บทที่ 2

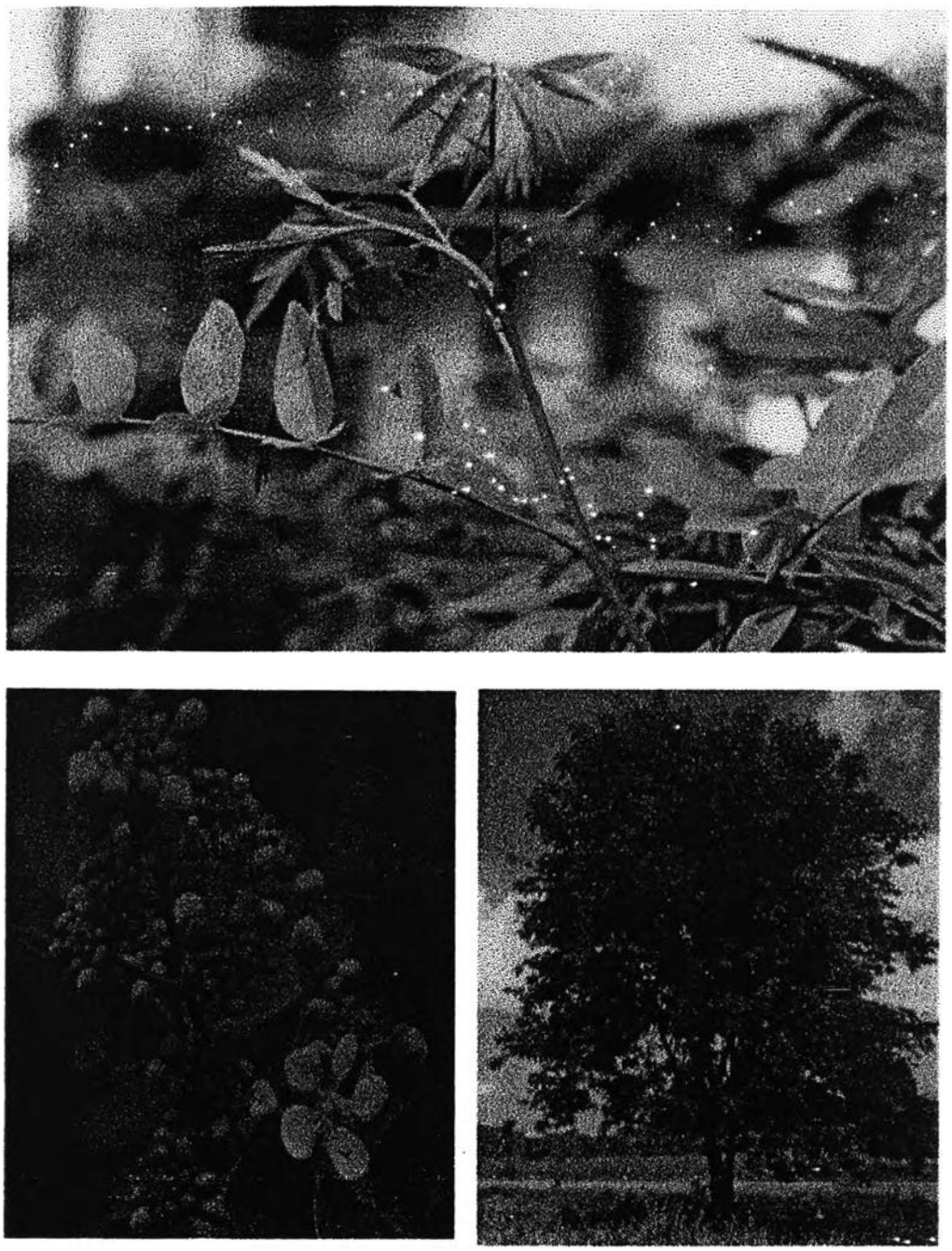
ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของขี้เหล็ก(*Cassia siamea* Britt.)

ขี้เหล็กมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cassia siamea* Britt. เป็นไม้ยืนต้นสูง 10-15 เมตร ใบประกอบเป็นขนนกเรียงสลับ ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีใบย่อย 7-16 คู่ รูปร่างใบเป็นขอบขนาน ปลายมันเรียบ ไม่มีขน ดอกเป็นช่อ ออกดอกที่ปลายกิ่ง ช่อหนึ่งมีมากกว่า 10 ดอก กลีบดอกสีเหลือง ผลเป็นฝักแบนยาวและหนามีสีน้ำตาลคล้ำ(1) ลักษณะของใบและต้นขี้เหล็กแสดงในรูปที่ 2.1

อุไร อรุณรัตน์(2) ศึกษาสารสกัดด้วยแอลกอฮอล์จากใบขี้เหล็กพบว่าฤทธิ์ที่สำคัญที่สุดคือฤทธิ์กดประสาทส่วนกลางซึ่งรวมทั้งสมองและไขสันหลัง สัตว์ทดลองมีอาการซึมเคลื่อนไหวช้า นอนซุกตัวอยู่เฉยโดยไม่หลับ นอกจากนี้ยังได้รายงานการทดลองกับคนพบว่าสามารถลดอาการตื่นเต้นทางประสาท ช่วยให้นอนหลับ สำหรับการทดสอบความเป็นพิษพบว่าเมื่อให้สัตว์ทดลองในปริมาณ 70 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสัตว์ทดลอง ไม่พบอาการรุนแรงนอกจากซึมเซา ส่วนคนเมื่อรับประทาน 12-15 กรัมไม่พบพิษนอกจากง่วงนอน

