บทที่ 5

ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1) ผลของการสกัดสารบาราคอลขั้นต้นออกจากใบขี้เหล็ก

5.1.1) ผลของขนาดใบขี้เหล็กต่อการสกัดสารบาราคอลขั้นต้น

ในการศึกษานี้ผงใบขี้เหล็กที่ใช้มีขนาด 180, 250, 355, 500, 710, 1000 และ 1400 ไมโครเมตร ทำการสกัดในสารละลายเอธานอล 15 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ในอัตราส่วนผงใบขี้เหล็กต่อตัวทำละลาย 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และ 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.1 พบว่าขนาดของใบขี้เหล็กที่มีขนาดเล็กจะได้ความเข้มข้นของสารบาราคอลมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของผงใบขี้เหล็กที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากทำให้การสกัดแบบชะละลายได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าผงใบขี้เหล็ก 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร การสกัดสารบาราคอลออกจากใบขี้เหล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 500 ถึง 1400 ไมโครเมตร ให้ผลการสกัดค่อนข้างคงที่ ในขณะที่เมื่อใช้ผงใบขี้เหล็ก 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ผลการสกัดลดลงอย่างต่อเนื่อง เราจึงพิจารณาเฉพาะช่วงขนาดผงใบขี้เหล็กที่มีขนาดเล็กกว่า 500 ไมโครเมตรลงมา พบว่าใบขี้เหล็ก 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร สามารถให้ความเข้มข้นของสารบาราคอล มากกว่าที่ภาวะ 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ถึง 2.5 เท่า ดังนั้นเราเลือกจึงใช้ผงใบขี้เหล็กที่มีขนาดเล็กกว่า 500 ไมโครเมตรในการสกัด และทำการทดลองเพื่อหาปริมาณผงใบขี้เหล็กที่เหมาะสมต่อไป

5.1.2) ผลของปริมาณใบขี้เหล็กต่อการสกัดสารบาราคอลขั้นต้น

ในการทดลองนี้ได้ทำการสกัดผงใบขี้เหล็กที่ปริมาณต่างๆ กันดังนี้คือ 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, และ 20 กรัมต่อตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร พบว่าปริมาณสารบาราคอลที่สกัดออกมาได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 โดยความเข้มข้นของสารบาราคอลเพิ่มจาก 0.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไปจนถึง 1.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะการเพิ่มค่อนข้างจะเป็นสัดส่วนโดยตรง แต่เมื่อมาพิจารณาถึงน้ำหนักของสารบาราคอลที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมของใบขี้เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ที่ภาวะการสกัดที่ 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ถึง 20 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร พบว่าน้ำหนักของสารบาราคอลต่อ 100 กรัมใบขี้เหล็กมีค่าลดลงมาเรื่อยๆ จนถึงภาวะที่ 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ปริมาณสารบาราคอลที่สกัดได้ค่อนข้างจะคงที่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การชะละลายที่ใช้ใบขี้เหล็กปริมาณน้อยกว่า 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จะได้ปริมาณสารบาราคอลที่สกัดได้ต่อ 100 กรัมใบขี้เหล็กสูง แต่ให้ความเข้มข้นต่ำ และที่ภาวะมากกว่า 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารบาราคอลที่สกัดได้มีค่ามากขึ้น แต่ที่ภาวะนี้สารละลายที่แขวนลอยมีความหนืดสูง ทำให้การสกัดในถังกวนไม่ค่อยเหมาะสม ควรใช้วิธีเพอร์โคเรเตอร์มากกว่า

5.1.3) ผลของเวลาต่อการสกัดสารบาราคอล

การทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารบาราคอล โดยทำการทดลองที่ปริมาณใบขี้เหล็ก 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และ 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 5.4 จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณใบขี้เหล็ก 2 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ใช้เวลาน้อยมากในการสกัดจึงจะถึงจุดสมดุล ส่วนใบขี้เหล็ก 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงในการสกัดจึงจะถึงจุดสมดุล ดังนั้นเวลาในการสกัดที่เหมาะสมจะใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 2 ชั่วโมง

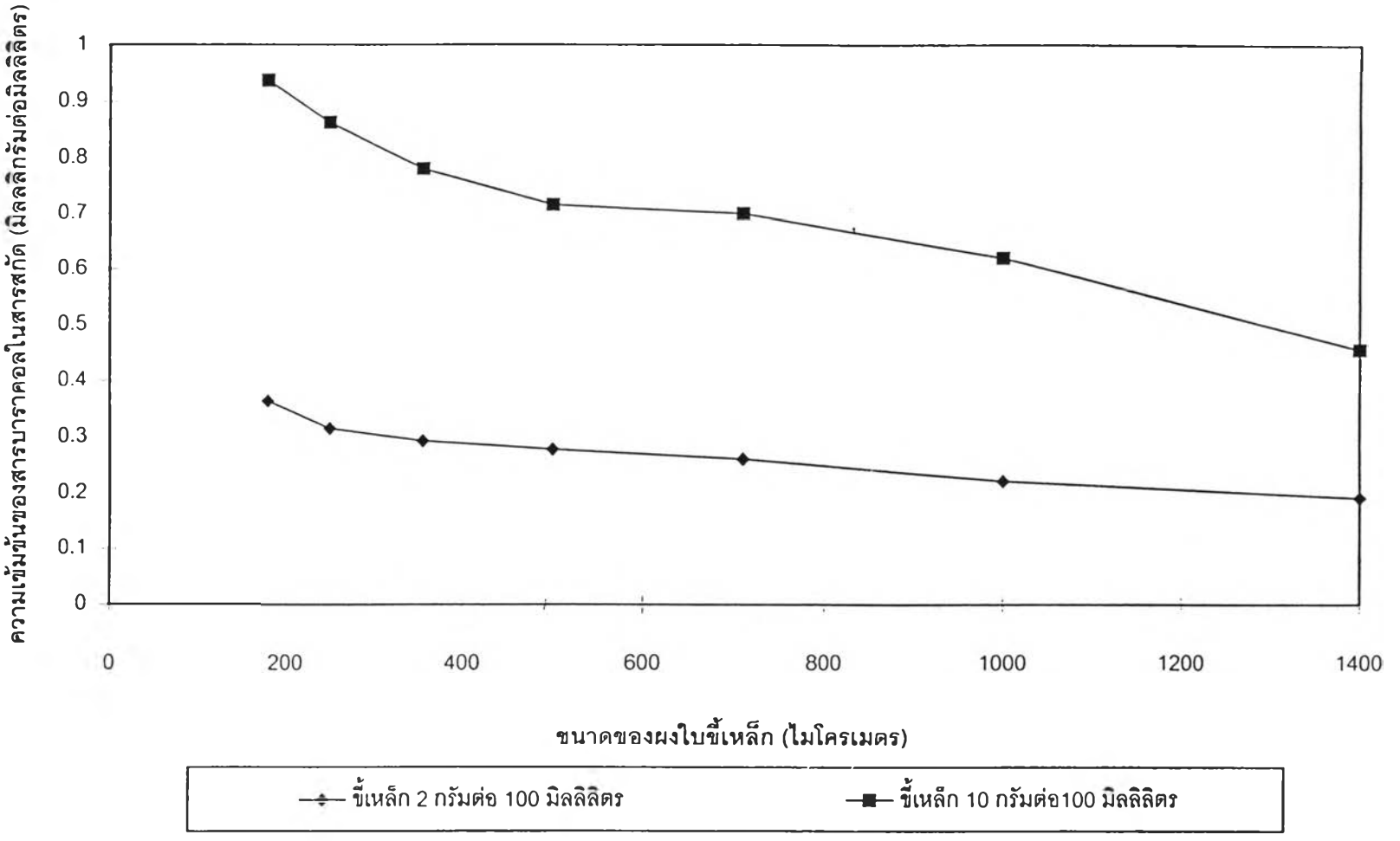
สรุปภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดสารบาราคอลขั้นต้นออกจากใบขี้เหล็กโดยใช้ตัวทำละลายเอธานอล 15 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ดังนี้

ใช้ปริมาณผงใบขี้เหล็กแห้งต่อตัวทำละลายเท่ากับ 10 กรัมต่อตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร

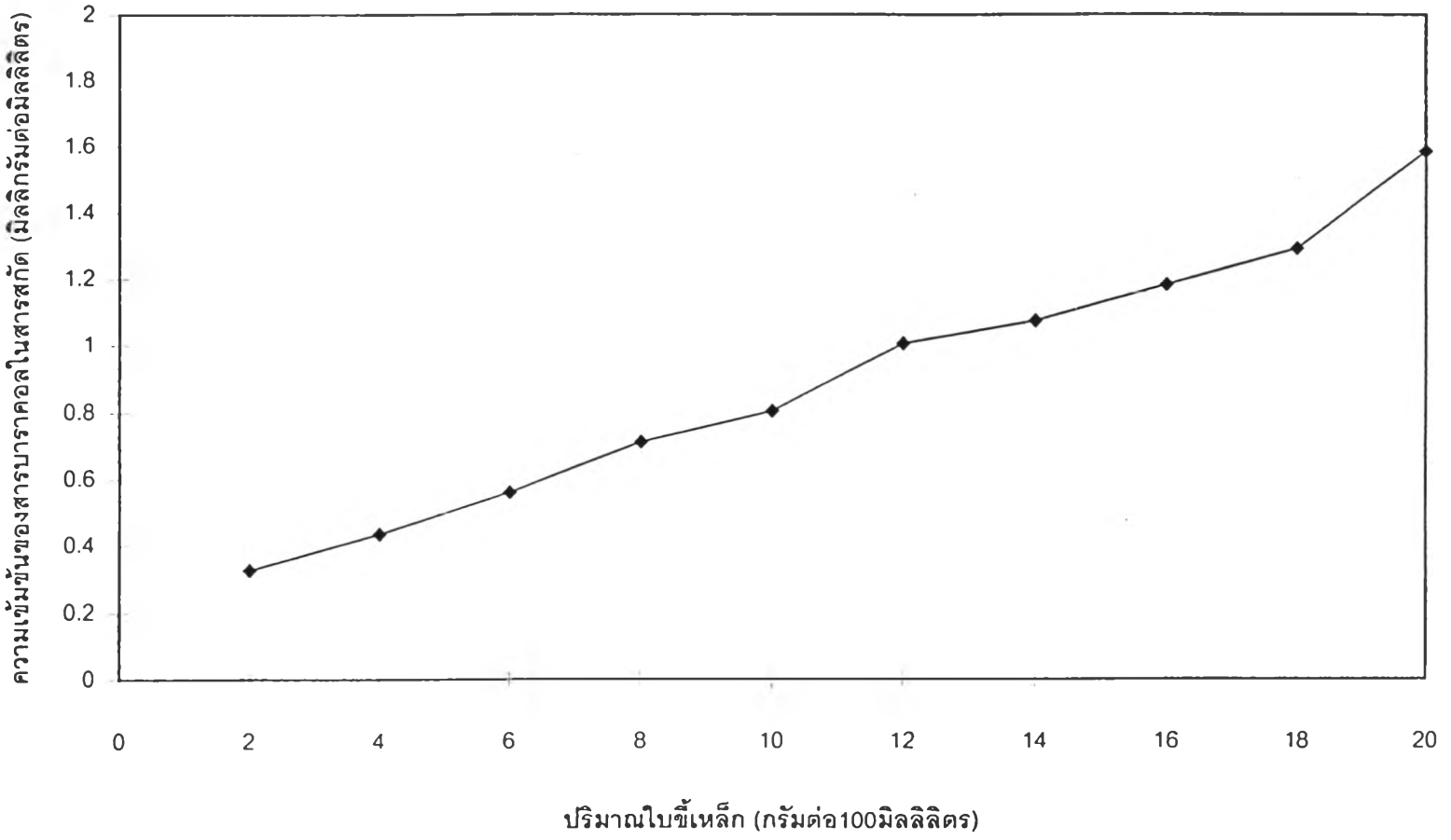
ใช้ขนาดผงใบขี้เหล็กที่มีขนาดเล็กกว่า 500 ไมโครเมตร

ใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 2 ชั่วโมง

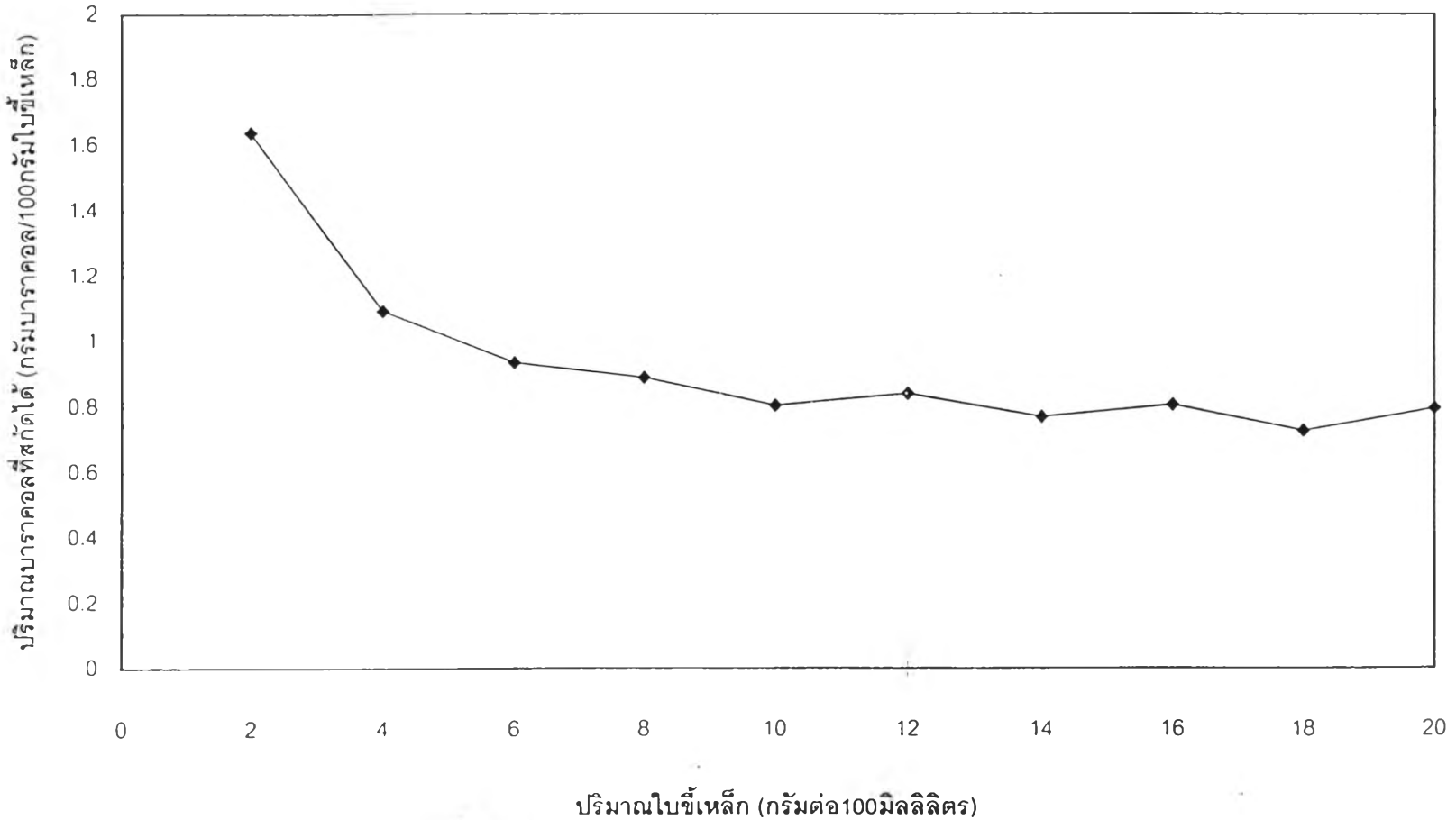
ที่ภาวะดังกล่าวจะได้สารละลายบาราคอลเข้มข้น 0.804 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากใบขี้เหล็ก 10 กรัม คิดเป็นเปอร์เซนต์ของสารบาราคอลที่พบในใบเหล็กแห้งเท่ากับ 0.8 เปอร์เซนต์



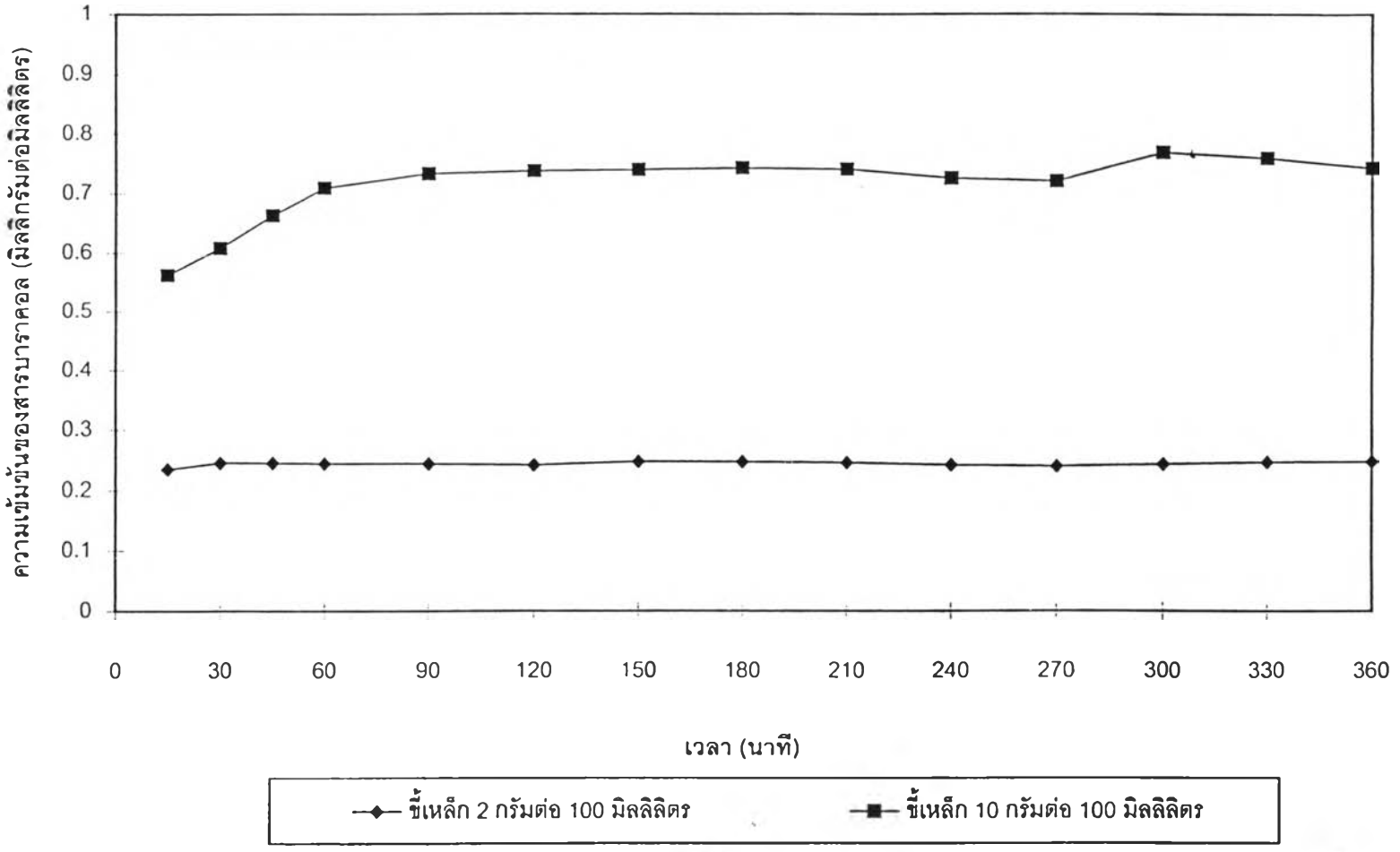
รูปที่ 5.1 แสดงผลของขนาดของใบขี้เหล็กต่อความเข้มข้นของสารบาราคอลที่สกัดได้



