที่สูง แต่บิดจากการทดลองที่ 26 และ 27 มีความแข็งแรงน้อยกว่าบิดจากการทดลองที่ 22 จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน ดังนั้นบิดที่เหมาะสมที่สุดคือบิดจากการทดลองที่ 22

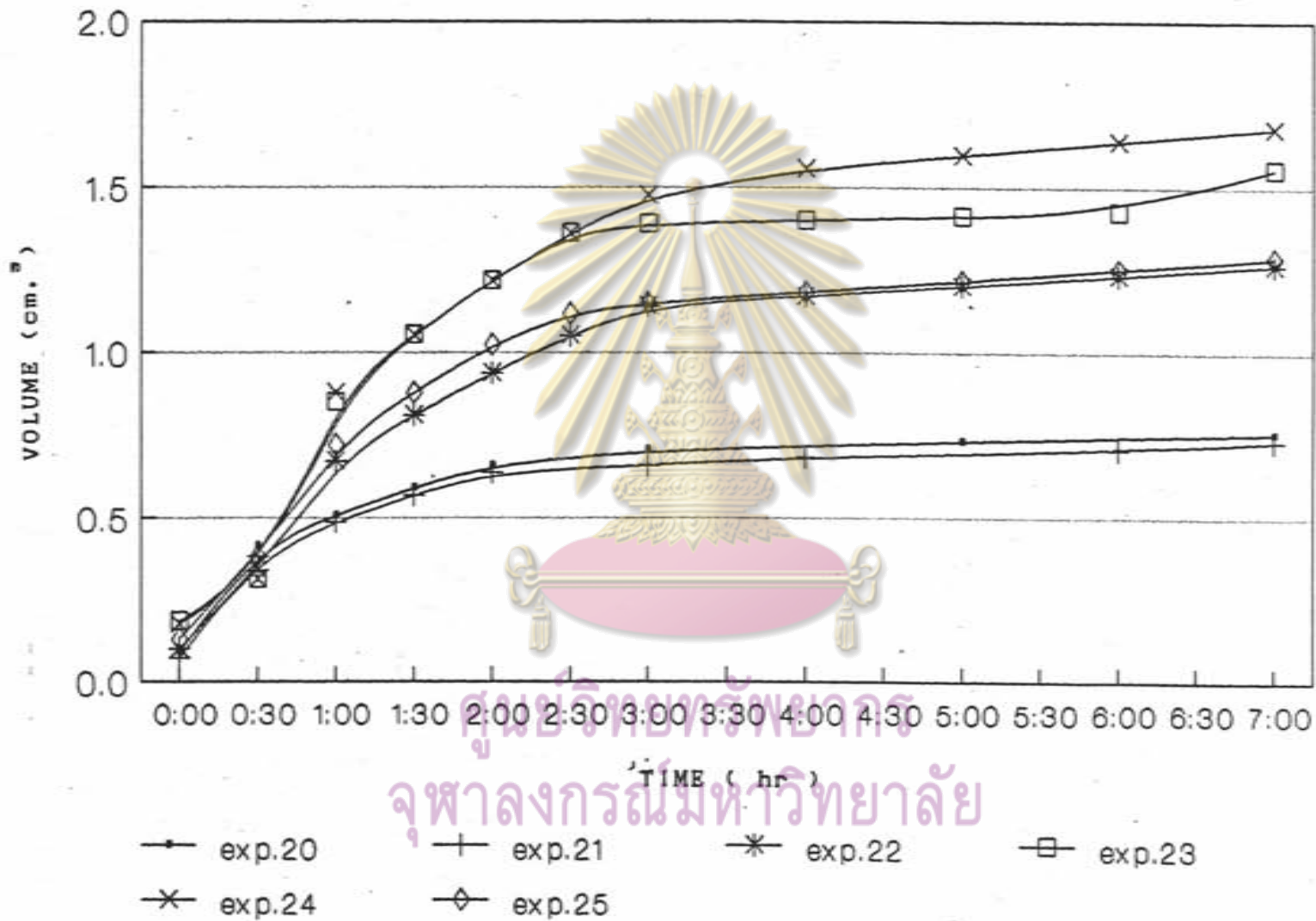


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

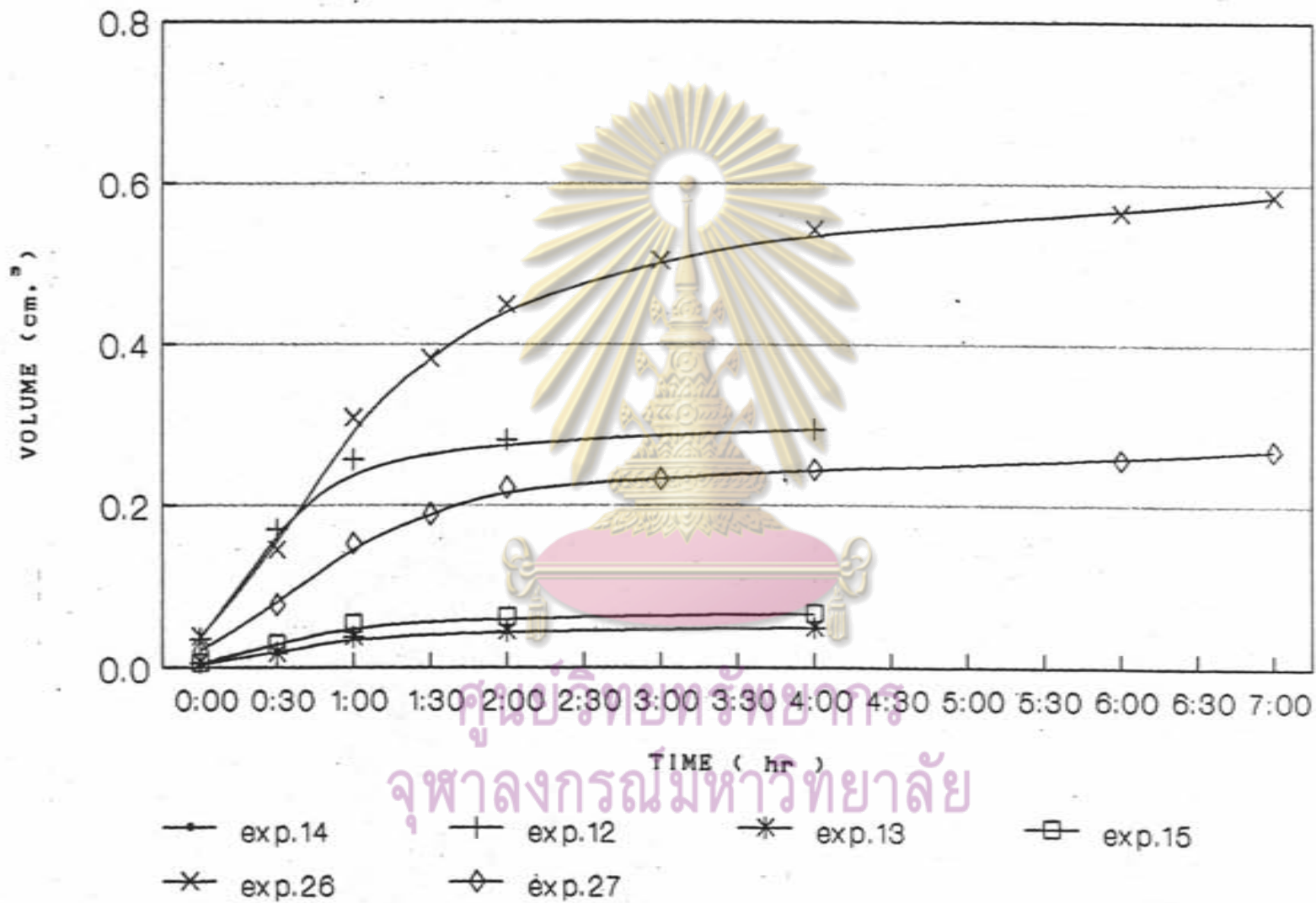


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมตัวทำละลายของบีดที่

ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์และบีดที่เลี้ยง 12 ชม.



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์และบีดที่เลี้ยง 6 ชม.1 และ 2 ครั้ง



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการบวมในสารดูดซึมตัวทำละลายของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวเจือจางตัวบับยังปฏิกิริยาและบีดที่เล็งบ 6 ซม.

4.5.2 สมบัติการคายตัวทำละลายของบีด

จากการศึกษาปรากฏการณ์การคายตัวทำละลายของบีด ปรากฏว่ามีแนวโน้มคล้ายการดูดซึมน้ำคือ เกิดอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและช้าลงจนคงที่ในช่วงหลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.13-4.15 อธิบายได้ว่าในตอนแรกตัวทำละลายสามารถแพร่ไปในเนื้อของ substrate ได้เต็มที่ หลังจากนั้นเมื่อ substrate เริ่มอึดตัวไปด้วยตัวทำละลาย อัตราการคายจึงเกิดช้าลง ดังนั้น ถ้ามีการพิจารณาแยกเป็นกรณีต่าง ๆ สามารถแยกได้ดังนี้

4.5.2.1 สมบัติบีดที่สังเคราะห์โดยไม่มีการเติมตัวทำเจือจางและตัวยับยั้งปฏิกิริยา

กรณีที่ไม่มี การเลี้ยงบีดคือบีดจากการทดลองที่ 4, 6, 10 (มีการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาในการสังเคราะห์เหมือนข้อ 4.5.1.1) เมื่อบีดอึดตัวด้วยโกลูอินแล้ว นำมาวางบนกระดาษกรองที่อยู่ในระบบบีด ปรากฏการณ์การคายตัวทำละลายเกิดขึ้น ทั้ง 3 การทดลองบีดสามารถคายตัวทำละลายออกได้ร้อยละ 100 เพราะบีดมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนอยู่ข้างใน ดังสังเกตจากจุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนรูปที่ 4.24 - 4.26 บีดจึงคายตัวทำละลายได้หมด และเมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลาดังรูปที่ 4.13 จากรูปนี้พบว่าอัตราการคายออกเกิดอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชม.แรกเช่นกันและหลังจากนั้นเกิดช้าลง กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 12 ชม. 1 ครั้ง คือบีดจากการทดลองที่ 18-19 (มีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเลี้ยงบีดเหมือนข้อ 4.5.1.2) เมื่อบีดอึดตัวด้วยโกลูอินแล้วนำมาวางบนกระดาษกรองที่อยู่ในระบบบีด ปรากฏการณ์การคายออกของตัวทำละลายเกิดขึ้นเช่นเดียวกับกรณีที่ ไม่ได้เลี้ยงบีด แต่กราฟอยู่เหนือกราฟของกรณีที่ไม่มี การเลี้ยงบีดเพราะจากกรณีนี้มีขนาดใหญ่กว่า และใช้เวลาในการคายออกของตัวทำละลาย 9 ชม.

4.5.2.2 สมบัติบีดที่จากการเลี้ยง

กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 6 ชม. 1 ครั้ง คือบีดจากการทดลองที่ 20-22 (มีการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาในการเลี้ยงบีด เหมือนข้อ 4.5.1.3) และมีการเลี้ยงบีด 2 ครั้งคือการทดลองที่ 23-25 (มีการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาในการเลี้ยงบีด เหมือนข้อ 4.5.1.4) ปรากฏการณ์การคายออกเกิดเช่นเดียวกับกรณีที่กล่าวมาแล้ว โดยใช้เวลานานกว่าคือ 20 ชม. เพราะบีดมีขนาดใหญ่กว่า กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับเวลาเป็นไปตามรูปที่ 4.14 จากรูปดังกล่าวพบว่าอัตราการคายออกเกิดอย่างรวดเร็วในช่วง 4 ชม.แรกเช่น

กันและหลังจากนั้นเกิดซ้ำลง

4.5.2.3 สมบัติบีดที่ได้จากการสังเคราะห์ที่มีการเติมตัวทำเจือจางและตัว
ยับยั้งปฏิกิริยา

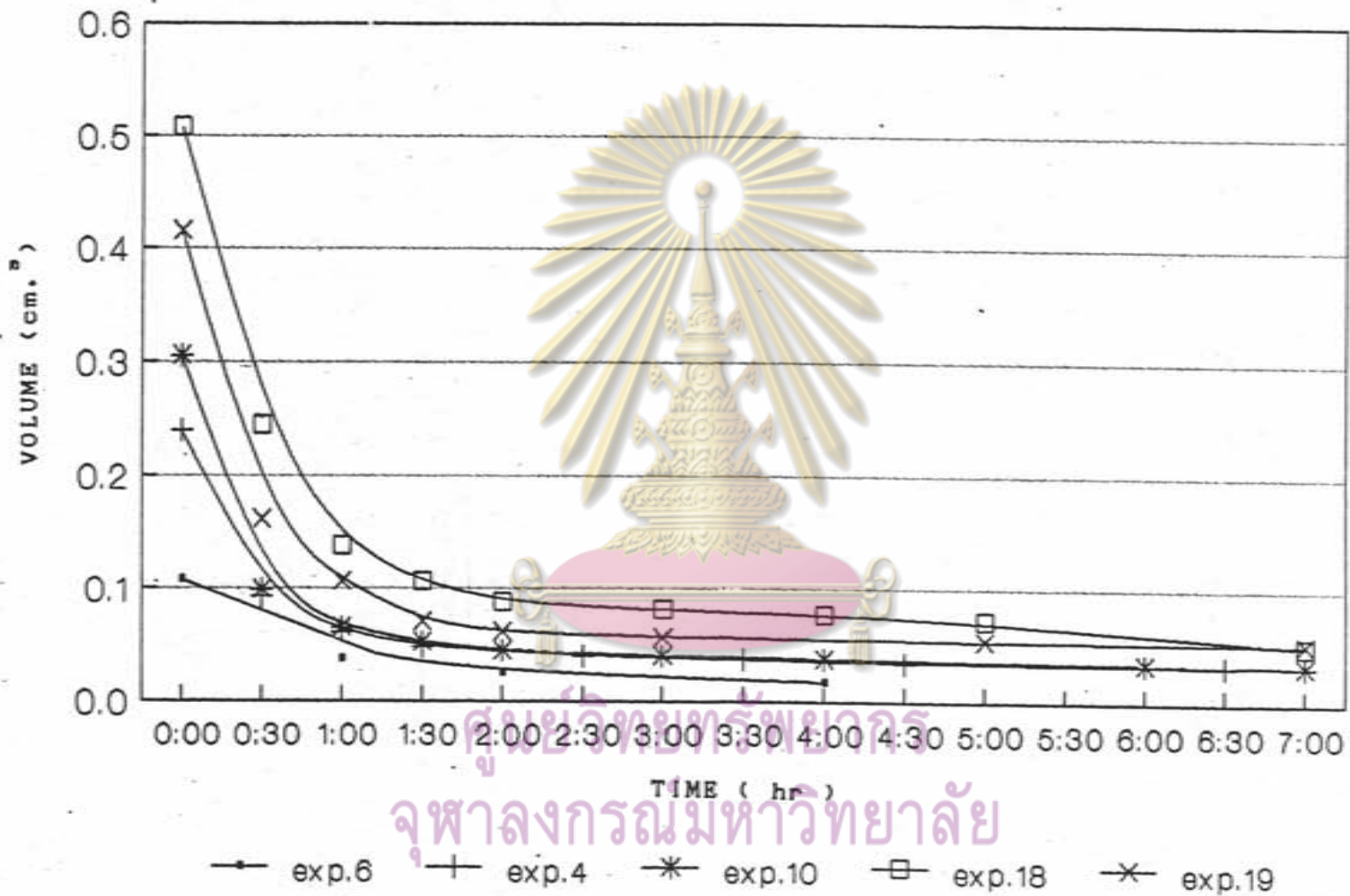
กรณีที่ไม่มีการเลี้ยงบีดและมีการเติมตัวทำเจือจางได้แก่ การ
ทดลองที่ 12-14 (มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวทำเจือจางเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.5.1.5) และมี
การเติมตัวยับยั้งปฏิกิริยา คือ การทดลองที่ 15 เมื่อบีดอิมตัวด้วยโทลูอีนแล้วสามารถเกิดปรากฏการณ์
การคายของตัวทำละลายได้เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่เลี้ยงบีด เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
ปริมาณกับเวลาจะ ได้ดังรูปที่ 4.15 จากรูปดังกล่าวพบว่าอัตราการคายออกเกิดอย่างรวดเร็วในช่วง
2 ชม.แรก และใช้เวลาในการคายออก 4 ชม.