G.Suwanและคณะ(6) ศึกษาฤทธิ์การลดความดันเลือดของบาราคอลที่สกัดจากใบขี้เหล็กในหนูและแมว พบว่าการให้สารบาราคอลขนาด 0.5-15 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมเข้าทางหลอดเลือดดำมีผลลดความดันเลือดได้ทั้งในหนูและแมว



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะใบและต้นขี้เหล็ก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดำรงศักดิ์ บุญญเลิศ(7) ศึกษาผลของสารบาราคอลที่มีต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยการวัดคลื่นสมอง EEG และจำนวนพลังงานที่เพิ่มขึ้นในหนูขาว พบว่าเมื่อหนูขาวได้รับสารบาราคอล 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หนูขาวจะนอนหลับภายใน 15-20 นาที หลับนาน 1 ชั่วโมง มี EEG pattern และจำนวนพลังงานที่เพิ่มขึ้นเท่ากับหนูขาวที่นอนหลับ ซึ่งการศึกษานี้สนับสนุนการรักษาอาการนอนไม่หลับในคนโดยใช้ใบของต้นขี้เหล็ก

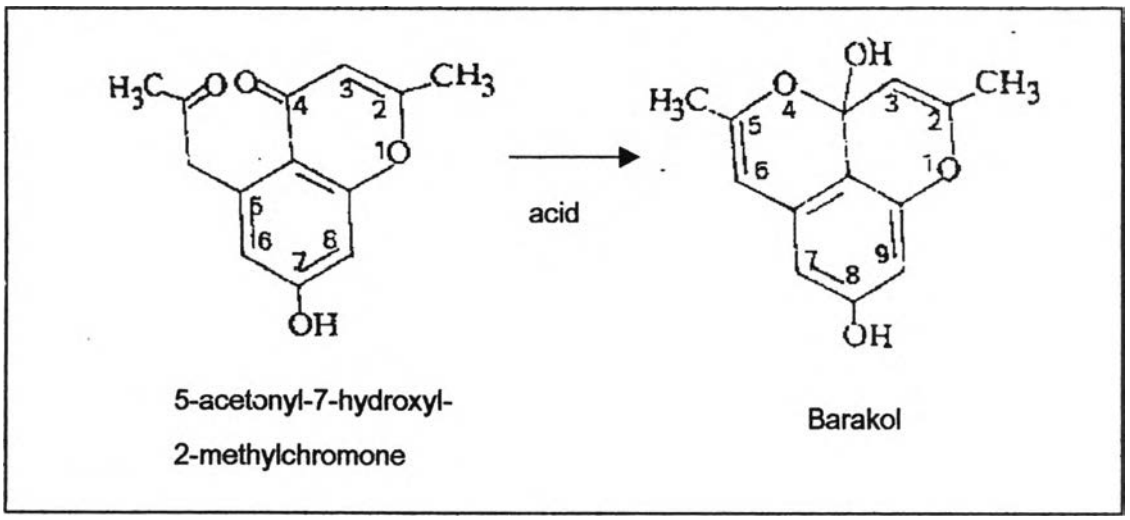
พิกุล จันทรโยธา(8) ศึกษาผลของสารบาราคอลที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสัตว์ทดลอง พบว่าสารบาราคอลสามารถลดพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสัตว์ทดลอง มีแนวโน้มที่จะใช้เป็นยาระงับประสาทและได้มีการทดสอบความเป็นพิษ พบว่ามีพิษน้อยคือมี effective dose ต่ำและ toxic dose สูง

วัชรีวรรณ ทองสะอาด(9) ทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากใบขี้เหล็กต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสัตว์ทดลองและทำการเปรียบเทียบผลของสารสกัดจากขี้เหล็กกับยา diazepam ซึ่งเป็นยาคลายเครียดชนิดหนึ่ง พบว่าสารสกัดจากใบขี้เหล็กมีผลเพิ่มพฤติกรรมการเคลื่อนที่และอาจมีผลคลายความเครียดได้ โดยมีผลคล้ายกับผลของการให้ยา diazepam แต่ไม่ได้มีผลเสริมฤทธิ์ต่อยา diazepam