รูปที่ 5.2 แสดงความเข้มข้นของสารบาราคอลที่สกัดได้ต่อใบขี้เหล็กที่ปริมาณต่างๆ



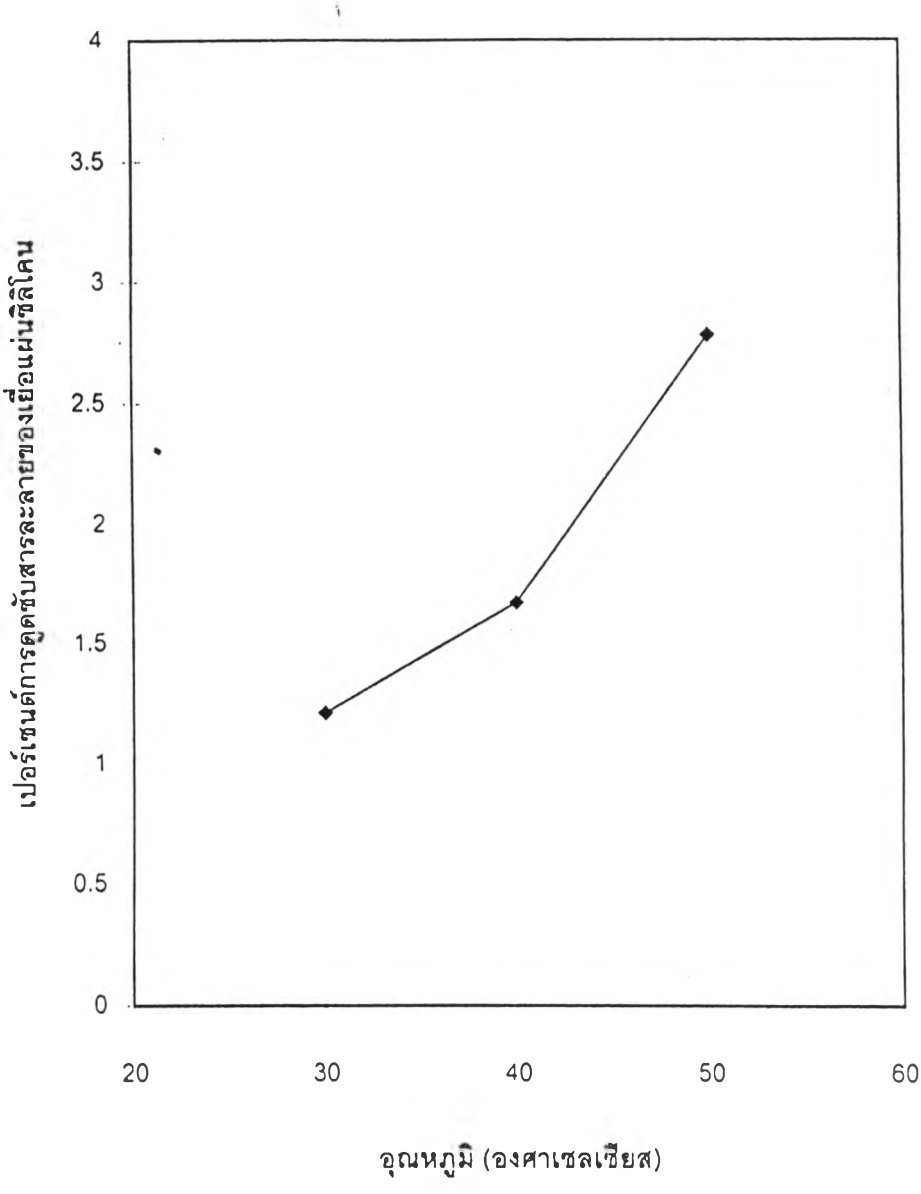
รูปที่ 5.3 แสดงค่าน้ำหนักของสารบาราคอลที่สกัดได้ต่อปริมาณ 100 กรัมใบขี้เหล็ก



รูปที่ 5.4 แสดงระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารบาราคอลออกจากใบขี้เหล็กที่เวลาต่างๆ กัน

5.2) ผลของอุณหภูมิกับการดูดซับของเยื่อแผ่นกับสารละลาย

การแยกสารโดยใช้เยื่อแผ่นซิลิโคนในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันนั้น มีความสัมพันธ์กับค่าการดูดซับของเยื่อแผ่นซิลิโคนกับสารละลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น 1)คุณสมบัติของตัวถูกละลายที่มีผลต่อโครงสร้างโพลิเมอร์ของเยื่อแผ่น 2)แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับเยื่อแผ่น โดยตัวทำละลายที่มีแรงกระทำกับโพลีเมอร์สูงกว่าจะถูกดูดซับในโพลีเมอร์ได้ดีกว่า 3)ความเป็นขั้วของสารละลาย และ 4)กลุ่มโครงสร้างไฮโดรเจน โดยทั่วไปเยื่อแผ่นสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ เยื่อแผ่นไฮโดรโฟบิค (Hydrophobic Membrane) และ เยื่อแผ่นไฮโดรฟิลลิค (Hydrophilic Membrane) ชนิดแรกนั้นเป็นเยื่อแผ่นที่มีการดูดซับสารที่ไม่มีขั้วได้ดี ส่วนชนิดที่สองเป็นเยื่อแผ่นที่มีการดูดซับสารละลายที่มีขั้วได้ดีเช่น น้ำ สำหรับในการทดลองนี้เราใช้เยื่อแผ่นซิลิโคน ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของเยื่อแผ่นไฮโดรโฟบิคเป็นเยื่อแผ่นที่ดูดซับสารไม่มีขั้วได้ดี จากรูปที่ 5.5 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การดูดซับของเยื่อแผ่นกับค่าอุณหภูมิ พบว่า เปอร์เซนต์การดูดซับของเยื่อแผ่นซิลิโคนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการพองตัวของเยื่อแผ่นซิลิโคนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะมีแรงกระทำต่อโซ่โพลิเมอร์สูง ส่งผลให้โพลิเมอร์เกิดการพองตัวได้มากขึ้น



รูปที่ 5.5 แสดงการดูดซับสารละลายของเยื่อแผ่นซิลิโคนที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

5.3) ผลของอุณหภูมิและความดันต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารละลายด้านเพอร์มิเอท พบว่าสารละลายประกอบด้วยเอธานอล น้ำและสารบาราคอล โดยมีปริมาณของเอธานอลและน้ำเป็นส่วนใหญ่ สำหรับสารบาราคอลมีปริมาณน้อยมากดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความเข้มข้นของสารบาราคอลในเพอร์มิเอท

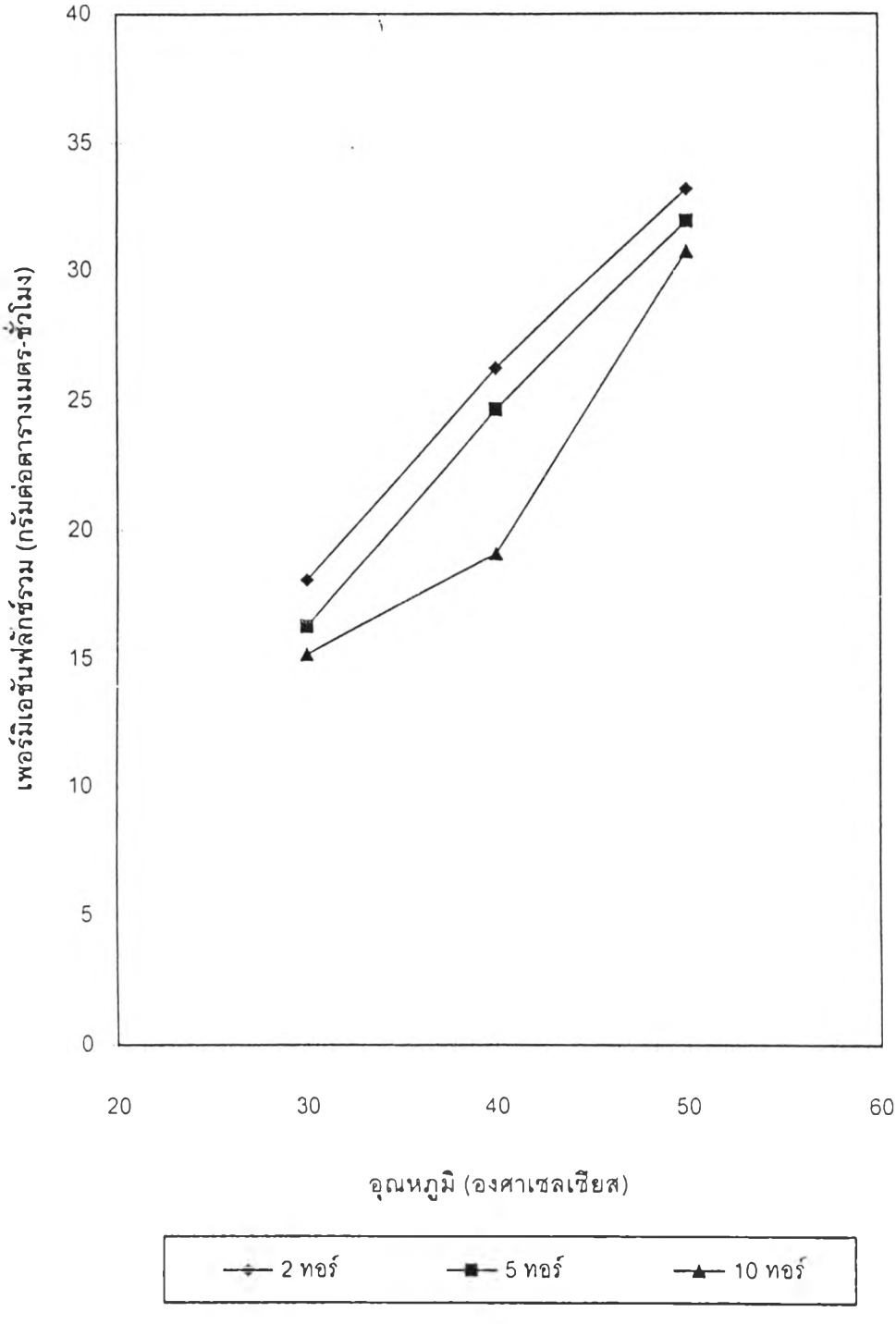
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของสารบาราคอล (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ความดันเพอร์มิเอท		
	2 ทอร์	5 ทอร์	10 ทอร์
30	0.037	0.034	0.032
40	0.040	0.037	0.036
50	0.042	0.038	0.039

การแยกสารโดยใช้เยื่อแผ่น หากทำการแยกสารเอธานอลและน้ำออกมาจากสายป้อนได้มาก จะทำให้ได้สารละลายบาราคอลเข้มข้นขึ้น ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิสายป้อนเท่ากับ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส และทำการทดลองที่ความดันเพอร์มิเอท 2, 5 และ 10 ทอร์ ผลการทดลองของค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารแสดงในรูปที่ 5.6, 5.7, 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ จากการทดลอง (รูปที่ 5.6) แสดงให้เห็นว่า ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวม (เอธานอล, น้ำและบาราคอล) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสายป้อนเพิ่มขึ้น และที่ทุกค่าอุณหภูมิสายป้อน ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันเพอร์มิเอทลดลง โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.172 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสายป้อน 50 องศาเซลเซียส และความดันเพอร์มิเอท 2 ทอร์ พิจารณาเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอธานอล และเพอร์มิเอทชันฟลักซ์ของน้ำ (รูปที่ 5.7 และ 5.8)