4.5.2.4 สมบัติบีดที่มีการเลี้ยงบีดโดยใช้บีดจากกรณี 4.5.2.3

กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 6 ชม. 1 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่ 26
(ใช้บีดจากการทดลองที่ 14 มาเลี้ยง) การทดลองที่ 27 (ใช้บีดจากการทดลองที่ 15 มาเลี้ยง)
เมื่อบีดเกิดปรากฏการณ์การคายออกเช่นเดียวกับกรณีที่กำลังกล่าวมาแล้ว เมื่อเขียนกราฟแสดงความ
สัมพันธ์ระหว่างปริมาณกับเวลาได้ดังรูปที่ 4.14 จากรูปดังกล่าวพบว่าอัตราการคายออกเกิดรวดเร็ว
เร็วใน 4 ชม.แรกเช่นกัน แต่กราฟอยู่เหนือเส้นกราฟของกรณีที่ไม่มีการเลี้ยงบีดเช่นกันเพราะ
บีดที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น และใช้เวลาในการคายออก 20 ชม.

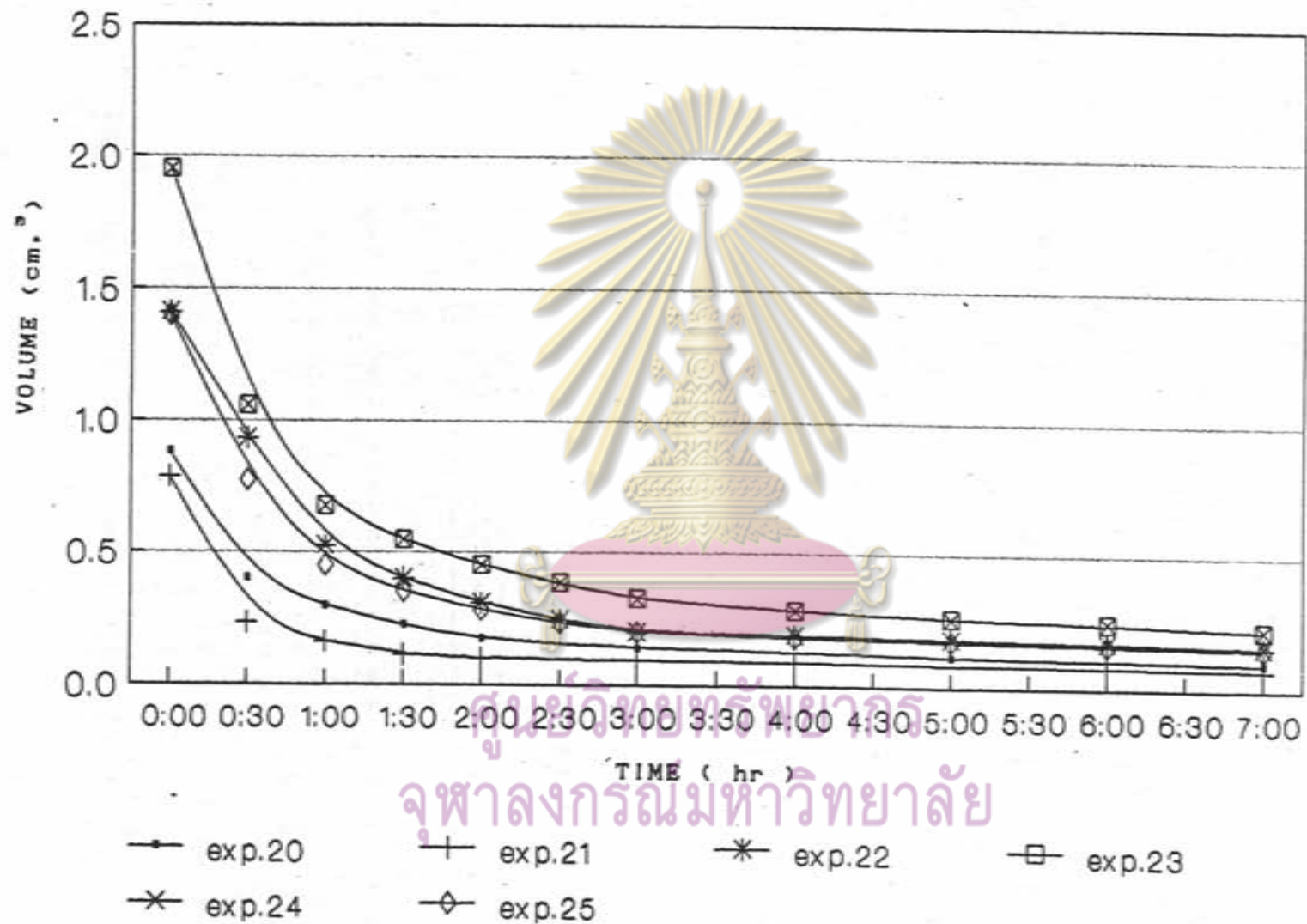


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

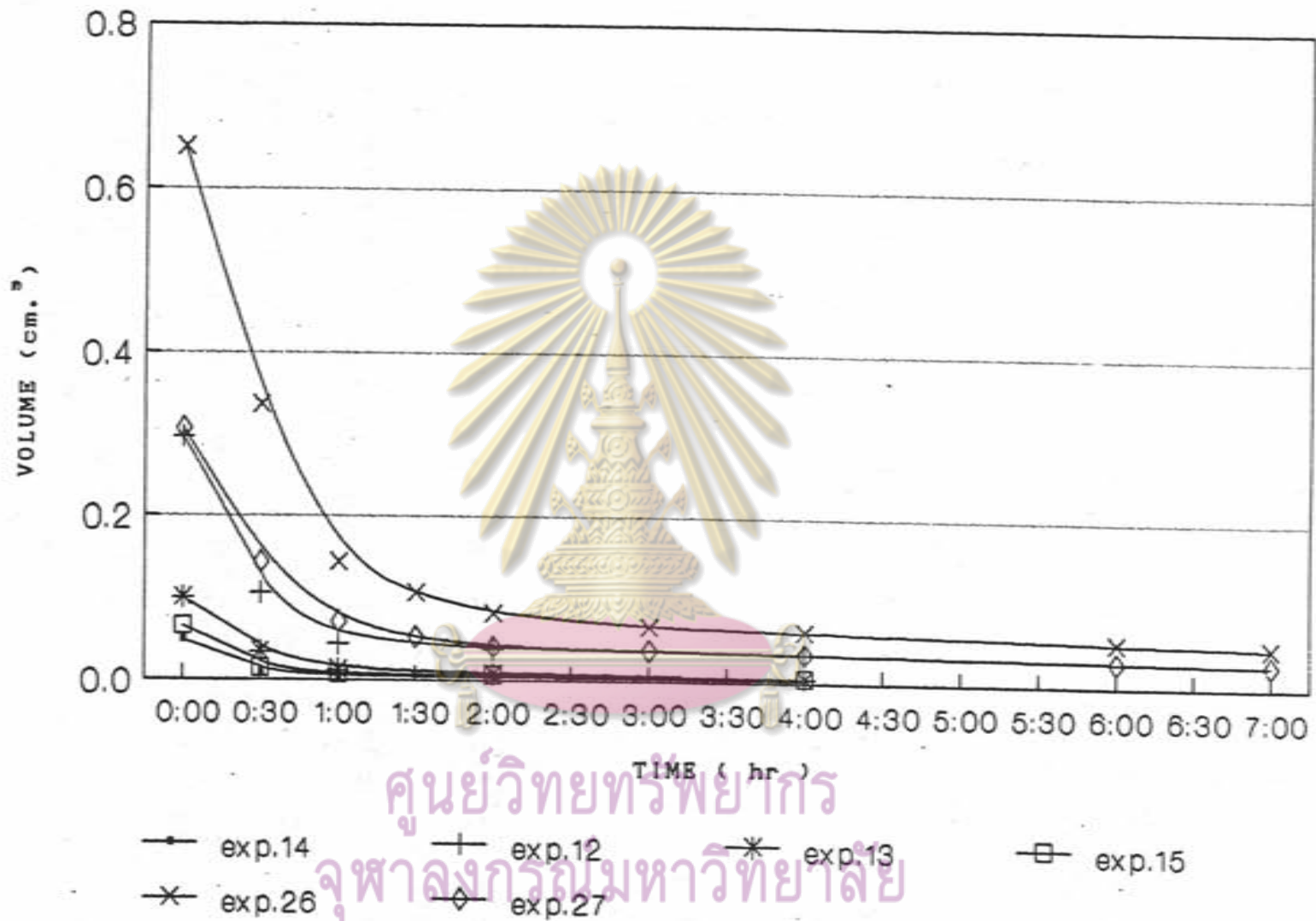


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของบีดกับเวลาที่ใช้ในการคายตัวทำละลายของบีดที่ได้

จากปฏิกิริยาการเกิดไฮลิเมอร์และบีดที่เส้น 12 ซม.



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการคายตัวทำละลายของบีดที่ได้
จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่เลี้ยงบีด 6 ชม. 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง



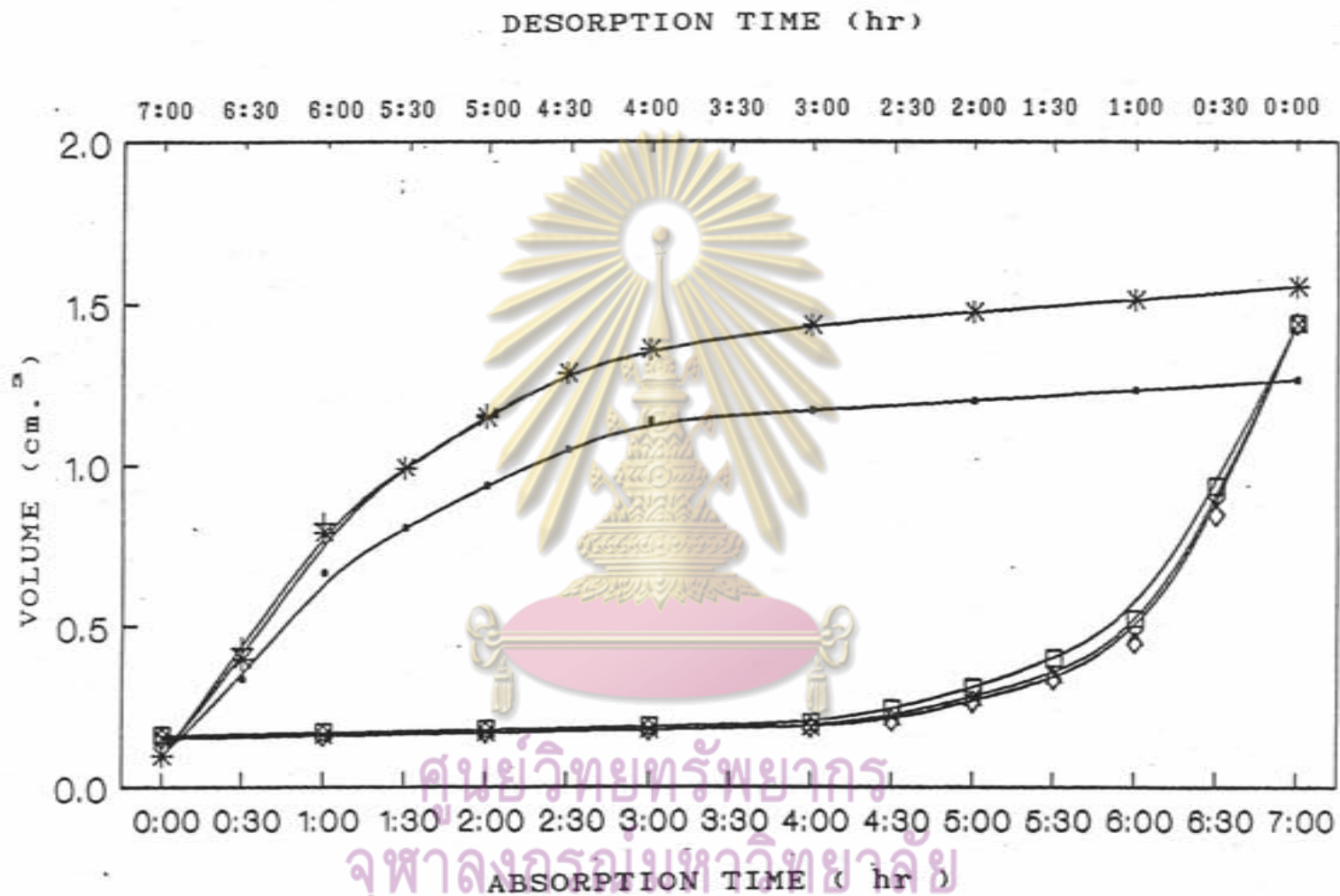
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของบีดกับเวลาที่ใช้ในการคายตัวทำลายของบีดที่ได้
 จากปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวเจือจางตัวบ่งชี้ปฏิกิริยาและบีดที่เลี้ยง
 6 ชม.

4.6 ผลของจำนวนครั้งที่ใช้น้ำ

เมื่อนำน้ำไปผ่านการดูดซึมหลาย ๆ ครั้งพบว่าปรากฏการณ์ของการดูดซึมและการคายออกของตัวทำละลายยังคงเป็นไปในลักษณะเดิม คือเกิดเร็วในตอนต้นและช้าลงในตอนหลังจนกระทั่งแสดงในรูป 4.16-4.18 แต่พบว่าเมื่อนำน้ำที่ผ่านการดูดซึมและการคายออกมาทดลองซ้ำปรากฏการณ์การดูดซึมและการคายออกของตัวทำละลายจะมีลักษณะคล้ายของเดิมและปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเร็วกว่าครั้งแรก เพราะโครงสร้างบางส่วนของบีดอาจถูกทำลายไป ทำให้ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดเร็วขึ้น จากรูปทั้ง 3 มีลักษณะที่คล้ายกันคือการดูดซึมและการคายออกเกิดเร็วในช่วง 4 ชม.แรก หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเทียบกับเวลา ($\Delta v / \Delta T$) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนเข้าใกล้ศูนย์นั่นคือถึงจุดอิ่มตัว ดังนั้นจากรูปที่ 4.16-4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ($\Delta V / \Delta T$) จึงคงที่ในช่วงหลัง



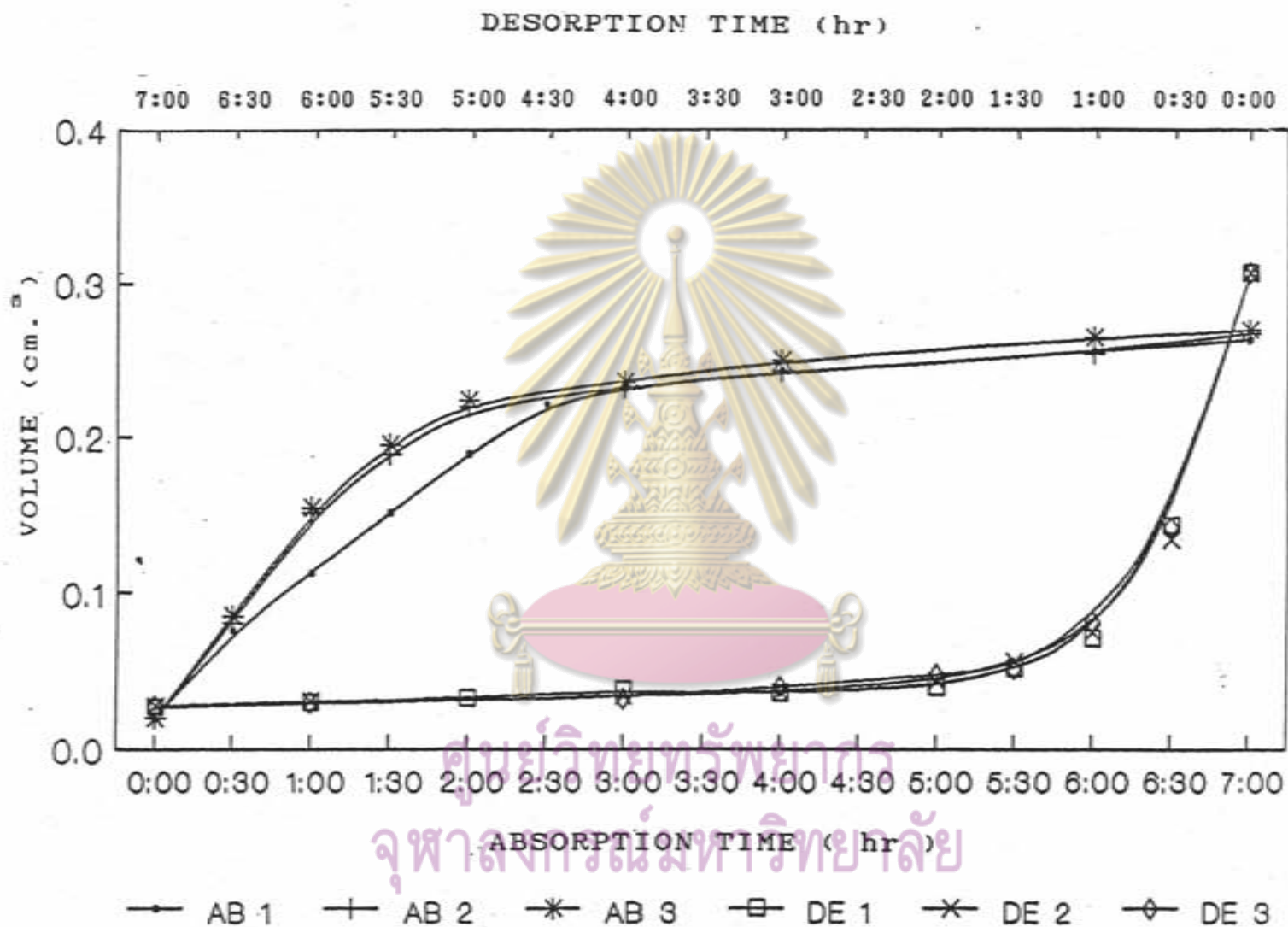
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