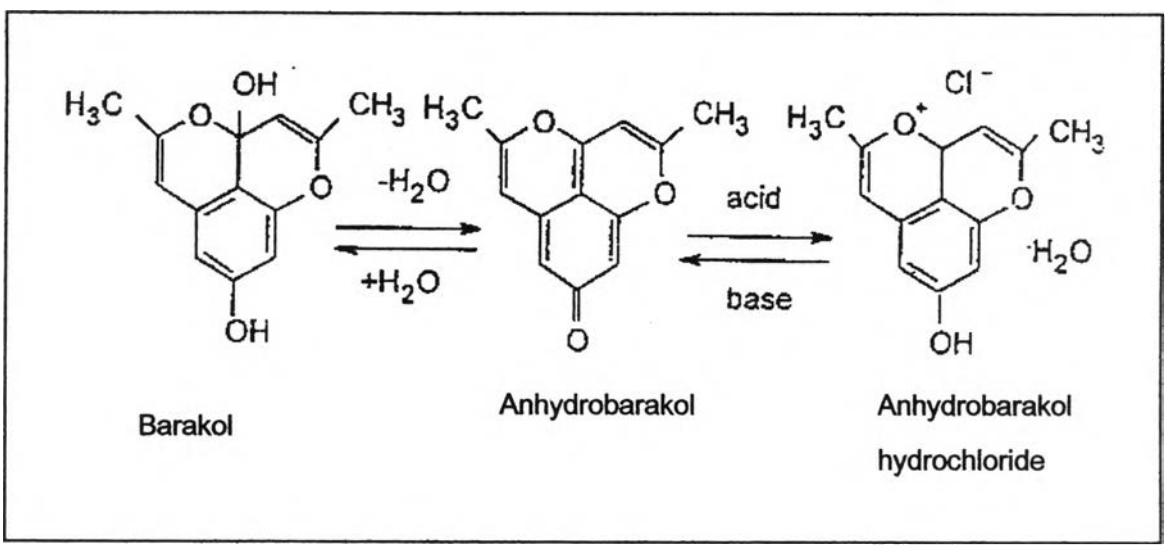
โครโมน(Chromones) เป็นองค์ประกอบหลักที่แยกออกมาได้จากใบขี้เหล็กและโครงสร้างทางเคมีถูกจำแนกโดย Arora ในปี1971 (10) โครโมนชนิดนี้สามารถทำปฏิกิริยากับกรดและเปลี่ยนเป็น 3a,4-dihydro-3a,8-dihydroxy-2,5-dimethyl-1,4-dioxaphenalene ซึ่งเรียกว่าบาราคอล(Barakol) (11) แสดงในรูปที่ 2.2

สารบาราคอล($C_{13}H_{12}O_4$) ไม่เสถียรที่สภาวะปกติโดยการสูญเสียโมเลกุลของน้ำและเปลี่ยนเป็นผลึกสีเขียวเรียกว่าแอนไฮโดรบาราคอล(Anhydrobarakol,$C_{13}H_{10}O_3$) และเมื่อแอนไฮโดรบาราคอลสัมผัสกับน้ำจะเปลี่ยนเป็นบาราคอลซึ่งเป็นตัวที่ออกฤทธิ์ในร่างกาย แอนไฮโดรบาราคอลสามารถ

เปลี่ยนกลับไปเป็นบาราคอลได้โดยง่ายโดยการละลายในสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ การปรับปรุงสภาวะเสถียรของแอนไฮโดรบาราคอลทำโดยการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น(HCl) ลงในสารละลายบาราคอลในเมทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งผลที่ได้คือเกลือของบาราคอลที่ปราศจากน้ำ(anhydronium salt) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (12) คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของสารบาราคอลแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของ 5-acetonyl-7-hydroxyl-2-methylchromone ไปเป็นสารบาราคอลเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด



รูปที่ 2.3 แสดง conversion reaction ของบาราคอล แอนไฮโดรบาราคอลและแอนไฮโดรบาราคอลไฮโดรคลอไรด์

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของสารบาราคอล

	บาราคอล	แอนไฮโดรบาราคอล	แอนไฮโดรบาราคอล ไฮโดรคลอไรด์
สูตรโมเลกุล	$C_{13}H_{12}O_4$	$C_{13}H_{10}O_3$	$C_{13}H_{12}ClO_3$
น้ำหนักโมเลกุล	232	214	251.4
สี	เหลืองแกมเขียว	เขียว	เหลืองอ่อน
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	166-170	163	208-210

ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ(13) ทำการปรับปรุงกระบวนการสกัดบาราคอลจากใบขี้เหล็กสดโดยการสกัดด้วยกรดอะซีติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 และทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น จากวิธีการนี้ได้ค่า yield ของบาราคอลร้อยละ 0.1

กฤษณา เกาะแก้ว (12) สกัดสารบาราคอลจากใบขี้เหล็กสดด้วยกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และตามด้วยปฏิกิริยา alkalinization กับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ซึ่งให้ค่า yield ของบาราคอลร้อยละ 0.3

ภัทรพรรณ ศิริปุณต์(3) สกัดสารแอนไฮโดรบาราคอลจากใบขี้เหล็กโดยใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่าสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตรในน้ำสามารถสกัดแอนไฮโดรบาราคอลได้มากที่สุด โดยที่ในใบอ่อนมีปริมาณแอนไฮโดรบาราคอลสูงกว่าดอกและใบแก่ตามลำดับ

พิชัย ตั้งศรีสำเริง(4) สกัดสารบาราคอลด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตร โดยขวดเขย่าพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือใช้อัตราส่วนผงใบขี้เหล็กแห้ง 10 กรัม ต่อตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร ขนาดผงใบขี้เหล็กที่เหมาะสมคือขนาดเล็กกว่า 500 ไมโครเมตร โดยใช้เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง จากเงื่อนไขข้างต้นพบว่าสารบาราคอลในใบขี้เหล็กมีค่าคิดเป็นร้อยละ 0.8 และบาราคอลเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

กระบวนการแยกสารโดยซึมผ่านเยื่อแผ่นเป็นที่ยอมรับและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการแยกสารในทางวิศวกรรมเคมี มีการใช้อย่างกว้างขวางในการทำให้สารบริสุทธิ์ ทำให้สารเข้มข้นและในการแยกสารออกจากสารละลายผสม กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันเป็นกระบวนการแยกสารโดยซึมผ่านเยื่อแผ่นวิธีหนึ่ง ที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการใช้แยกน้ำออกจากสารผสมอินทรีย์-น้ำ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานต่ำและมีความสามารถในการแยกสูง ในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันมีการถ่ายเทมวลสารจากสายป้อนที่เป็นของเหลวผ่านเยื่อแผ่นพอลิเมอร์ที่ไม่มีรูพรุน

