

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ปราโมทย์ เคะชะอำไพ. *ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม*. สำนักพิมพ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ไพศาล กิตติศุภกร และ ธิดาพันธ์ ซื่อสัตย์วงศ์. การออปติไมซ์ภายใต้ความไม่แน่นอน.  
*วารสารวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย*, ครั้งที่ 7(2540):392-399.

### ภาษาอังกฤษ

Biegler-Lorez, T., Ignacio-Grossmann, E., and Arthur, W.W. *Systematic Methods of Chemical Process design*. International Edition, United States of America, Prentice-Hall, 1997.

Biran Adrian, M.B. *MATHLAB for Engineers*. England: Addison-Wesley Publishing Company Inc, 1996.

Borse, G.J. *Numerical Method with MATLAB:a resource for scientists engineer/G.J. Borse*. USA: PWS Publishing Company,1997.

Brown, K.M., Byrne, G.D., and Hall, C.A. *Numerical Solution of System of Nonlinear Equation*. New York: Eds, Academic, 1971.

Chegolya, A.S., Shevchenko, V.V., and Mikhailov, G.D. *J.Polym.Eng.Sci.* 17(1979): 889.

Edgar, T.F., and Himmelblau, D.M. *Optimization of Chemical Processes*.

Singapore: McGraw-Hill, 1989.

Fogler, H.S. *Elementary of Chemical Reaction Engineering*. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice-Hall

International, 1992.

Fontana, C.M. *J Polym.Sci*. Part A-1, 6(1968): 2343.

Hermann, L. *Polyester Fiber Chemistry and Technology*. London: Wiley-

Interscience a division of John Wiley&Sons Ltd, 1971.

Hovenkamp, S.G., and Munting, J.P. *J.Polym.Sci*. 8(1970): 679.

Jacobsen, L.L., and Ray, W.H. *AIChE Journal*. 38(1992): 911.

Kuster, J.L., and Mize, J.H. *Optimization Techniques with Fortran*. New York:

McGraw-Hill, 1973.

Laidler, K.J. *Chemical Kinetics*. 3<sup>rd</sup> ed. Harper&Row,Publishers, Inc, 1987.

Rao, S.S. *Optimization Theory and Application*. India: Wiley Eastern, 1979.

Ravindranath, K., and Mashelkar, R.A. *J.Appli.Polym.Sci*. 27(1982): 471.

Ravindranath, K., and Mashelkar, R.A. *J.Appli.Polym.Sci*. 26(1982): 3179.

Ravindranath, K., and Mashelkar, R.A. *J.Appli.Polym.Sci.* 22(1982): 610.

Ravindranath, K., and Mashelkar, R.A. *J.Appli.Polym.Sci.* 22(1982): 619.

Ravindranath, K., and Mashelkar, R.A. *J.Appli.Polym.Sci.* 22(1982): 628.

Vaidra, A.A. *Production of Synthetic Fibre.* New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited, 1988.

Wolfram, S. *Mathematica the Student Book.* Addison-Wesley Publishing Company, 1994.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C

| รายการที่ | สัดส่วนโมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$    | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|-------------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                        | 0.00174345 | 49.96                        | 0.00215705                | 0.000608032             | 4.57997E-05             | 0.000652904               | 0.000303532             | 0.00065846                 |
| 2         | 1:1.60                        | 0.00160101 | 53.05                        | 0.00211636                | 0.00086033              | 4.25301E-05             | 0.000744083               | 0.000312624             | 0.00075913                 |
| 3         | 1:1.70                        | 0.00147469 | 55.85                        | 0.00207596                | 0.00110809              | 3.95667E-05             | 0.000823694               | 0.000322503             | 0.00084884                 |
| 4         | 1:1.80                        | 0.0013611  | 58.40                        | 0.00203446                | 0.00135465              | 3.67977E-05             | 0.000893219               | 0.000332724             | 0.00092888                 |
| 5         | 1:1.90                        | 0.0012603  | 60.70                        | 0.001993                  | 0.0015993               | 0.000034263             | 0.000954179               | 0.000343127             | 0.00100056                 |
| 6         | 1:2.00                        | 0.00116908 | 62.82                        | 0.00195243                | 0.00184003              | 3.19433E-05             | 0.00100674                | 0.000353513             | 0.00106374                 |
| 7         | 1:2.10                        | 0.00108769 | 64.73                        | 0.00191264                | 0.00207707              | 2.98155E-05             | 0.00105178                | 0.000363619             | 0.00111913                 |
| 8         | 1:2.20                        | 0.00101462 | 66.47                        | 0.00187361                | 0.0023113               | 2.78678E-05             | 0.0010907                 | 0.000373445             | 0.00116816                 |
| 9         | 1:2.30                        | 0.00094845 | 68.07                        | 0.00183616                | 0.00253964              | 2.60926E-05             | 0.00112332                | 0.000382806             | 0.00121034                 |
| 10        | 1:2.36                        | 0.00091202 | 68.96                        | 0.00181396                | 0.00267758              | 2.50952E-05             | 0.00114128                | 0.000388372             | 0.00123399                 |
| 11        | 1:2.40                        | 0.00088949 | 69.51                        | 0.00179946                | 0.00276657              | 2.44555E-05             | 0.00115136                | 0.00039173              | 0.00124758                 |
| 12        | 1:2.50                        | 0.00083508 | 70.85                        | 0.00176433                | 0.00298813              | 2.29633E-05             | 0.00117478                | 0.000400242             | 0.00127965                 |

ตาราง ก-2 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 180°C

| รายการที่ | สัดส่วน โมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$    | ร้อยละการเปลี่ยน<br>แปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|--------------------------------|------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                         | 0.00146896 | 57.84                            | 0.00117545                | 0.00028569              | 6.7166E-05              | 0.00186626                | 0.00037275              | 0.00190372                 |
| 2         | 1:1.60                         | 0.00131407 | 61.46                            | 0.00107663                | 0.00046915              | 5.5539E-05              | 0.00204472                | 0.00042988              | 0.00214408                 |
| 3         | 1:1.70                         | 0.00117546 | 64.81                            | 0.00099774                | 0.00064944              | 4.694E-05               | 0.00218641                | 0.0004893               | 0.00234885                 |
| 4         | 1:1.80                         | 0.00105132 | 67.87                            | 0.0009311                 | 0.00083091              | 4.0189E-05              | 0.00229958                | 0.00055008              | 0.00250596                 |
| 5         | 1:1.90                         | 0.00094254 | 70.61                            | 0.0008737                 | 0.0010139               | 3.4795E-05              | 0.00239017                | 0.0006113               | 0.00268051                 |
| 6         | 1:2.00                         | 0.00084626 | 73.08                            | 0.00082391                | 0.00119756              | 3.0414E-05              | 0.00246114                | 0.00067163              | 0.00281411                 |
| 7         | 1:2.10                         | 0.00076245 | 75.28                            | 0.00078007                | 0.00138212              | 2.6795E-05              | 0.00251564                | 0.00073031              | 0.00292933                 |
| 8         | 1:2.20                         | 0.00068933 | 77.22                            | 0.00074083                | 0.00156808              | 2.3763E-05              | 0.00255698                | 0.00078729              | 0.00302949                 |
| 9         | 1:2.30                         | 0.00062531 | 78.95                            | 0.00070601                | 0.00175314              | 2.1217E-05              | 0.00258637                | 0.00084128              | 0.00311444                 |
| 10        | 1:2.36                         | 0.00059088 | 79.89                            | 0.00068648                | 0.00186629              | 1.9862E-05              | 0.00260037                | 0.0008733               | 0.00316134                 |
| 11        | 1:2.40                         | 0.00056977 | 80.47                            | 0.00067424                | 0.00194092              | 1.9028E-05              | 0.00260715                | 0.00089343              | 0.00318888                 |
| 12        | 1:2.50                         | 0.00052067 | 81.83                            | 0.00064582                | 0.00212618              | 1.7169E-05              | 0.00261929                | 0.00094199              | 0.0032508                  |

ตาราง ก-3 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C

| รายการที่ | สัดส่วนโมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$   | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|-------------------------------|-----------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                        | 0.0014097 | 59.54                        | 0.00066314                | 0.00016419              | 6.8513E-05              | 0.00243509                | 0.00043638              | 0.00247789                 |
| 2         | 1:1.60                        | 0.001243  | 63.55                        | 0.00058773                | 0.00028499              | 5.4218E-05              | 0.00260736                | 0.00054163              | 0.0027692                  |
| 3         | 1:1.70                        | 0.0010934 | 67.26                        | 0.00053124                | 0.00040429              | 4.4342E-05              | 0.00274012                | 0.00064982              | 0.00302038                 |
| 4         | 1:1.80                        | 0.0009603 | 70.65                        | 0.00048579                | 0.00052601              | 3.6972E-05              | 0.00284237                | 0.00076071              | 0.00324182                 |
| 5         | 1:1.90                        | 0.0008447 | 73.66                        | 0.0004481                 | 0.00065079              | 3.1307E-05              | 0.00292058                | 0.0008731               | 0.00343927                 |
| 6         | 1:2.00                        | 0.000744  | 76.34                        | 0.00041635                | 0.00077844              | 2.6847E-05              | 0.00297808                | 0.00098495              | 0.00361432                 |
| 7         | 1:2.10                        | 0.0006578 | 78.67                        | 0.0003891                 | 0.00090915              | 2.3255E-05              | 0.00301835                | 0.00109507              | 0.00376961                 |
| 8         | 1:2.20                        | 0.0005839 | 80.70                        | 0.00036529                | 0.00104321              | 2.0312E-05              | 0.00304485                | 0.00120328              | 0.00390858                 |
| 9         | 1:2.30                        | 0.0005202 | 82.48                        | 0.0003444                 | 0.00118024              | 1.7872E-05              | 0.00305976                | 0.00130841              | 0.00403228                 |
| 10        | 1:2.36                        | 0.0004869 | 83.43                        | 0.00033315                | 0.00126306              | 1.6615E-05              | 0.00306415                | 0.00136932              | 0.00409957                 |
| 11        | 1:2.40                        | 0.0004666 | 84.00                        | 0.00032611                | 0.00131846              | 1.5846E-05              | 0.00306481                | 0.00140835              | 0.00414056                 |
| 12        | 1:2.50                        | 0.0004198 | 85.35                        | 0.00030974                | 0.00145937              | 1.4127E-05              | 0.00306236                | 0.00150484              | 0.00423739                 |

ตาราง ก-4 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 220°C

| รายการที่ | สัดส่วน โมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$    | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|--------------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                         | 0.00138746 | 60.18                        | 0.00036283                | 9.3812E-05              | 7.4212E-05              | 0.00274629                | 0.00049017              | 0.00274143                 |
| 2         | 1:1.60                         | 0.00121419 | 64.39                        | 0.00031838                | 0.00016503              | 5.5604E-05              | 0.00290274                | 0.00063418              | 0.00307089                 |
| 3         | 1:1.70                         | 0.00105864 | 68.30                        | 0.00028554                | 0.00023616              | 4.3558E-05              | 0.00302219                | 0.00078237              | 0.00335987                 |
| 4         | 1:1.80                         | 0.00092049 | 71.87                        | 0.00025941                | 0.00030971              | 3.5042E-05              | 0.00311239                | 0.00093539              | 0.00362002                 |
| 5         | 1:1.90                         | 0.00080117 | 75.02                        | 0.00023795                | 0.00038616              | 2.8778E-05              | 0.00317932                | 0.00109166              | 0.00385722                 |
| 6         | 1:2.00                         | 0.00069798 | 77.80                        | 0.00022001                | 0.00046553              | 2.4029E-05              | 0.00322609                | 0.001249                | 0.00407286                 |
| 7         | 1:2.10                         | 0.0006103  | 80.21                        | 0.00020472                | 0.000548                | 2.0327E-05              | 0.00325607                | 0.00140581              | 0.00426946                 |
| 8         | 1:2.20                         | 0.00053588 | 82.29                        | 0.00019145                | 0.00063373              | 1.7376E-05              | 0.0032726                 | 0.00156177              | 0.00445041                 |
| 9         | 1:2.30                         | 0.00047231 | 84.10                        | 0.00017988                | 0.00072258              | 1.4991E-05              | 0.00327795                | 0.00171529              | 0.00461654                 |
| 10        | 1:2.36                         | 0.00043934 | 85.05                        | 0.00017368                | 0.00077682              | 1.3785E-05              | 0.00327685                | 0.00180515              | 0.00470921                 |
| 11        | 1:2.40                         | 0.0004193  | 85.63                        | 0.00016981                | 0.00081338              | 1.3056E-05              | 0.003274                  | 0.00186332              | 0.00476704                 |
| 12        | 1:2.50                         | 0.00037346 | 86.96                        | 0.00016085                | 0.00090712              | 1.1444E-05              | 0.00326291                | 0.00200811              | 0.00490625                 |