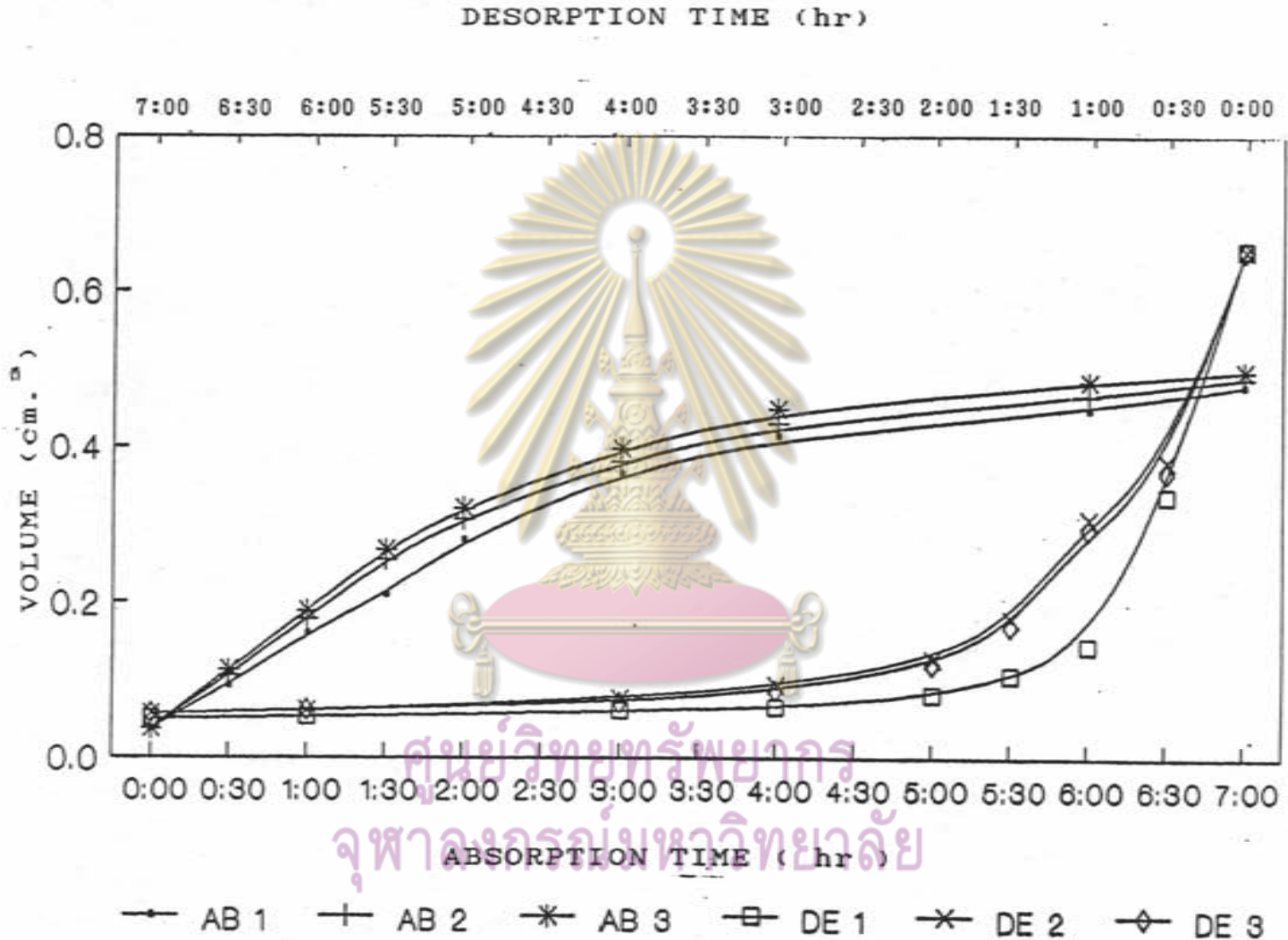
—●— AB 1 —+— AB 2 —*— AB 3 —□— DE 1 —x— DE 2 —◇— DE 3

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมและคาย ตัวทำละลาย

ของบีดที่ผ่านการดูดซึมและการคายตัวทำละลายหลายครั้ง(บีดจากการทดลองที่ 22)



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมและคาย ตัวทำละลาย ของบีดที่ผ่านการดูดซึมและการคายตัวทำละลายหลายครั้ง (บีดจากการทดลองที่ 27)



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของบีดกับเวลาที่ใช้ในการดูดซึมและคาย ตัวทำละลาย
ของบีดที่ผ่านการดูดซึมและการคายตัวทำละลายหลายครั้ง (บีดจากการทดลองที่ 26)

4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่(D) คำนวณได้จากสมการที่ 6 และที่ 7 ซึ่งกล่าวถึงในบทที่ 2 สมการดังกล่าวคือ

$$\ln(\Delta a_t / \Delta a_0) = \text{const.} - t/T \quad \dots\dots\dots (6)$$

- T = characteristic swelling time
 Δa_t = รัศมีที่เปลี่ยนไปในเวลาใดๆ
 Δa_0 = รัศมีที่เปลี่ยนไปตอนสุดท้าย
 T = a^2/D
 a = รัศมีสุดท้าย
 t = เวลาที่ใช้

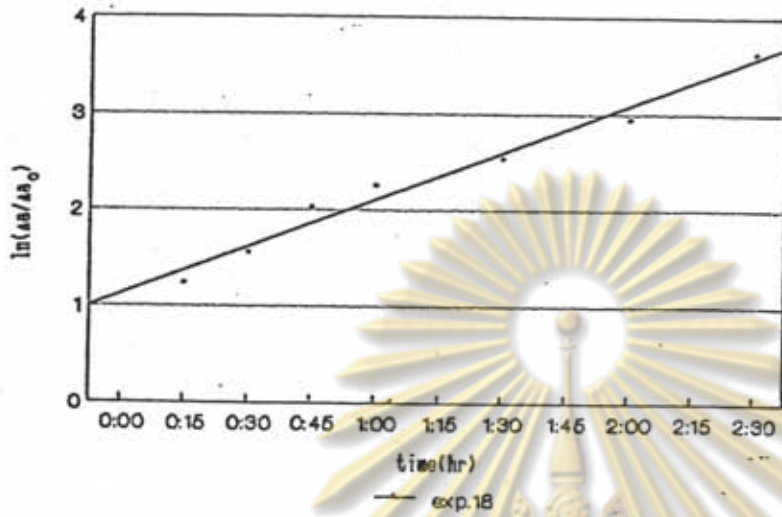
T หาได้จากความชันของเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a_t / \Delta a_0)$ กับเวลาแล้วแทนค่าลงในสมการที่ 7 (รายละเอียดของการคำนวณจะแสดงในภาคผนวก) จากรูปที่ 4.19 - 4.23 ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ดังนั้นสามารถแยกศึกษาเป็นกรณีต่างๆได้ดังนี้

กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 12 ซม. 1 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่ 18-19 พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของบีดมีค่าอยู่ในช่วง 0.014-0.015 ตร.ซม./นาที่ กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 6 ซม. 1 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่ 20-22 พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของบีด มีค่าอยู่ในช่วง 0.022-0.031 ตร.ซม./นาที่ กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 6 ซม. 2 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่ 23 - 25 พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของบีดมีค่าอยู่ในช่วง 0.030-0.032 ตร.ซม./นาที่ สังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้นเพราะบีดมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับจากการเลี้ยงบีด 12 ซม. 1 ครั้งจนถึงเลี้ยงบีด 6 ซม. 2 ครั้งทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของรัศมีมีค่ามากขึ้นทำให้ค่า $\ln(\Delta a_t / \Delta a_0)$ มีค่ามากขึ้นทำให้ความชันของเส้นตรงมากขึ้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จึงมากขึ้น

กรณีที่มีการเลี้ยงบีด 6 ซม. 1 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่ 26 (ใช้บีดจากการทดลองที่ 14 มาเลี้ยง) สัมประสิทธิ์การแพร่ของบีด มีค่า 0.009 ตร.ซม./นาที่ การทดลองที่ 27 (ใช้บีดจากการทดลองที่ 15 มาเลี้ยง) สัมประสิทธิ์การแพร่ของบีด มีค่าอยู่ในช่วง 0.011 ตร.ซม./นาที่ ค่าดังกล่าวจะน้อยเพราะบีดที่ได้มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลของการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

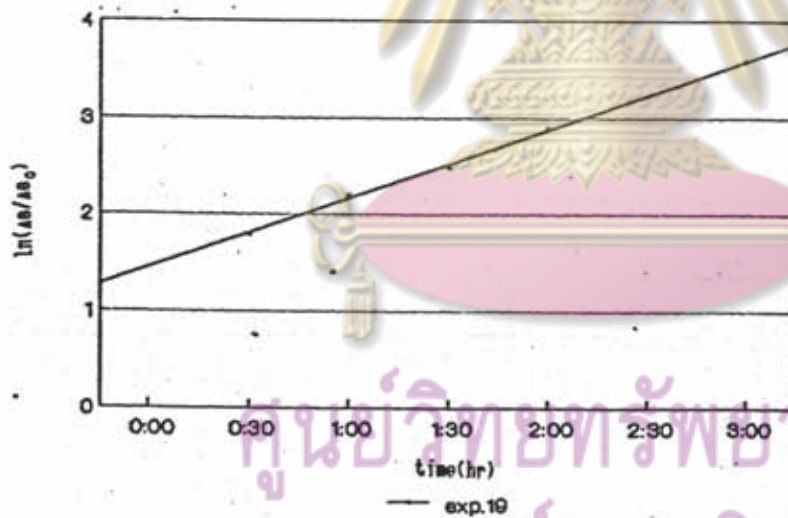
การทดลองที่	เวลา(ชม.)ที่ อุณหภูมิ		จำนวนครั้งที่ เลี้ยงบิด	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	อัตราส่วน การบวม	สัมประสิทธิ์ การแพร่ (ตร. ชม./นาที่)
	(70°ซ.)	(90°ซ.)				
18 D	2	10	1	4.5	7.7	0.015
19 E	4	8	1	4.9	8.0	0.014
20 F	2	4	1	5.2	9.6	0.023
21 G	3	3	1	5.2	11.7	0.022
22 H	4	2	1	5.2	14.7	0.031
23 I	2	4	2	6.5	10.1	0.030
24 J	3	3	2	7.0	11.5	0.032
25 K	4	2	2	6.5	10.9	0.031
26 O	4	2	1	3.1	17.7	0.009
27 Q	4	2	1	4.8	15.3	0.011



R-Square 0.863

Std.Err.of Prediction 0.445

Correlation Coefficient 0.929



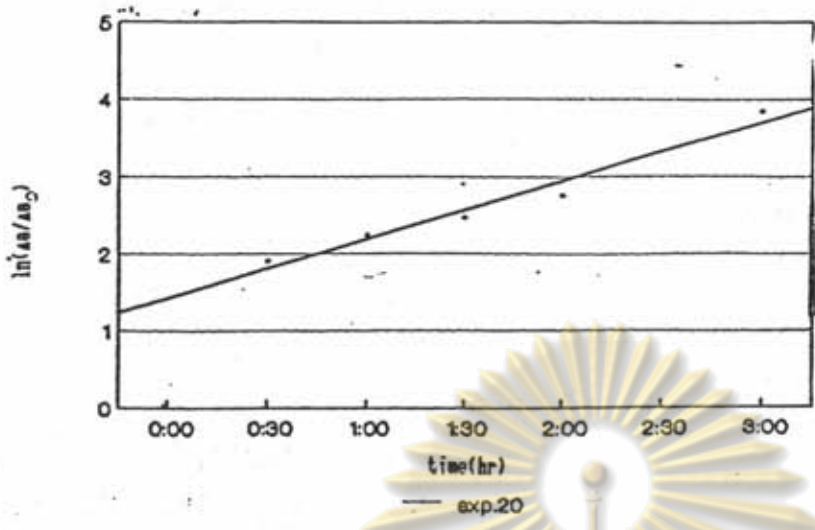
R-Square 0.872

Std.Err.of Prediction 0.488

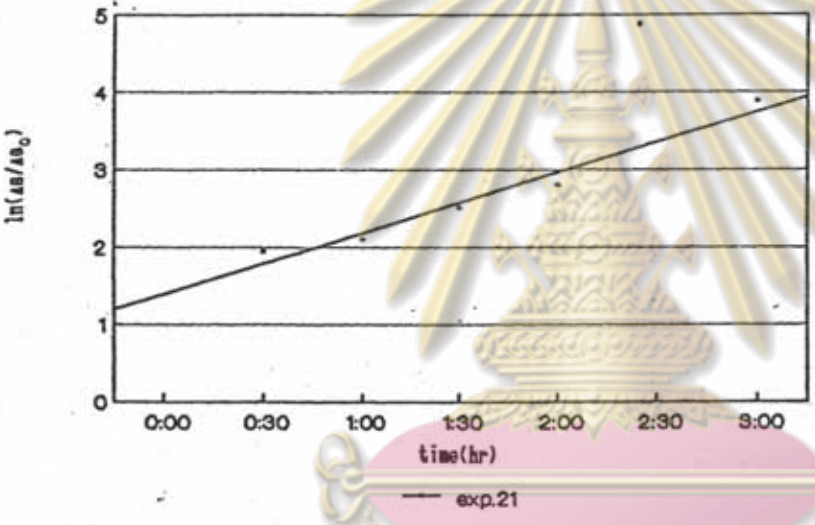
Correlation Coefficient 0.933

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

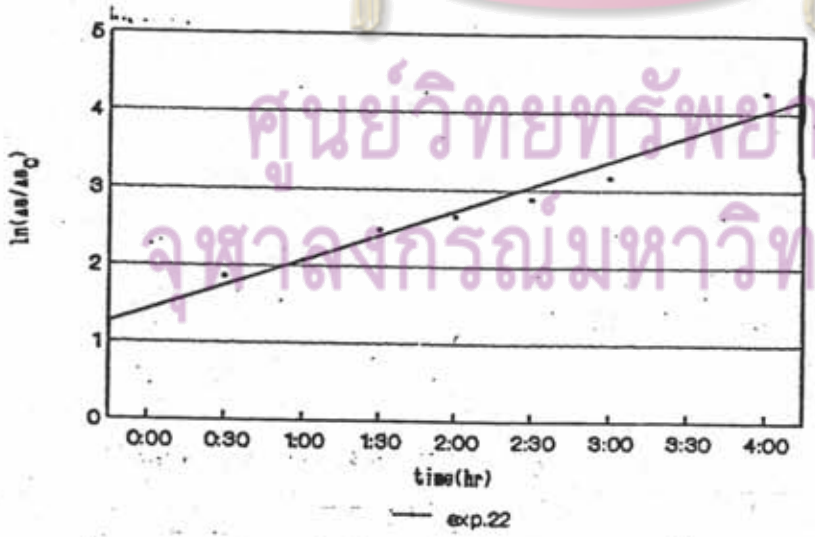
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a / \Delta a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากการเลี้ยง 12 ชม.



