# เอกสารอ้างอิง


Andreson, I.L. Thesis. Division of Physical Chemistry, The University of Trondheim, Norway, 1973.

Brun, T.S. "Streaming Potential" Årbok Univ. i Bergen, Natur V. r. Nr. 8 (1957)

Brun, T.S. and Vaula, D. "Correlation of measurements of Electro-osmosis and Streaming Potential in Ion-Exchanger membranes" Ber. Bunsenges, Physik. chem. 71(1967):824.

Caplan, S.R. and Mikulecky, D.C. Ion Exchange (Marinsky, J.A. ed.) Marcel Dekker, Inc., New York, 1966.

Caplan, S.R. and Sollner, K.J. Colloid Interface Sci. 46(1974b):67

Carr, C.W., McClintock, R. and Sollner, K. "Matrix Mambrane of graded porosity" J. Electro Chem. Soc. 109 (1962):251.

DeGroot, S.R. and Mazur, P. Non-Equilibrium Thermodynamics North-Holland, Amsterdam. 1962.

Forland, T. and Ostvold, T. "The biological membrane potential" J. Membrane Biol. 16(1974b):101.

Forland, T. and Thulin, L.U. "The Potential across a membrane" Acta chem. Scand. 22(1968):3023.

Graydon, W.F. and Stewart, R.J. "Ion Exchange membrane I. Membrane potential" J. Phy. Chem. 59(1955):86.

Gregor, H.P. and Gregor, C.D. "Synthetic-Membrane Technology" Scientific American 239(1978):88.

Haase, R. Thermodynamics of Irreversible Processes Addison-Wesley Publ., London, 1969.

Hills, G.J., Jacobs, P.W.M. and Lakshminarayanaiah, N. Membrane potential, I. Proc. Roy. Soc. (London) A 262 (1961):246.

Helfferich, F. Ion exchange McGraw-Hill, New York, 1962.

Hodgman, C.D. ed. Handbook of Chemistry and Physics 43 rd. ed., Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio, 1961.

Ives, D.J.G. and Janz, G.J. Reference Electrode Academic Press, New York, 1961.

Katchalsky, A. and Curran, P.F. Nonequibrium Thermodynamics in Biophysics Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1965.

Koryta, J. Dvorák, J. and Bohácková, V. Electrochemistry, Methuen & Co., Ltd., London, 1970.

Lakshminarayanaiah, N. "Transport Phenomena in Artificial Membrane" Chem. Rev. 65. (1955):491.

Lakshminarayanaiah, N. "Counter-ion Transference numbers in Ion-exchange Membrane" J. Phy. Chem. 73(1969):97.

Lakshminarayanaiah, N. and Subrahmanyan, V. "Measurement of Membrane Potentials and Test of Theories" J. Poly. Sci. A2 (1964):4491.

Lorimer, J.W., Boterenbrood, E.J. and Hermans, J.J. "Transport Process in Ion-selective Membranes" Discuss. Faraday Soc. 21 (1956):141.

Mackay, D. and Meares, P. "The Electrical conductivity and Electro-osmotic permeability of a cation exchange membrane" Trans. Faraday Soc. 55(1959):1221.

Meyer, K.H., and Sievers, J.F. La perméabilité des membranes. Helv. Chim. Acta. 19 (1936):649.

Onsager, L. "Reciprocal Relations in Irreversible Processes I" Phy. Rev. 37(1931):405.

Onsager, L. "Reciprocal Relations in Irreversible Processes II" Phy. Rev. 38(1931):2265

Prigogine I. "Introduction to the Thermodynamics of Irreversible Processes" Thomas, Springfield, Illinois, 1955

Saxen, U. Ann. Physik 47(1892):46.

Scatchard, G. "Ion-Exchange Electrodes" J. Am. Chem. Soc. 75(1953):2883.

Springler, K.S. "Transport Processes in Ionic membranes" Trans. Faraday Soc. 54 (1958):1408.

Staverman, A.J. "Non-equilibrium Thermodynamics of Membrane Processes" Trans. Faraday. Soc. 48(1967):176.

Stewart, R.J. and Graydon, W.F. "Ion-Exchange Membranes II Ion transfer rates" J. Phy. Chem. 61(1957):146.