ตาราง ก-5 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 225°C

| รายการที่ | สัดส่วนโมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$    | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|-------------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                        | 0.00137895 | 60.42                        | 0.00031546                | 7.7575E-05              | 7.5247E-05              | 0.00278671                | 0.00049225              | 0.00274692                 |
| 2         | 1:1.60                        | 0.00121107 | 64.48                        | 0.0002744                 | 0.00014296              | 5.5284E-05              | 0.00295047                | 0.00065281              | 0.00310727                 |
| 3         | 1:1.70                        | 0.00105467 | 68.42                        | 0.00024601                | 0.00020496              | 4.3187E-05              | 0.00306643                | 0.00080923              | 0.00340469                 |
| 4         | 1:1.80                        | 0.00091581 | 72.01                        | 0.00022345                | 0.0002692               | 3.4683E-05              | 0.00315374                | 0.00097077              | 0.0036735                  |
| 5         | 1:1.90                        | 0.00079596 | 75.18                        | 0.00020494                | 0.0003361               | 2.8452E-05              | 0.00321819                | 0.00113618              | 0.00391964                 |
| 6         | 1:2.00                        | 0.00069238 | 77.98                        | 0.00018947                | 0.00040572              | 2.3743E-05              | 0.00326279                | 0.00130293              | 0.0041445                  |
| 7         | 1:2.10                        | 0.00060445 | 80.40                        | 0.00017629                | 0.00047822              | 2.0079E-05              | 0.00329085                | 0.00146948              | 0.00435058                 |
| 8         | 1:2.20                        | 0.00052986 | 82.49                        | 0.00016486                | 0.00055377              | 1.7161E-05              | 0.00330563                | 0.00163551              | 0.00454128                 |
| 9         | 1:2.30                        | 0.00046655 | 84.29                        | 0.00015496                | 0.00063163              | 1.482E-05               | 0.00330897                | 0.00179765              | 0.00471522                 |
| 10        | 1:2.36                        | 0.00043328 | 85.25                        | 0.00014955                | 0.00068027              | 1.3617E-05              | 0.0033074                 | 0.00189546              | 0.00481607                 |
| 11        | 1:2.40                        | 0.00041323 | 85.83                        | 0.00014621                | 0.00071267              | 1.2892E-05              | 0.00330399                | 0.00195781              | 0.00487792                 |
| 12        | 1:2.50                        | 0.00036745 | 87.17                        | 0.00013849                | 0.00079588              | 1.1302E-05              | 0.00329157                | 0.00211319              | 0.00502736                 |

ตาราง ก-6 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 234°C

| รายการที่ | สัดส่วน โมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$    | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|--------------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                         | 0.00138294 | 60.31                        | 0.00024038                | 6.203E-05               | 7.5407E-05              | 0.00287087                | 0.00051863              | 0.00278489                 |
| 2         | 1:1.60                         | 0.0012082  | 64.57                        | 0.00021137                | 0.00010972              | 5.5552E-05              | 0.00301584                | 0.00068345              | 0.00313857                 |
| 3         | 1:1.70                         | 0.00105132 | 68.52                        | 0.00018988                | 0.0001576               | 4.3018E-05              | 0.00312625                | 0.00085308              | 0.00345107                 |
| 4         | 1:1.80                         | 0.00091201 | 72.13                        | 0.00017275                | 0.00020735              | 3.4332E-05              | 0.00320895                | 0.00102847              | 0.00372509                 |
| 5         | 1:1.90                         | 0.00079174 | 75.31                        | 0.00015866                | 0.0002593               | 2.804E-05               | 0.00326952                | 0.00120834              | 0.00399673                 |
| 6         | 1:2.00                         | 0.00068777 | 78.12                        | 0.00014687                | 0.00031352              | 2.3326E-05              | 0.00331084                | 0.0013901               | 0.00423744                 |
| 7         | 1:2.10                         | 0.00059949 | 80.56                        | 0.0001368                 | 0.00037016              | 0.00001968              | 0.0033361                 | 0.00157219              | 0.00445979                 |
| 8         | 1:2.20                         | 0.00052459 | 82.66                        | 0.00012805                | 0.00042936              | 1.679E-05               | 0.00334844                | 0.0017543               | 0.00466717                 |
| 9         | 1:2.30                         | 0.00046072 | 84.49                        | 0.00012041                | 0.00049107              | 1.4465E-05              | 0.00335006                | 0.00193469              | 0.00486036                 |
| 10        | 1:2.36                         | 0.00042762 | 85.45                        | 0.00011631                | 0.00052891              | 1.329E-05               | 0.00334694                | 0.00204085              | 0.00496938                 |
| 11        | 1:2.40                         | 0.00040749 | 86.03                        | 0.00011375                | 0.00055451              | 1.2579E-05              | 0.00334282                | 0.00210992              | 0.00503815                 |
| 12        | 1:2.50                         | 0.00036153 | 87.38                        | 0.00010781                | 0.00062039              | 1.1015E-05              | 0.00332874                | 0.00228249              | 0.00520516                 |

ตาราง ก-7 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 240°C

| รายการที่ | สัดส่วน โมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$    | ร้อยละการเปลี่ยน<br>แปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|--------------------------------|------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                         | 0.00138289 | 60.31                            | 0.00020191                | 5.2046E-05              | 7.6439E-05              | 0.00290733                | 0.00052955              | 0.00277368                 |
| 2         | 1:1.60                         | 0.00120839 | 64.56                            | 0.0001782                 | 9.1909E-05              | 5.5736E-05              | 0.00304848                | 0.00070163              | 0.0031377                  |
| 3         | 1:1.70                         | 0.00105168 | 68.51                            | 0.00016051                | 0.00013205              | 4.2853E-05              | 0.00315559                | 0.00087882              | 0.00345996                 |
| 4         | 1:1.80                         | 0.00091245 | 72.11                            | 0.00014633                | 0.00017383              | 3.4029E-05              | 0.00323554                | 0.00106212              | 0.00375363                 |
| 5         | 1:1.90                         | 0.00079216 | 75.30                            | 0.00013464                | 0.00021751              | 2.7693E-05              | 0.00329382                | 0.00125021              | 0.00402495                 |
| 6         | 1:2.00                         | 0.00068808 | 78.11                            | 0.00012482                | 0.00026314              | 2.2979E-05              | 0.00333328                | 0.00144043              | 0.00427545                 |
| 7         | 1:2.10                         | 0.00059961 | 80.56                            | 0.00011642                | 0.00031088              | 1.9352E-05              | 0.00335701                | 0.00163126              | 0.00450776                 |
| 8         | 1:2.20                         | 0.00052448 | 82.67                            | 0.0001091                 | 0.00036084              | 1.6487E-05              | 0.00336811                | 0.0018224               | 0.00472533                 |
| 9         | 1:2.30                         | 0.00046035 | 84.50                            | 0.0001027                 | 0.00041301              | 1.4187E-05              | 0.00336869                | 0.0020121               | 0.0049289                  |
| 10        | 1:2.36                         | 0.0004271  | 85.46                            | 9.926E-05                 | 0.00044503              | 1.3028E-05              | 0.00336504                | 0.00212393              | 0.00504419                 |
| 11        | 1:2.40                         | 0.00040686 | 86.05                            | 9.7107E-05                | 0.00046673              | 1.2326E-05              | 0.0033606                 | 0.00219681              | 0.00511717                 |
| 12        | 1:2.50                         | 0.00036065 | 87.41                            | 9.2112E-05                | 0.00052262              | 1.0785E-05              | 0.00334578                | 0.00237915              | 0.00529487                 |

ตาราง ก-8 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 250°C

| รายการที่ | สัดส่วน โมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | $e_m^o$    | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงดีเอ็มที | $e_g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $z^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $e_c^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $w^o$<br>(โมล/กิโลกรัม) | $g^{*o}$<br>(โมล/กิโลกรัม) |
|-----------|--------------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1         | 1:1.50                         | 0.00138504 | 60.25                        | 0.00015099                | 3.9046E-05              | 7.783E-05               | 0.00295331                | 0.00054614              | 0.00272066                 |
| 2         | 1:1.60                         | 0.00121129 | 64.48                        | 0.00013436                | 6.8539E-05              | 5.6138E-05              | 0.00308859                | 0.00072831              | 0.00310125                 |
| 3         | 1:1.70                         | 0.00105528 | 68.40                        | 0.00012173                | 9.8381E-05              | 4.2897E-05              | 0.00319068                | 0.00091613              | 0.00343904                 |
| 4         | 1:1.80                         | 0.00091654 | 71.99                        | 0.00011151                | 0.0001295               | 3.3962E-05              | 0.00326641                | 0.00111047              | 0.00374789                 |
| 5         | 1:1.90                         | 0.0007965  | 75.16                        | 0.00010301                | 0.00016208              | 2.7612E-05              | 0.00332127                | 0.0013099               | 0.00403423                 |
| 6         | 1:2.00                         | 0.00069241 | 77.98                        | 9.5831E-05                | 0.00019615              | 2.2924E-05              | 0.00335805                | 0.00151171              | 0.00429975                 |
| 7         | 1:2.10                         | 0.00060373 | 80.42                        | 8.9654E-05                | 0.00023182              | 1.9333E-05              | 0.0033797                 | 0.00171442              | 0.0045472                  |
| 8         | 1:2.20                         | 0.00052824 | 82.54                        | 8.4248E-05                | 0.00026921              | 1.6502E-05              | 0.00338918                | 0.0019178               | 0.00478009                 |
| 9         | 1:2.30                         | 0.00046363 | 84.39                        | 7.9492E-05                | 0.00030831              | 1.4232E-05              | 0.00338853                | 0.00212012              | 0.00499923                 |
| 10        | 1:2.36                         | 0.00043006 | 85.36                        | 7.6927E-05                | 0.00033235              | 1.3086E-05              | 0.00338429                | 0.00223964              | 0.00512387                 |
| 11        | 1:2.40                         | 0.00040962 | 85.96                        | 7.5319E-05                | 0.00034866              | 1.2392E-05              | 0.0033795                 | 0.0023177               | 0.00520312                 |
| 12        | 1:2.50                         | 0.00036284 | 87.34                        | 7.1575E-05                | 0.00039072              | 1.0868E-05              | 0.00336396                | 0.00251332              | 0.0053967                  |

ตาราง ก-9 ข้อมูล  $F^i$ ,  $F^o$ ,  $F^v$ ,  $e_m^i$ , และ  $g^i$  ที่สัดส่วนโมลดีเอ็มทีต่ออีจีต่างๆที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการทดสอบ

| รายการที่ | สัดส่วน โมล ดีเอ็มทีต่ออีจี | โมลดีเอ็มที (กิโลโมล/ชม.) | โมลอีจี (กิโลโมล/ชม.) | อัตราดีเอ็มที (กก./ชม.) | อัตราอีจี (กก./ชม.) | $F^i$ (กก./ชม.) | $F^o$ (กก./ชม.) | $F^v$ (กก./ชม.) | $e_m^i$ (โมล/กก.) | $g^i$ (โมล/กก.) |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 1         | 1:1.5                       | 32.66                     | 48.99                 | 6336.5                  | 3037                | 9374            | 7030.5          | 2343.5          | 3.4841            | 5.2262          |
| 2         | 1:1.6                       | 32.66                     | 52.26                 | 6336.5                  | 3240                | 9577            | 7182.75         | 2394.25         | 3.4103            | 5.4568          |
| 3         | 1:1.7                       | 32.66                     | 55.52                 | 6336.5                  | 3442                | 9779            | 7334.25         | 2444.75         | 3.3398            | 5.6775          |
| 4         | 1:1.8                       | 32.66                     | 58.79                 | 6336.5                  | 3645                | 9982            | 7486.5          | 2495.5          | 3.2719            | 5.8896          |
| 5         | 1:1.9                       | 32.66                     | 62.05                 | 6336.5                  | 3847                | 10184           | 7638            | 2546            | 3.207             | 6.0929          |
| 6         | 1:2.0                       | 32.66                     | 65.32                 | 6336.5                  | 4050                | 10387           | 7790.25         | 2596.75         | 3.1443            | 6.2886          |
| 7         | 1:2.1                       | 32.66                     | 68.59                 | 6336.5                  | 4253                | 10590           | 7942.5          | 2647.5          | 3.084             | 6.4769          |
| 8         | 1:2.2                       | 32.66                     | 71.85                 | 6336.5                  | 4455                | 10792           | 8094            | 2698            | 3.0263            | 6.6577          |
| 9         | 1:2.3                       | 32.66                     | 75.13                 | 6336.5                  | 4658                | 10995           | 8246.25         | 2748.75         | 2.9704            | 6.8331          |
| 10        | 1:2.36                      | 32.66                     | 77.08                 | 6336.5                  | 4778                | 11115           | 8336.25         | 2778.75         | 2.9384            | 6.9348          |
| 11        | 1:2.4                       | 32.66                     | 78.38                 | 6336.5                  | 4860                | 11197           | 8397.75         | 2799.25         | 2.9169            | 7.0001          |
| 12        | 1:2.5                       | 32.66                     | 81.65                 | 6336.5                  | 5062                | 11399           | 8549.25         | 2849.75         | 2.8652            | 7.1629          |