R-Square 0.855
Std.Err.of Prediction 0.474
Correlation Coefficient 0.941

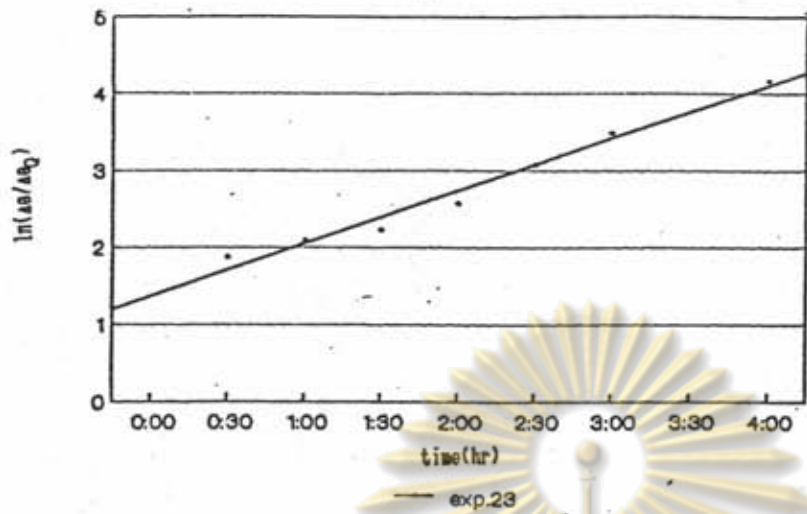


R-Square 0.885
Std.Err.of Prediction 0.479
Correlation Coefficient 0.940

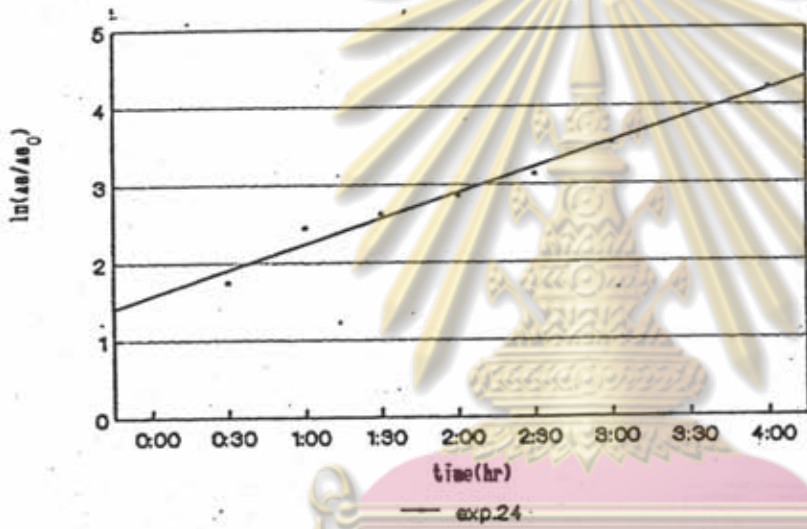


R-Square 0.847
Std.Err.of Prediction 0.462
Correlation Coefficient 0.920

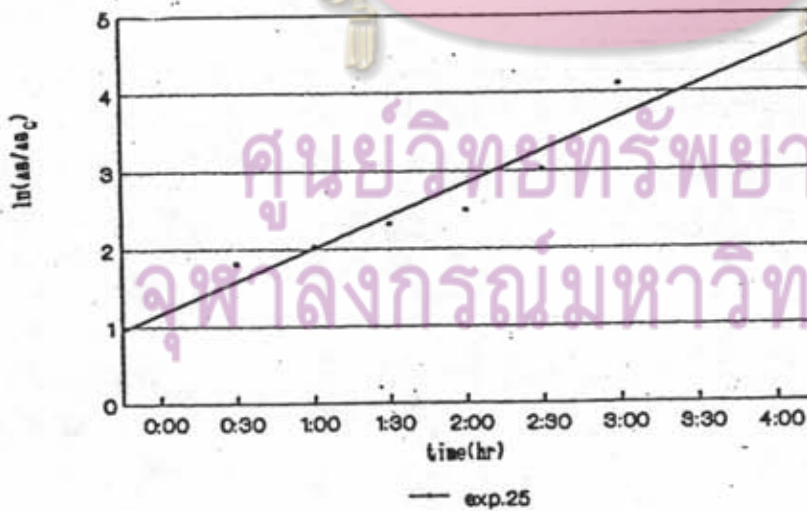
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a / \Delta a_0)$ กับเวลาของบิตที่ได้จากการเลี้ยง 1 ครั้ง



R-Square 0.849
 Std.Err.of Prediction 0.464
 Correlation Coefficient 0.921

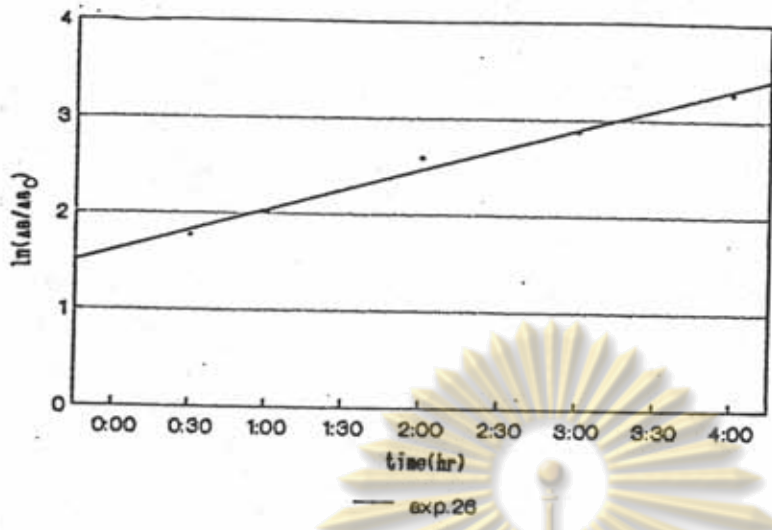


R-Square 0.810
 Std.Err.of Prediction 0.506
 Correlation Coefficient 0.911



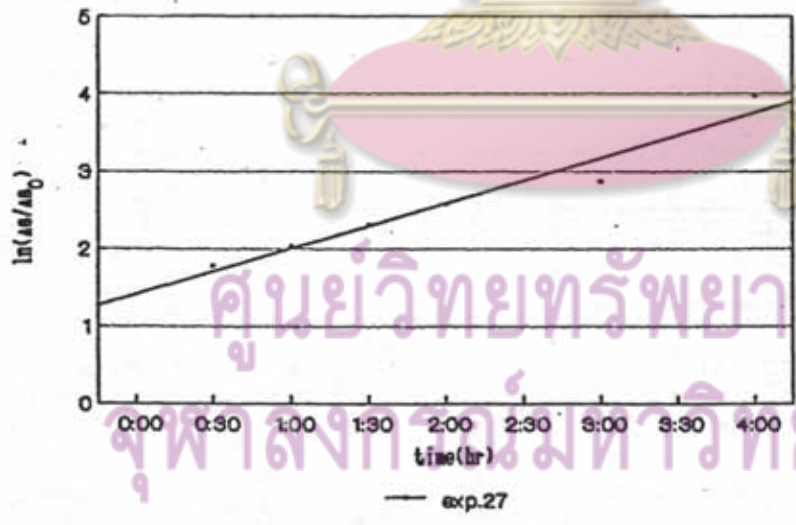
R-Square 0.834
 Std.Err.of Prediction 0.483
 Correlation Coefficient 0.913

รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a/\Delta a_0)$ กับเวลาของบิตที่ได้จากการเลี้ยง 2 ครั้ง



R-Square 0.790
 Std.Err.of Prediction 0.488
 Correlation Coefficient 0.889

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(a/a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวทำเจือจางและที่มีการเลี้ยงบีด



R-Square 0.810
 Std.Err.of Prediction 0.497
 Correlation Coefficient 0.889

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta a/\Delta a_0)$ กับเวลาของบีดที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิด โพลีเมอร์ที่มีการเติมตัวตัวบับบั้งปฏิกิริยาและที่มีการเลี้ยงบีด

4.8 การศึกษาจุลภาพด้วยอิเล็กทรอนิกส์

เมื่อได้บีดจากการทดลองต่าง ๆ แล้ว จำเป็นที่ต้องศึกษาโครงสร้างภาพในและภาพที่บริเวณผิว เพื่อศึกษาว่าบีดที่ได้มีลักษณะของผิวเป็นอย่างไร และภายในมีความพรุนมากน้อยอย่างไร

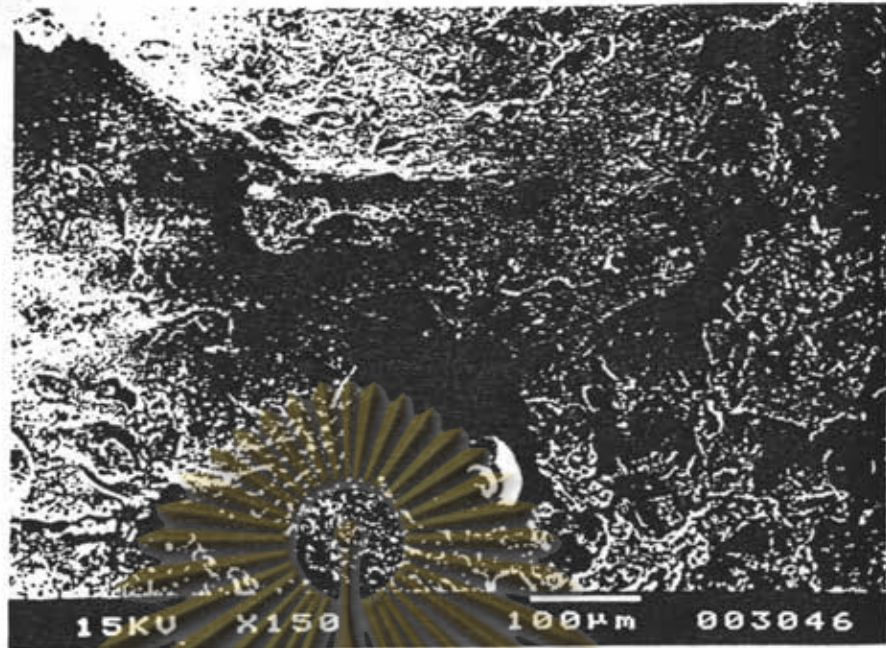
ภาพที่ 4.24 - 4.26 แสดงพื้นผิวและภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 4, 6, 10 ซึ่งเป็นบีดผ่านปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์โดยที่ไม่มีการเลี้ยงบีด พบว่าที่ผิวของโพลีเมอร์ค่อนข้างเรียบ ส่วนลักษณะภาพตัดขวางมีลักษณะคล้ายรังผึ้งเพราะภายในมีโพรงเกิดขึ้น

ภาพที่ 4.27 - 4.38 แสดงพื้นผิวและภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 12-14 ซึ่งเป็นบีดผ่านปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์โดยที่ไม่มีการเลี้ยงบีด แต่มีการเติมตัวทำเจือจาง พบว่าที่ผิวของโพลีเมอร์จะค่อนข้างเรียบ ส่วนลักษณะภาพตัดขวางมีลักษณะคล้ายรังผึ้งเพราะภายในมีโพรงเกิดขึ้น และพรุนมากกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมตัวทำเจือจาง เพราะตัวทำเจือจางไม่ละลายโพลีเมอร์บางส่วน

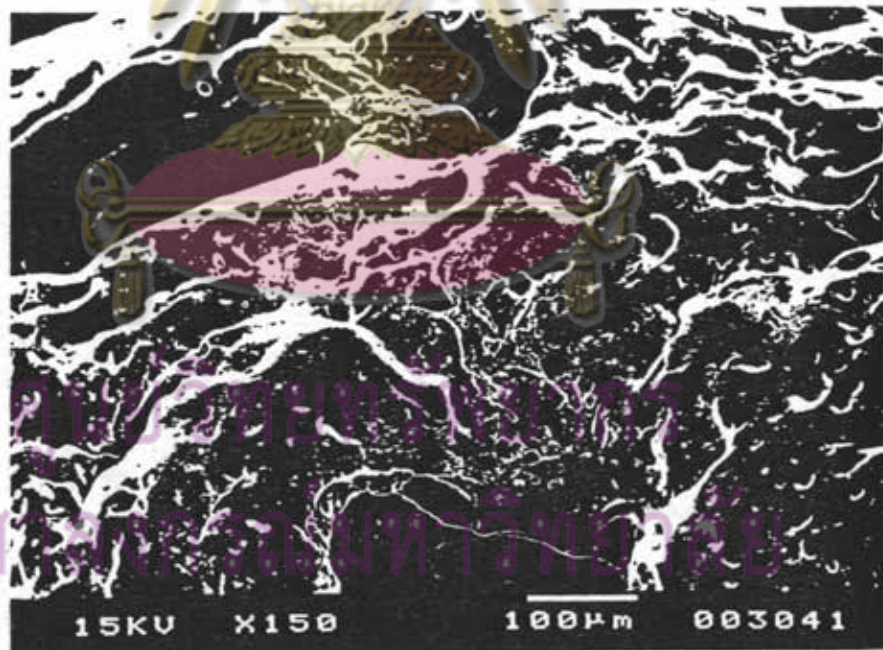
ภาพที่ 4.39 - 4.51 แสดงพื้นผิวและภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 18-22 ซึ่งเป็นบีดผ่านปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์โดยที่มีการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง พบว่าที่ผิวของโพลีเมอร์ไม่เรียบแสดงมีการเกิดโพลีเมอร์ขึ้นที่ผิว ส่วนลักษณะภาพตัดขวางมีลักษณะคล้ายรังผึ้งเพราะภายในมีโพรงเกิดขึ้น

ภาพที่ 4.52 - 4.58 แสดงพื้นผิวและภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 23-25 ซึ่งเป็นบีดผ่านปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์โดยที่มีการเลี้ยงบีด 2 ครั้ง พบว่าที่ผิวของโพลีเมอร์ขรุขระมากเมื่อเทียบกับบีดที่ไม่ผ่านการเลี้ยงบีด เพราะในระหว่างที่เลี้ยงบีด ปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์เกิดขึ้นที่ผิวของบีด ส่วนลักษณะภาพตัดขวางมีลักษณะคล้ายรังผึ้งเพราะภายในมีโพรงเกิดขึ้นแต่พรุนน้อยกว่ากรณีที่มีการเลี้ยงบีดเพียง 1 ครั้ง เพราะเกิดจากการยุบตัวของโครงสร้างบีดเนื่องมาจากโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นที่ผิว

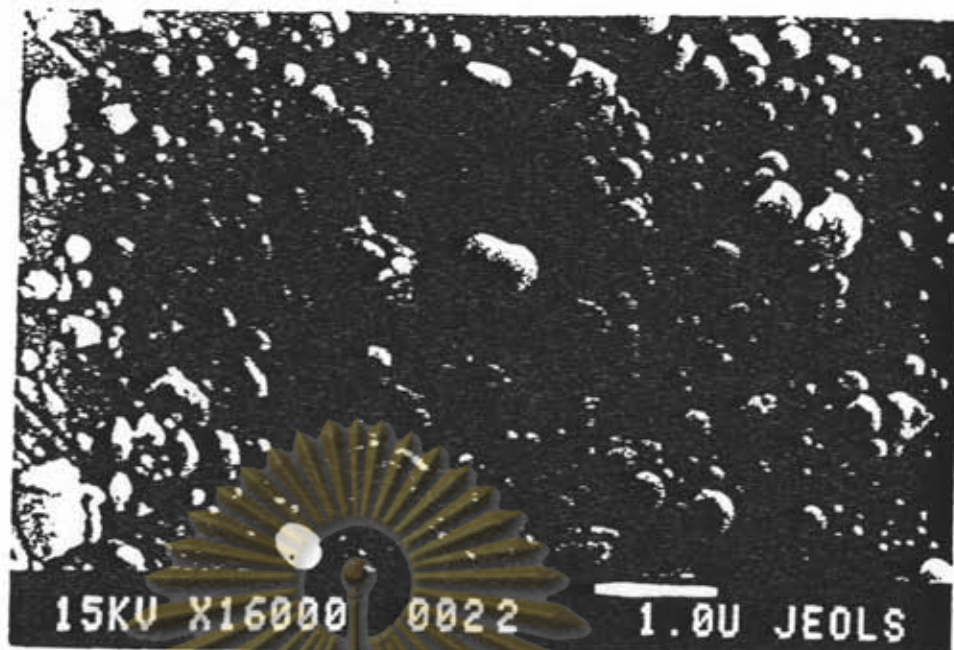
ภาพที่ 4.59 - 4.64 แสดงพื้นผิวและภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 25 ซึ่งเป็นบีดผ่านการเลี้ยงบีด 1 ครั้ง พบว่าที่ผิวของโพลีเมอร์ไม่เรียบเนื่องจากมีการเกิดโพลีเมอร์ที่ผิว ส่วนลักษณะภายในพรุนมากขึ้นเนื่องมาจากผลของตัวทำเจือจาง