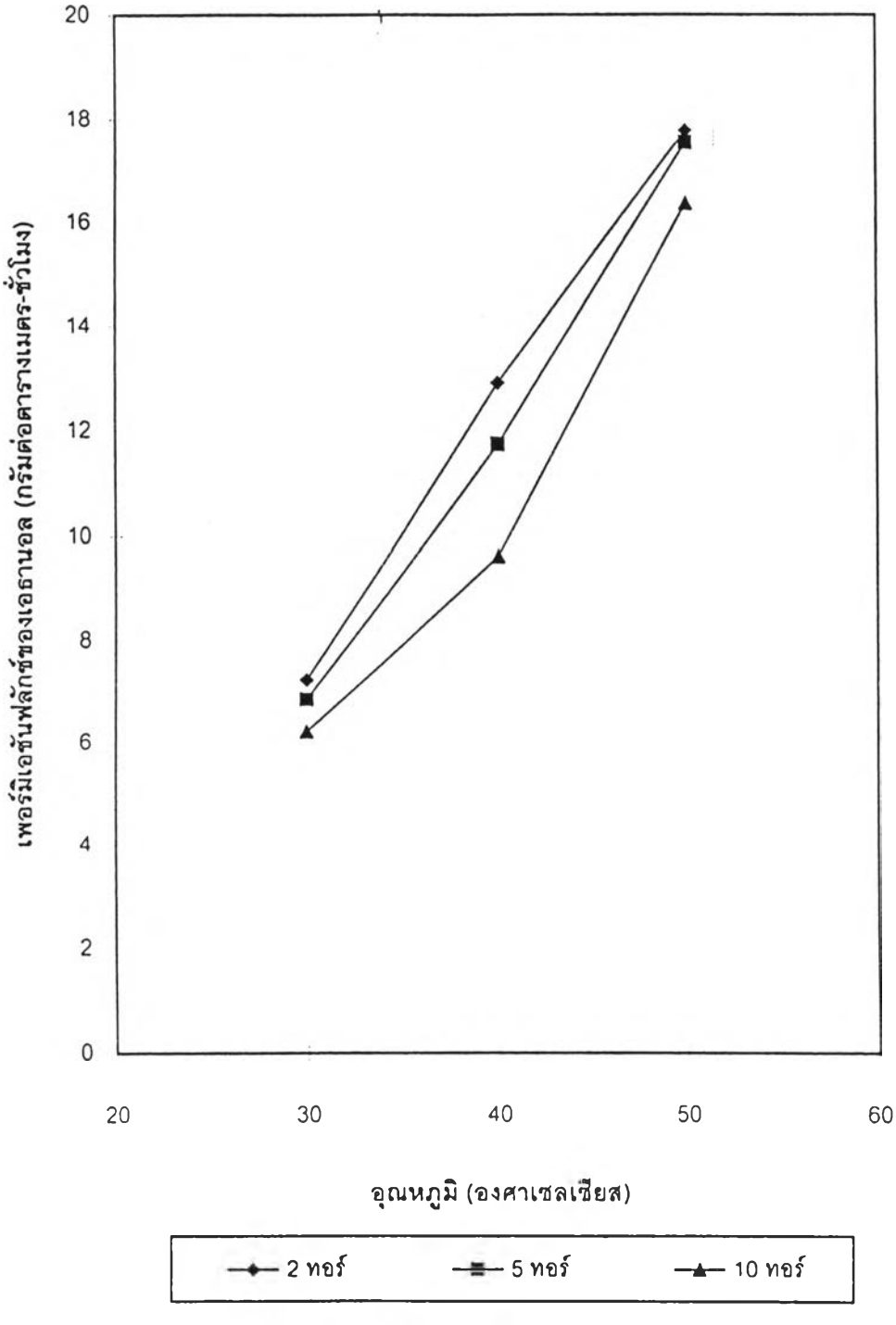
ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอธานอล และค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสายป้อนเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิสายป้อนเดียวกัน ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอธานอลและค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันเพอร์มิเอทลดลง จากการทดลอง (รูปที่ 5.9) เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารบาราคอลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสายป้อนเพิ่มขึ้น โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารบาราคอลมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.59 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง (น้อยมาก)

ปัจจัยที่ทำให้สารบาราคอลเข้มข้นขึ้นคือ จะต้องทำการแยกเอธานอลและน้ำออกมาทางด้านเพอร์มิเอทให้มาก และพยายามอย่าให้สารบาราคอลแยกออกมาทางด้านเพอร์มิเอท จากการทดลองพบว่า เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอธานอลและน้ำ มีค่ามากกว่าเพอร์มิเอทชันฟลักซ์ของบาราคอลหลายเท่า (ประมาณ 11000 เท่า) แสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นซิลิโคนยอมให้สารเอธานอลและน้ำผ่านได้ดีกว่าสารบาราคอล เนื่องจากขนาดโมเลกุลของสารบาราคอลมีขนาดใหญ่ ($C_{13}H_{12}O_4$) การซึมผ่านเยื่อแผ่นจึงไม่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าเยื่อแผ่นซิลิโคนสามารถแยกน้ำออกมาพร้อมกับสารละลายเอธานอลได้เนื่องจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของเอธานอลกับน้ำ ทำให้น้ำถูกแยกออกมาทางด้านเพอร์มิเอทด้วย ผลนี้เรียกว่า Coupling effect

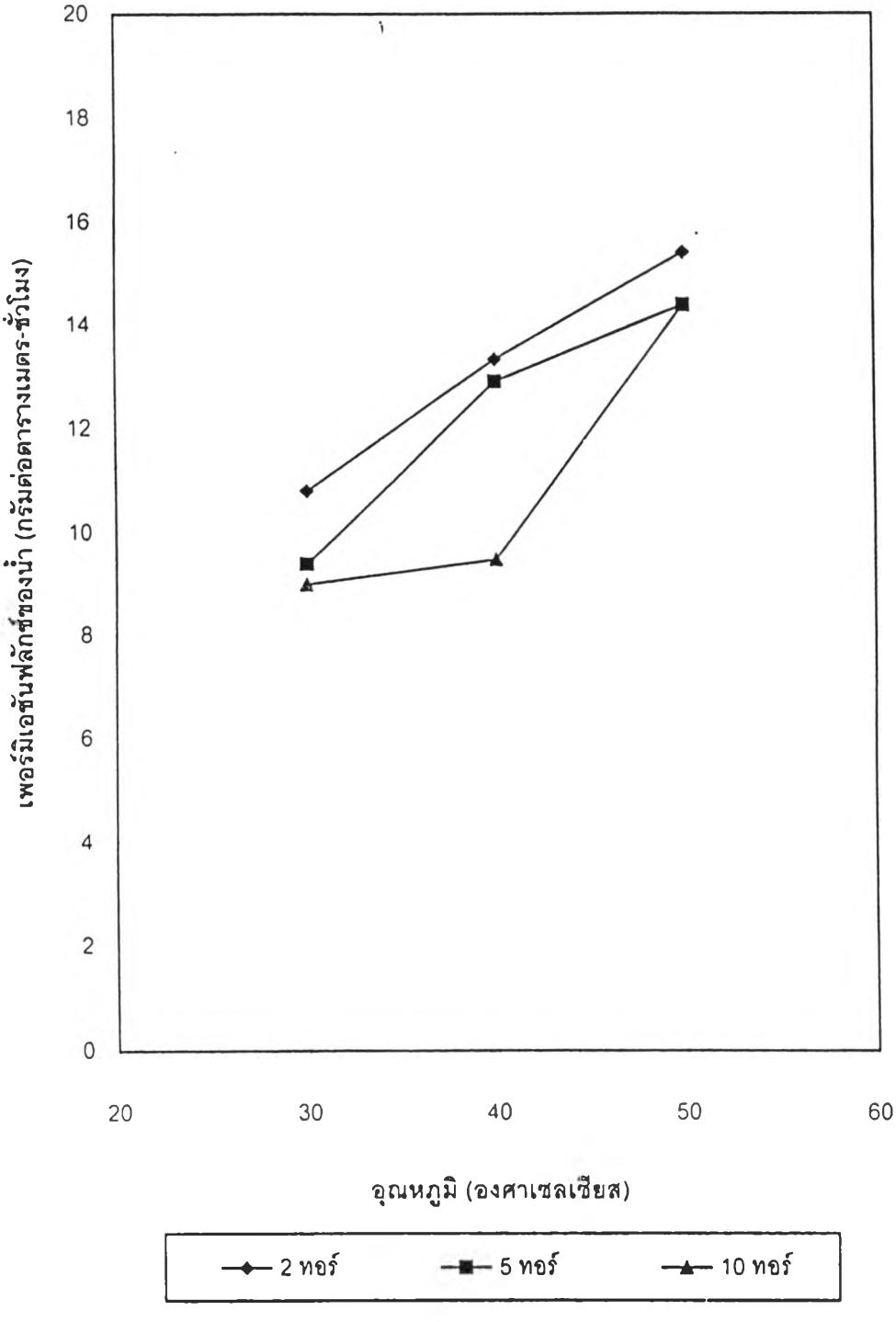
จากผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบเพอร์มิเอทชันฟลักซ์ของเอธานอลและน้ำ พบว่าที่อุณหภูมิสายป้อนต่ำ ฟลักซ์ของเอธานอลต่ำกว่าฟลักซ์ของน้ำ ในขณะที่อุณหภูมิสูง ฟลักซ์ของเอธานอลสูงกว่าฟลักของน้ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ เยื่อแผ่นยอมให้น้ำผ่านในลักษณะเกิดการพองตัวของโซ่โพลิเมอร์ ในขณะที่อุณหภูมิสูง สารละลายเอธานอลมีการระเหยกลายเป็นไอได้ดีกว่าน้ำ ทำให้สรุปได้ว่า สารละลายเอธานอลและน้ำแยกออกมาได้มากที่สุดที่อุณหภูมิสายป้อน 50 องศาเซลเซียส และความดันเพอร์มิเอท 2 ทอร์ เป็นเงื่อนไขที่ดีของการปฏิบัติการของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน ที่จะส่งผลให้สารบาราคอลเข้มข้นขึ้น.