เยื่อแผ่นพอลิเมอร์ที่ใช้สำหรับกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันมีสองประเภทคือพอลิเมอร์คล้ายแก้ว (glassy polymer)และพอลิเมอร์พวกยาง(rubbery,elastomers) พอลิเมอร์คล้ายแก้วมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(glass transition temparature,T_g) สูงกว่าอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิใช้งาน จะยอมให้น้ำผ่านมากกว่าตัวทำละลายอินทรีย์ พอลิเมอร์พวกยางมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน สายโซ่พอลิเมอร์มีกลุ่มข้างเคียง(side group) ขนาดเล็กและไม่มีขั้วเป็นผลให้มีโครงสร้างยืดหยุ่น ทำให้ตัวทำละลายอินทรีย์ผ่านได้มากกว่า (14)

2.2.1 เยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่าน(Hydrophilic membrane)

สำหรับเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านมักเป็นเยื่อแผ่นที่สามารถเกิดแรงกระทำเช่นพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้อย่างแข็งแรง ความแตกต่างของความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดการแยก ได้มีการพัฒนาเยื่อแผ่นจากพอลิเมอร์หลายชนิดเช่น เยื่อแผ่นเซลลูโลสอะซีเตท(Cellulose acetate) blend PAA-nylon6 โพลีเอสเทอซัลโฟน(Polyestersulphone) โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในตารางที่ 2.2 แสดงประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านในการแยกน้ำจากสารละลายแอลกอฮอล์และน้ำ

จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นที่ให้ค่าการเลือกสูงมักจะให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ต่ำ จึงมีความพยายามในการพัฒนาเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านจากพอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆหรือทำการปรับปรุงคุณสมบัติเช่นการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงโครงร่างตาข่าย การปรับปรุงสภาพพื้นผิวเพื่อให้ได้เยื่อแผ่นที่มีทั้งค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์และค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นสูง

มีการศึกษาการใช้เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์สำหรับกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันอย่างแพร่หลาย พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความเป็นขั้วสูงและเป็นพอลิเมอร์ประเภทที่ชอบน้ำ(hydrophilic) เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดไม่สมมาตรสามารถเตรียมได้โดยวิธี phase inversion technique ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นพอลิเมอร์(casting)และการตกตะกอน(precipitation) โดยเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ สามารถเพิ่มคุณสมบัติความคงตัวของเยื่อแผ่นได้โดยการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงโครงร่างตาข่าย(crosslinking)

Kwang-Je Kimและคณะ(15) ศึกษาผลของดีกรีของการเชื่อมโยงโครงร่างตาข่าย (degree of crosslinking) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายผสมเอทานอล-น้ำ ซึ่งมีความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก โดยใช้เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดไม่สมมาตรทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายกับกูลตาลดีไฮด์ จากการศึกษาพบว่า

ตารางที่ 2.2 แสดงผลจากงานวิจัยที่ใช้เยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

เยื่อแผ่น	สายป้อน(A/B)	%โดยมวล(A)	อุณหภูมิ(^{o}c)	ฟลักซ์ (g/m^2 hr.)	ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่น	อ้างอิง
crosslinked PVA +glutaraldehyde	water/ethanol	5	56	60-200	80-200	15
Cellulose acetate	water/ethanol	4.4	20	16	5.9	16
		4.4	55	23	3.0	16
Blend PAA -nylon 6	water/ethanol	20	25	3	33	16
Polyacrylonitrile	water/ethanol	10	70	7	12500	17
Polyacrylamide	water/ethanol	10	70	11	4080	17
Polyhydrazide	water/ethanol	10	70	132	19	17
Polyethersulfone	water/ethanol	10	70	72	52	17
Polyethersulfone	water/isopropanol	1	70	80		18
Chitosan	water/isopropanol	70	30	750	87.4	19
crosslinked PVA +oxalic acid	water/butanol	27.5	40	169	162.14	5
crosslinked PVA +succinic acid	water/butanol	27.5	40	194	248.49	5
crosslinked PVA +glutaric acid	water/butanol	27.5	40	216	331.42	5

เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายมีผลให้ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นและเพอร์มิเอชันฟลักซ์ลดลง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับดีกรีของการพองตัว(degree of swelling)ของน้ำ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันมีความสัมพันธ์กับลักษณะการพองตัวของเยื่อแผ่น ดังนั้นดีกรีของการเชื่อมโยงโครงร่างตาข่ายจึงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการพองตัวของเยื่อแผ่น จากการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการนี้ให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์เท่ากับ 60-200 กรัมต่อตารางเมตรชั่วโมง ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นเท่ากับ 80-200

กมลวรรณ อภิวาณิชย์(5) ปรับปรุงคุณสมบัติของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และสารเชื่อมโยงโครงสร้างเพื่อแยกน้ำออกจากสารผสมน้ำ-บิวทานอล สารเชื่อมโยงโครงสร้างที่ใช้คือกรดออกซาลิก กรดซัคซินิกและกรดกลูตาริก จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้กรดกลูตาริกเป็นสารเชื่อมโยงโดยมีดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย 37.81 เปอร์เซ็นต์ มีค่าฟลักซ์และค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นเท่ากับ 216.35 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง และ 331.42 ตามลำดับ