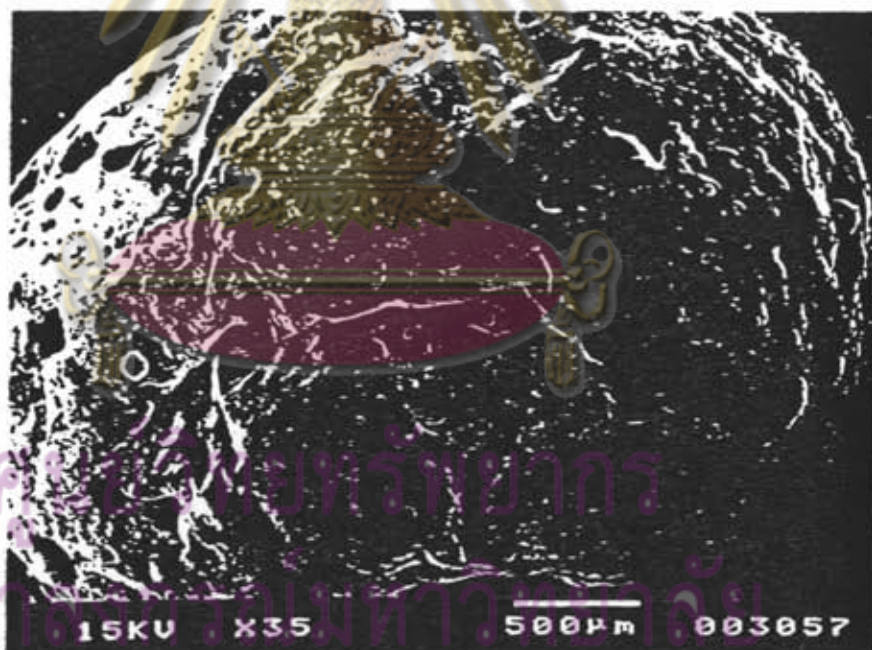
รูปที่ 4.24 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 4 กำลังขยาย 150 เท่า



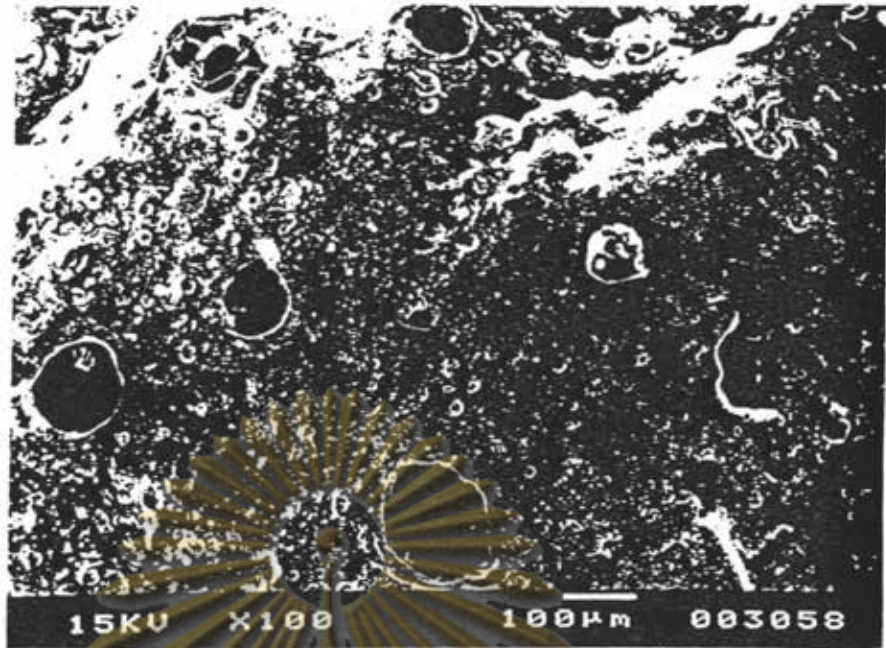
รูปที่ 4.25 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 6 กำลังขยาย 150 เท่า



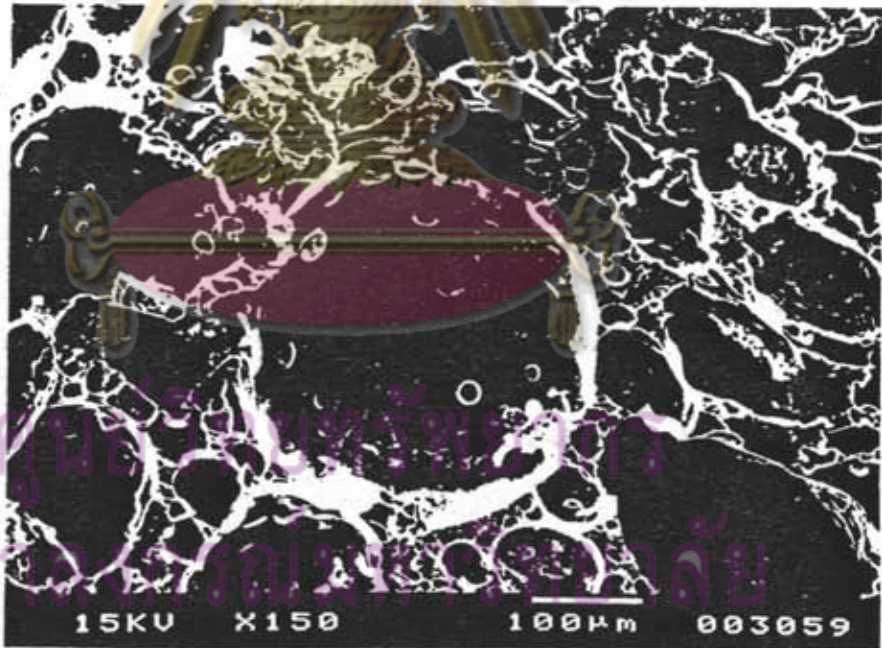
รูปที่ 4.26 จุลภาพด้วยอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบืดจากการทดลองที่ 10 กำลังขยาย 16000 เท่า



รูปที่ 4.27 จุลภาพด้วยอิเล็กตรอนแสดงผิวของบืดจากการทดลองที่ 12 กำลังขยาย 35 เท่า

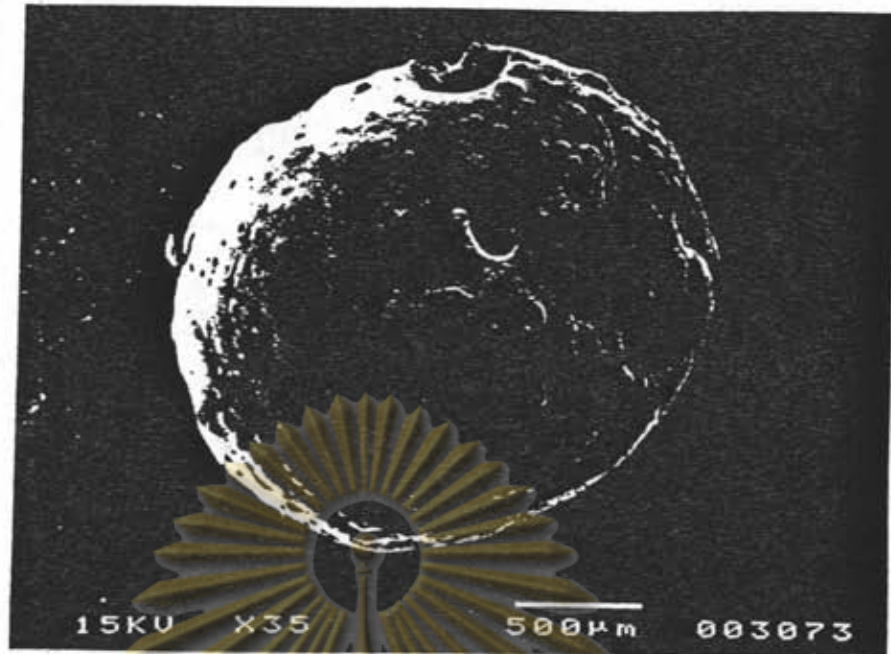


รูปที่ 4.28 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 12
100 เท่า

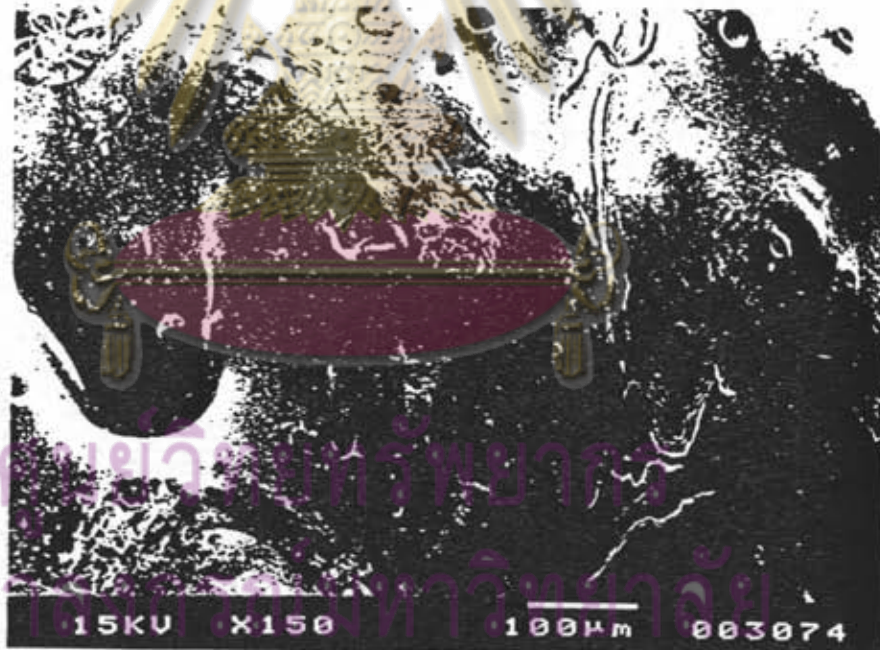


รูปที่ 4.29 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 12 กำลังขยาย
150 เท่า

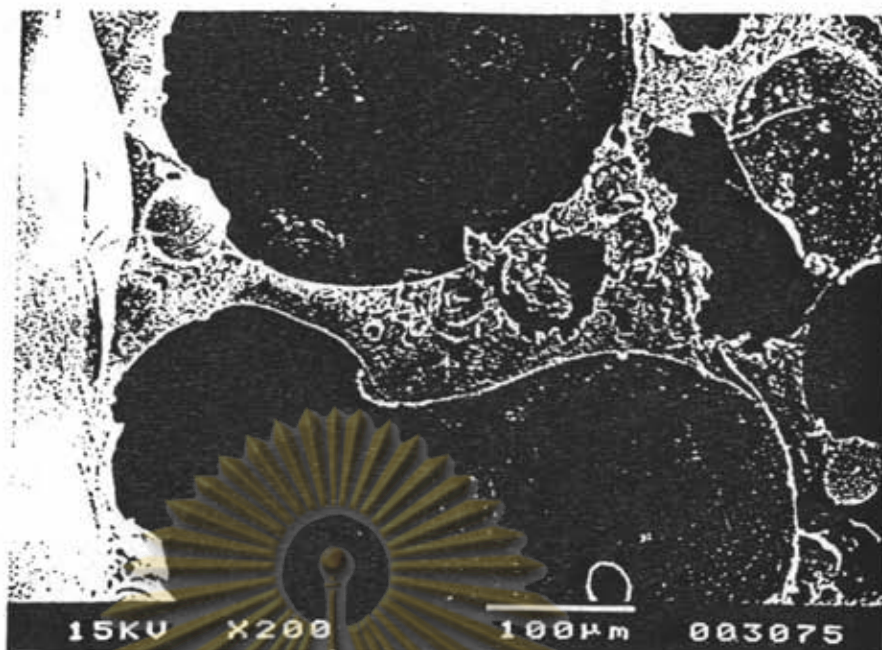
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบืดจากการทดลองที่ 13 กำลังขยาย 35 เท่า



รูปที่ 4.31 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของฟิวบืดจากการทดลองที่ 13 กำลังขยาย 150 เท่า



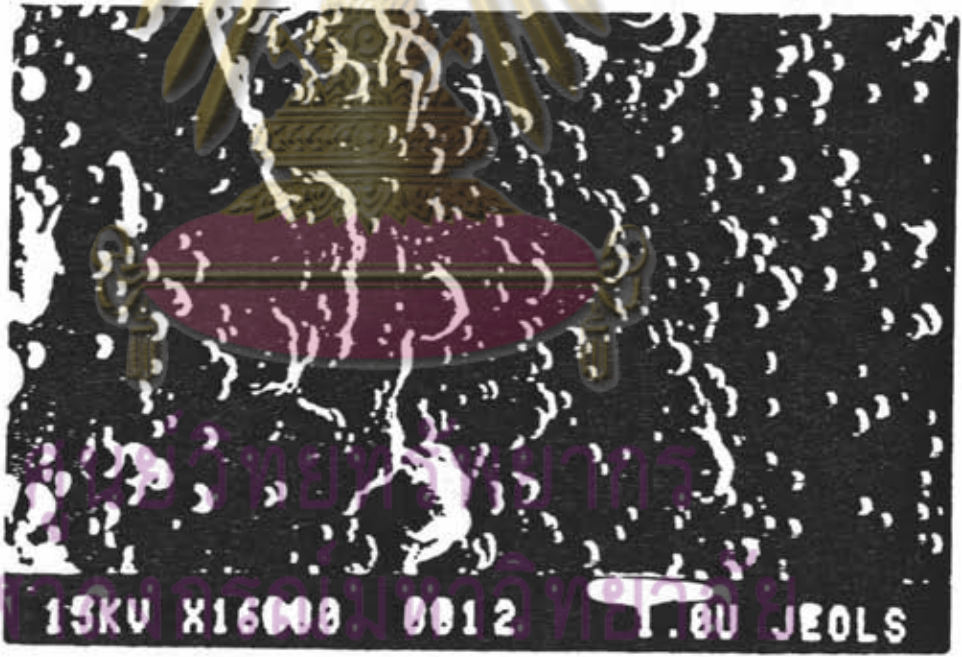
รูปที่ 4.32 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 13 กำลังขยาย 200 เท่า



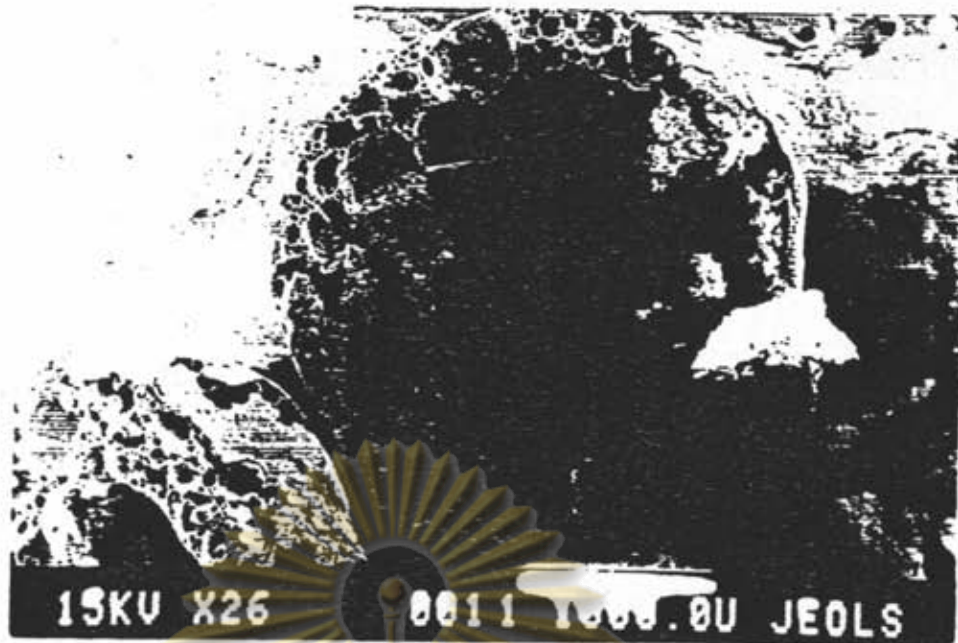
รูปที่ 4.33 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 26 เท่า



รูปที่ 4.34 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบืดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 150 เท่า