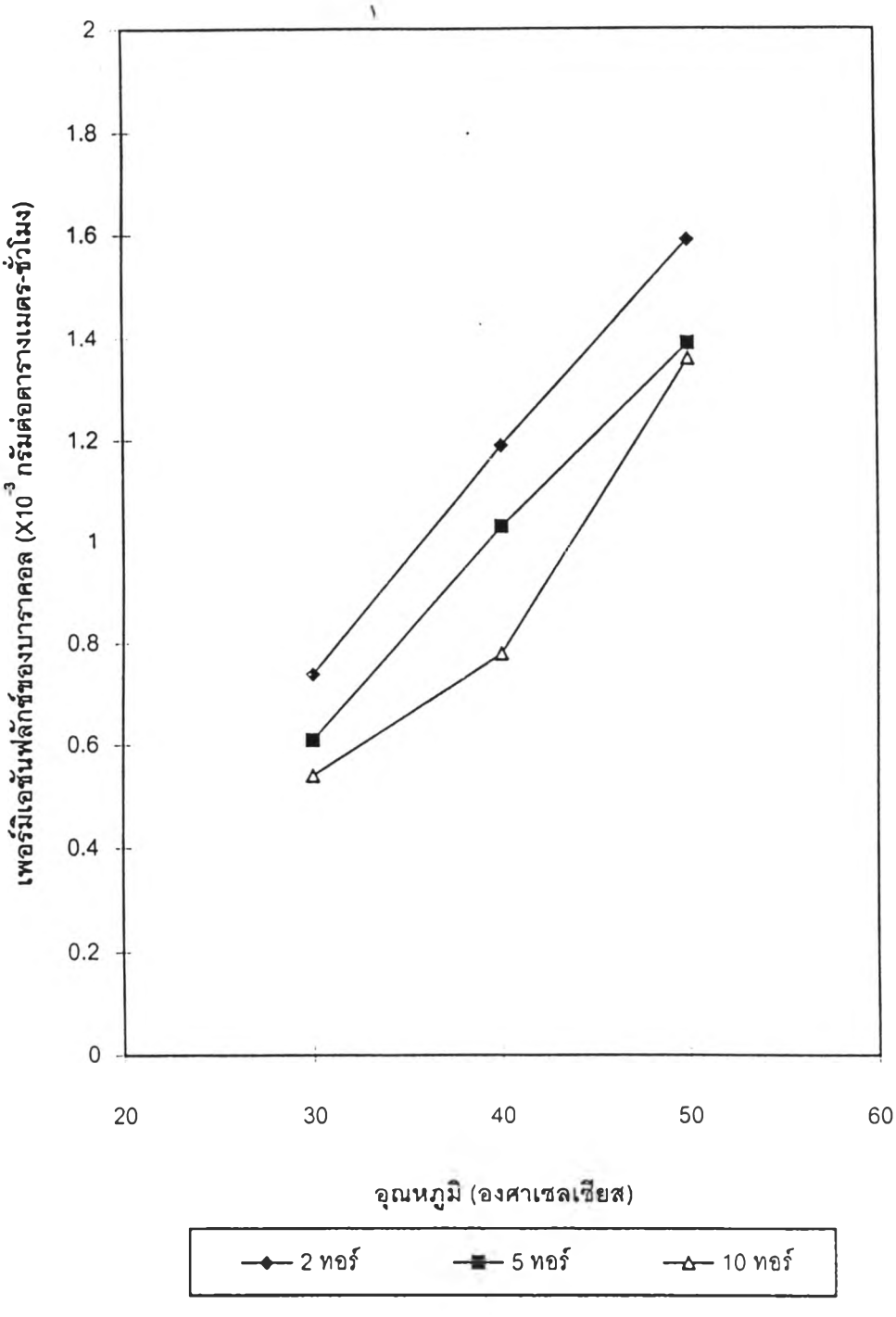
รูปที่ 5.6 แสดงเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5.7 แสดงเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเอธานอลที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5.8 แสดงเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5.9 แสดงเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของบาราคอลที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ กัน

5.4) ผลของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันที่ทำให้สารละลายบาราคอลเข้มข้นขึ้น

จากการทดลองในหัวข้อ 5.3 สารบาราคอลที่ถูกแยกออกมาทางด้านเพอร์มิเอทมีปริมาณน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นซิลิโคนมีการสกัดกั้นการซึมผ่านของสารบาราคอลได้ดีพอสมควร จากการทำสมดุลมวลของเอธานอล ทำให้ทราบว่า สารละลายบาราคอลเข้มข้นขึ้นเป็นผลมาจากการระเหยการระเหยของเอธานอลในสาย Retentate ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงการระเหยเป็นไอของเอธานอลในสายขาออก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซนต์ของเอธานอลระเหยที่ความดันเพอร์มิเอท *		
	2 ทอร์	5 ทอร์	10 ทอร์
30	0.22	0.20	0.16
40	1.21	0.95	0.98
50	1.27	1.25	1.20

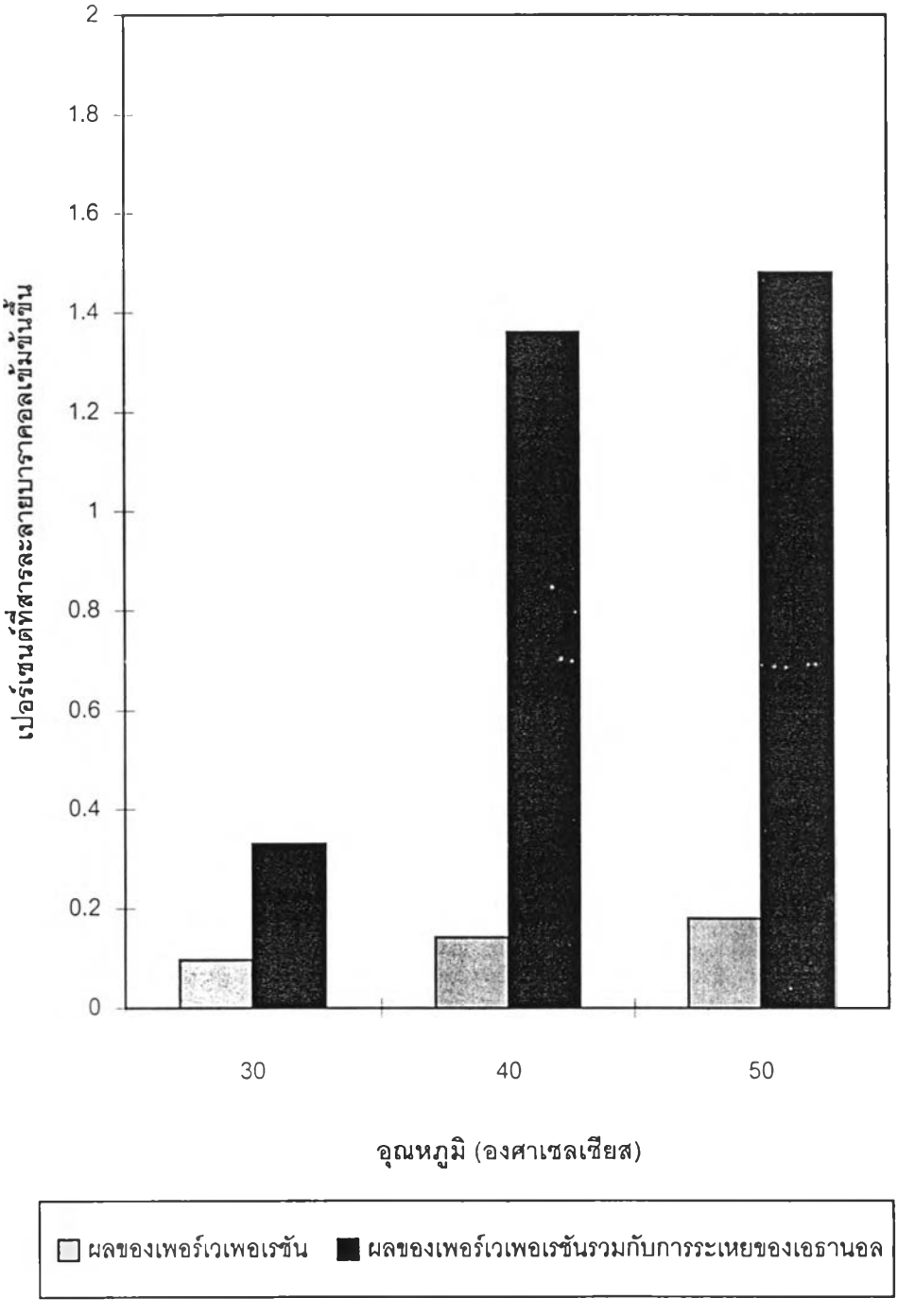
* เปอร์เซนต์ของเอธานอลที่ระเหย =

(ปริมาณเอธานอลที่ระเหย / ปริมาณทั้งหมดในสายป้อน)x 100%

ผลของเอธานอลที่ระเหยออกไปทำให้สารละลายบาราคอลเข้มข้นขึ้นมากกว่าผลจากการกระทำของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันดังแสดงในรูปที่ 5.10 ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่ของเยื่อแผ่นน้อยจึงทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์ต่ำ (โดยตั้งสมมุติฐานว่าสารบาราคอลไม่สลายตัว) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารละลายบาราคอลในสาย Retentate หลังจากการระเหยของเอธานอลแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 5.11 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายบาราคอลที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของสารละลายบาราคอลที่ได้จากการทำสมดุลมวล ผลของการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สารละลายบาราคอลมีการสลายตัว นอกจากนี้ยังพบว่า การสลายตัวของสารละลายบาราคอลขึ้นกับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารละลายบาราคอลก็จะมีการสลายตัวมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.12 แสดงการสลายตัวของสารละลายบาราคอลเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าสารละลายบาราคอลจะสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ถึง 46.3 เปอร์เซนต์ อย่างไรก็ดี การเพิ่มความเข้มข้นของสาร

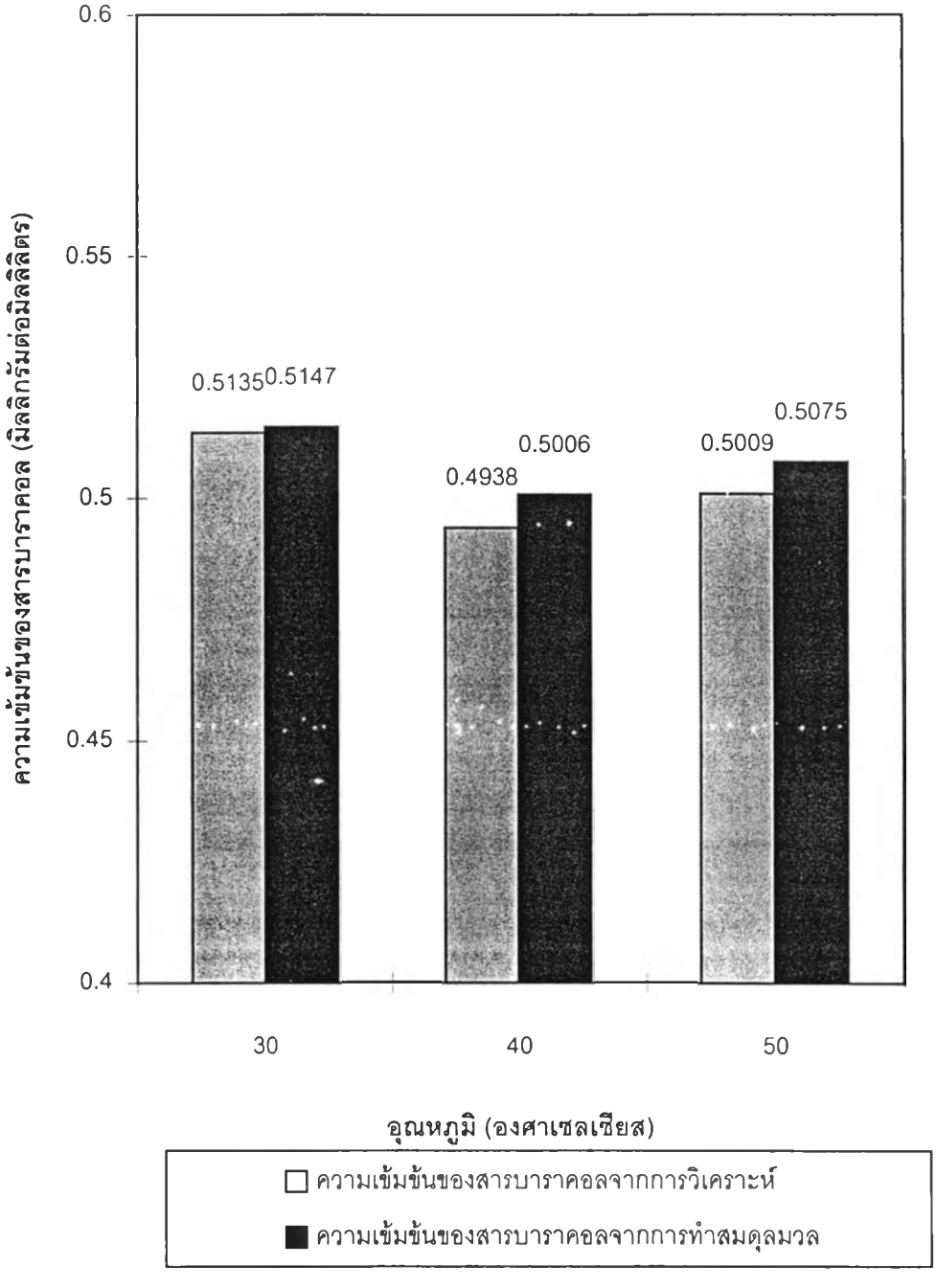
ละลายบาราคอลโดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันไม่ทำให้สารละลายบาราคอลสลายตัวไปมากนัก เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันประมาณ 4 ชั่วโมง ดังนั้นในการทดลองควรใช้อุณหภูมิในสายป้อนไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส และใช้ความดันเพอร์มิเอท 2 ทอร์ เนื่องจากว่ามีเปอร์เซนต์ของการสลายตัวมีค่าน้อย แต่ได้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูง

รองศาสตราจารย์ ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ ได้ทำการศึกษาการสกัดสารบาราคอลจากใบขี้เหล็ก และทำการแยกสารบาราคอลได้ แล้วยังพบว่าสารบาราคอลไม่เสถียรเมื่ออยู่ในสภาพเบสหรืออยู่ในสภาวะที่ขาดน้ำ สารบาราคอล ($C_{13}H_{12}O_4$) จะแตกตัวเป็นแอนไฮโดรบาราคอล ($C_{13}H_{10}O_3$) และน้ำ ในงานวิจัยนี้สารสกัดจากใบขี้เหล็กอยู่ในสภาพกรดอ่อนๆ (pH=5.8) ซึ่งสภาวะเช่นนี้สารบาราคอลยังมีความเสถียร แต่เมื่อนำสารสกัดจากใบขี้เหล็กมาให้ความร้อนเป็นเวลานานแล้วสารบาราคอลจะเกิดการสลายตัวได้

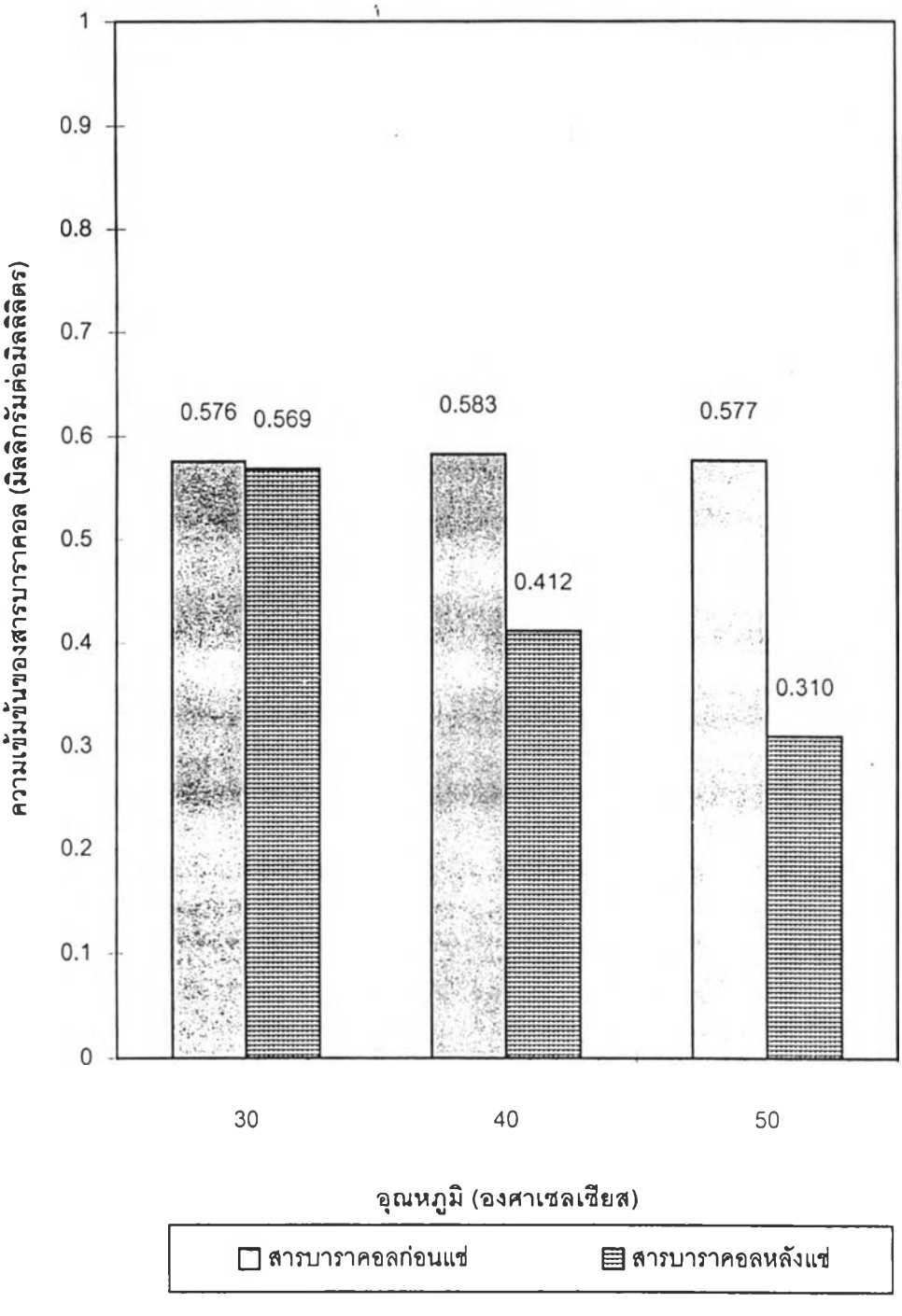


รูปที่ 5.10 แสดงเปอร์เซนต์ของสารละลายบาราคอลที่เข้มข้นขึ้นที่ความดันเพอร์มิเอท 2 ทอร์

(ข้อมูลนี้ได้มาจากการทำสมดุลมวล โดยคิดว่าสารบาราคอลไม่สลายตัว)



รูปที่ 5.11 แสดงความเข้มข้นของสารบาราคอลที่ได้จากการวิเคราะห์และสมดุลมวลที่ความดันเพอร์มิเอท 2 ทอร์



รูปที่ 5.12 แสดงการสลายตัวของสารบาราคอลโดยให้ความร้อน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5.5 ผลของอุณหภูมิและความดันต่อค่าเพอร์มิเอบิลีตีในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

ค่าเพอร์มิเอบิลีตี (Permeability) เป็นตัวแปรที่กำหนดสมรรถภาพของการแยกสารในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน สารที่มีค่าเพอร์มิเอบิลีตีสูงจะสามารถทำการแยกสารได้ดีกว่า ค่าเพอร์มิเอบิลีตีคำนวณโดยอาศัยแบบการจำลองสารละลายและการแพร่ (Solution -Diffusion Model) สมการของการคำนวณค่าเพอร์มิเอบิลีตีเป็นดังนี้

$$J_i = \frac{P_i C_{fi}}{\delta} \qquad (5.1)$$

เมื่อ J_i คือ ค่าฟลักซ์ขององค์ประกอบ i

P_i คือ ค่าเพอร์มิเอบิลีตีขององค์ประกอบ i

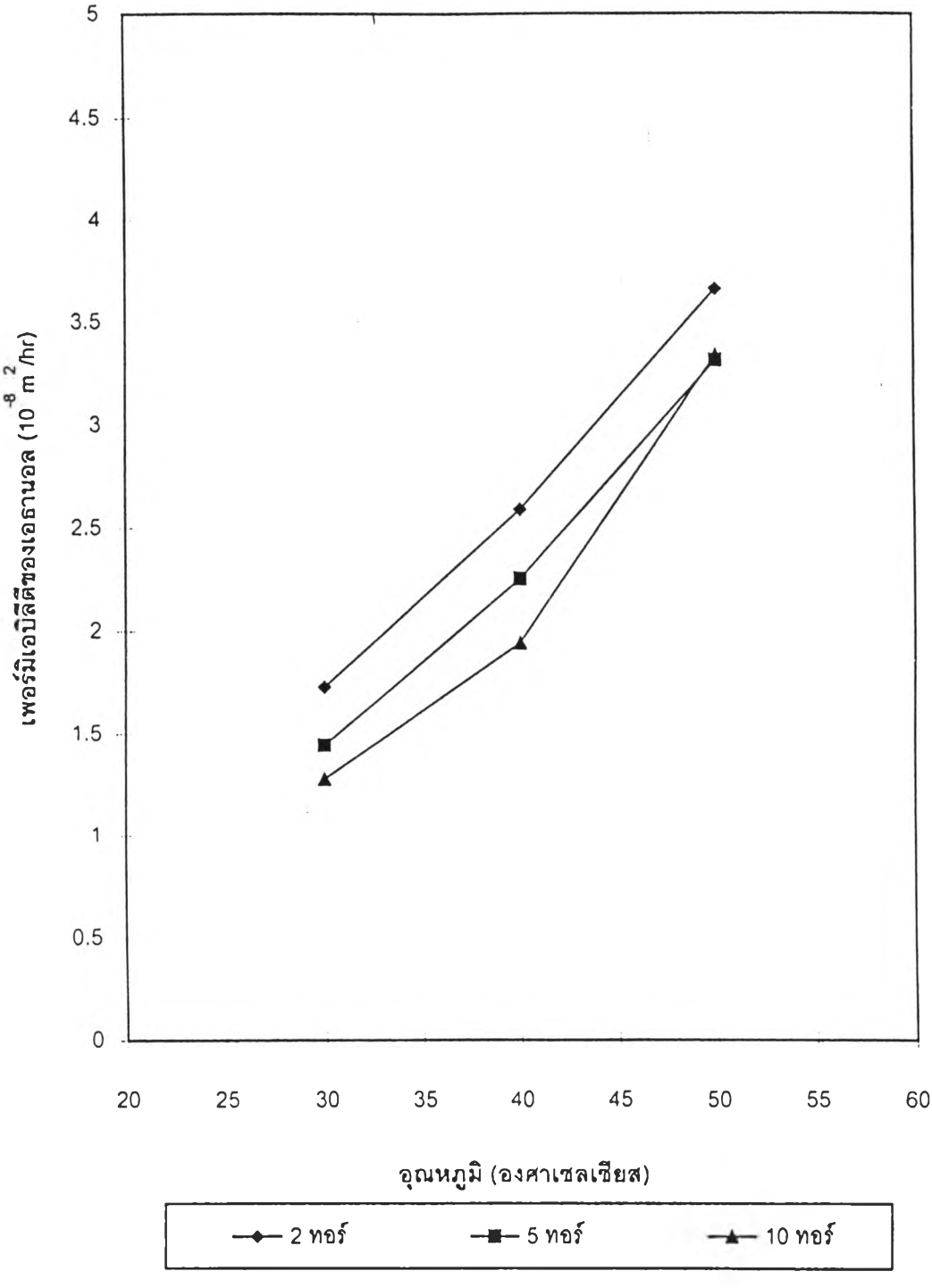
C_{fi} คือ ค่าความเข้มข้นในสายการป้อนขององค์ประกอบ i

δ คือ ค่าความหนาของเยื่อแผ่น

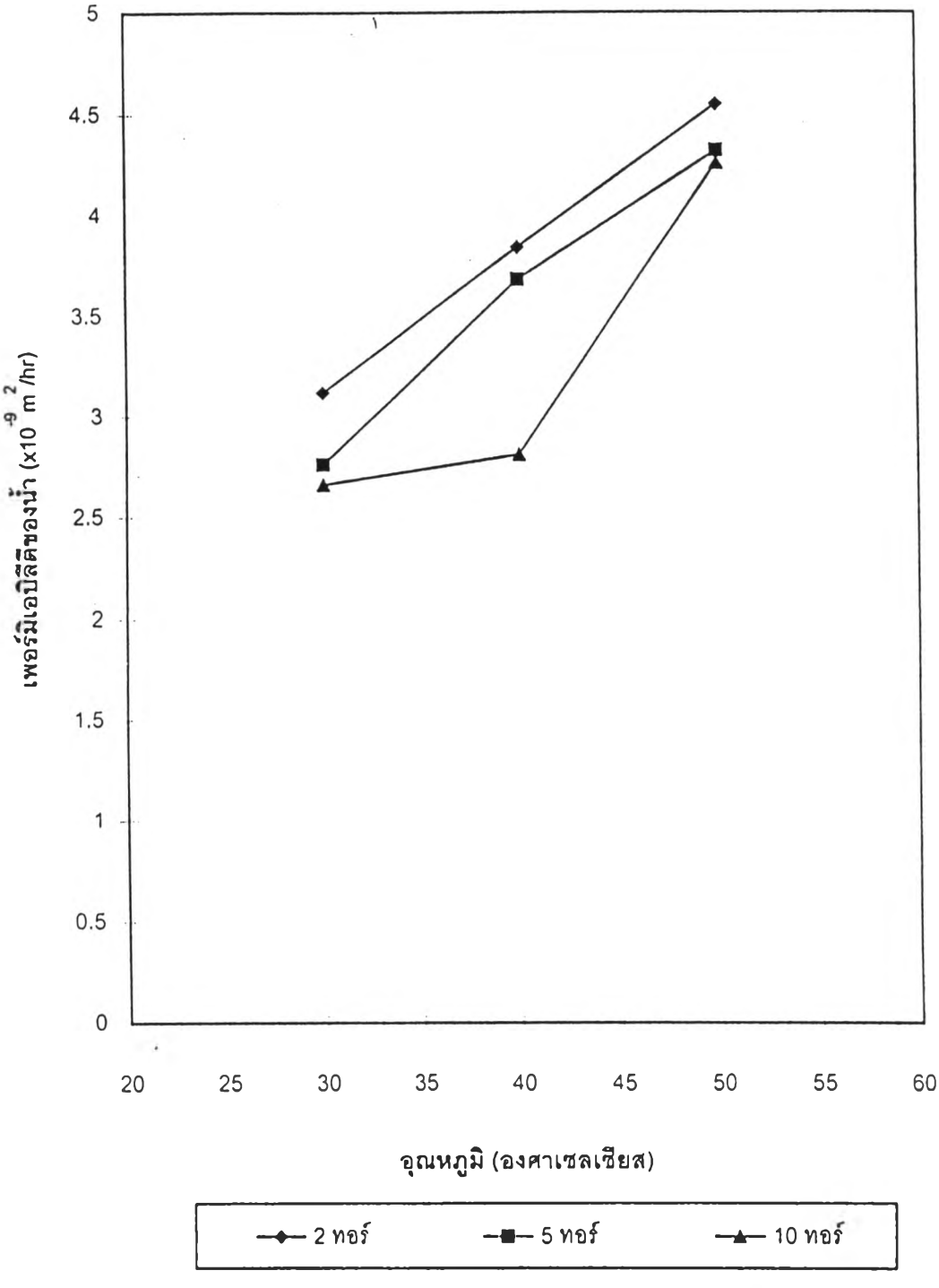
ในการทดลองนี้องค์ประกอบด้านเพอร์มิเอทประกอบด้วยเอธานอล น้ำและสารบาราคอล เพอร์มิเอบิลีตีของสารจึงแสดงได้ 3 สารคือ เพอร์มิเอบิลีตีของเอธานอล น้ำและสารบาราคอล เมื่อนำค่าเพอร์มิเอบิลีตีมาเปรียบเทียบกัน ที่ทุกช่วงอุณหภูมิสายป้อนและความดันเพอร์มิเอท (รูปที่ 5.13, 5.14 และ 5.15) ค่าเพอร์มิเอบิลีตีของเอธานอลมีค่าสูงสุด และค่าเพอร์มิเอบิลีตีของน้ำมีค่าต่ำกว่า ส่วนค่าเพอร์มิเอบิลีตีของสารบาราคอลมีค่าน้อยที่สุด แสดงว่าสมรรถภาพในการแยกสารละลายเอธานอลได้ดีกว่าน้ำ และสารบาราคอล

จากการทดลองค่าเพอร์มิเอทบิลีตีของเอธานอล น้ำ และสารบาราคอล จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าเพอร์มิเอบิลีตีของเอธานอล น้ำ และสารบาราคอลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพอร์มิเอทลดลง ซึ่งเป็นผลในทำนองเดียวกันกับค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารละลาย การเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์มิเอบิลีตีของสาร ทำให้ทราบว่าสมรรถภาพของการแยกสารจะดีเมื่ออุณหภูมิสาย

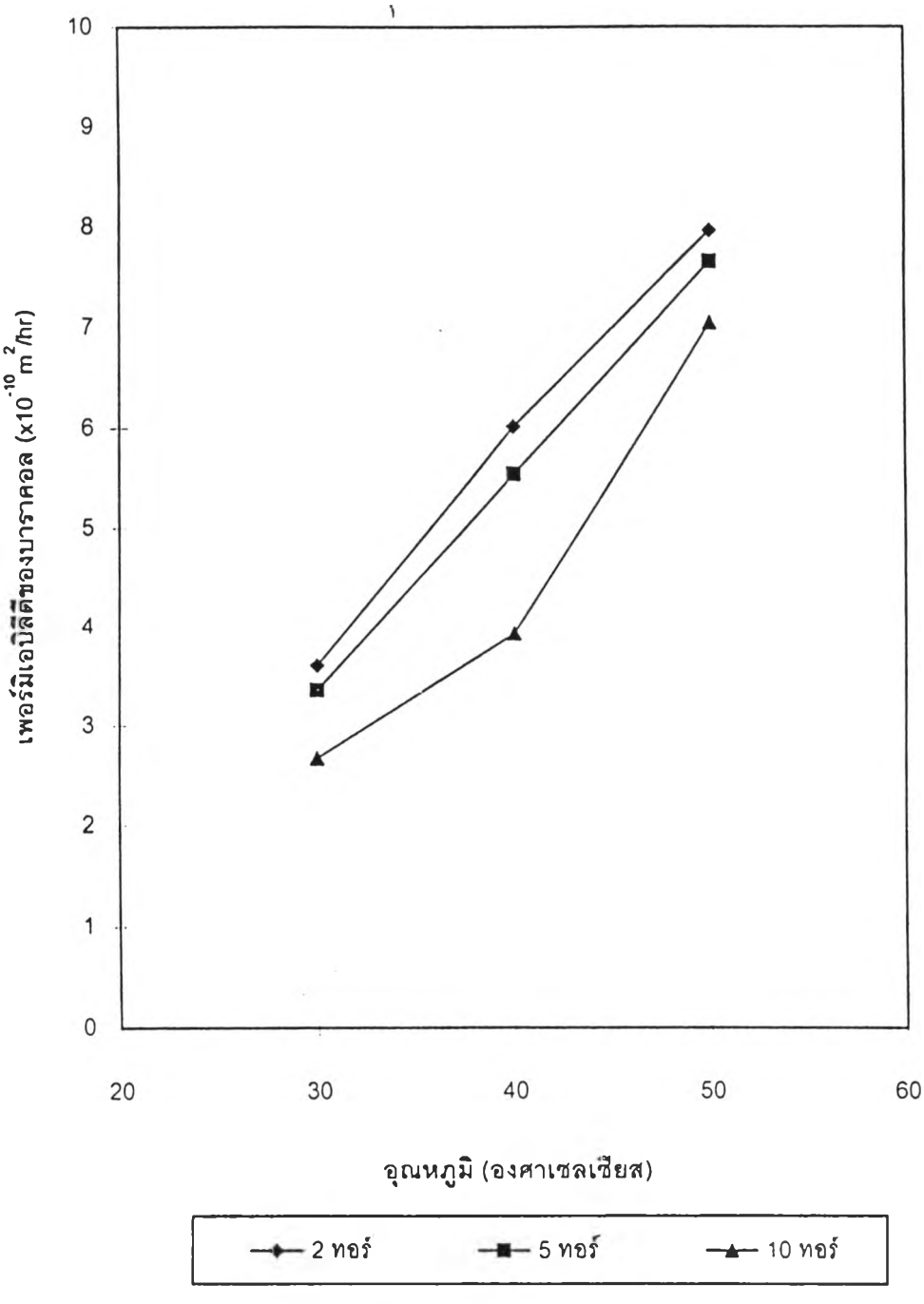
ป้อนเพิ่มขึ้น สรุปผลได้ว่าควรใช้อุณหภูมิสายป้อน 50 องศาเซลเซียสในการปฏิบัติการของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน พิจารณาผลของความดันเพอร์มิเอทที่มีค่าลดลงค่าเพอร์มิเอบิลีตีของสารทั้งหมดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นสมรรถภาพของการแยกสารจะดีเมื่อปฏิบัติการที่ความดันเพอร์มิเอทมีค่าต่ำในการทดลองนี้คือ 2 ทอร์