Juin Yin Lai และคณะ(20) ศึกษากระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายผสมน้ำ-เอทานอลผ่าน Acrylamide plasma graft Polysulfone(Aam-p-PSF) ซึ่งเป็นเยื่อแผ่นโพลิซัลโฟนที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สาร Aam ที่มีค่าไฮโดรฟิลิกซิตีสูง ด้วยวิธีการ Plasma graft polymerization พบว่าค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นดังกล่าวมีค่าสูงกว่าเยื่อแผ่นซนิดโพลิซัลโฟน การเพิ่มเวลาในการทำ Plasma treatment ช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการชอบน้ำของเยื่อแผ่นส่งผลให้ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น

2.2.2 เยื่อแผ่นที่เลือกสารอินทรีย์ผ่าน(Hydrophobic membrane)

สำหรับงานวิจัยที่ใช้เยื่อแผ่นที่เลือกสารอินทรีย์ผ่านมีรายละเอียดดังนี้ Te Hennepe (21) พัฒนาเยื่อแผ่นซิลิโคนโดยเติมซีโอไลท์(zeolite) ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ เพื่อแยกแอลกอฮอล์ออกจากสารละลายแอลกอฮอล์และน้ำ

ฉลองศรี วานิชกร(16) ปรับปรุงคุณสมบัติการแยกเอทานอลจากสารผสมเอทานอล-น้ำของเยื่อแผ่นซิลิโคน โดยเติมผงซิลิกาไลท์(silicalite) ลงในเยื่อแผ่น ปริมาณซิลิกาไลต์ที่เติมตั้งแต่ 10-55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่ 20-60 องศาเซลเซียส โดยสายป้อนมีความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นและฟลักซ์มีค่าสูงขึ้น เยื่อแผ่นยางซิลิโคนที่มีผงซิลิกาไลต์ 50 เปอร์เซ็นต์ให้ผลดีที่สุดโดยมีค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นเท่ากับ 24 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อน 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

พิชัย ตั้งศรีสำเริง(4) ศึกษาการทำให้สารสกัดจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้นโดยใช้กระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน โดยใช้เยื่อแผ่นซิลิโคนแบบท่อมัด อุณหภูมิสายป้อน 30-50 องศาเซลเซียสและความดันเพอร์มิเอต 2-10 ทอร์ เพื่อแยกสารละลายเอทานอลออกจากสารสกัด พบว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 33.172 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและความดันเพอร์มิเอต 2 ทอร์ ค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นมีค่าสูงกว่าค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่น สารละลายบาราคอลสามารถทำให้เข้มข้นได้สูงสุด 1.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ณรงค์ชัย ประภากรวิริยะ(22) ศึกษาการแยกและทำให้ตัวทำละลายเข้มข้นจากของผสม น้ำ-อะซิโตน-บิวทานอล-เอทานอล-กรดอะซีติก-กรดบิวทิริก และน้ำหมักอะซิโตน-บิวทานอล โดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน ด้วยเยื่อแผ่นซิลิโคนแบบท่อมัด ที่อุณหภูมิสารป้อน 40-80 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 2-30 ทอร์ ความหนาของเยื่อแผ่น 0.25-1.0 มิลลิเมตร พบว่าภาวะการ

ดำเนินงานที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิสารป้อน 60 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 2 ทอร์ และความหนาของเยื่อแผ่น 0.25 มิลลิเมตร โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์ ค่าการเลือกบิวทานอลผ่านของเยื่อแผ่นและค่าการเก็บเกี่ยวโดยมวลของบิวทานอลจากของผสม น้ำ-อะซิโตน-บิวทานอล-เอทานอล-กรดอะซีติก-กรดบิวทิริก มีค่า 11.29 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง, 47.26 และ 9.11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ และของน้ำหมักอะซิโตน-บิวทานอลคือ 8.76 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง,43.86 และ 7.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

L. Liang และ E. Ruckenstein(23) ใช้เยื่อแผ่นชนิด Polydimethylsiloxane-Polystyrene interpenetrating polymer network(PDMS-PS IPN) เพื่อแยกเอทานอลออกจากสารละลายเอทานอล-น้ำ ซึ่งเยื่อแผ่นชนิดนี้ให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงกว่าการใช้เยื่อแผ่นชนิด PDMS ผลการสำรวจงานวิจัยที่ใช้เยื่อแผ่นที่ยอมให้สารอินทรีย์ผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงผลจากงานวิจัยที่ใช้เยื่อแผ่นที่ยอมให้สารอินทรีย์ผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

เยื่อแผ่น	สายป้อน(A/B)	%โดยมวล(A)	อุณหภูมิ(^{o}c)	ฟลักซ์ (g/m^2 hr.)	ค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่น	อ้างอิง
PEBA	ethanol/water	1	50	190		14
PDMS	ethanol/water	5	22.5	24		21
		5	30	36		14
		7	60	79		14
Silicone +zeolite(20%)	ethanol/water	5	22.5	29	10.3	21
Silicone +zeolite(60%)	ethanol/water	5	22.5	55	17.2	21
Silicone +silicalite(0%)	ethanol/water	10	20	31	5.95	16
Silicone +silicalite(50%)	ethanol/water	10	20	34	78	16
PDMS-PS IPN support	ethanol/water	10	60	160	5.5	23
Silicone	ethanol/water/ Barakol	15	50	33.17		4
Poly(butadiene)	ethanol/water	50	25	9		24
Methylsilicone	ethanol/water	50	25	145.5		24

2.2.3 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

ตัวแปรในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันที่มีผลต่อค่าฟลักซ์และค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นมีหลายชนิดเช่น อุณหภูมิ ความหนาของเยื่อแผ่น ความเร็วของสายป้อน ความดันทางด้านเพอร์มิเอตและความเข้มข้นของสายป้อน มีงานวิจัยมากมายที่ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 อุณหภูมิ

การดำเนินงานที่อุณหภูมิสูงทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถในการดูดซับและการแพร่ของสารเพิ่มขึ้นตามความสัมพันธ์ของอาร์รีเนียส(Arrhenius-type) (16,25)

$$J_p = J_0 \exp\frac{-E_p}{RT}$$

เมื่อ J_p คือเพอร์มิเอชันฟลักซ์

J_0 คือ Pre-exponential factor

E_p คือพลังงานกระตุ้นปรากฏของการซึมผ่าน

R คือค่าคงที่ของก๊าซ

T คืออุณหภูมิสมบูรณ์

สำหรับผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นเป็นไปได้หลายกรณี โดยทั่วไปค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการพองตัวของเยื่อแผ่นทำให้เกิดช่องว่างมากขึ้น องค์ประกอบที่ถูกดูดซับยากกว่าจะซึมเข้าได้มากขึ้น ค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นจึงลดลง(21,25,26) โดย Te Hennepe และคณะ(21) ศึกษาผลของ

อุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน เพื่อแยกเอทานอลออกจากสารละลายเอทานอล 5.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำ โดยใช้เยื่อแผ่นซิลิโคนที่เติมสารซีโอไลท์ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 22.5 เป็น 50 องศาเซลเซียส ทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์เพิ่มจาก 55 เป็น 182 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง และค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นลดลงจาก 17.2 เป็น 12.1

L. Liang และ E. Ruckenstein(23) ศึกษาการแยกเอทานอลออกจากสารละลายเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำ ในช่วงอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส พบว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากโมเลกุลของสารละลายและโซ่พอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่(mobility)เพิ่มขึ้นและเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำและเอทานอลลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ผลของ coupling effect จึงลดลง ทำให้น้ำเพอร์มิเอตผ่านเยื่อแผ่นน้อยลง ค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นจึงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

2.2.3.2 ความหนาของเยื่อแผ่น(22,24,26)

เยื่อแผ่นสำหรับใช้ในกระบวนการแยกสารมักมีความหนาตั้งแต่ 0.1-15 มิลลิเมตร เยื่อแผ่นควรจะบางมากๆและมีคุณสมบัติเหมาะสมกับสภาวะในการดำเนินงาน อาจจะมีตะแกรงลวด พอลิเมอร์หรือวัสดุเช่นเซรามิก เป็นแผ่นรองรับ(support)เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของเยื่อแผ่น เยื่อแผ่นที่บางจะให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่มีค่าสูงกว่าเยื่อแผ่นที่หนา เนื่องจากความต้านทานในการแพร่ของเยื่อแผ่นต่ำกว่า สารละลายจึงแพร่ออกมาได้มาก การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ของทุกองค์ประกอบในระบบสารผสมมีผลให้ค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นลดลง

2.2.3.3 ความเร็วของสายป้อน

Derek Colman และคณะ(18) ศึกษาการแยกน้ำออกจากไอโซโพรพานอล โดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน ในช่วงความเร็วของสายป้อน 0.1-7.5 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของน้ำ 1-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้โมดูลแบบท่อของเยื่อแผ่นโพลิเอสเทอร์ซัลโฟน ซึ่งเป็นเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่าน พบว่าค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์เป็นฟังก์ชันโดยตรงกับอัตราเร็วและความเข้มข้นของน้ำในสายป้อน การเพิ่มความเร็วของสายป้อนให้อยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนสามารถลดผลของปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพราไรเซชันที่ผิวสัมผัสของเยื่อแผ่น ทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้น

2.2.3.4 ความเข้มข้นของสารป้อน

จากงานวิจัยของ Blume และคณะ(27) T.Masuda และคณะ(26) ฉลองศรี(16) ซึ่งใช้เยื่อแผ่นที่เลือกสารอินทรีย์ผ่านในการแยกเอทานอลออกจากสารละลายผสมเอทานอลและน้ำโดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน พบว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในสายป้อน เนื่องจากปริมาณเอทานอลในเยื่อแผ่นมากขึ้นทำให้เยื่อแผ่นพองตัวมากขึ้น

Juin Yin Lai และคณะ(17) ศึกษาการแยกน้ำออกจากสารละลายน้ำ-เอทานอลโดยใช้เยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่าน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในสายป้อนทำให้ค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์รวมและเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำลดลง เนื่องจากผลพลาสติไซซิงของน้ำลดลง

การพองตัวของเยื่อแผ่นขึ้นกับโครงสร้างของโซ่พอลิเมอร์ พอลิเมอร์ที่มีโครงร่างตาข่ายการขยายตัวของโซ่พอลิเมอร์จะถูกจำกัดโดยจำนวนจุดเชื่อมโยง จึงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง