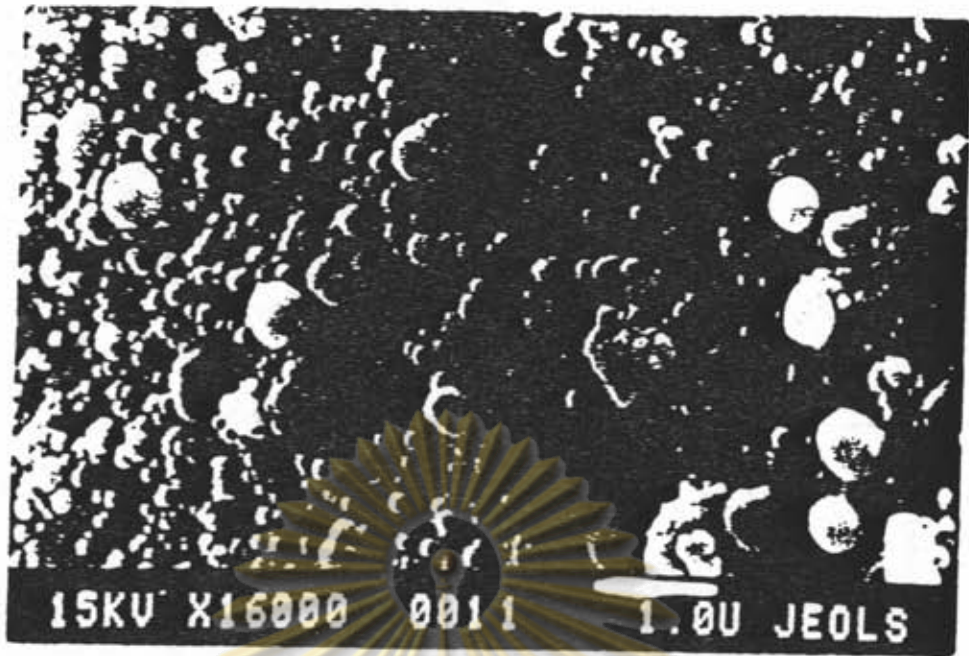
รูปที่ 4.35 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบืดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 16000 เท่า



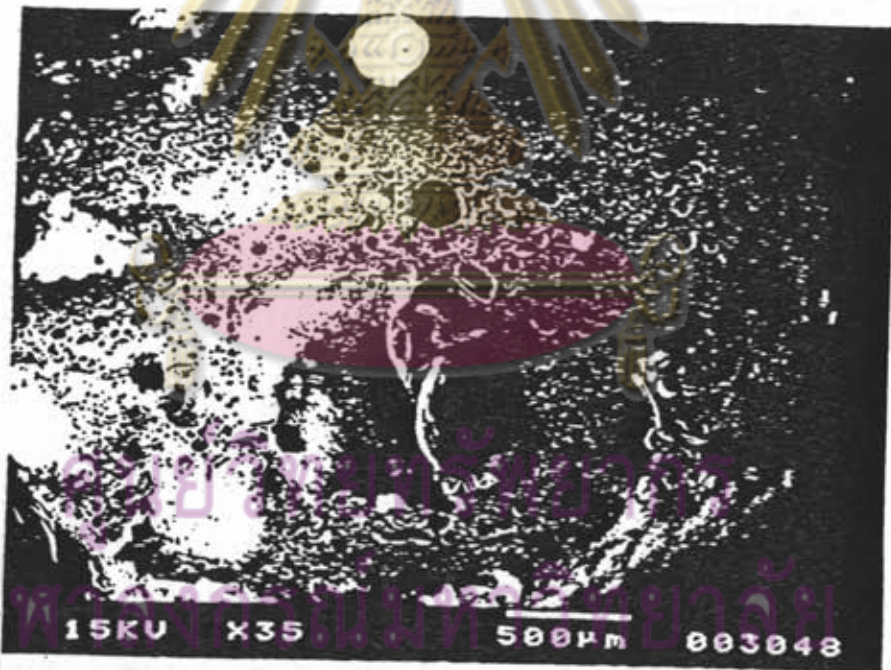
รูปที่ 4.36 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของเมล็ดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 26 เท่า



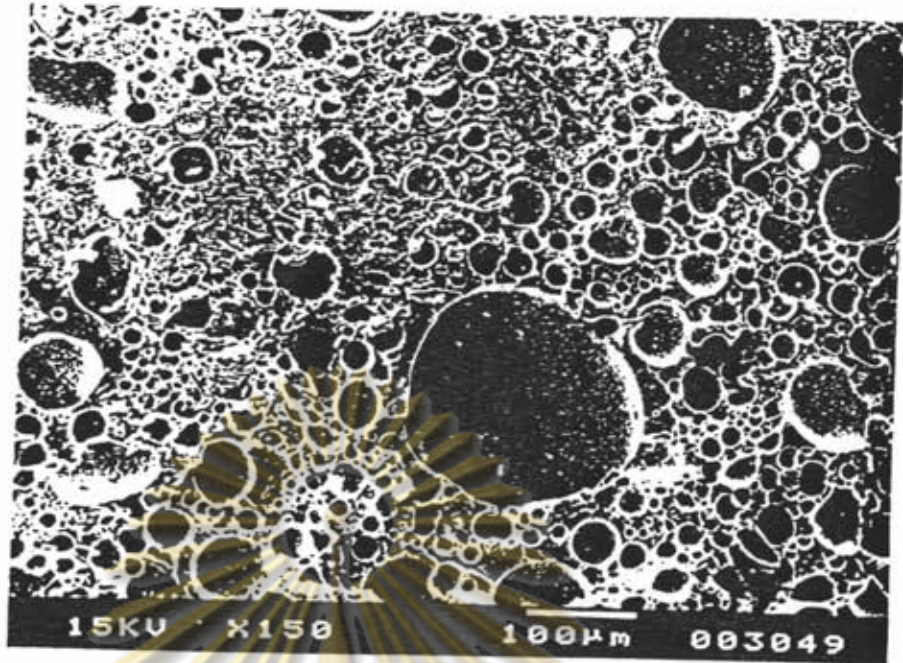
รูปที่ 4.37 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงการขยายของภาพตัดขวางของเมล็ดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 150 เท่า



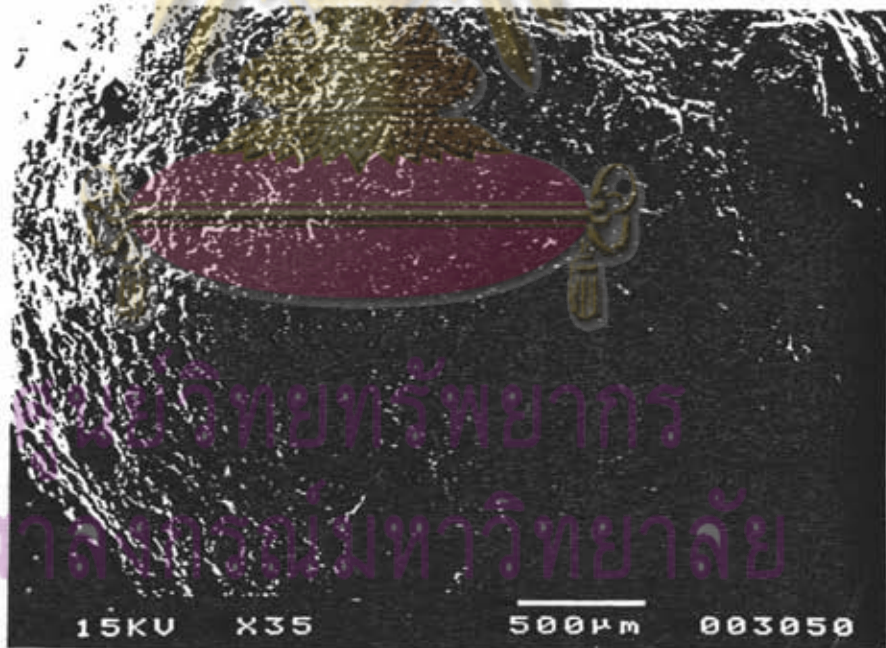
รูปที่ 4.38 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพทัศนวิทยาของบีดจากการทดลองที่ 14 กำลังขยาย 16000 เท่า



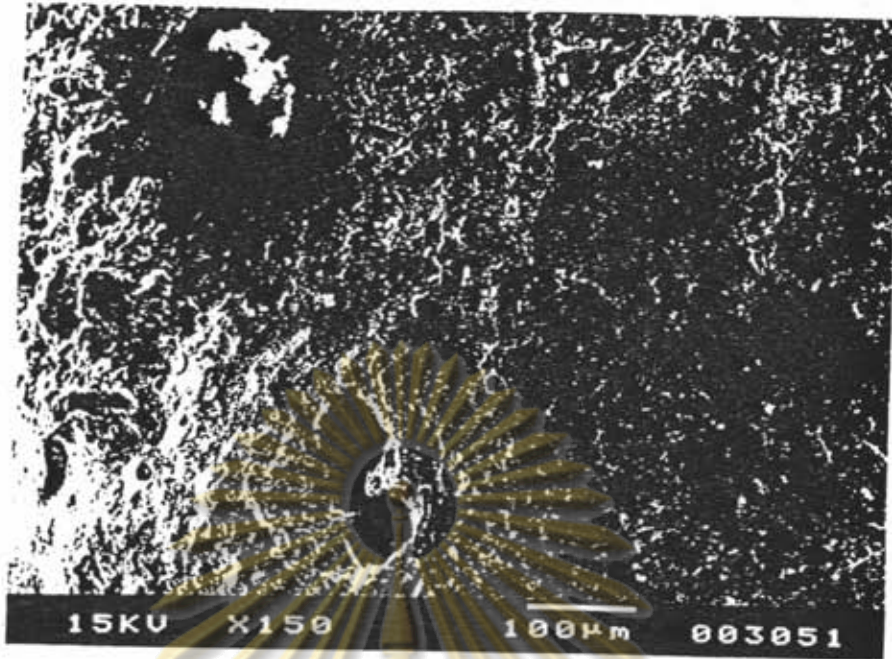
รูปที่ 4.39 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 18 กำลังขยาย 35 เท่า



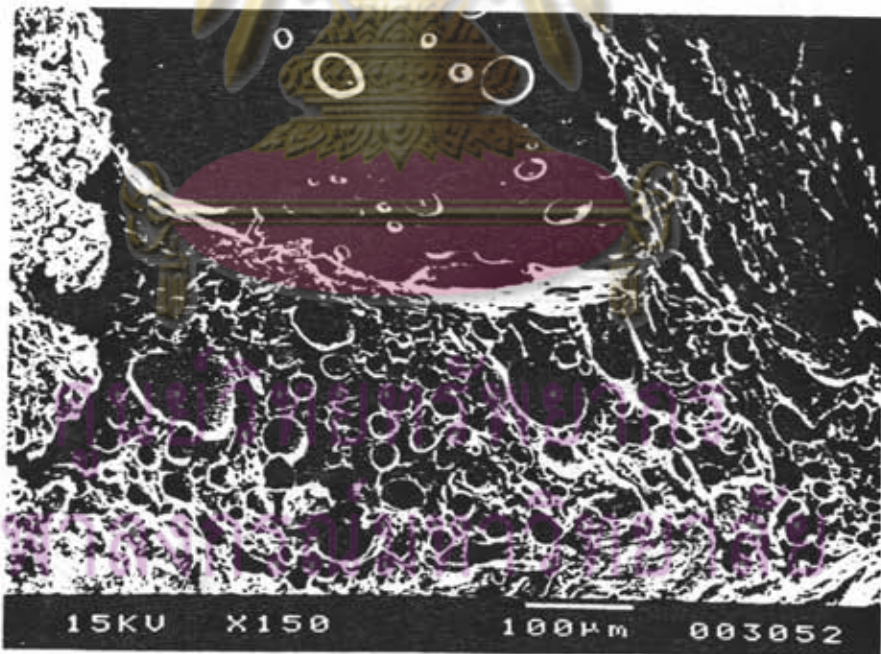
รูปที่ 4.40 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของน็อคจากการทดลองที่ 18 กำลังขยาย 150 เท่า



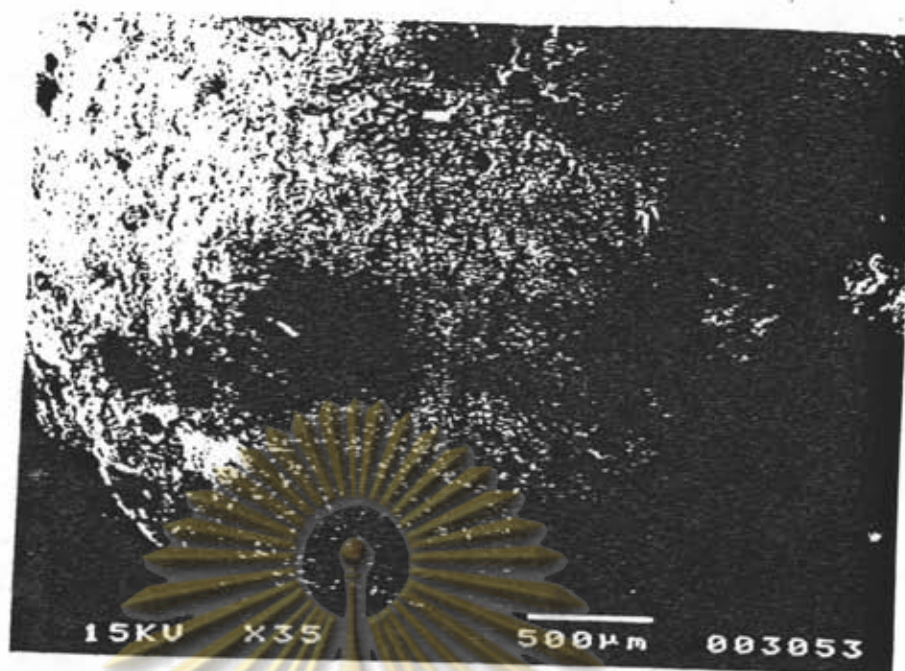
รูปที่ 4.41 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของน็อคจากการทดลองที่ 19 กำลังขยาย 35 เท่า



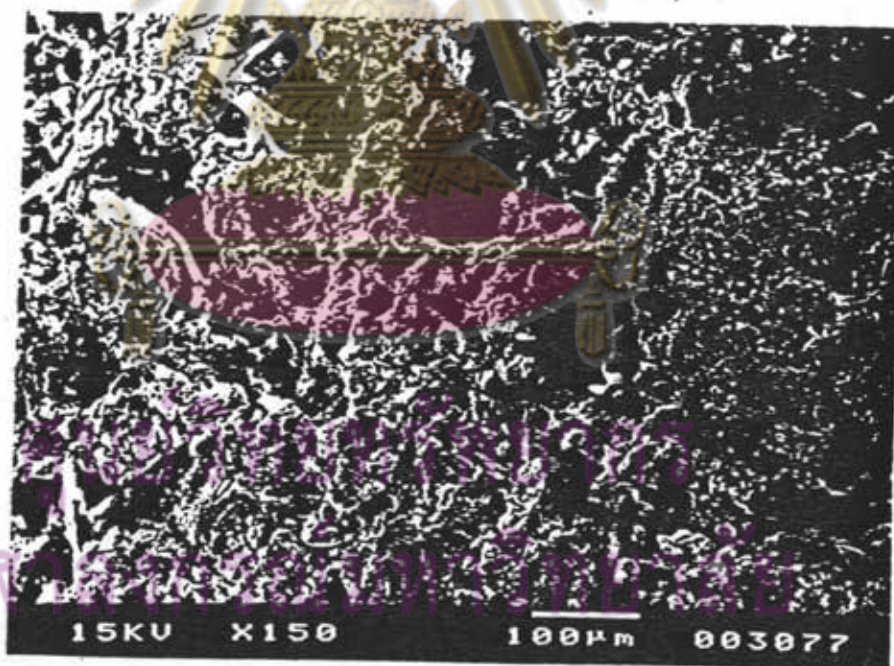
รูปที่ 4.42 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 19 กำลังขยาย 150 เท่า



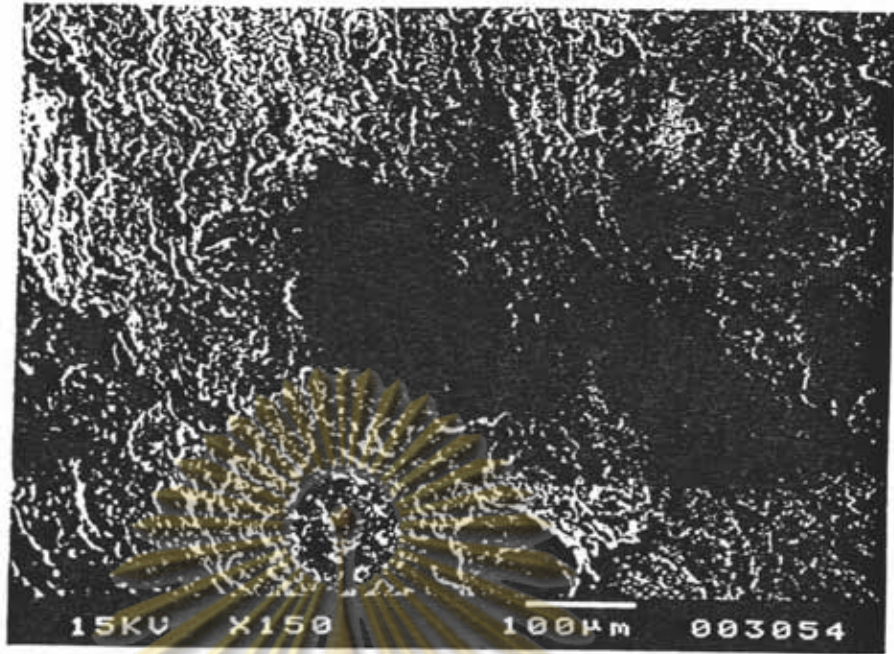
รูปที่ 4.43 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 19 กำลังขยาย 150 เท่า