Teorell, T. Proc. Soc. Exptl. Bil. 33(1935):282

Tombalakian, A.S., Barton, H.J. and Graydon, W.F. "Electro-osmotic Water Transport across Ion-exchange Membrane Potentials" J. Phy. Chem. 66(1962):1006.

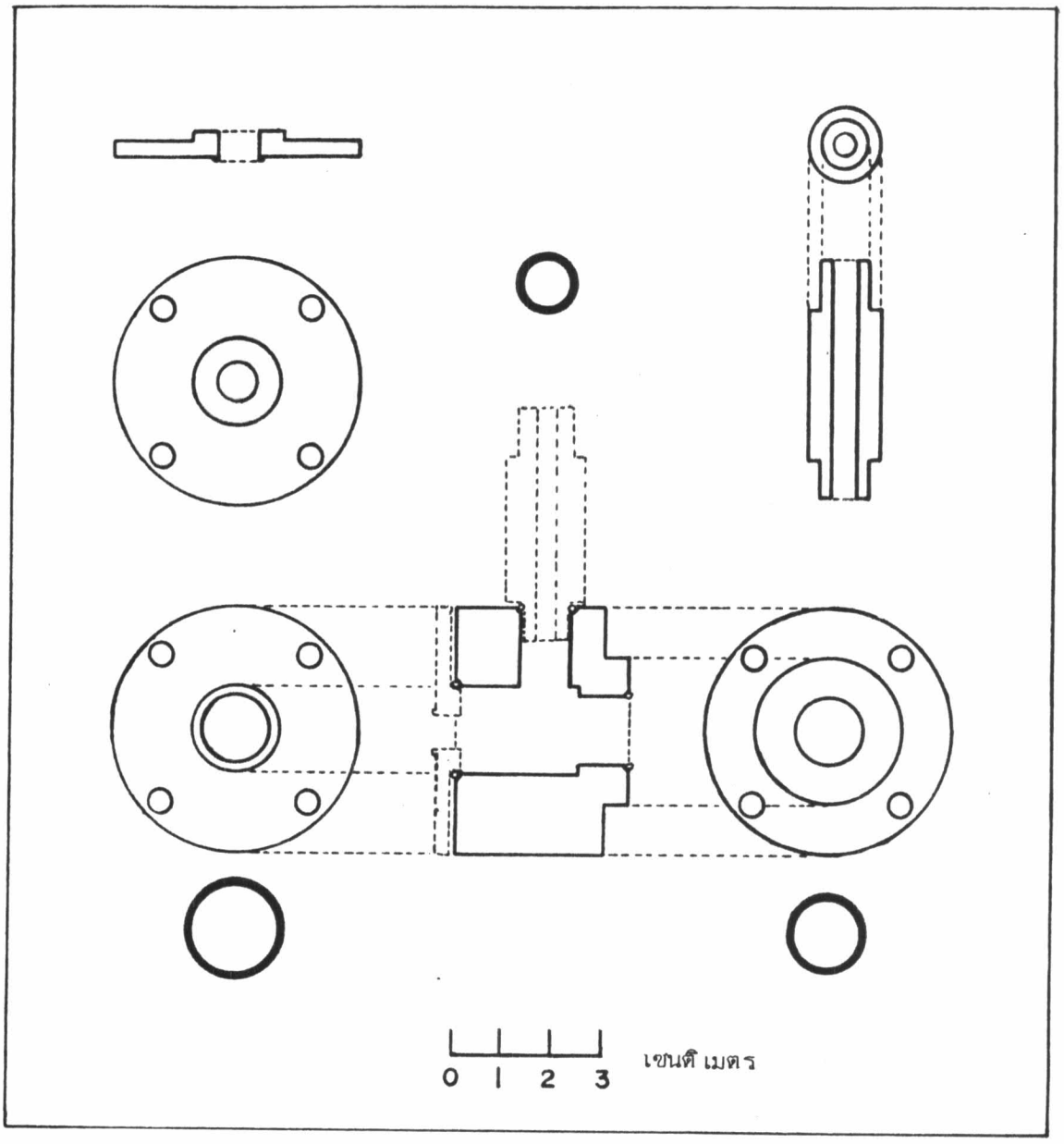
Trivijitkasem, P. "Water Transport in Anion and Cation Exchange Membranes" Thesis, Division of Inorganic Chemistry, The University of Trondheim, Norway, 1976.