ความเข้มข้นต่ำกว่า(5) ค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นสามารถอธิบายได้ในเทอมของค่าการแพร่ของสาร(D_i)โดยที่(14)

$$D_i = D_{o,i}\ exp(b.c_i)$$

เมื่อ $D_{o,i}$ คือสัมประสิทธิ์การแพร่เมื่อความเข้มข้นของสารในเยื่อแผ่นเท่ากับศูนย์ (เมื่อเยื่อแผ่นไม่มีการพองตัว)

b คือสัมประสิทธิ์พลาสติไซซิง(Plasticizing coefficient)แสดงผลการพองตัวของเยื่อแผ่นต่อการแพร่

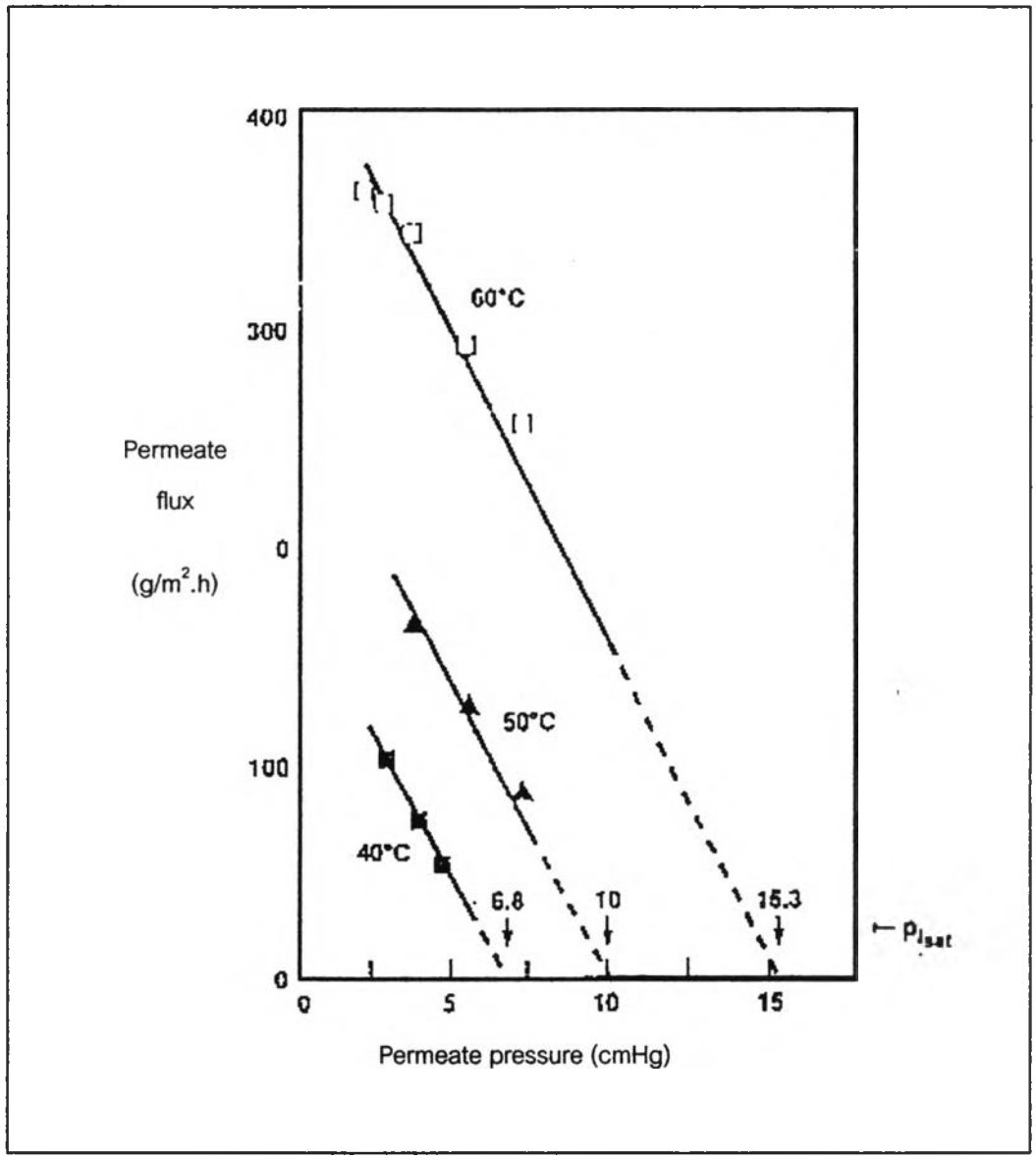
c_i คือความเข้มข้นของสารในเยื่อแผ่น

จากสมการจะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซึมง่ายในเยื่อแผ่นมีค่าสูง ทำให้ค่าการแพร่สูงขึ้น เพอร์มิเอชันฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซึมง่ายที่ด้านเพอร์มิเอตมีค่าสูง เยื่อแผ่นพองตัวมากขึ้น องค์ประกอบที่ถูกดูดซึมยากกว่าจะซึมเข้าได้มากขึ้น ค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นจึงลดลง