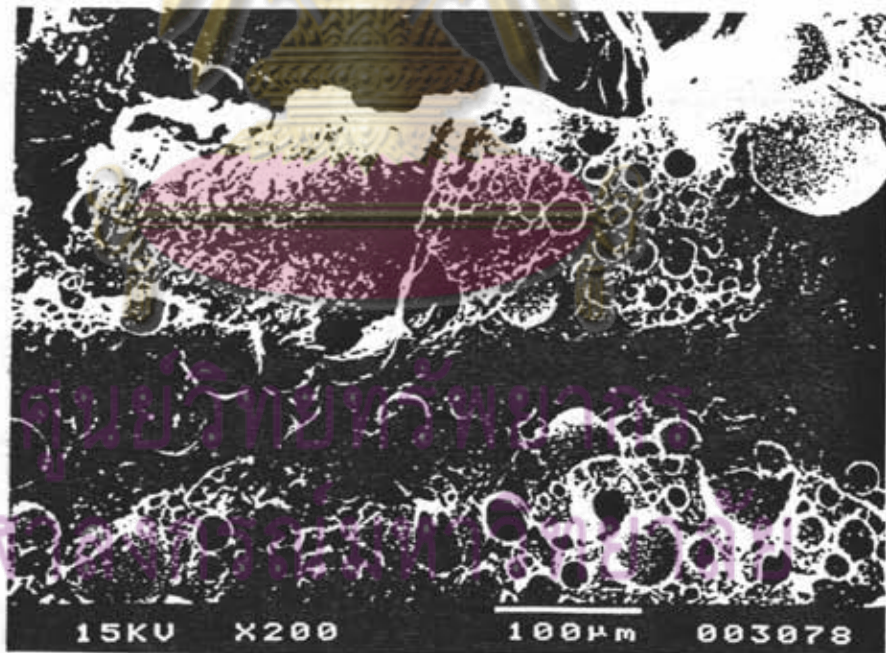
รูปที่ 4.44 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของมดจากการทดลองที่ 20 กำลังขยาย 35 เท่า



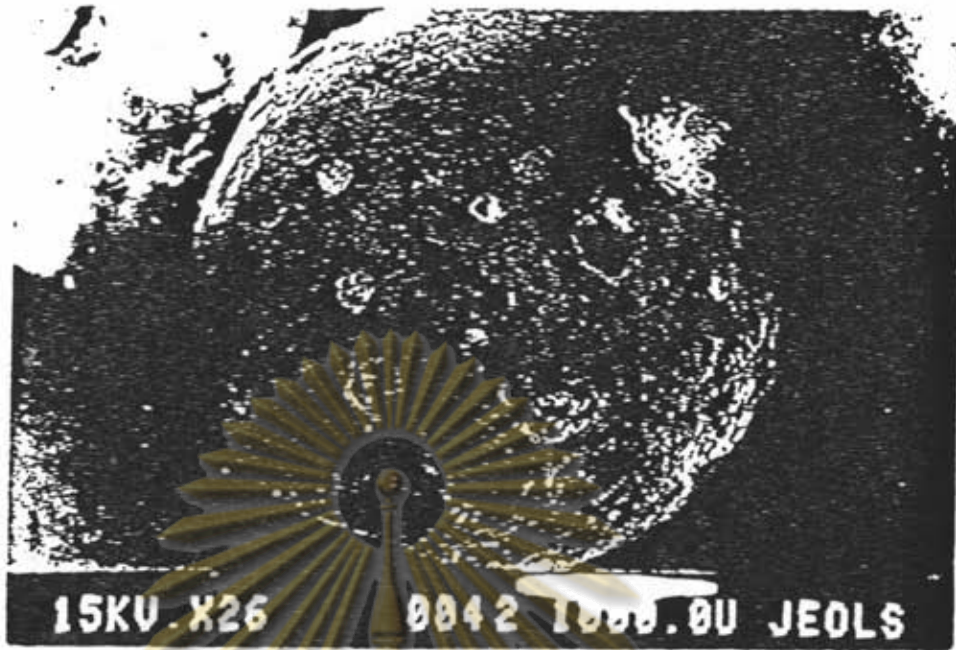
รูปที่ 4.45 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวมดจากการทดลองที่ 20 กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 4.46 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวไม้จากการทดลองที่ 21 กำลังขยาย 150 เท่า



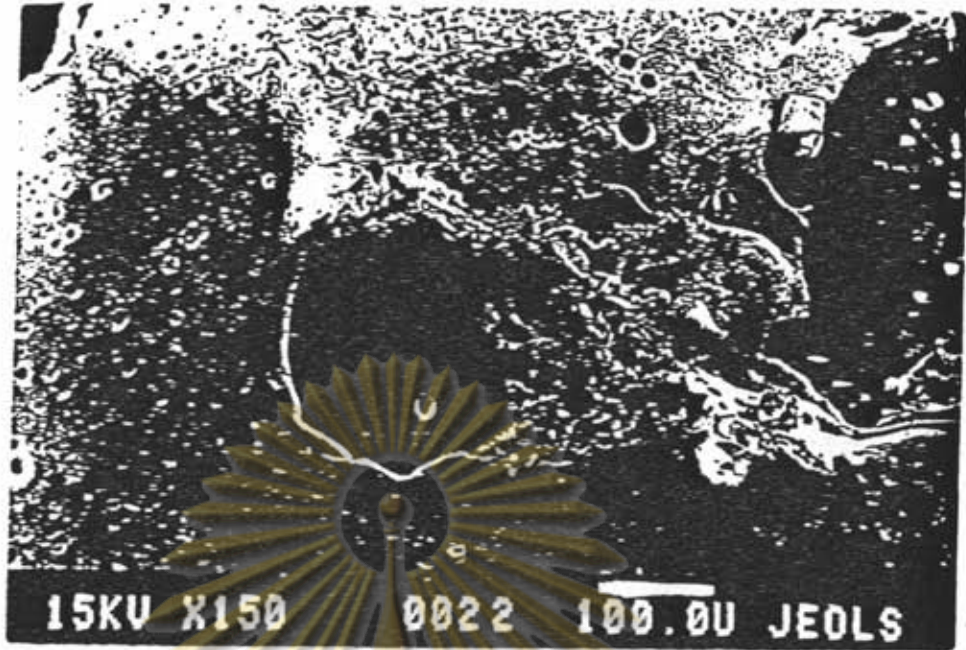
รูปที่ 4.47 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของไม้จากการทดลองที่ 21 กำลังขยาย 200 เท่า



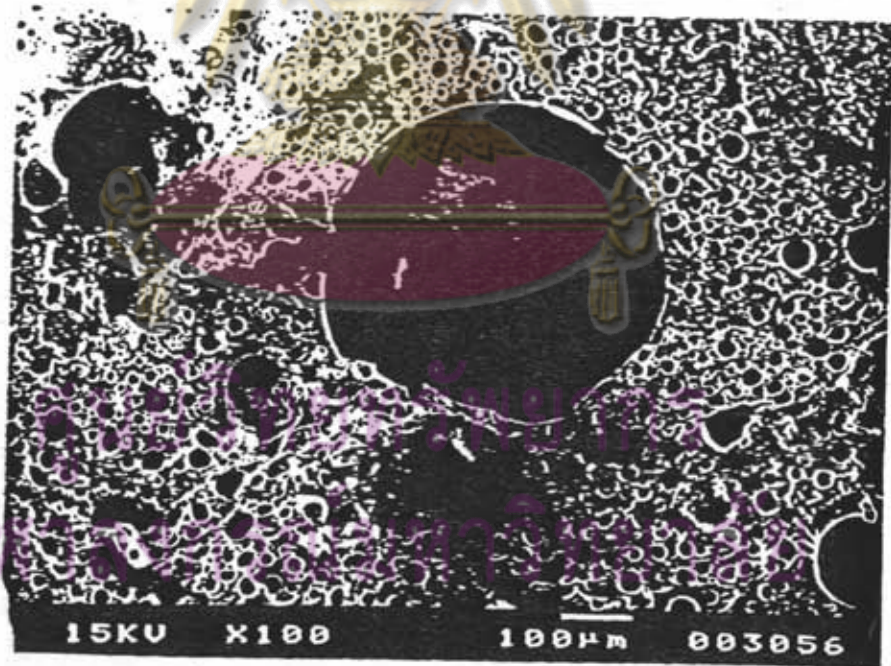
รูปที่ 4.48 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 22 กำลังขยาย 26 เท่า



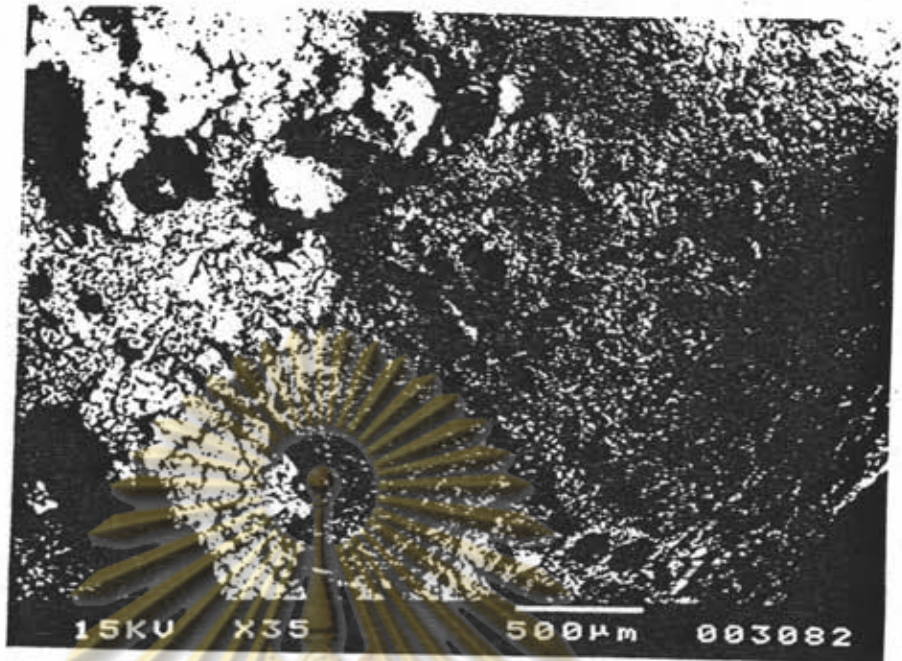
รูปที่ 4.49 จุลภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แสดงภาพขยายของผิวบีดจากการทดลองที่ 22 กำลังขยาย 16000 เท่า



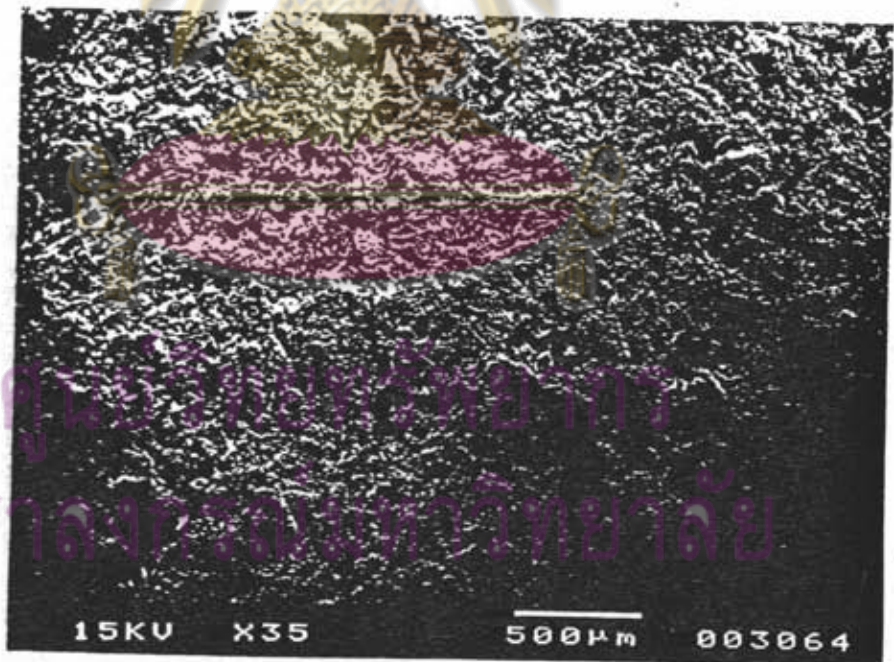
รูปที่ 4.50 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวหนังจากรูปที่ 4.47 กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 4.51 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของปีกจากการทดลองที่ 22 กำลังขยาย 100 เท่า

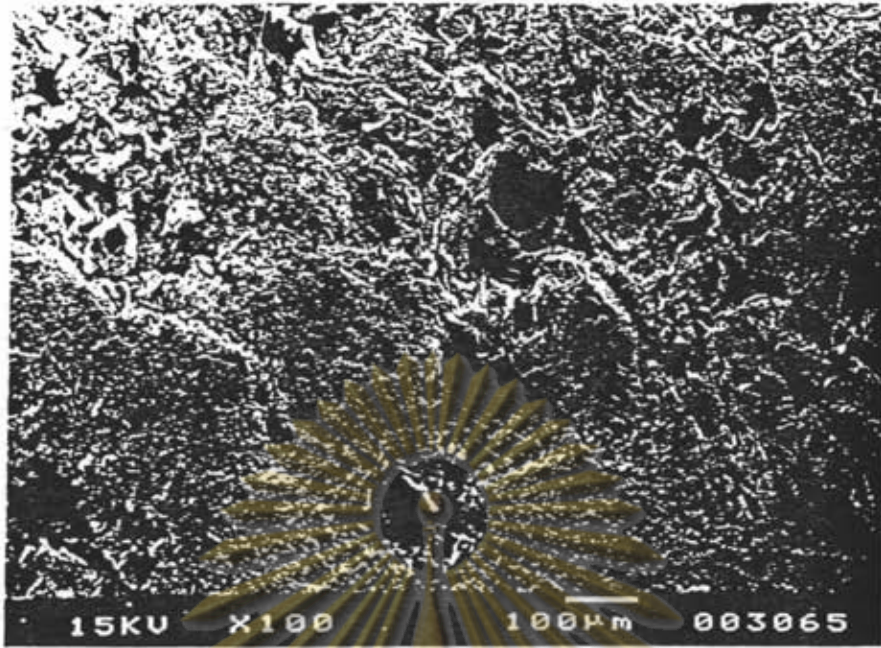


รูปที่ 4.52 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบิตจากการทดลองที่ 23 กำลังขยาย 35 เท่า

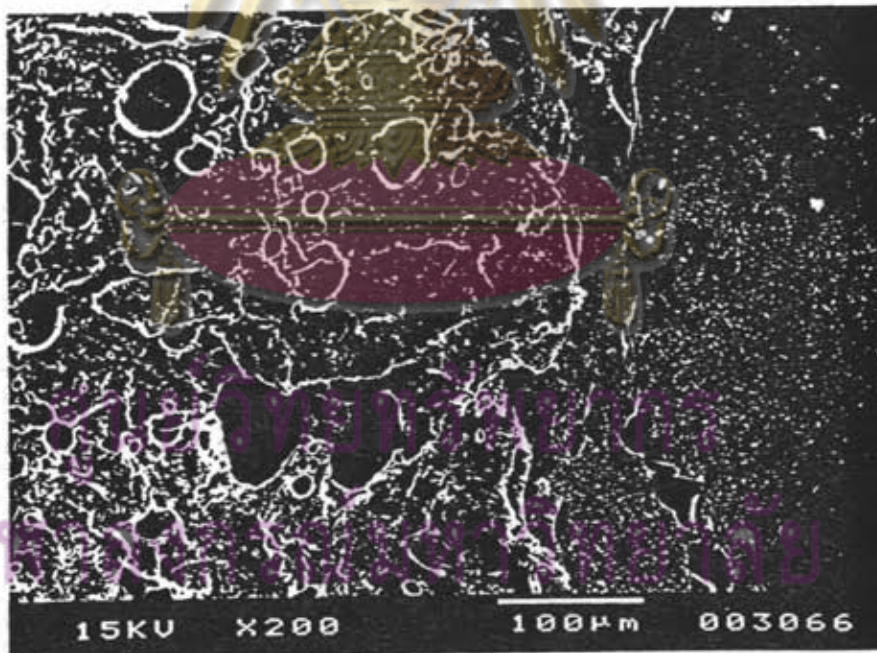


ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

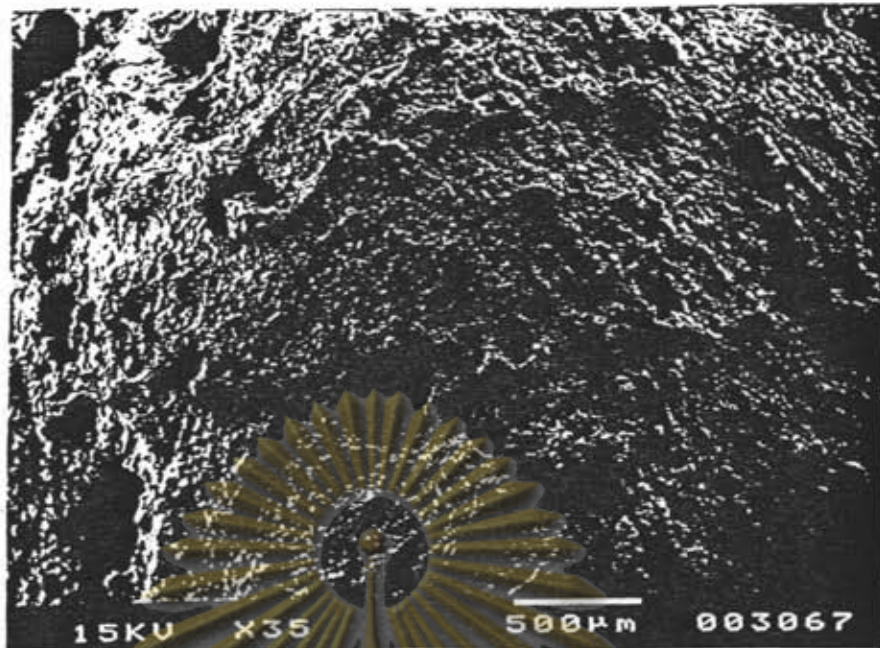
รูปที่ 4.53 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบิตจากการทดลองที่ 24 กำลังขยาย 35 เท่า