ตาราง ก-10 ข้อมูล  $k_1$  ถึง  $k_8$  ที่อุณหภูมิต่างๆที่มาจากเอกสารอ้างอิง จากการอปติไมซ์และจากการคำนวณโดยสมการอาร์เรเนียส

| ชนิด  | อุณหภูมิ<br>$234^{\circ}\text{C}^{(1)}$ | อุณหภูมิ<br>$234^{\circ}\text{C}^{(2)}$ | อุณหภูมิ<br>$150^{\circ}\text{C}^{(3)}$ | อุณหภูมิ<br>$180^{\circ}\text{C}^{(3)}$ | อุณหภูมิ<br>$200^{\circ}\text{C}^{(3)}$ | อุณหภูมิ<br>$220^{\circ}\text{C}^{(3)}$ | อุณหภูมิ<br>$225^{\circ}\text{C}^{(3)}$ | อุณหภูมิ<br>$234^{\circ}\text{C}^{(2)}$ | อุณหภูมิ<br>$240^{\circ}\text{C}^{(3)}$ | อุณหภูมิ<br>$250^{\circ}\text{C}^{(3)}$ |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $k_1$ | 0.01364                                 | 0.08260                                 | 0.00412                                 | 0.01381                                 | 0.02834                                 | 0.05402                                 | 0.06298                                 | 0.08260                                 | 0.09835                                 | 0.13032                                 |
| $k_2$ | 0.00682                                 | 0.00360                                 | 0.00018                                 | 0.00060                                 | 0.00124                                 | 0.00235                                 | 0.00275                                 | 0.00360                                 | 0.00429                                 | 0.00258                                 |
| $k_3$ | 0.00680                                 | 0.17160                                 | 0.00474                                 | 0.01716                                 | 0.03432                                 | 0.10296                                 | 0.12012                                 | 0.17160                                 | 0.22308                                 | 0.30888                                 |
| $k_4$ | 0.00031                                 | $5.23 \times 10^{-5}$                   | $1.47 \times 10^{-7}$                   | $1.54 \times 10^{-6}$                   | $6.23 \times 10^{-6}$                   | $2.26 \times 10^{-5}$                   | $3.06 \times 10^{-5}$                   | $5.23 \times 10^{-5}$                   | $7.38 \times 10^{-5}$                   | 0.00013                                 |
| $k_5$ | 0.00031                                 | $1.57 \times 10^{-7}$                   | $4.42 \times 10^{-10}$                  | $4.63 \times 10^{-9}$                   | $1.88 \times 10^{-8}$                   | $6.79 \times 10^{-8}$                   | $9.22 \times 10^{-8}$                   | $1.57 \times 10^{-7}$                   | $2.22 \times 10^{-7}$                   | $3.89 \times 10^{-7}$                   |
| $k_6$ | 0.00031                                 | $2.83 \times 10^{-5}$                   | $7.96 \times 10^{-8}$                   | $8.33 \times 10^{-7}$                   | $3.38 \times 10^{-6}$                   | $1.22 \times 10^{-5}$                   | $1.66 \times 10^{-5}$                   | $2.83 \times 10^{-5}$                   | $4.00 \times 10^{-5}$                   | $7.01 \times 10^{-5}$                   |
| $k_7$ | 0.02500                                 | 0.04580                                 | 0.00148                                 | 0.00550                                 | 0.01282                                 | 0.02748                                 | 0.03298                                 | 0.04580                                 | 0.05679                                 | 0.08061                                 |
| $k_8$ | 0.02500                                 | 0.00370                                 | 0.00012                                 | 0.00044                                 | 0.00104                                 | 0.00222                                 | 0.00266                                 | 0.00370                                 | 0.00459                                 | 0.00651                                 |

หมายเหตุ: (1) จากข้อมูลอ้างอิง

: (2) จากการอปติไมซ์

: (3) จากการคำนวณโดยสมการอาร์เรเนียส(Arrhenius equation) โดยอ้างอิงจากการอปติไมซ์

ตาราง ก-11 เงื่อนไข(Condition)ของข้อมูลจริงจากการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

| เงื่อนไข   | กำลังการผลิต | กำลังการผลิต | กำลังการผลิต | กำลังการผลิต | กำลังการผลิต | กำลังการผลิต |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | 100 ตัน/วัน  | 115 ตัน/วัน  | 120 ตัน/วัน  | 120 ตัน/วัน  | 126 ตัน/วัน  | 139 ตัน/วัน  |
| อัตราการไหลดีเอ็มทีขาเข้า(กิโลกรัม/ชั่วโมง)            | 5,859.00     | 6,337.00     | 7,080.00     | 7,077.00     | 7,298.00     | 7,371.00     |
| อัตราการไหลอีจีขาเข้า(กิโลกรัม/ชั่วโมง)                | 3,987.00     | 4,778.00     | 4,906.00     | 4,907.00     | 5,074.00     | 5,373.00     |
| อัตราการไหลดีเอ็มทีและอีจีขาเข้า(กิโลกรัม/ชั่วโมง)     | 9,846.00     | 11,115.00    | 11,986.00    | 11,984.00    | 12,372.00    | 12,744.00    |
| จำนวนโมลดีเอ็มทีขาเข้า(กิโล โมล)                       | 30.2         | 32.7         | 36.5         | 36.5         | 37.6         | 38           |
| จำนวนโมลอีจีขาเข้า(กิโล โมล)                           | 64.3         | 77.1         | 79.1         | 79.2         | 81.8         | 86.7         |
| สัดส่วนโมลดีเอ็มทีต่ออีจีขาเข้า                        | 1:2.13       | 1:2.36       | 1:2.17       | 1:2.17       | 1:2.18       | 1:2.28       |
| อัตราการไหลดีจีทีขาออก(กิโลกรัม/ชั่วโมง)               | 6750.0       | 8336.0       | 8566.0       | 9072.0       | 8830.0       | 8407.0       |
| อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์รีฟิเคชัน(°C) | 234.0        | 234.0        | 234.0        | 234.0        | 234.0        | 234.0        |

ตาราง ก- 12 ข้อมูลการหาค่าความผิดพลาดยกกำลังสองที่แต่ละอุณหภูมิ และแต่ละสัดส่วนโมลดีเอ็มทีต่ออีจี

| สัดส่วน โมล<br>ดีเอ็มทีต่ออีจี | อุณหภูมิ |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                | 150°C    | 180°C | 200°C | 220°C | 225°C | 234°C | 240°C | 250°C |
| 1:1.50                         | 1.63     | 1.49  | 1.44  | 1.42  | 1.41  | 1.41  | 1.41  | 1.41  |
| 1:1.60                         | 1.60     | 1.45  | 1.39  | 1.36  | 1.36  | 1.35  | 1.35  | 1.35  |
| 1:1.70                         | 1.57     | 1.41  | 1.35  | 1.32  | 1.31  | 1.30  | 1.30  | 1.30  |
| 1:1.80                         | 1.54     | 1.38  | 1.31  | 1.28  | 1.27  | 1.26  | 1.26  | 1.25  |
| 1:1.90                         | 1.52     | 1.35  | 1.28  | 1.24  | 1.23  | 1.23  | 1.22  | 1.22  |
| 1:2.00                         | 1.50     | 1.33  | 1.25  | 1.21  | 1.2   | 1.19  | 1.19  | 1.18  |
| 1:2.10                         | 1.48     | 1.31  | 1.23  | 1.19  | 1.18  | 1.17  | 1.16  | 1.16  |
| 1:2.20                         | 1.50     | 1.37  | 1.31  | 1.27  | 1.26  | 1.25  | 1.25  | 1.24  |
| 1:2.30                         | 1.45     | 1.28  | 1.2   | 1.14  | 1.14  | 1.12  | 1.12  | 1.11  |
| 1:2.36                         | 1.45     | 1.27  | 1.19  | 1.13  | 1.13  | 1.11  | 1.11  | 1.10  |
| 1:2.40                         | 1.44     | 1.26  | 1.18  | 1.13  | 1.12  | 1.11  | 1.1   | 1.09  |
| 1:2.50                         | 1.43     | 1.25  | 1.17  | 1.11  | 1.1   | 1.09  | 1.08  | 1.07  |

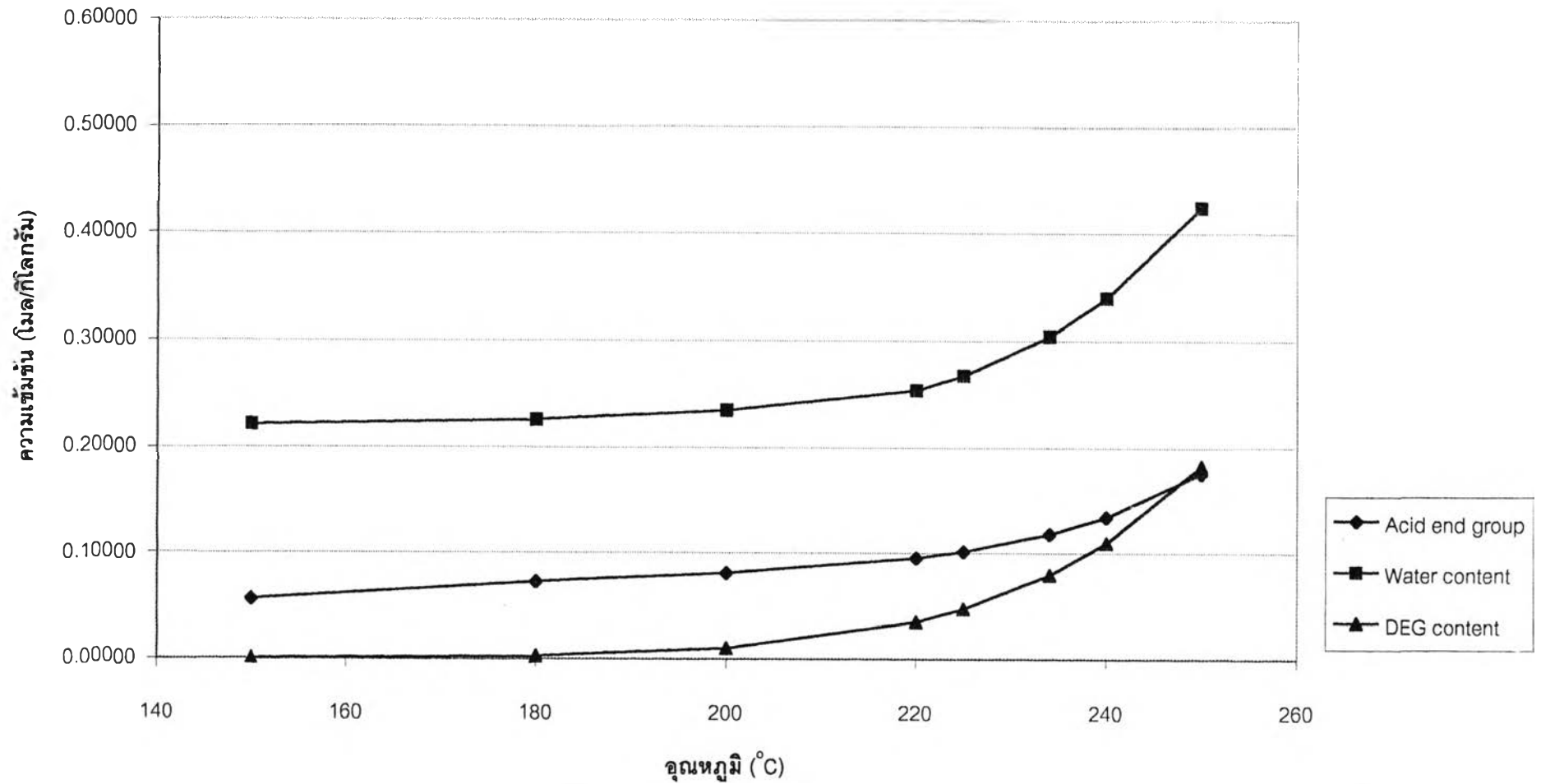


ตาราง ก-13 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (Kinetic Parameters Used in the present Work)

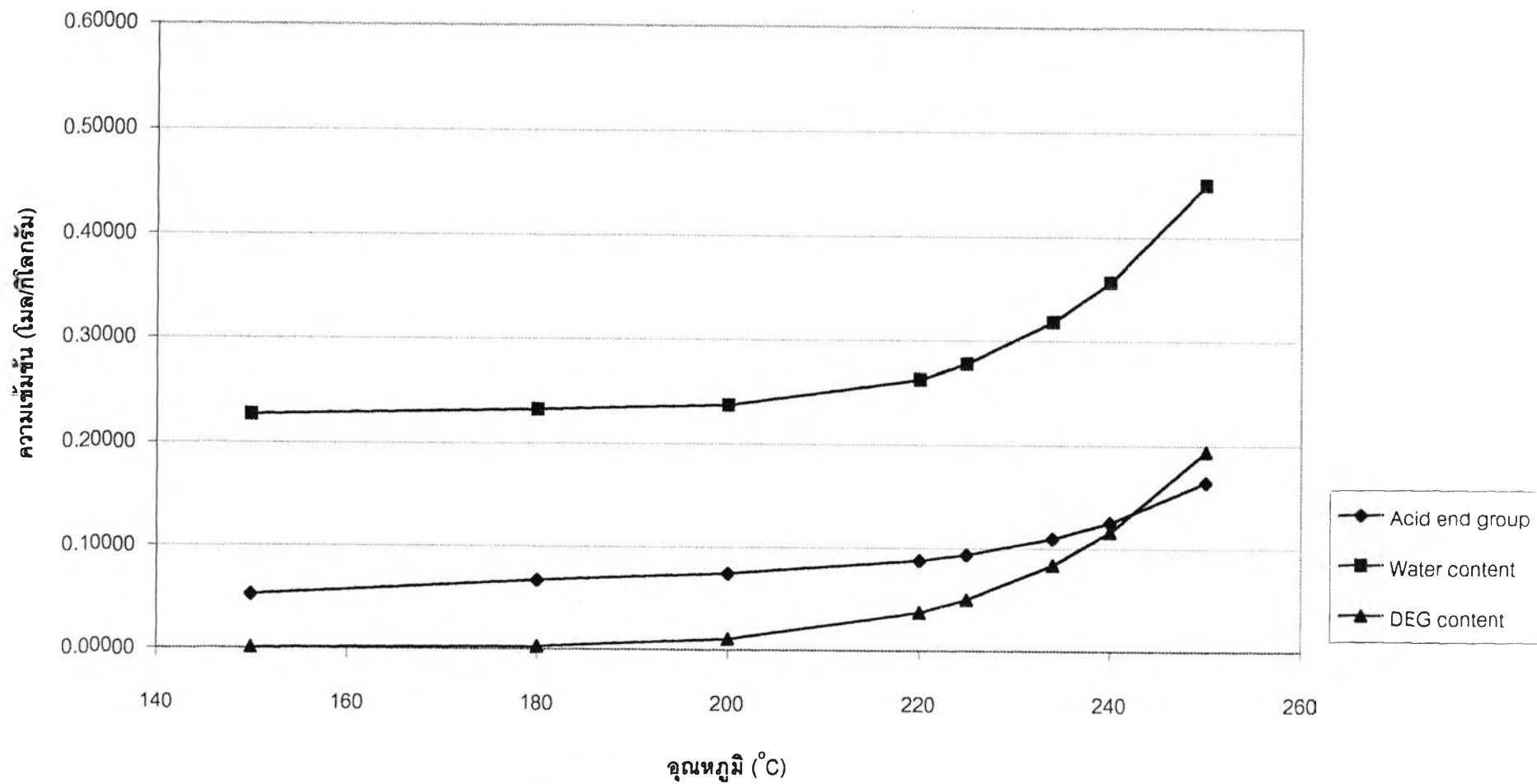
| Reaction                    | Ester inter-change eq.(3-1) | Trans-esterification eq.(3-2) | Poly-condensation eq.(3-3) | Acetaldehyde formation eq.(3-4) | Free DEG formation eq.(3-5) | Incorporated DEG formation eq.(3-6) | Esterification reaction eq.(3-7) | Esterification reaction eq.(3-8) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Activation energy, kcal/mol | 15.0                        | 15.0                          | 18.5                       | 29.8                            | 29.8                        | 29.8                                | 17.6                             | 17.6                             |
| Frequency factor, L/mol min | $4.0 \times 10^4$           | $2.0 \times 10^4$             | $6.8 \times 10^5$          | $2.17 \times 10^{9a}$           | $2.17 \times 10^9$          | $2.17 \times 10^9$                  | $1.0 \times 10^6$                | $1.0 \times 10^6$                |
| Equilibrium constants       | 0.3                         | 0.15                          | 0.5                        | -                               | -                           | -                                   | 2.5                              | 1.25                             |

<sup>a</sup>Units are min<sup>-1</sup>

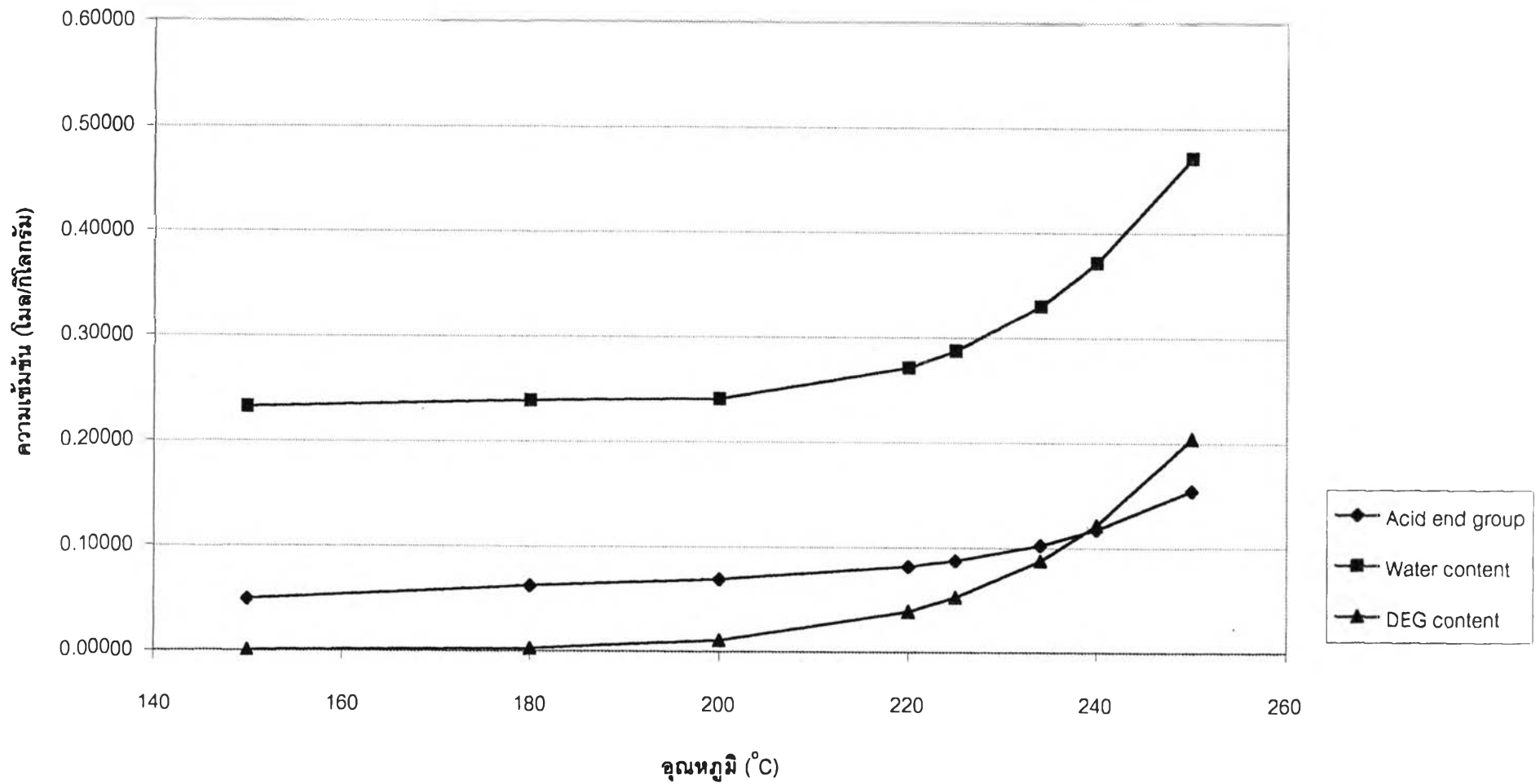
ที่มา: K. Ravindranath and R. A. Mashelkar., J. Appli. Sci., 27, 471 (1982)



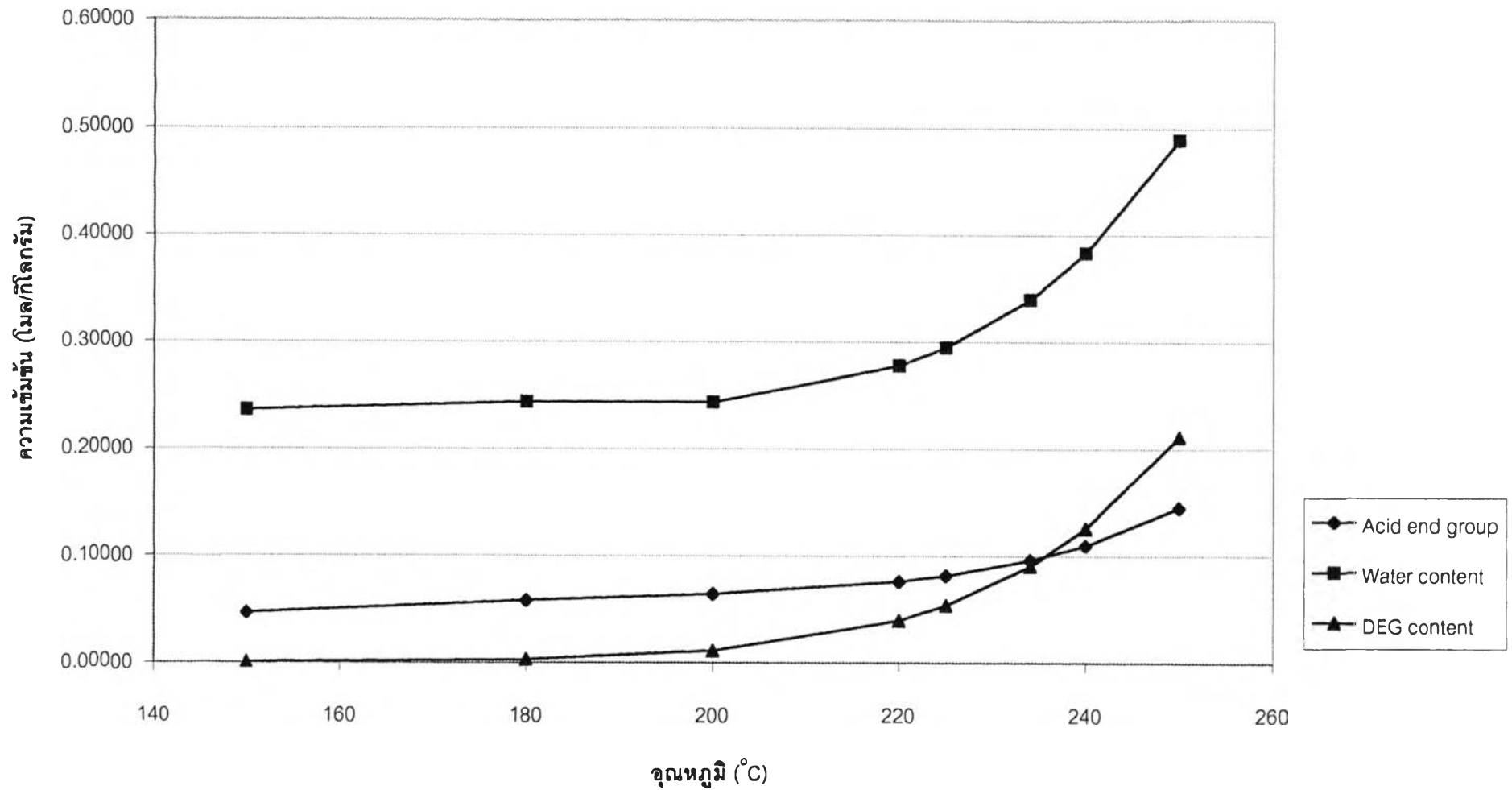
รูปที่ ก-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลดิเอมิตต่ออีจีที่ 1:1.80



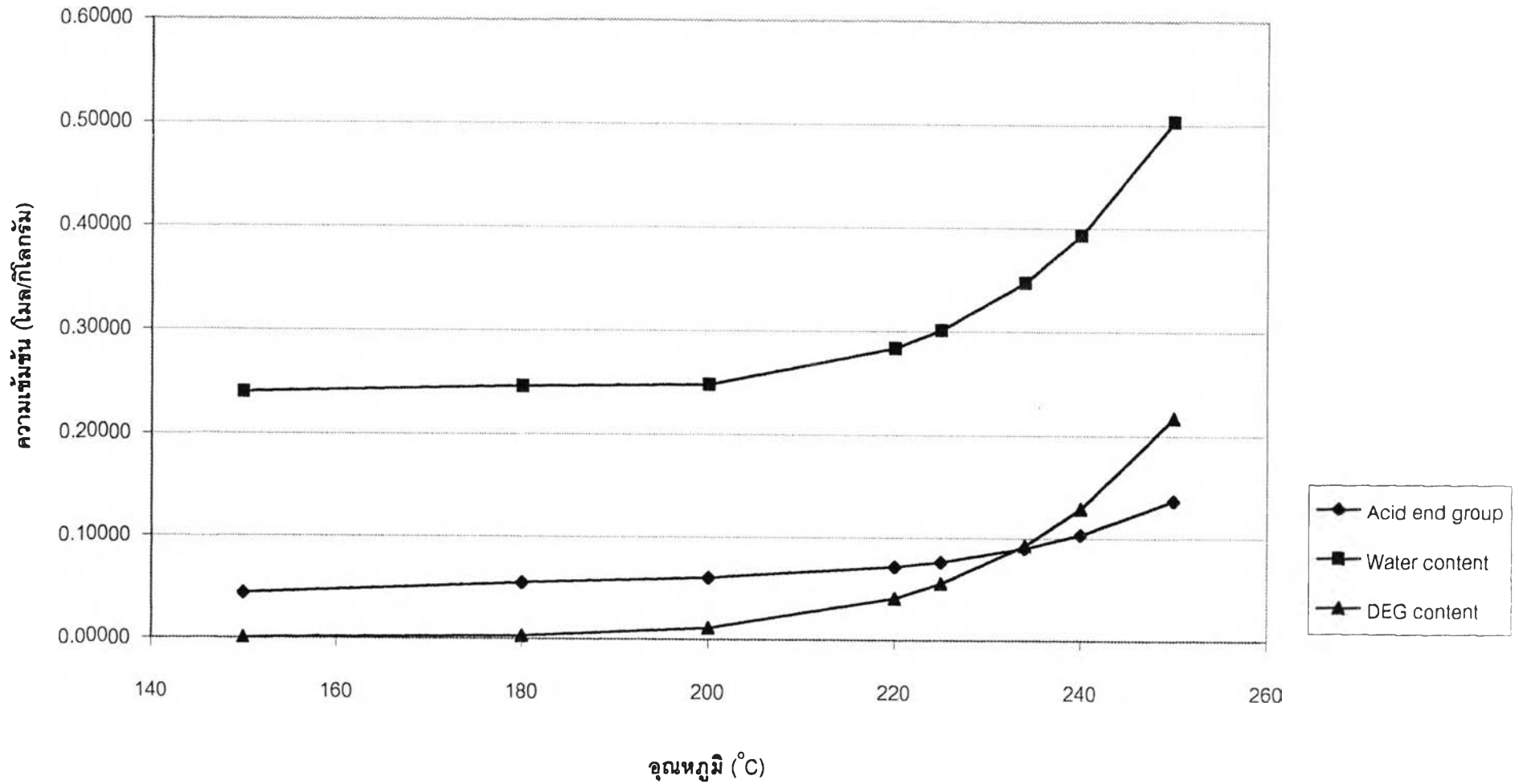
รูปที่ ก-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลตีเอ็มที่ต่ออีจีที่ 1:1.90



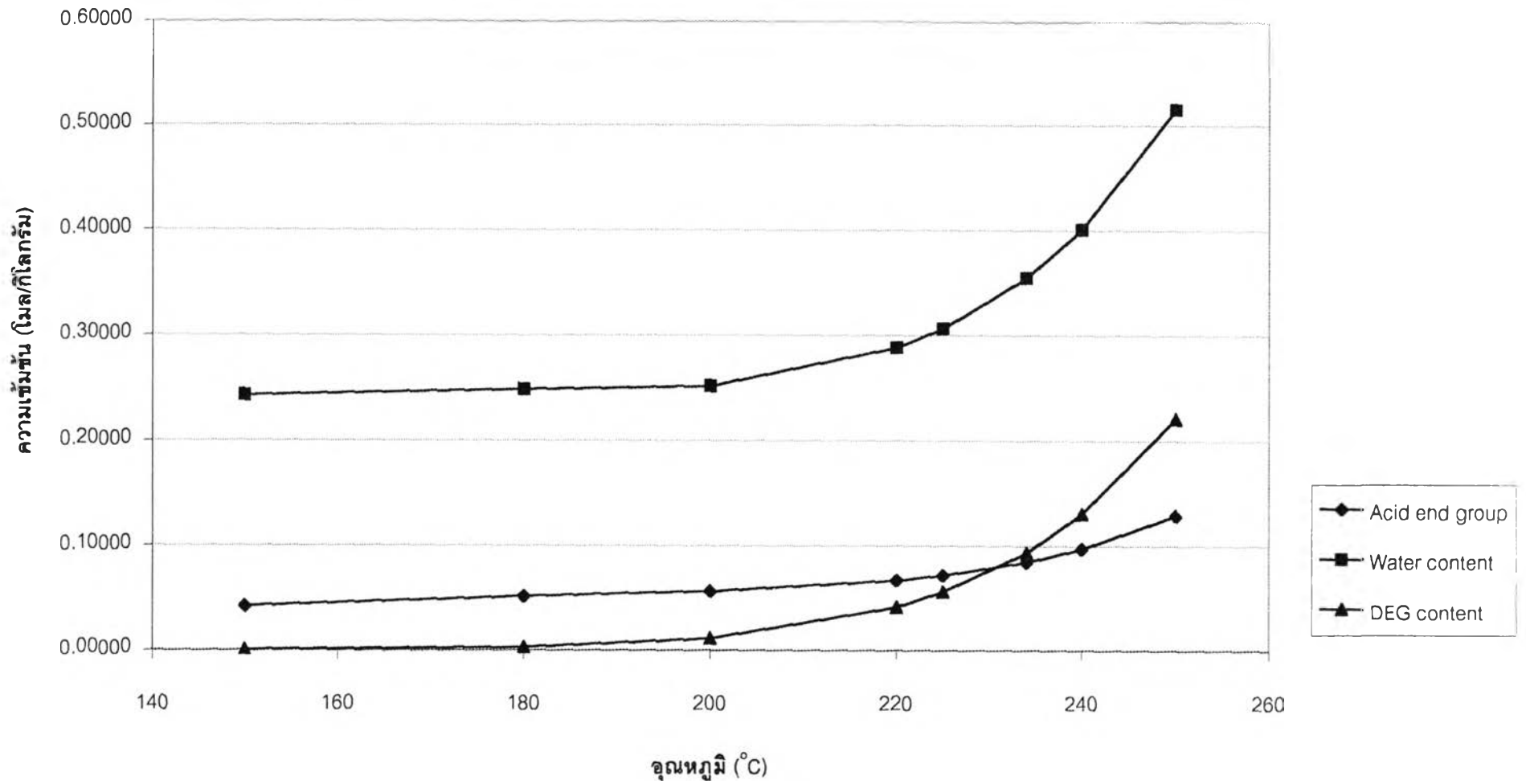
รูปที่ ก-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลดิเอ็มที่ต่ออีจีที่ 1:2.00



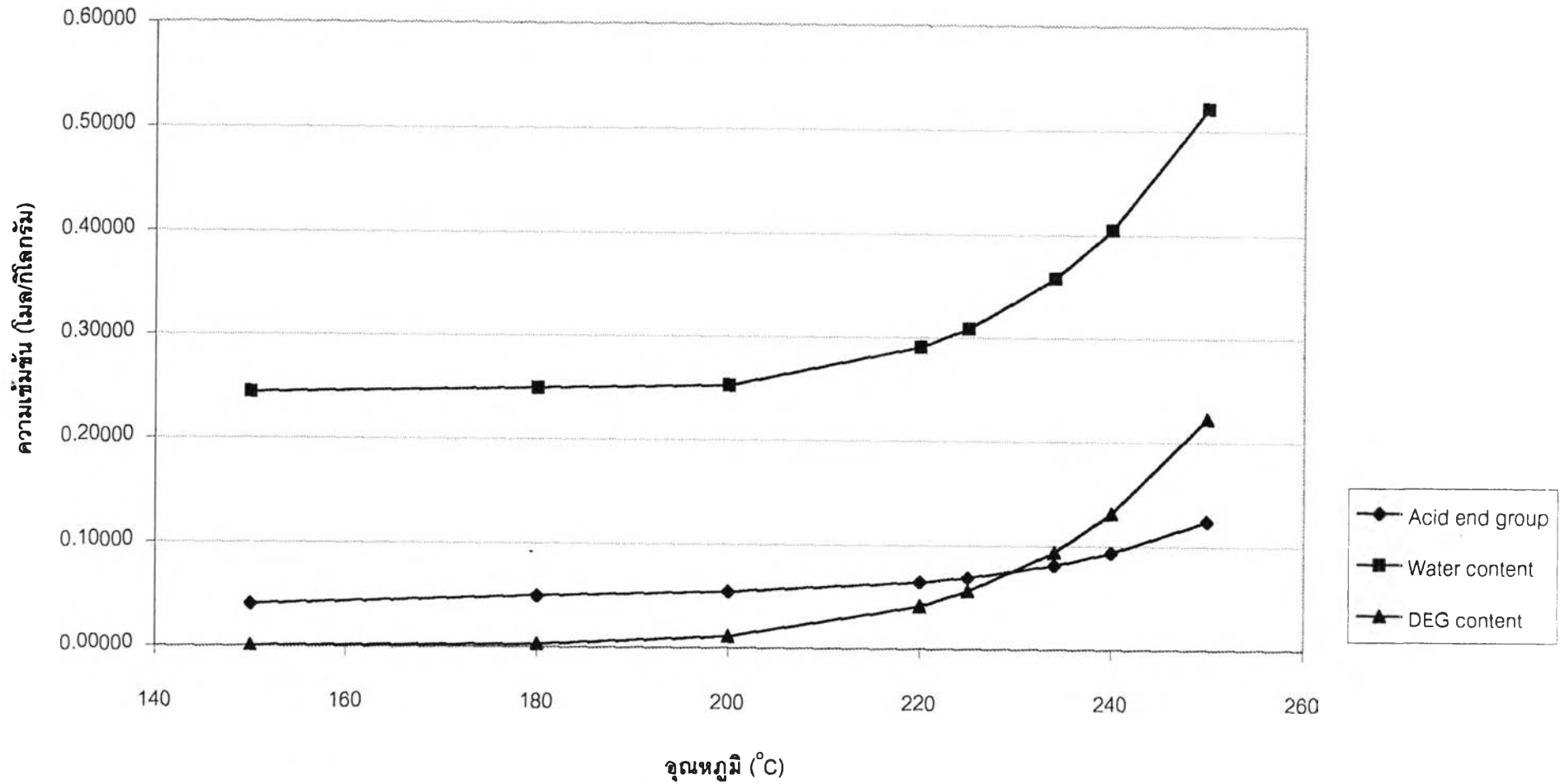
รูปที่ ก-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลติเอมิตต่ออีจีที่ 1:2.10



รูปที่ ก-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลดิเอมีตต่อออีจีที่ 1:2.20

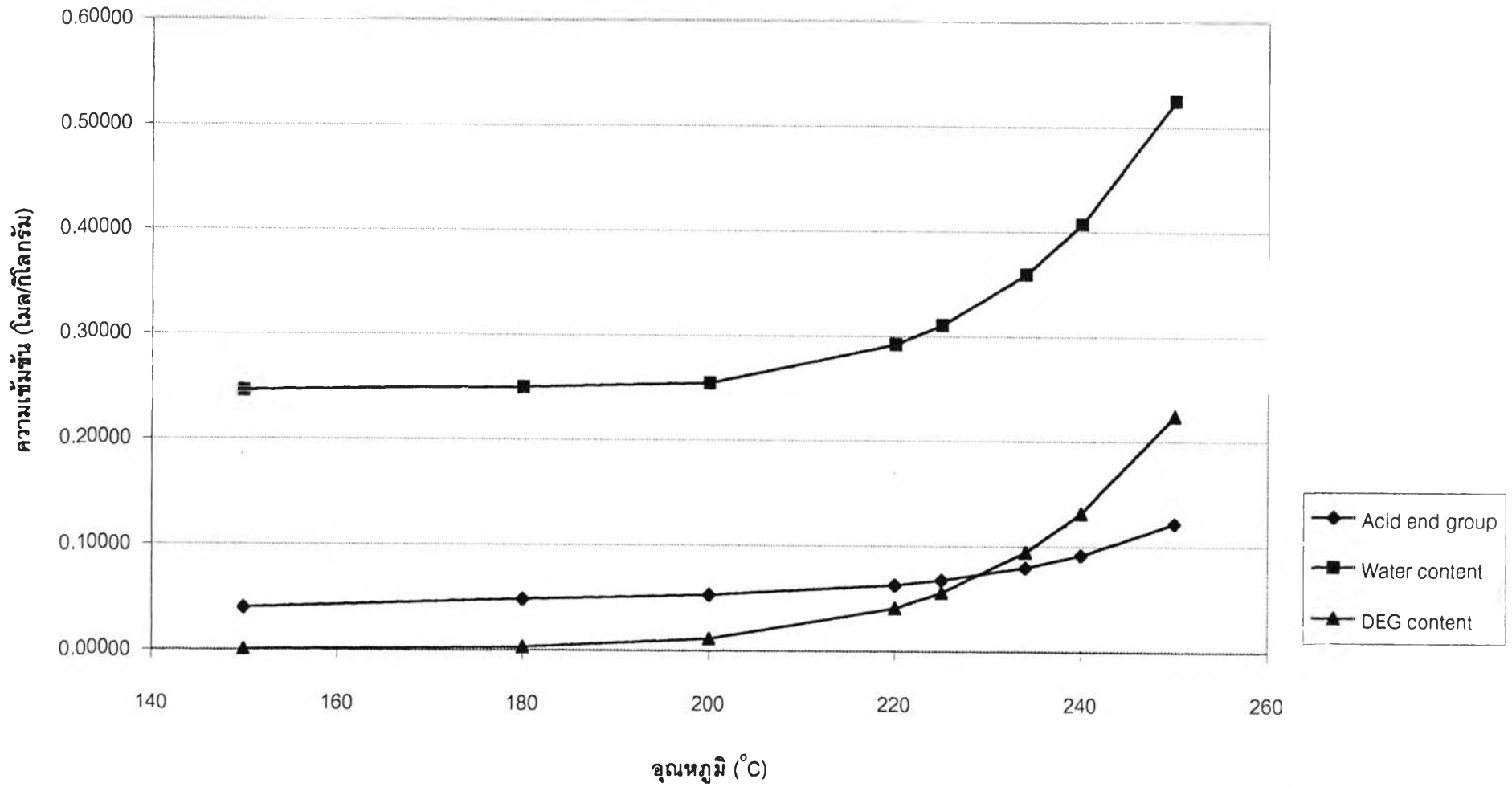


รูปที่ ก-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลดีเอ็มทีต่ออีจีที่ 1:2.30

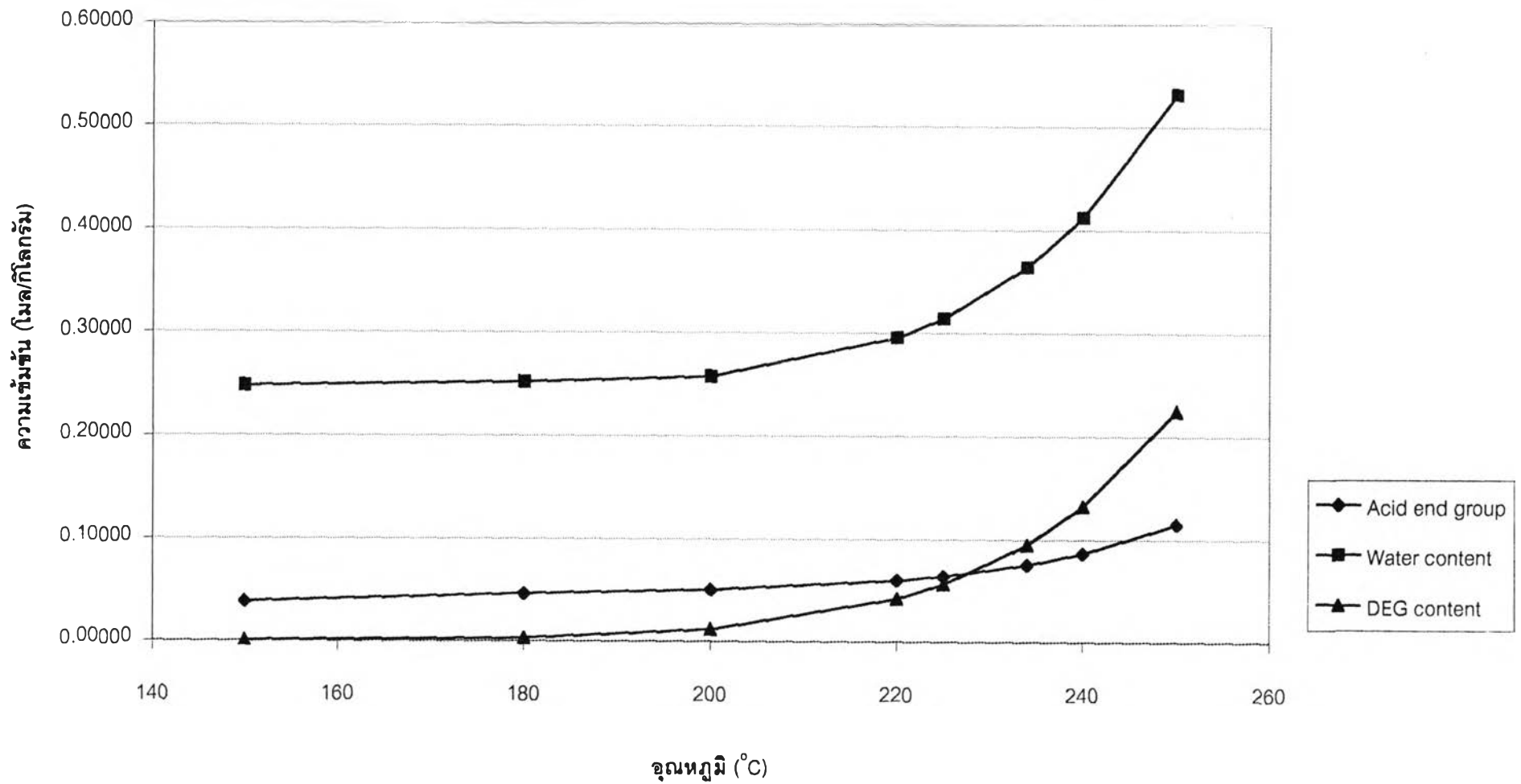


รูปที่ ก-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลตีเอ็มที่ต่ออีจีที่ 1:2.36





รูปที่ ก-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลติเอมที่ต่ออีอีที 1:2.40



รูปที่ ก-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดติดที่ปลายโซ่ น้ำ และดีอีจี กับอุณหภูมิที่สัดส่วนโมลดีเอ็มที่ต่ออีจีที่ 1:2.50

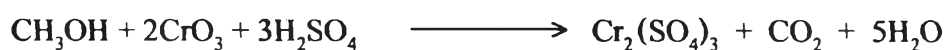
## ภาคผนวก ข

### วิธีวิเคราะห์

ข.1) การหาค่าหมู่เทอเรฟทาลิก (Terephthalic Groups) หรือจำนวนสปอนนิฟิเคชัน (Saponification Number) และหมู่เมทิลเอสเตอร์ (Methylester Groups) หรือจำนวนเมธานอลทั้งหมด (Total Methanol) ในผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน

#### 1. วัตถุประสงค์

1.1 สปอนนิฟิเคชันของผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชันที่เกิดจากการที่คีเอมที่ทำปฏิกิริยากับอีจีจะมีเมธานอลอิสระที่รวมตัวอยู่ในคีเอมที่ และเมธานอลในสถานะอิสระสามารถหาได้โดยใช้สารซัลเฟอร์โครมิกที่ทราบปริมาณ ดังสมการต่อไปนี้



31 กรัม  $\longrightarrow$  300 ลิตร ของสารละลาย 0.02 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

1.2 สปอนนิฟิเคชันของผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชันเพื่อหาโปแตสเซียมเทอเรฟทาเลต และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไปจะถูกไตเตรทด้วยกรดไฮโดรคลอริก

#### 2. วิธีการ

2.1 เวลาที่ทำการวิเคราะห์ 2 ชั่วโมง.

## 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.2.1 เครื่องชั่งละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม
- 2.2.2 ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 , 250 , 500 ลบ.ซม. พร้อมจุกปิด
- 2.2.3 Heating mantle
- 2.2.4 ปิเปต 1 , 5 , 10 ลบ.ซม.
- 2.2.5 จุกยาง
- 2.2.6 กระจกควง 25 ลบ.ซม.
- 2.2.7 ขวดวัดปริมาตร 100, 1000 ลบ.ซม.
- 2.2.8 อ่างน้ำร้อน
- 2.2.9 บิวเรต 25 ลบ.ซม.

## 2.3 สารเคมี

- 2.3.1 สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 นอร์มัล  
ละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) 112 กรัม ใช้น้ำกลั่น  
1000 ลบ.ซม.
- 2.3.2 กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล  
เจือจางกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) 82 ลบ.ซม. ด้วยน้ำกลั่น  
และปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ลบ.ซม. ด้วยน้ำกลั่น
- 2.3.3 ฟีนอร์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์  
ละลายฟีนอร์ฟทาลีน 1 กรัม ในเอทานอล 100 ลบ.ซม.
- 2.3.4 สารละลายมาตรฐาน KHP 1.00 นอร์มัล  
อบโปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP),  $\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOH}$   
ในตู้อบ  $100^\circ\text{C}$  2 ชั่วโมง. และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น  
(desiccator) 1 ชั่วโมง.
- 2.3.5 สารซัลเฟอร์โครมิก  
- อบโปแตสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ในตู้อบ  $100^\circ\text{C}$ . 2 ชั่วโมง.

- สารละลาย A ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) จำนวน 2 กรัม ในน้ำกลั่น 200 ลบ.ซม.
- สารละลาย B เจือจางกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) เข้มข้น 680 ลบ.ซม. ด้วยน้ำกลั่น 100 ลบ.ซม. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- เติมสารละลาย B ลงในสาร A แล้วเทลงใส่ขวดวัดปริมาตร 1000 ลบ.ซม. ทิ้งไว้ให้เย็น และปรับปริมาตรให้ถึงขีดวัดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3.6 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 100 กรัมต่อลิตร  
ละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 100 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 ลบ.ซม.

2.3.7 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล  
ละลายโปแตสเซียมไทโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3$ ) 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 ลบ.ซม. ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน ก่อนการทำการเทียบมาตรฐาน (เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา และเก็บไว้ในตู้เย็น)

2.3.8 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล

- ออบโปแตสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ในตู้อบ  $110^\circ C$ . เวลา 2 ชั่วโมง. นำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถคู่ความชื้น 1 ชั่วโมง.
- ชั่งโปแตสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งแล้ว 1.226 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ลบ.ซม. ด้วยน้ำกลั่น

2.3.9 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล  
เตรียมจาก normaldose โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 นอร์มัล

2.3.10 โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)

## 2.4 วิธีการวิเคราะห์

2.4.1 หาค่าแฟคเตอร์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล

- 1) ชั่ง KHP ที่อบแห้งแล้ว 1 กรัม ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 250 ลบ.ซม. ละลายในน้ำกลั่น 75 ลบ.ซม. และกวนให้เข้ากัน

- 2) เติมฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ 3 หยด
- 3) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
- 4) หาค่านอร์มัลลิตีของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล

$$\text{นอร์มัลลิตีของโซเดียมไฮดรอกไซด์} = \frac{W \text{ KHP} \times 1000}{204.23 \times V \text{ NaOH}}$$

เมื่อ  $W \text{ KHP} =$  น้ำหนักของ KHP (กรัม)

$V \text{ NaOH} =$  ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล  
ไลเตรน (ลบ.ชม.)

2.4.2 หาค่าแฟคเตอร์ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล

- 1) ชั่งโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 500 ลบ.ชม.
- 2) เติมน้ำกลั่น 100 ลบ.ชม. และกรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 1 ลบ.ชม. กวนให้เข้ากัน
- 3) เติมสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล 20 ลบ.ชม. , ปิดจุก และเก็บไว้ในตู้มืด 5 นาที
- 4) เติมน้ำกลั่น 300 ลบ.ชม. ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
- 5) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็ง และไตเตรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวอ่อน
- 6) หาค่าแฟคเตอร์ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล

$$\text{นอร์มัลลิตีของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{0.025 \times 20}{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = \frac{0.5}{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

แฟคเตอร์ของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.02 นอร์มัล

$$= \frac{\text{นอร์มัลริติของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 0.02}$$

$$= \frac{25}{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

เมื่อ  $V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 =$  ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02  
นอร์มัลไคเตรนท (ลบ.ชม.)

#### 2.4.3 หาค่าหมู่เทอเรพทาติก และหมู่เมทิลเอสเตอร์

- 1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 100 ลบ.ชม. ให้ w (หน่วย มิลลิกรัม) เท่ากับน้ำหนักตัวอย่าง
- 2) เติมสารละลายโปแตสเซียมไฮโครกไซด์ 2 นอร์มัล 10 ลบ.ชม. และนำขวดใส่ตัวอย่างนี้ต่อกับชุดเครื่องมือ nicloux
- 3) ทำการรีฟลักซ์ 45 นาที จนกระทั่งตัวอย่างมอนอเมอร์ละลายหมดทิ้งไว้ให้เย็น
- 4) ตวงน้ำกลั่น 20 ลบ.ชม. ด้วยกระบอกตวงเตล้าง vigreux คอลัมน์ และปิดน้ำเย็นที่ไหลเข้าคอลัมน์
- 5) สวมขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลบ.ชม. ที่มีน้ำกลั่น 75 ลบ.ชม. เข้ากับปลายด้านหนึ่งของเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันการสูญหายของเมธานอล
- 6) กลั่นตัวอย่างให้ได้ปริมาณออกมาเท่ากับ 20 ลบ.ชม. ใส่ในขวดวัดปริมาตรที่มีขีดปริมาตรที่ 95 ลบ.ชม. จากนั้นเอาขวดวัดปริมาตรออกก่อนจะหยุดให้ความร้อน ตั้งปลายของเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ปรับปริมาตรให้ครบ 100 ลบ.ชม. ด้วยน้ำกลั่นและเก็บไว้หาค่า หมู่เมทิลเอสเตอร์

- 7) ตัวอย่างในขบวนการหมักนำมาหาค่าหมักเทอร์ฟทาลิก
- ตั้งขบวนการหมักไว้ในตู้เย็น ล้างคอถัมน์ด้วยน้ำปริมาณเล็กน้อย และนำขบวนการหมักออกจากอุปกรณ์ nicloux
  - เติมหินอร์ฟทาลิน อินดิเคเตอร์ 1-2 หยด
  - ไตรเตรทด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล จนกระทั่งสีชมพูหายไป ให้  $V_2$  (ลบ.ชม.) เท่ากับปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล ไตรเตรนต์ สำหรับตัวอย่าง
  - ทำแบลนด์ให้มีสภาวะเหมือนตัวอย่างแต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง ให้  $V_1$  (ลบ.ชม.) เท่ากับปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล ไตรเตรนต์สำหรับแบลนด์
- 8) ตัวอย่างในขบวนการวัดปริมาตรนำมาหาค่าหมักเมทิลเอสเตอร์.
- ปิดฝาขวดตัวอย่าง 10 ลบ.ชม. ใส่ลงในขบวนการหมักที่มีจุกปิด ขนาด 125 ลบ.ชม.
  - เติมหินอร์ฟทาลิน 10 ลบ.ชม. ปิดจุกขวดและรัดด้วยยางให้แน่น นำไปตั้งทิ้งไว้ในอ่างน้ำร้อน  $50^{\circ}\text{C}$  30 นาที
  - นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น, จากนั้นเติมน้ำกลั่น 20 ลบ.ชม. และสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 100 กรัมต่อลิตร 4 ลบ.ชม. ตั้งทิ้งไว้ในตู้มืด 5 นาที
  - ไตรเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน, เติมหินอร์ฟทาลินน้ำแข็ง จะได้สารละลายสีน้ำเงิน ทำการไตรเตรทต่อจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวอ่อน ให้  $V_4$  (ลบ.ชม.) เท่ากับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล ไตรเตรนต์ สำหรับตัวอย่าง
  - ทำแบลนด์ให้มีสภาวะเหมือนตัวอย่าง แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างให้  $V_3$  (ลบ.ชม.) เท่ากับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล ไตรเตรนต์ สำหรับแบลนด์



## 2.5 การคำนวณ

2.5.1 หมู่เทอแรฟทาลิกในรูปของ  $\text{OC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}$  (เปอร์เซ็นต์ w/w)

$$= \frac{6600 (V_1 - V_2) f_{\text{HCL}}}{W}$$

เมื่อ  $V_1$  = ปริมาตรของกรดไฮโครคลอริก 1 นอร์มัล ไตเตรนที่  
สำหรับแบลงค์ (ลบ.ชม.)

$V_2$  = ปริมาตรของกรดไฮโครคลอริก 1 นอร์มัล ไตเตรนที่  
สำหรับตัวอย่าง (ลบ.ชม.)

$f$  = ค่าแฟคเตอร์ของกรดไฮโครคลอริก 1 นอร์มัล

$W$  = น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

2.5.2 หมู่เมทิลเอสเตอร์ในรูปของ  $\text{CH}_3\text{O}$  (เปอร์เซ็นต์ w/w)

$$= \frac{1.033 (V_3 - V_4) f \times 100}{W}$$

เมื่อ  $V_3$  = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล  
ไตเตรนที่ สำหรับแบลงค์ (ลบ.ชม.)

$V_4$  = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02 นอร์มัล  
ไตเตรนที่ สำหรับตัวอย่าง (ลบ.ชม.)

$f$  = ค่าแฟคเตอร์ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.02  
นอร์มัล

$W$  = น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

## 2.5.3 อัตราส่วน

$$= \frac{(100 + \text{M.G.}) - \text{T.G.} \times 2.16}{\text{T.G.}}$$

#### 2.5.4 อัตราการเกิดปฏิกิริยา

$$= \frac{\frac{T.G. - M.G.}{66} - \frac{M.G.}{31}}{\frac{T.G.}{66}} \times 100$$

เมื่อ T.G. = หมู่เทอเรพทาลิก (เปอร์เซ็นต์ w/w)

M.G. = เมทิลเอสเตอร์ (เปอร์เซ็นต์ w/w)

### 3. ข้อควรระวัง

#### 3.1 การทำความสะอาดเครื่องแก้ว

3.1.1 ก่อนใช้เครื่องแก้ว ควรล้างด้วยสารซักฟอโรโครมิก และล้างด้วยน้ำกลั่น

3.1.2 ส่วนที่เป็น ground joint ไม่ควรใช้สารหล่อลื่น (ควรใช้เทฟลอน)

3.1.3 ห้ามใช้อะซิโตนในการล้างเครื่องมือ

#### 3.2 ควรสวมถุงมือป้องกันขณะใช้กรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก

## ข.2) โปเทนทีโอเมตริกไทเตรชันของกลุ่มโมเลกุลที่มีกรดคีปปลายโซ่ของพอลิเอสเทอร์

### 1. วัตถุประสงค์

โปเทนทีโอเมตริกไทเตรชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้  
อโรครีซอล

### 2. วิธีการ

2.1 เวลาทำการวิเคราะห์ 1 ชม.

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 เครื่องชั่งละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

2.2.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับให้ความร้อน เพื่อให้อโรครีซอลที่อยู่ในขวดรูป  
ชมพูมีสถานะของเหลว

2.2.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับดูดอโรครีซอลออกมาจากขวดรูปชมพู

2.2.4 ชุดอุปกรณ์สำหรับกลับอโรครีซอลภายใต้สุญญากาศ

2.2.5 เครื่องแก้วสำหรับละลายตัวอย่างและไทเตรชัน มี funnel conical  
ground – glass joint ที่ต่อกับเครื่องควบแน่นแบบตั้ง

2.2.6 อ่างไกลคอลที่ควบคุมอุณหภูมิ 90 °C

2.2.7 เครื่องกวนสารและแม่เหล็กที่เคลือบด้วยเทฟลอน

2.2.8 ปิเปต 10, 25 ลบ.ซม.

2.2.9 เครื่องไทเตรตอัตโนมัติ ที่ชื่อว่า Metrohm Titroprocessor 686 และ  
Dosimat 665

2.2.10 บีกเกอร์ 100 ลบ.ซม.

## 2.3 สารเคมี

### 2.3.1 โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

### 2.3.2 ออโรครีซอล

ออโรครีซอลถูกกลั่นโดยเติมโซเดียมคาร์บอเนต 14 กรัมต่อ ออโรครีซอล 4 ลิตร แล้วนำไปกลั่นที่อุณหภูมิ  $54^\circ\text{C}$  ภายใต้อัตราความดัน 2 มิลลิเมตรปรอท จากนั้นกลั่นเก็บออโรครีซอลไว้ในที่มืดและต้องใช้เวลาภายใน 3 วัน หลังจากกลั่น

### 2.3.3 KHP (Potassium Hydrogen Phthalate)

อบ KHP ในตู้อบ  $100^\circ\text{C}$  2 ชั่วโมง. และนำมาทิ้งให้เย็นในโถคู่คความชื้น 1 ชั่วโมง.

### 2.3.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.2 นอร์มัล เตรียมจาก NaOH 1 N โดยใช้ NaOH 40 กรัม ละลายน้ำ 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำมาเจือจางเป็น NaOH 0.2 N โดยใช้ NaOH 1 N ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ละลายน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

## 2.4 วิธีการวิเคราะห์

### 2.4.1 การหาค่านอร์มัลลิตีของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- 1) ชั่ง KHP แห่ง 0.05 กรัม ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 100 ลบ.ซม.
- 2) เติมออโรครีซอล 50 ลบ.ซม. โดยใช้ปิเปต, กวนให้เข้ากัน
- 3) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มัล โดยใช้เครื่องไตเตรตอัตโนมัติ
- 4) หาค่านอร์มัลลิตีของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\text{นอร์มัลลิตีของโซเดียมไฮดรอกไซด์} = \frac{A \times 4.8964}{B}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของ KHP อบแห้ง (กรัม)

B = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์  
ไตเตรนต์ (ลบ.ซม.)

#### 2.4.2 การหาค่ากลุ่มโมเลกุลที่มีกรดคลิคลายโซ่ ของตัวอย่างพอลิเอสเทอร์

- 1) ชั่งตัวอย่างพอลิเมอร์ 3 กรัม (ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม) ใส่ลงในขวดทำปฏิกิริยา
- 2) เติมอโรครีซอล 50 ลบ.ซม. และใส่แท่งกวนสาร
- 3) ต่อเครื่องควบแน่น กับ ขวดทำปฏิกิริยารีฟลักซ์ตัวอย่างในอ่างไกลคอล 90 °C 30 นาที ทำการกวนอย่างแรงระหว่างรีฟลักซ์
- 4) นำขบวนการหม้อออกจากอ่างไกลคอล และทำการตั้งทิ้งให้เย็นประมาณ 10 นาที ใช้ลมเป่า
- 5) เติมน้ำกลั่น 6 ลบ.ซม. กวนให้เข้ากัน
- 6) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มัล โดยใช้เครื่องไตเตรทอัตโนมัติให้  $V$  เท่ากับปริมาตรของสารละลายโซเดียม 0.2 นอร์มัล ไตเตรนที่สำหรับตัวอย่าง (ลบ.ซม.)
- 7) ทำแบลนค์ภายใต้สภาวะเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างให้  $V_0$  เท่ากับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มัล ไตเตรนที่สำหรับแบลนค์ (ลบ.ซม.)

#### 2.5 การคำนวณ

กลุ่มโมเลกุลที่มีกรดคลิคลายโซ่ (กรัมสมมูล ใน  $10^6$  กรัมของพอลิเมอร์

$$\frac{(V - V_0) t \cdot 10^6}{10^3 \cdot W} = \frac{(V - V_0) t \cdot 10^3}{W}$$

เมื่อ  $t$  = นอร์มัลริตีของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

$V$  = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไตเตรนที่สำหรับตัวอย่าง (ลบ.ซม.)

$V_0$  = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไตเตรนที่สำหรับแบลนค์ (ลบ.ซม.)

$W$  = น้ำหนักของตัวอย่างพอลิเมอร์ (กรัม)

### 3. ข้อควรระวัง

ออโรครีซอลเป็นสารพิษ ควรใช้อย่างระมัดระวังในผู้สูงอายุ

- 3.1 เมื่อออโรครีซอลสัมผัสกับผิวหนัง : ล้างด้วยเอทิลีนไกลคอลและล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมาก ๆ
- 3.2 เมื่อออโรครีซอลสัมผัสกับตา : ล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมาก ๆ และรีบไปพบแพทย์

### ข.3) การหาดีอีจีในพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate)

#### 1. หลักการ

นำสารตัวอย่างมาทำปฏิกิริยากับเมธานอลใน Heating block สารละลายที่ได้สามารถนำไปหาปริมาณดีอีจีโดยใช้วิธี Internal standard

#### 2. อุปกรณ์

- แก๊สโครมาโตกราฟี โดยมีเครื่องตรวจจับสัญญาณแบบ FID
- ไมโครไซริงก์ ของ Hamilton type 701N
- หลอดสำหรับทำปฏิกิริยาทำด้วยเหล็ก
- เครื่องให้ความร้อน (Heating block)
- บีเปต 30 มิลลิลิตร.
- ขวดวัดปริมาตรขนาด 5000 มิลลิลิตร.
- อุปกรณ์ทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

#### 3. สารเคมี

- เมธานอลในระดับเกรดวิเคราะห์
- เตะตระเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทิลอีเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง
- ซิงค์อะซิเตตในระดับเกรดวิเคราะห์
- อีจีในระดับเกรดวิเคราะห์
- ดีอีจีในระดับเกรดวิเคราะห์

#### 4. วิธีทำ

##### 4.1 การเตรียมสารละลายทรานส์เอสเตอร์ริไฟเคชัน

ชั่งตะตระเอทิลีนไกลคอลไดเมทิลอีเทอร์มา 0.400 กรัม และ ซิงค์อะซิเตตมา 60 มิลลิกรัม จากนั้นละลายด้วย เมธานอล แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ในขวดวัดปริมาตรด้วย เมธานอล

#### 4.2 การเตรียมสารละลายทดสอบ สำหรับหา แพลคเตอร์

4.2.1 เตรียม Stock solution ดังนี้ ชั่ง อีจี 98.000 กรัม และดีอีจี 2.000 กรัม

4.2.2 นำ Stock solution มาเตรียมสารละลายทดสอบ ดังนี้  
ตัวอย่างที่.      น้ำหนักของ Stock solution (กรัม)    เปอร์เซ็นต์ดีอีจี

|   |        |                 |
|---|--------|-----------------|
| 1 | 0.2500 | 0.5 เปอร์เซ็นต์ |
| 2 | 0.5000 | 1.0 เปอร์เซ็นต์ |
| 3 | 0.7500 | 1.5 เปอร์เซ็นต์ |
| 4 | 1.0000 | 2.0 เปอร์เซ็นต์ |

\* ความเข้มข้นของ ดีอีจี อ้างถึงน้ำหนักของตัวอย่าง 1.000 กรัม

4.2.3 เติมสารละลายทรานส์เอสเทอร์รีฟิเคชัน 30 มิลลิลิตร ลงในสารละลายทดสอบแต่ละตัว

4.2.4 นำสารละลายทดสอบที่ได้มาหาค่าดีอีจี โดยใช้ แก๊สโครมาโตกราฟีตามข้อ 4.4

#### 4.3 การเตรียมสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

คอลัมน์ : Carbowax Capillary column

30 m X 0.53 mm. ID. X 1.2  $\mu$ m Film

แก๊ส : Carrier gas  $N_2$  = 15 มิลลิลิตร/นาที

Make-up gas  $N_2$  = 15 มิลลิลิตร/นาที

Combustion gas  $H_2$  = 45 มิลลิลิตร/นาที

Compressed air = 450 มิลลิลิตร/นาที

Splitter = 0 มิลลิลิตร/นาที (Split-off)



อุณหภูมิ :

|                  |               |               |
|------------------|---------------|---------------|
| Column oven      | start : 150°C | hold : 0 นาที |
|                  | final : 200°C | rate : 10°C   |
|                  |               | hold : 3 นาที |
|                  | final : 230°C | rate : 30°C   |
|                  |               | hold : 5 นาที |
| injector         | : 250°C       |               |
| detector         | : 280°C       |               |
| amount injected: | 1 µl          |               |