Trivijitkasem, P. and Ostvold, T. "Water Transport in Ion Exchange Membranes" Electrochimica Acta 25(1980):171.

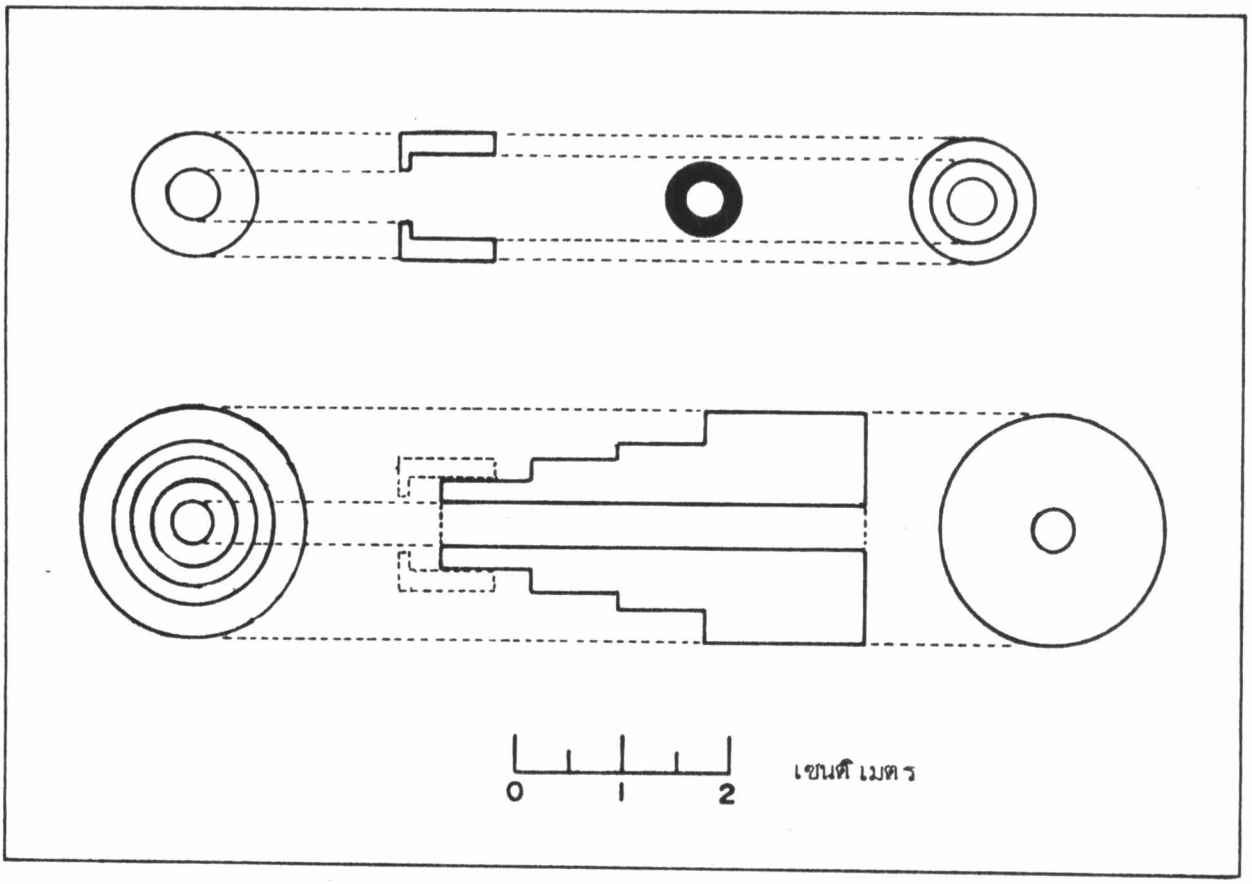
Wiedner, G. and Woermann, D. Ber. Buesenges. Physik. Chem. 79(1975):868.

ภาคผนวก ก.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ ก. 1 แบบเซลล์ที่บรรจุสารละลาย




รูปที่ ก. 2 แบบตัวยึดอิเลกโตรด

# ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข. 1 เกลือที่ใช้ในการทดลอง

| เกลือ | ความบริสุทธิ์ (%) | ผู้ผลิตและที่อยู่ |
|---|---|---|
| LiCl | 99.9 | Millinckrodt St. Louis, Missouri, U.S.A. |
| NaCl | 99.5 | Carlo erba Milano, Italy |
| KCl | 99.5 | BDH Chemical Ltd., Poold, England |
| $MgCl_2\ 6H_2O$ | 99.0 | Rieden De Haën AG, Germany |
| $BaCl_2\ 2H_2O$ | 99.0 | E. Merck , Germany |

ตารางที่ ข.2 แผ่นแลกเปลี่ยนอิออนบวกแบบเอกพันธุ์

| ชนิด | ความจุอิออน (มิลลิสมมูลต่อกรัมของเรซินแห้ง) | ความจุน้ำ (% ของเรซินแห้ง) | ความหนา (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|---|
| CR 61 AZL 389 | 2.6 | 48 | 1.2 |
| CR 61 AZL 386 | 2.7 | 46 | 0.6 |
| CR 61 CZL 386 | 2.8 | 40 | 0.6 |

ตารางที่ ข.3 สภาพนำไฟฟ้าสมมูล ($\Lambda$) ของสารละลายเกลือความเข้มข้นต่าง ๆ ณ 25 องศาเซลเซียส (Hodgman, 1961)

| เกลือ | สภาพนำไฟฟ้าสมมูล (เซนติเมตรต่อโอห์มต่อสมมูล) | | |
|---|---|---|---|
| | ความเข้มข้นของสารละลาย (สมมูลต่อลิตร) | | |
| | 0.001 | 0.01 | 0.1 |
| LiCl | 112.40 | 107.40 | 95.86 |
| NaCl | 123.74 | 118.51 | 106.74 |
| KCl | 146.95 | 143.35 | 128.96 |
| $MgCl_2$ | 124.11 | 114.55 | 97.10 |
| $BaCl_2$ | 134.34 | 123.94 | 105.19 |

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ ค.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขึ้นกับเวลา และสตรีมมิงโปเทนเชียล ของระบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออนบวก CR 61 AZL 386 ที่กระตุ้นด้วยสารละลายความเข้มข้น 1 สมมูลต่อลิตร ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.01 สมมูลต่อลิตร

| ความแตกต่างความดัน | แผ่นที่ | ครั้งที่ | ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ไมโครโวลต์) เวลา (วินาที) 5 | 10 | 20 | 30 | 45 | 60 | สตรีมมิงโปเทนเชียล (ไมโครโวลต์) | การกระจาย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.4 | 1 | 1 | 120 | 135 | 140 | 150 | 160 | 170 | 103.864 | 0.98 |
| | | 2 | 120 | 130 | 140 | 150 | 155 | 165 | | |
| | 2 | 1 | 120 | 125 | 135 | 145 | 155 | 165 | 100.495 | 0.97 |
| | | 2 | 120 | 130 | 140 | 150 | 155 | 165 | | |
| 0.6 | 1 | 1 | 170 | 185 | 200 | 210 | 225 | 235 | 149.180 | 0.97 |
| | | 2 | 175 | 190 | 205 | 220 | 230 | 240 | | |
| | 2 | 1 | 180 | 195 | 210 | 225 | 240 | 250 | 150.867 | 0.99 |
| | | 2 | 175 | 190 | 205 | 220 | 235 | 245 | | |
| 0.8 | 1 | 1 | 230 | 245 | 270 | 290 | 310 | 320 | 199.508 | 0.98 |
| | | 2 | 235 | 255 | 280 | 295 | 310 | 320 | | |
| | 2 | 1 | 230 | 245 | 270 | 285 | 305 | 320 | 198.143 | 0.98 |
| | | 2 | 230 | 250 | 275 | 295 | 300 | 315 | | |

ตารางที่ ค.2 ค่าสตรีมมิงโปเทนเชียลต่อหนึ่งหน่วยความแตกต่างความดัน ($\varepsilon_S$) ของระบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออนบวกที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายความเข้มข้น 0.1 สมมูลต่อลิตร ณ 25 องศาเซลเซียส

| สารละลาย | แผ่นแลกเปลี่ยนอิออน | ค่า $\varepsilon_S$ ไมโครโวลต์ต่อบรรยากาศ) ความเข้มข้นของสารละลาย (สมมูลต่อลิตร) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.001 | 0.01 | 0.1 | 1.0 |
| LiCl | CR 61 AZL 389 | 411.706 | 403.322 | 448.967 | 247.250 |
| | CR 61 AZL 386 | 363.126 | 371.107 | 398.427 | 243.750 |
| | CR 61 CZL 386 | 203.561 | 208.135 | 236.830 | 202.429 |
| NaCl | CR 61 AZL 389 | 304.145 | 285.280 | 302.034 | 161.464 |
| | CR 61 AZ1 386 | 262.940 | 252.716 | 266.202 | 159.893 |
| | CR 61 CZL 386 | 146.694 | 136.010 | 151.982 | 125.429 |
| KCl | CR 61 AZL 389 | 246.056 | 238.416 | 233.984 | 128.250 |
| | CR 61 AZL 386 | 195.761 | 186.290 | 203.156 | 128.179 |
| | CR 61 CZL 386 | 124.418 | 119.669 | 126.162 | 102.893 |
| $MgCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 580.401 | 526.350 | 389.206 | 145.929 |
| | CR 61 AZL 386 | 535.622 | 496.843 | 378.685 | 149.821 |
| | CR 61 CZL 386 | 320.706 | 286.643 | 263.276 | 161.071 |
| $BaCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 510.340 | 446.775 | 304.537 | 80.071 |
| | CR 61 AZL 386 | 452.717 | 421.824 | 288.540 | 81.000 |
| | CR 61 CZL 386 | 265.160 | 235.502 | 199.899 | 87.964 |

ตารางที่ ค. 3 ค่าสตรีมมิงโปเทนเชียลต่อหนึ่งหน่วยความแตกต่างความดัน ($\varepsilon_S$) ของระบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออนบวกที่ถูกกระตุ้นด้วยสสารละลายความเข้มข้น 1.0 สมมูลต่อลิตร ณ 25 องศาเซลเซียส

| สารละลาย | แผ่นแลกเปลี่ยนอิออน | ค่า $\varepsilon_S$ (ไมโครโวลต์ต่อบรรยากาศ) ความเข้มข้นของสารละลาย (สมมูลต่อลิตร) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.001 | 0.01 | 0.1 | 1.0 |
| LiCl | CR 61 AZL 389 | 476.555 | 445.545 | 451.902 | 245.786 |
| | CR 61 AZL 386 | 415.581 | 381.991 | 405.075 | 244.964 |
| | CR 61 CZL 386 | 245.060 | 227.656 | 243.236. | 199.071 |
| NaCl | CR 61 AZL 389 | 314.863 | 290.680 | 297.350 | 161.286 |
| | CR 61 AZL 386 | 273.178 | 252.400 | 260.132 | 160.250 |
| | CR 61 CZL 386 | 144.251 | 136.843 | 147.294 | 126.679 |
| KCl | CR 61 AZL 389 | 240.431 | 231.436 | 241.849 | 129.107 |
| | CR 61 AZL 386 | 208.442 | 203.371 | 205.726 | 126.250 |
| | CR 61 CZL 386 | 125.376 | 119.886 | 126.126 | 102.714 |
| $MgCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 578.846 | 525.661 | 401.802 | 147.282 |
| | CR 61 AZL 386 | 542.376 | 500.467 | 379.972 | 149.464 |
| | CR 61 CZL 386 | 317.374 | 290.327 | 264.993 | 161.357 |
| $BaCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 503.934 | 456.047 | 302.855 | 80.929 |
| | CR 61 AZL 386 | 462.453 | 427.219 | 292.906 | 80.429 |
| | CR 61 CZL 386 | 260.689 | 234.596 | 200.257 | 87.714 |

ตารางที่ ค. 4 ปริมาตรส่วนย่อยของเกลือที่ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ กัน (Trivijitkasem, 1976)

| เกลือ | ปริมาตรส่วนย่อยของเกลือ (โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ความเข้มข้นของสารละลาย (สมมูลต่อลิตร) | | | |
| | 0.001 | 0.01 | 0.1 | 1.0 |
| LiCl | 17.047 | 17.149 | 17.471 | 18.488 |
| NaCl | 16.468 | 16.615 | 17.081 | 18.553 |
| KCl | 26.594 | 26.753 | 27.256 | 28.847 |
| $MgCl_2$ | 18.752 | 18.771 | 18.957 | 20.821 |
| $BaCl_2$ | 13.708 | 23.941 | 24.680 | 27.015 |