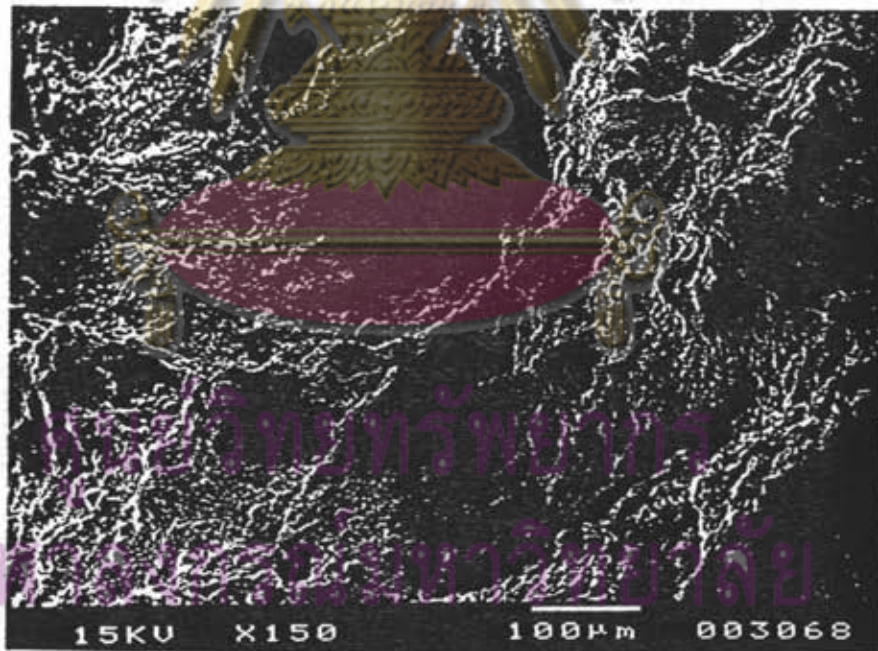
รูปที่ 4.54 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวบึกจากการทดลองที่ 24 กำลังขยาย 100 เท่า



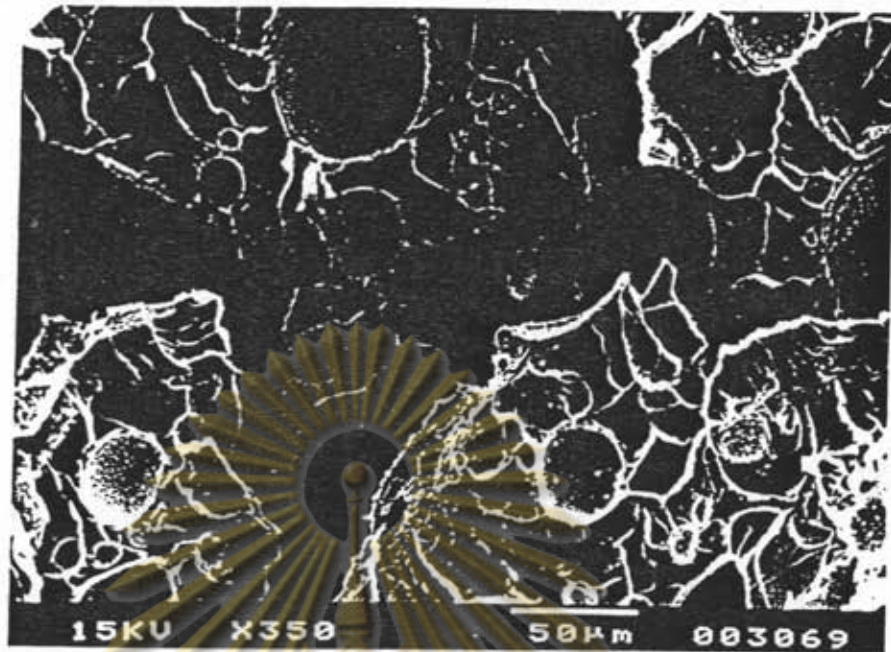
รูปที่ 4.55 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบึกจากการทดลองที่ 24 กำลังขยาย 200 เท่า



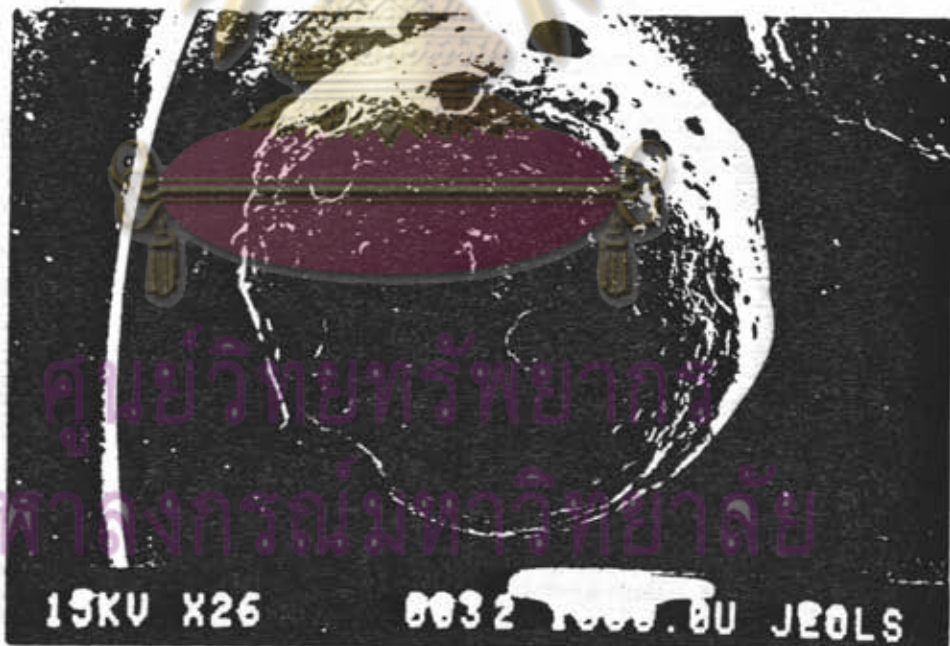
รูปที่ 4.56 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของมดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 35 เท่า



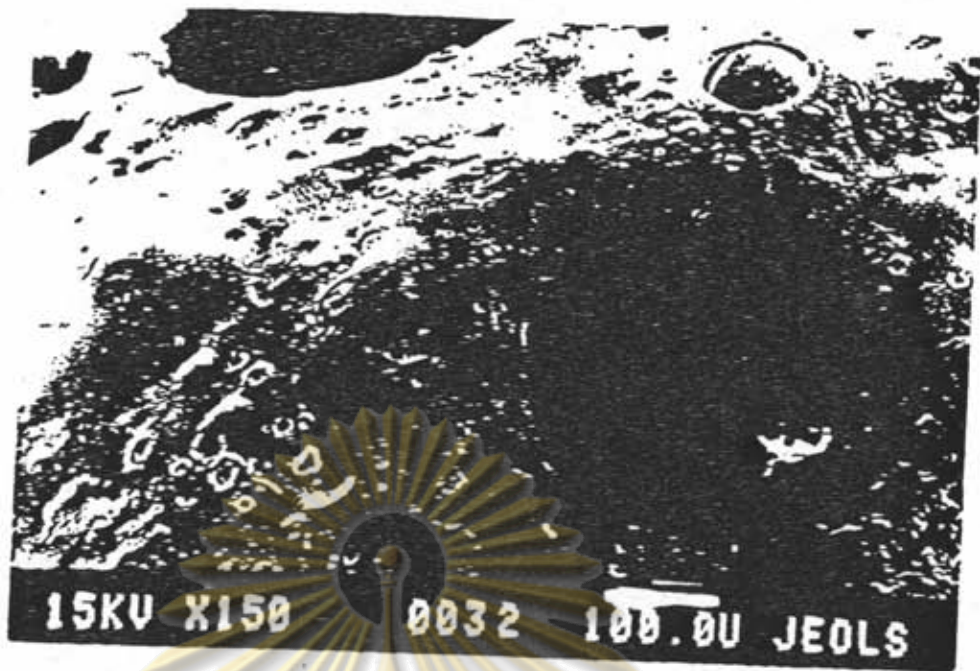
รูปที่ 4.57 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวมดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 150 เท่า



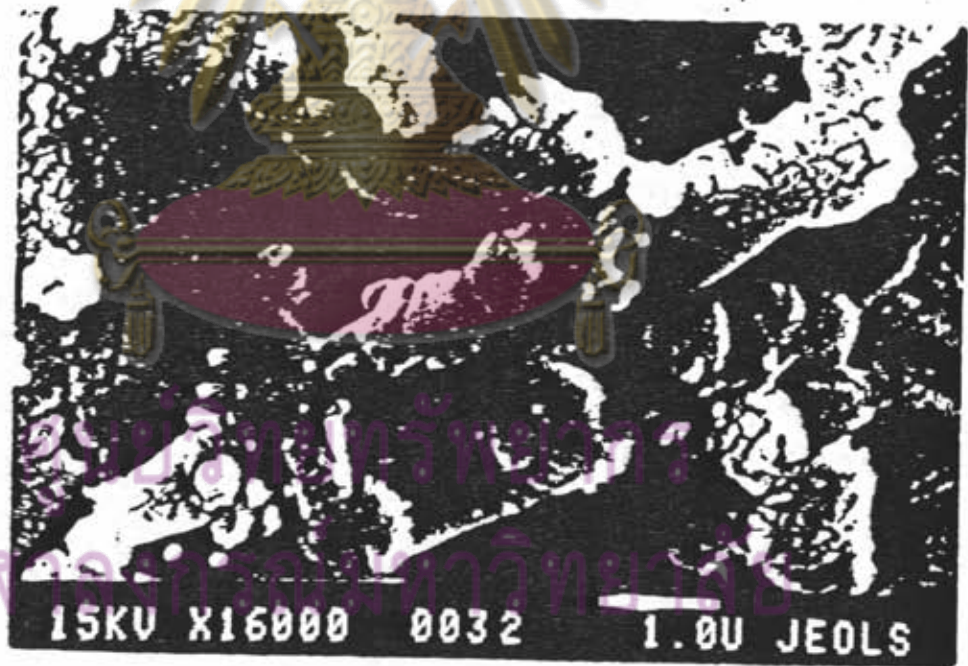
รูปที่ 4.58 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 25 กำลังขยาย 350 เท่า



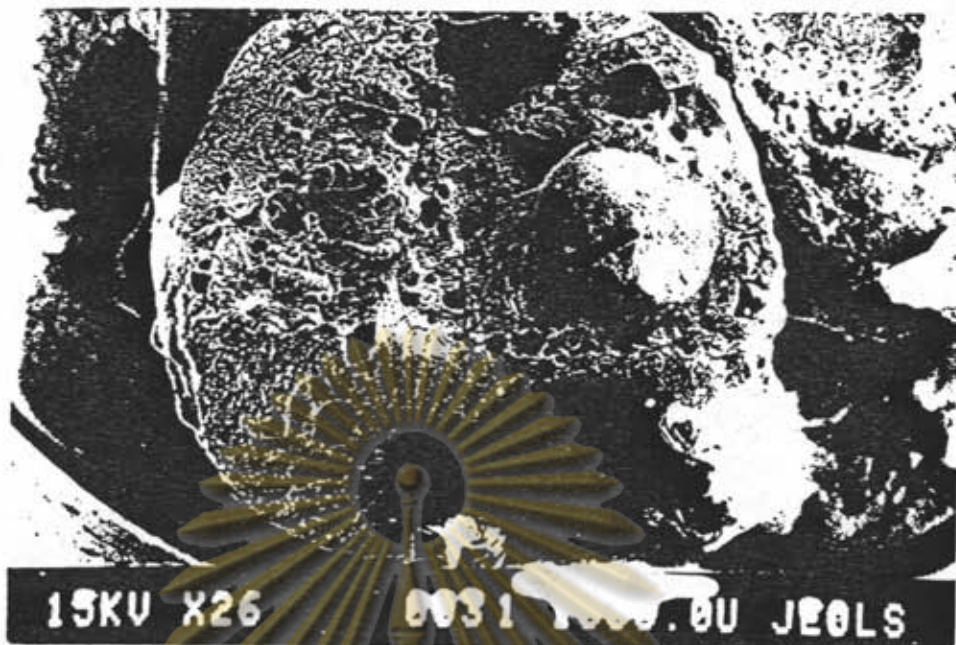
รูปที่ 4.59 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงผิวของบีดจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 26 เท่า



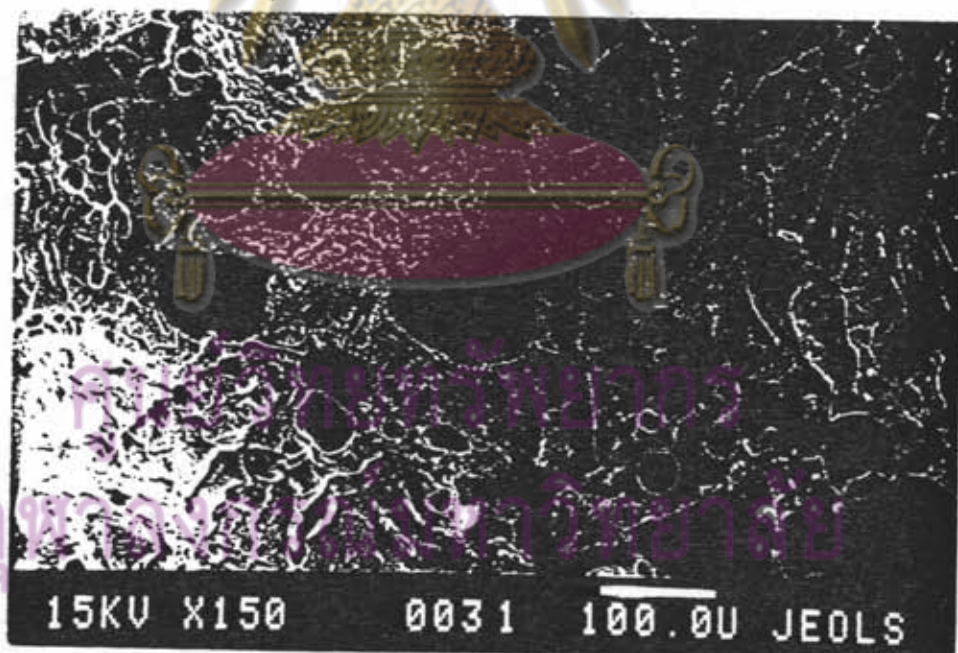
รูปที่ 4.60 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวเม็ดจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 4.61 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขยายของผิวเม็ดจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 16000 เท่า



รูปที่ 4.62 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพขวางของบีดจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 26 เท่า



รูปที่ 4.63 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงการขยายของภาพตัดขวางของบีดจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 4.64 จุลภาพถ่ายอิเล็กตรอนแสดงภาพวางขนาดของนิกจากการทดลองที่ 26 กำลังขยาย 16000 เท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย