บทที่ 1

บทนำ

กระบวนการขนส่ง (transport process) ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเป็นสิ่งที่น่าสนใจและน่าศึกษามาก เช่นการกรองของเสียในไต การส่งสัญญาณไฟฟ้าไปตามเส้นประสาทภายในร่างกาย เป็นต้น วิธีการศึกษากระบวนการขนส่งภายในร่างกายวิธีหนึ่งก็คือการศึกษาการขนส่งไอออนผ่านแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange membrane) เมื่อนำแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนมากั้นระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเกิดกระบวนการขนส่งและปรากฏการณ์ขนส่ง ซึ่งขึ้นกับความแตกต่างของความเข้มข้น ความดันความต่างศักย์ไฟฟ้า และอุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมกัน ความแตกต่างของสารละลายสองข้างของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนดังกล่าว เป็นแรงผลักดันทำให้เกิดกระบวนการขนส่งและปรากฏการณ์ขนส่ง [1] เช่น ปรากฏการณ์อิเล็กโทรออสโมซีส (electro-osmosis) เกิดจากความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าของสารละลาย ทำให้ไอออนถูกขนส่งไป.กิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในขณะเดียวกันก็มีการขนส่งของมวลของตัวทำละลายไปด้วย ส่วนปรากฏการณ์สตรีมมิงโปเทนเชียล (streaming potential) เกิดจากความแตกต่างของความดัน เมื่อความเข้มข้นทั้งสองข้างของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนคงที่ จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้น ปรากฏการณ์ที่มีการขนส่งของตัวทำละลายด้วยแรงดันภายนอกเรียกว่า "ไฮดรอลิกเปอร์เมียบิลิตี" (hydraulicpermeability) และปรากฏการณ์ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของสารละลายทั้งสองข้างเรียกว่า "ศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อเชิงเทอร์มอล" (thermal membrane potential)

ปรากฏการณ์ขนส่งไอออนผ่านแผ่นเยื่อได้รับความสนใจมานาน เมื่อปี ค.ศ 1935 เทอร์เรลล์ (Tyrrell) [1] ได้ศึกษาศักย์ของแผ่นเยื่อ (membrane potential) ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความดัน และ

ความเข้มข้นของสารละลายที่ถูกกั้นด้วยแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน ต่อมาปี ค.ศ 1956 เขาได้เสนอปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck) [2] ในระบบที่เป็นไอออนล้วน ๆ โดยได้ตั้งสมมติฐานอธิบายถึงการที่เรารู้สึกร้อนและเย็นว่า เกิดเนื่องจากปลายประสาทมีผลของซีเบคคล้าย ๆ กับที่เกิดขึ้นกลับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่เรียกว่า "คู่ควบความร้อน" (thermocouple) ต่อมาในปี ค.ศ 1957 ฮิลล์ (Hills) [3] และ ลักษมีณรัตไนย (Lakashminaratanaiah) ได้รวบรวมเรื่องศักย์ของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนในระบบนอนไอโซเทอร์มอล (nonisothermal) โดยอาศัยทฤษฎีอุณหพลศาสตร์แบบผันกลับไม่ได้ (irreversible thermodynamics) ปี ค.ศ 1958 อิคิดะ (Ikeda) [4] ได้เสนอว่า เมื่อมีความแตกต่างอุณหภูมิของสารละลายที่มีแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนกั้นดังกล่าวจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "ผลกระทบของโซเลต" (Soret effect) โดยอธิบายว่า ศักย์ไฟฟ้าที่เขาวัดได้เป็นศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจาก การเปลี่ยนแปลงศักย์เคมี (chemical potential) รวมกับศักย์ไฟฟ้าของสารละลายและแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน โดยที่เขาเป็นคนแรกที่เรียกศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อเกิดความแตกต่างอุณหภูมินี้ว่า "ศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อเชิงเทอร์มอล" (thermal membrane potential) เขาทำการทดลองโดยใช้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนแบบคอลลอยดัล (colloidal) ซึ่งมีอายุการใช้งานสั้น แต่นิยมใช้ในยุคแรก ๆ ของการศึกษากระบวนการและปรากฏการณ์ขนส่ง [5]

อย่างไรก็ดี ทฤษฎีของ ฮิลล์ ยังไม่สามารถทำนายค่าศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อเชิงเทอร์มอลได้ถูกต้องตรงตามผลการทดลอง จวบจนในปี ค.ศ 1965 ทาซากะ (Tasaka) [6] ได้เสนอทฤษฎีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ศักย์ของแผ่นเยื่อในระบบนอนไอโซเทอร์มอล โดยนำทฤษฎีอุณหพลศาสตร์แบบผันกลับไม่ได้มาประยุกต์ใช้ และมีเงื่อนไขเริ่มต้นแตกต่างจากทฤษฎีก่อน ๆ เขาได้ทำการทดลองยืนยันทฤษฎีของเขาโดยใช้สารละลายโปรตัสเซียมคลอไรด์ (KCl) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับที่เขาทำนายจากทฤษฎี ซึ่งผลการทดลองของเขาสอดคล้องกับของเทอร์เรลล์ ซึ่งใช้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแถบยาว ๆ ขนาด 160 ตารางเซนติเมตร แต่ขัดกับของ อิคิดะ ซึ่งใช้แผ่นเยื่อรูปร่างต่างออกไปคือเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็ก ๆ ในเวลาต่อ ๆ มาก็มีการศึกษาและพัฒนามา

เรื่อยจนถึงปัจจุบัน ในปี ค.ศ 1983 จันทร์ฉาย จงตระการสมบัติ และพิทูร ตรีวิจิตรเกษม ได้ทำการทดลองโดยพัฒนาวิธีการทดลองให้สะดวกและประหยัด เขาได้ทำการทดลองในเกลือโปรตัสเซียมคลอไรด์ (KCl) และเกลือลิเธียมคลอไรด์ (LiCl) พบว่าได้ผลตามทฤษฎีของ ทาชากะ แต่ปัญหาของ ระบบการวัดแบบนี้ก็มีคือ ขั้วไฟฟ้าเงิน-เงินคลอไรด์ที่ใช้ในระบบของเขาร้อนตามอุณหภูมิค่าที่ได้จึงไม่เป็นค่าที่ต้องการ

การวิจัยนี้มุ่งศึกษา ศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อเชิงเทอร์มอลคร่อมแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนบวกในสารละลายเกลือคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน และออกแบบอุปกรณ์ปรับปรุงวิธีการวัดให้สะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยการสร้างเครื่องแปลงสัญญาณไฟฟ้าเชิงอุปมาน (analog) เป็นดิจิตอล (digital) เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งสร้างเครื่องควบคุมการทดลอง และนำผลการทดลองที่ได้ มาศึกษาเปรียบเทียบกับทฤษฎีอุณหพลศาสตร์แบบผันกลับไม่ได้

จากการทดลองพบว่า ศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อเชิงเทอร์มอลที่เกิดขึ้นคร่อมแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับความแตกต่างของอุณหภูมิ อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์กับความแตกต่างของอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับค่าลอกการิธึมของแอคติวิตี (activity) ซึ่งค่าความชันที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีจะกล่าวโดยละเอียดใน บทที่ 5 ต่อไป