ตารางที่ ค. 5 ค่าทรานสปอร์ตนัมเบอร์ของน้ำ ($t_w$) ของระบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออนบวกที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายความเข้มข้น 0.1 สมมูลต่อลิตร ณ 25 องศาเซลเซียส

| สารละลาย | แผ่นแลกเปลี่ยนอิออน | ค่า $t_w$ (โมลต่อฟาราเดย์) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ความเข้มข้นของสารละลาย (สมมูลต่อลิตร) | | | |
| | | 0.001 | 0.01 | 0.1 | 1.0 |
| LiCl | CR 61 AZL 389 | 21.69 | 21.24 | 23.64 | 12.91 |
| | CR 61 AZL 386 | 19.12 | 19.54 | 20.97 | 12.73 |
| | CR 61 CZL 386 | 10.68 | 10.92 | 12.42 | 10.54 |
| NaCl | CR 61 AZL 389 | 16.04 | 15.03 | 15.89 | 8.37 |
| | CR 61 AZL 386 | 13.86 | 13.31 | 13.99 | 8.29 |
| | CR 61 CZL 386 | 7.71 | 7.13 | 7.95 | 6.47 |
| KCl | CR 61 AZL 389 | 12.40 | 11.99 | 11.72 | 6.04 |
| | CR 61 AZL 386 | 9.74 | 9.23 | 10.09 | 6.04 |
| | CR 61 CZL 386 | 5.97 | 5.71 | 6.02 | 4.70 |
| $MgCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 31.04 | 28.18 | 20.92 | 8.00 |
| | CR 61 AZL 386 | 28.68 | 26.62 | 20.37 | 8.21 |
| | CR 61 CZL 386 | 17.31 | 15.66 | 14.26 | 8.80 |
| $BaCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 27.20 | 23.83 | 16.29 | 4.35 |
| | CR 61 AZL 386 | 24.15 | 22.51 | 15.44 | 4.40 |
| | CR 61 CZL 386 | 14.23 | 12.65 | 10.75 | 4.76 |

ตารางที่ ค.6 ค่าทรานสปอร์ตนัมเบอร์ของน้ำ ($t_w$) ของระบบแผ่นแลกเปลี่ยนอิออนบวกที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายความเข้มข้น 1.0 สมมูลต่อลิตร ณ 25 องศาเซลเซียส

| สารละลาย | แผ่นแลกเปลี่ยนอิออน | ค่า $t_w$ (โมลต่อฟาราเดย์) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ความเข้มข้นของสารละลาย (สมมูลต่อลิตร) | | | |
| | | 0.001 | 0.01 | 0.1 | 1.0 |
| LiCl | CR 61 AZL 389 | 25.12 | 23.48 | 23.78 | 12.34 |
| | CR 61 AZL 386 | 21.70 | 20.11 | 21.32 | 12.79 |
| | CR 61 CZL 386 | 12.88 | 11.95 | 12.76 | 10.36 |
| NaCl | CR 61 AZL 389 | 16.60 | 15.32 | 15.64 | 8.36 |
| | CR 61 AZL 386 | 14.40 | 13.29 | 13.67 | 8.31 |
| | CR 61 CZL 386 | 7.58 | 7.18 | 7.70 | 6.53 |
| KCl | CR 61 AZL 389 | 12.10 | 11.62 | 12.14 | 6.09 |
| | CR 61 AZL 386 | 10.41 | 10.13 | 10.23 | 5.94 |
| | CR 61 CZL 386 | 6.02 | 5.72 | 6.02 | 4.69 |
| $MgCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 31.44 | 28.15 | 21.59 | 8.07 |
| | CR 61 AZL 386 | 29.03 | 26.82 | 20.44 | 8.19 |
| | CR 61 CZL 386 | 17.13 | 15.70 | 14.35 | 8.82 |
| $BaCl_2$ | CR 61 AZL 389 | 26.86 | 24.32 | 16.20 | 4.39 |
| | CR 61 AZL 386 | 24.67 | 22.80 | 15.67 | 4.37 |
| | CR 61 CZL 386 | 13.99 | 12.61 | 10.77 | 4.76 |

# ประวัติผู้เขียน

นางสาวจันทร์ฉาย จงตระการสมบัติ เกิดวันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2500 ที่อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาฟิสิกส์) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2521 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในระหว่างการศึกษาได้รับทุนจากโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ ในปีการศึกษา 2522 - 2523