รูปที่ 5.13 แสดงเพอร์มิเอบิลีตีของเอธานอลที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ กัน



รูปที่ 5.14 แสดงเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ กัน



รูปที่ 5.15 แสดงเพอร์มิเอบิลิตีของบาราคอลที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ กัน

5.6) ผลของอุณหภูมิและความดันต่อการเลือกผ่านของเยื่อแผ่นกับสารในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

ค่าการเลือกผ่านของเยื่อแผ่น (Membrane Selectivity) บอกให้ทราบว่าเยื่อแผ่นเลือกผ่านสารชนิดใดได้ดีกว่ากัน เยื่อแผ่นที่ใช้ในการทดลองเป็นเยื่อแผ่นซิลิโคนชนิดท่อกลวง ซึ่งมีการซึมผ่านของสารไม่มีขั้วได้ดี น้ำจะมีความเป็นขั้วมากกว่าเอธานอล ค่าการเลือกผ่านคำนวณได้จากสมการดังนี้

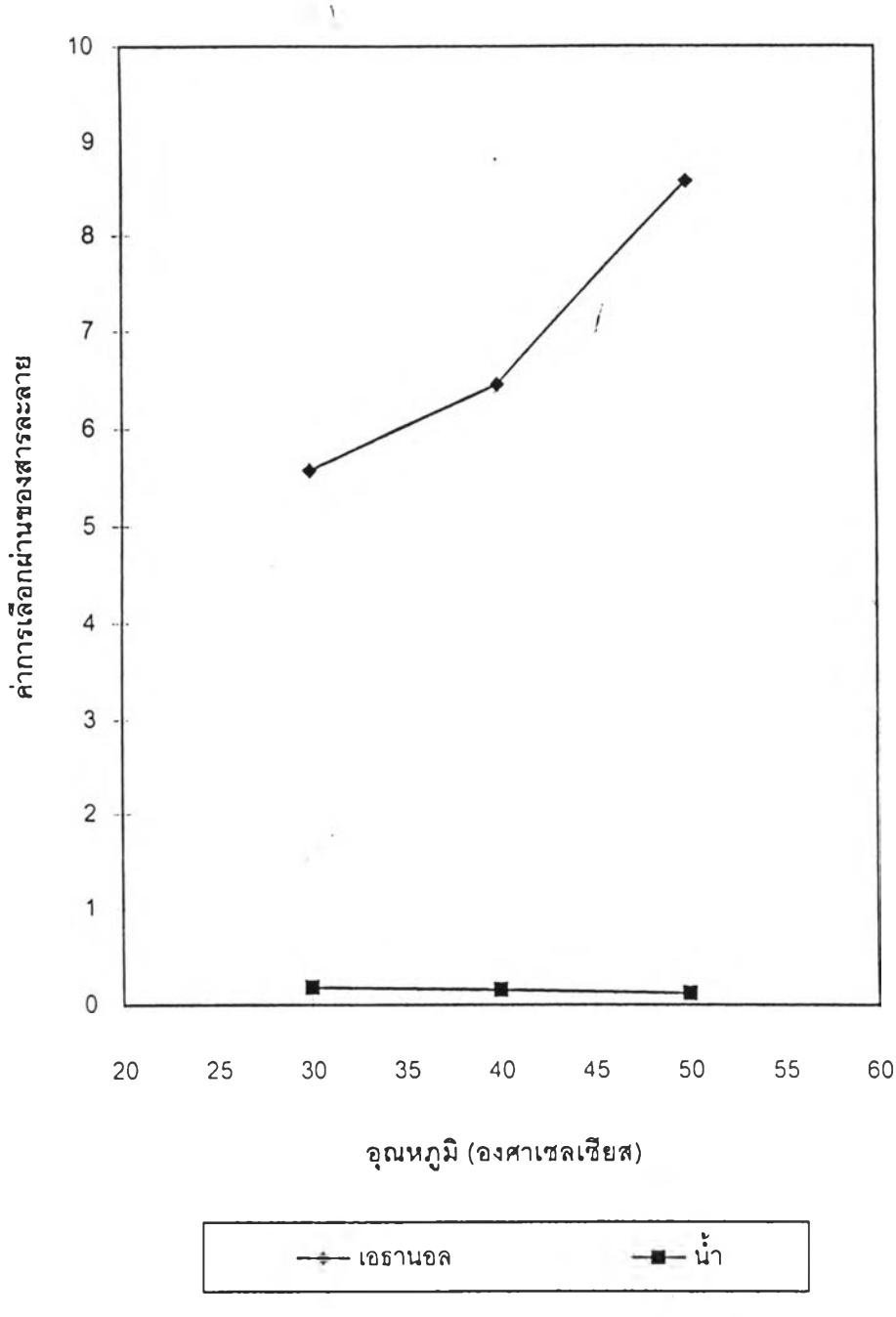
$$\alpha_i = \frac{Y_i / Y_j}{x_i / x_j} \qquad (5.2)$$

เมื่อ α_i คือ ค่าการเลือกขององค์ประกอบ i

y_i , y_j คือ เศษส่วนโดยโมลในเพอร์มิเอทขององค์ประกอบ i, j

x_i , x_j คือ เศษส่วนโดยโมลในสายป้อนขององค์ประกอบ i, j

ค่าการเลือกผ่านเป็นผลมาจากการถ่ายเทมวลสารข้ามเยื่อแผ่น โดยเปรียบเทียบกับด้านสายป้อน การถ่ายเทมวลสารทำให้เกิดการพองตัวของเยื่อแผ่นซิลิโคน ทำให้มีผลต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านของเยื่อแผ่น จากรูป 5.16 ค่าการเลือกผ่านของเอธา นอล มีค่าสูงกว่าค่าการเลือกผ่านของน้ำ แสดงว่าเยื่อแผ่นซิลิโคนมีแนวโน้มการแยกเอธานอลได้ดีกว่าน้ำ แต่ปริมาณเพอร์มิเอทของเอธานอลและน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากมีแรงกระทำกันระหว่างโมเลกุลของเอธานอลและน้ำ พิจารณาผลของอุณหภูมิกับค่าการเลือกผ่านของสาร สำหรับเอธานอลค่าการเลือกผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพราะว่าสารละลายเอธานอลมีการระเหยกลายเป็นไอได้ดีกว่าน้ำ แต่ค่าการเลือกผ่านของน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.16 แสดงค่าการเลือกผ่านของสารละลายกับเยื่อแผ่นที่ความดัน 2 ทอร์

สรุปผลการทดลอง

1.) การสกัดสารบาราคอลออกจากใบขี้เหล็กด้วยตัวทำละลายเอธานอล 15 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ซึ่งเป็นการสกัดแบบชะละลาย ในงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงใบขี้เหล็กแห้งต่อตัวทำละลายคือที่ 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวทำละลายเอธานอล

2.) ขนาดของผงใบขี้เหล็กแห้งที่นำมาทำการสกัดเป็นสารละลายบาราคอลด้วยตัวทำละลายเอธานอล 15 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ขนาดที่เหมาะสมในการสกัดคือ ขนาดของผงใบขี้เหล็กแห้งที่มีขนาดเล็กกว่า 500 ไมโครเมตร

3.) ช่วงเวลาในการสกัดผงใบขี้เหล็กแห้งให้เป็นสารละลายบาราคอลด้วยตัวทำละลายเอธานอล 15 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร โดยใช้ขวดเขย่าได้เวลาที่เหมาะสมคือ 2 ชั่วโมง

4.) ใบขี้เหล็กมีปริมาณของสารบาราคอลคิดเป็นร้อยละ 0.8

5.) เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสายป้อนเพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพอร์มิเอทมีค่าลดลง เงื่อนไขที่ดีของเพอร์มิเอชันฟลักซ์ในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันคือที่อุณหภูมิสายป้อน 50 องศาเซลเซียส และความดันเพอร์มิเอทมีค่า 2 ทอร์ โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเท่ากับ 33.172 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง

6.) ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นซิลิโคนกับสารละลายเอธานอลมีค่าสูงกว่า ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นซิลิโคนกับน้ำ แสดงว่าเยื่อแผ่นมีการแยกสารเอธานอลได้ดีกว่าน้ำ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นฟลักซ์ของเอธานอลมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าการเลือกผ่านของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น พฤติกรรมนี้จะเกิดกับสารที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายกว่า

7.) ค่าเพอร์มิเอบิลีตี (Permeability) ของเอธานอลมีค่าสูงกว่าน้ำและสารบาราคอล ที่ทุกอุณหภูมิสายป้อนและทุกความดันเพอร์มิเอทที่ทำการทดลอง สรุปได้ว่า สมรรถนะของการแยกเอธานอลแยกออกมาได้ดีกว่าน้ำและสารบาราคอล

8.) ในการทำให้สารละลายบาราคอลเข้มข้นขึ้นด้วยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน โดยการแยกเพอร์มิเอทออกและสารบาราคอลสลายตัว รวมทั้งมีการระเหยของเอธานอลในสายรีเทนเตท ทำให้สารบาราคอลเข้มข้นขึ้นได้สูงสุดเท่ากับ 1.32 เปอร์เซนต์ ที่อุณหภูมิปฏิบัติการ 40 องศาเซลเซียส และความดันเพอร์มิเอท 2 ทอร์

9.) สารบาราคอลเกิดการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้สรุปผลการทดลองได้ว่า ควรใช้อุณหภูมิในการปฏิบัติการไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

10.) ผลของการระเหยเป็นไอของสารในด้านรีเทนเตทส่งผลทำให้สารละลายบาราคอลมีความเข้มข้นขึ้นได้อีก.

ข้อเสนอแนะ

1.) ถ้าทำการป้อนสายป้อนในลักษณะไหลวนกลับ (Recycle) โดยมีสายขาออกส่งกลับมายังสายป้อนอีก จะส่งผลให้สารละลายบาราคอลเข้มข้นได้มากกว่า

2.) ถ้าใช้เยื่อแผ่นไฮโดรฟิลิค (Hydrophilic) ซึ่งเป็นเยื่อแผ่นที่ยอมให้น้ำผ่านได้ดี มาทำการแยกน้ำออกจากสายป้อนของการทดลองนี้ จะทำให้สารละลายบาราคอลเข้มข้นขึ้นได้มากกว่า เนื่องจากในสายป้อนมีปริมาณของน้ำถึง 85 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

3.) ถ้าเพิ่มพื้นที่ของเยื่อแผ่นในการถ่ายเทมวลสารแล้วจะทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่แยกออกมาได้มากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้สารบาราคอลเข้มข้นขึ้นได้มากขึ้น.