2.2.3.5 ความดันทางด้านเพอร์มิเอตและความดันทางด้านสารป้อน

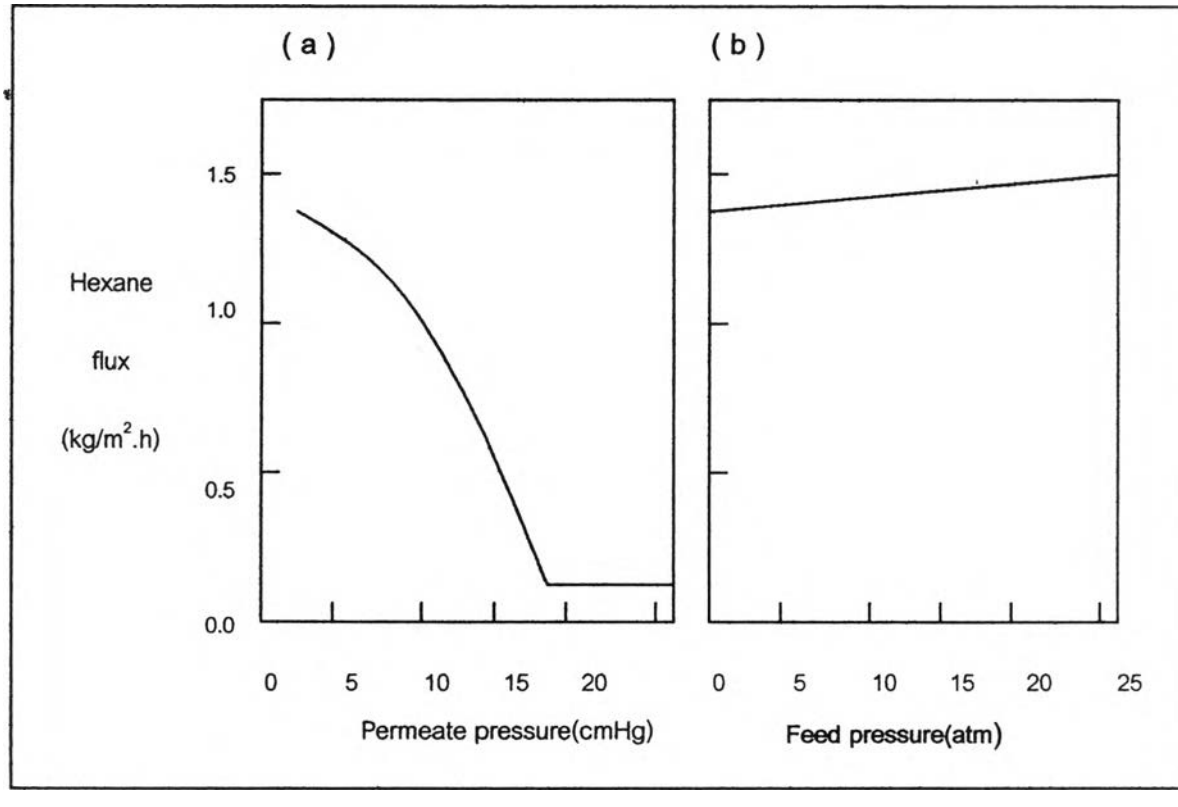
Blume และคณะ(27) ศึกษาการแยกเอทานอลออกจากสารผสมน้ำ-เอทานอลผ่านเยื่อแผ่นชนิด Poly(dimethylsiloxane) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าความดันด้านเพอร์มิเอตมีผลต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์โดยการเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตทำให้ความแตกต่างระหว่างความดันไอในสายป้อนและด้านเพอร์มิเอตซึ่งเป็นแรงขับดันในการถ่ายเทมวลสารลดลง เพอร์มิเอชันฟลักซ์จึงลดลง และเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเป็นศูนย์เมื่อความดันด้านเพอร์มิเอตมีค่าเท่ากับความดันไอในสายป้อน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ J.G.Wijmans และ R.W.Baker(28) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 2.4

จากรูปสังเกตได้ว่าเพอร์มิเอบิลิตีของสารในยางซิลิโคนมีค่าคงที่ซึ่งพบได้ในเยื่อแผ่นที่มีการพองตัวของโซ่พอลิเมอร์ปานกลาง



รูปที่ 2.4 แสดงผลของความดันด้านเพอร์มิเอตต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อแผ่นยางซิลิโคนในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน(28)

Thompson และคณะ(28) ศึกษาผลของความดันด้านสายป้อนและด้านเพอร์มิเอตที่มีผลต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 2.5 จากรูปที่ 2.5(a) แสดงว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงความดันด้านเพอร์มิเอต โดยฟลักซ์มีค่าลดลงเมื่อความดันเพอร์มิเอตเพิ่มขึ้นและมีค่าต่ำสุดเมื่อความดันเพอร์มิเอตมีค่าเท่ากับความดันไออิ่มตัวของสาร ค่าเพอร์มิเอบิลิตีมีค่าลดลงเมื่อลดความดันด้านเพอร์มิเอตซึ่งพบได้ในกรณีที่พอลิเมอร์มีการพองตัวสูง จากรูป 2.5(b) แสดงผลของความดันด้านสายป้อนต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ โดยเพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มความดันของสายป้อนจาก 0-20 บรรยากาศ เนื่องจากความดันไอของสารในสายป้อนซึ่งเป็นแรงขับดันให้เกิดการถ่ายเทมวลสารมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเพิ่มความดันในสายป้อน



รูปที่ 2.5 แสดงผลของความดันด้านเพอร์มิเอต(รูป a) และความดันด้านสายป้อน(รูป b) ต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเฮกเซนผ่านเยื่อแผ่นพอลิเมอร์พวกยางในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน(28)