## 5. การคำนวณ

### 5.1 การคำนวณและการสร้างกราฟเทียบมาตรฐาน

5.1.1 การหาปริมาณคีอีจีในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต้องหาค่าแฟคเตอร์จากผลการของอัตราส่วนน้ำหนักและอัตราส่วนพื้นที่ (คีอีจีทดสอบต่อคีอีจีมาตรฐาน) จากสารละลายทดสอบแต่ละตัว

5.1.2 คำนวณอัตราส่วนน้ำหนัก (WR) ของสารละลายทดสอบแต่ละตัวตามสูตรข้างล่างนี้

$$WR = \frac{\text{mg DEG}}{\text{mg ST}}$$

เมื่อ mg DEG = ปริมาณของคีอีจี(มิลลิกรัม) ที่อยู่ในสารละลายทดสอบ

mg ST = ปริมาณของคีอีจีมาตรฐาน(มิลลิกรัม) ที่อยู่ในสารละลายทดสอบ

5.1.3 คำนวณอัตราส่วนพื้นที่ของ สารละลายทดสอบ ทั้ง 4 ตัว คังสมการ

$$AR = \frac{\text{IU ของ DEG}}{\text{IU ของ ST}}$$

เมื่อ  $IU = \text{integrator units}$  สำหรับคีอีจี

#### 5.1.4 จำนวนหาแฟลคเตอร์ดังสมการ

$$\text{Factor} = \frac{WR}{AR} = \frac{\text{mg DEG} \cdot IU \text{ ST}}{\text{mg ST} \cdot IU \text{ DEG}}$$

5.1.5 เขียนกราฟระหว่าง อัตราส่วนของพื้นที่ของสารละลายทดสอบทั้ง 4 กับแฟลคเตอร์

#### 5.2 จำนวนผลการวิเคราะห์

การหาปริมาณคีอีจี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จากตัวอย่าง โดยการคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ AR (คีอีจีทดสอบต่อคีอีจีมาตรฐาน) และอ่านค่าแฟลคเตอร์จากกราฟ แล้วคำนวณตามสมการ

$$\text{DEG (\% W/W)} = \frac{AR \times F \times \text{mg ST}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)} \times 10}$$

#### 5.3 หาค่าเฉลี่ยจากผลที่ใกล้เคียงกัน

### 6. เวลาที่ใช้

เวลาประมาณ 4 ชม. รวมการทำกราฟเทียบมาตรฐาน

เวลาที่แท้จริง 45 นาที

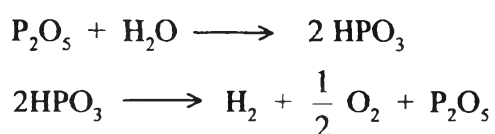
### 7. ความถูกต้อง

+ 5 เปอร์เซ็นต์

#### ข.4) การหาน้ำในพอลิเอทิลีนเทอแรพทาเลต ด้วย เครื่องวิเคราะห์หาความชื้นของ MEECO

##### 1. หลักการ

น้ำที่อยู่ในตัวอย่างสามารถทดสอบได้โดยการให้ความร้อนโดยผ่านไอโนโตรเจนที่อุณหภูมิ 205°C ทางเซลล์ไฟฟ้า ปริมาณน้ำที่ดูดซับในเซลล์ไฟฟ้าทั้งสองจะสลายตัวให้ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดย ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ดังสมการ



สาย แพลตทินัม (platinum) 2 เส้นที่อยู่ในท่อเทฟลอนซึ่งถือเสมือนเป็นขั้วไฟฟ้าที่ปกคลุมด้วยพื้นผิวของฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์

เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองคงที่ การผ่านไอโนโตรเจนที่มีน้ำเข้าไปทางเซลล์ไฟฟ้า จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวอย่าง โดยแสดงที่เครื่องมือวัดในหน่วยไมโครกรัม

##### 2. อุปกรณ์

- MEECO Electrolytic Moisture Analyzer, type LBY model W
- Sample holder
- Regeneration set for the electrolytic cells
- Reducing valve ของไนโตรเจน
- Drying device เช่น ตัวดูดซับออกซิเจน

### 3. สารเคมี

- ไคโปแตสเซียมทาร์เทรต  $K_2C_4H_4O_6 \times \frac{1}{2}H_2O$  MW = 235.28 ในระดับ  
เกรดวิเคราะห์
- อะซิโตนในระดับเกรดวิเคราะห์
- น้ำกลั่น
- กรดฟอสฟอริกในระดับเกรดวิเคราะห์ ( 86 เปอร์เซนต์ )
- ไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง

### 4. วิธีทำ

- 4.1 ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ความชื้นในสถานที่ไม่มีการสั่นสะเทือน มีอุณหภูมิ  
และความดันคงที่ และมีความชื้นต่ำ
- 4.2 เปิดไนโตรเจนเข้าสู่เครื่องมือวิเคราะห์โดยมีอัตราการไหล 50 มิลลิลิตร/นาที  
และความดัน 2-3 psi
- 4.3 เปิดเครื่องวิเคราะห์ที่ “Instrument power switch” จาก “off” ไปที่ “on”
- 4.4 ตั้งสถานะของเครื่องที่ “cond-anal” ที่ตำแหน่ง “condition”
- 4.5 เปิดระบบให้ความร้อนโดยหมุน “Heater power switch” จาก “off” ไปที่  
“on”
- 4.6 ปรับอุณหภูมิของเตาเผาไปที่ 400°F หรือ 205°C โดยเข็มสีแดงแสดง  
อุณหภูมิที่ตั้งไว้ เข็มสีดำแสดงอุณหภูมิจริง
- 4.7 เปิดเครื่องวัดจันกระทั่ง Cell no.1 มีกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 0.4 มิลลิแอมแปร์  
และ Cell no.2 น้อยกว่า 0.10 มิลลิแอมแปร์
- 4.8 เริ่มทำการวิเคราะห์โดยหาปริมาณน้ำของ Blank (อธิบายที่ 4.19)

#### 4.9 ปริมาณตัวอย่างที่ใช้มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ดังนี้

| ปริมาณน้ำ         | ปริมาณตัวอย่าง |
|-------------------|----------------|
| > 0.1 เปอร์เซ็นต์ | <0.5 กรัม.     |
| 0.1 – 0.05        | 0.5 – 1 กรัม.  |
| 0.05 – 0.01       | 1 – 2 กรัม.    |
| 0.01 – 0.005      | 2 – 3 กรัม.    |
| <0.005            | 5 – 7 กรัม.    |

ถ้าตัวอย่างที่ไม่ทราบปริมาณน้ำที่มีอยู่อย่างคร่าว ๆ สามารถหาปริมาณน้ำได้โดยทดลองใช้ตัวอย่าง 1 กรัม. ใส่ในเครื่องมือวิเคราะห์ เมื่อทราบปริมาณน้ำในสารตัวอย่าง 1 กรัม. แล้วให้เปรียบเทียบจากตารางข้างบน

4.10 ชั่งตัวอย่างด้วยความถูกต้อง  $\pm 1$  มิลลิกรัม.

4.11 เปิดไอโนโตรเจนที่ “Carrier Gas In” เพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศเข้าสู่เตาเผาเวลานำตัวอย่างเข้าสู่เครื่องมือวิเคราะห์

4.12 นำตัวอย่างที่ชั่งไว้ใส่ในเตาเผาภายใน 15 วินาที แล้วใส่ Sample holder กลับทันที

4.13 ยังคงเปิดไนโตรเจนที่ “Carrier Gas In” ต่อไปอีก 15 วินาที และตั้งตัวเลขที่แสดงปริมาณน้ำไว้ที่ศูนย์ขณะที่เปิดไนโตรเจน

4.14 ปิดไนโตรเจนที่ “Carrier Gas In”

4.15 ตั้งปุ่ม “cond-anal” ไปที่ “Analysis”

4.16 หมุนที่ตั้งเวลาในการวิเคราะห์ไปที่ 60 นาที

4.17 หลังจากเวลาผ่านไปจนครบ 60 นาที อ่านปริมาณน้ำในหน่วยไมโครกรัมที่หน้าจอเครื่องมือวิเคราะห์

4.18 ปฏิบัติตาม 4.10 – 4.17 อีกครั้งโดยให้เซลล์ทั้งสองมีค่ากระแสไฟฟ้าต่ำกว่าจุดที่กำหนดก่อนจึงเริ่มการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

4.19 การหาปริมาณน้ำของแบลจค์ต้องทำวันละครั้งต้องทำตาม 4.10 – 4.17 โดยไม่มีตัวอย่าง และปริมาณน้ำของแบลจค์ควรมีค่าต่ำกว่า 100 ไมโครกรัม

4.20 เมื่อไม่ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ตั้งปุม “cond – anal” ไปที่ “condition” และลดไอไนโตรเจนจากอัตราการไหล 50 มิลลิลิตร/นาที ไปที่ 20 มิลลิลิตร/นาที ในกรณีที่ต้องการปรับอัตราการไหลไปที่ 50 มิลลิลิตร/นาที ต้องรอประมาณ 15-30 นาที จึงวิเคราะห์ได้

## 5. การคำนวณ

ผลที่แสดงจะอยู่ในรูปของ เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของน้ำ

$$H_2O \text{ (เปอร์เซ็นต์ W/W)} = \frac{(M_1 - M_0)}{W} \times 10^{-4}$$

เมื่อ  $M_1$  = ปริมาณของน้ำในตัวอย่าง (ไมโครกรัม)

$M_0$  = ปริมาณของน้ำในเบลงค์ (ไมโครกรัม)

$W$  = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## 6. เวลาในการทดลอง

ประมาณ 70 นาที (ไม่รวมการทำเบลงค์)

## 7. ความถูกต้อง

7.1 เมื่อปริมาณน้ำ  $> 0.020 \pm 2.5$  เปอร์เซ็นต์

7.2 เมื่อปริมาณน้ำ  $0.010 - 0.020 \pm 5.0$  เปอร์เซ็นต์

7.3 เมื่อปริมาณน้ำ  $< 0.010 \pm 10$  เปอร์เซ็นต์

**ภาคผนวก ค**  
**รายการพิมพ์ออกของโปรแกรม**

**ค.1) โปรแกรมเม็ทแลบ (MATLAB)**

|          |             |
|----------|-------------|
| ct1      | k2 =        |
| em =     | 0.0036      |
| 0.2880   | k3 =        |
| g =      | 0.1716      |
| 2.4417   | k4 =        |
| eg =     | 5.2264e-005 |
| 2.7669   |             |
| m =      | k5 =        |
| 0.1417   | 1.5726e-007 |
| z =      | k6 =        |
| 0.3917   | 2.8334e-005 |
| ec =     | k7 =        |
| 0.0818   | 0.0458      |
| w =      | k8 =        |
| 0.3578   | 0.0037      |
| g_star = | tolerance = |
| 0.0944   | 0.0577      |
| k1 =     | ป           |
| 0.0826   |             |

```
clear all
clear

XO=[0.01938 0.06933 2.9086 5.81724 2.9086 0.008 0.0056 0.094
    0.03368 0.00983 0.007197
    0.000309 0.000309 0.000309 0.02586 0.3 ];

VLB=zeros(1,16);
VUB=[];

options(14)=3000;
options(13)=8;
[x,options]=constr('ct2',XO,options,VLB,VUB);

em=x(1)
g=x(2)
eg=x(3)
m=x(4)
z=x(5)
ec=x(6)
w=x(7)
g_star=x(8)
k1=x(9)
k2=x(10)
k3=x(11)
k4=x(12)
k5=x(13)
k6=x(14)
k7=x(15)
k8=x(16)

tolerance=options(8)

%[f,g]=corret2(x);
%E1=g(1)
%E2=g(2)
%E3=g(3)
%E4=g(4)
%E5=g(5)
%E6=g(6)
%E7=g(7)
%E8=g(8)
```



```

function [F,G]=ct2(x)

em=x(1);
g=x(2);
eg=x(3);
m=x(4);
z=x(5);
ec=x(6);
w=x(7);
g_star=x(8);
k1=x(9);
k2=x(10);
k3=x(11);
k4=x(12);
k5=x(13);
k6=x(14);
k7=x(15);
k8=x(16);

%%weight objective
w1=100;w6=100;w7=100;w8=100;
w2=1;w3=1;w4=1;w5=1;
w_plus=w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8;

%%model
E1=(11115*2.94)/(60*1.13)-(8336*em)/(60*1.13)+...
(1.13*46890)*[(-1)*k1*(2*em*g-eg*m/0.3)-...
k2*(em*eg-2*z*m/0.15)];
E2=(-8336*eg)/(60*1.13)+(1.13*46890)*[2*k1*em*g-...
k1*eg*m/0.3-k2*em*eg+2*k2*z*m/0.15-2*k3*eg^2+...
8*k3*z*g/0.5-k4*eg/1.13-2*k5*eg*g-k6*eg*eg+2*k7*ec*g-...
k7*eg*w/2.5-k8*ec*eg+2*k8*z*w/1.25];
E3=(-8336*m)/(60*1.13)-(2779*10.47)/(60*1.13)+...
(1.13*46890)*[2*k1*em*g-k1*eg*m/0.3+...
k2*em*eg-2*k2*z*m/0.15];
E4=(11115*6.93)/(60*1.13)-(8336*g)/(60*1.13)-...
(2779*10.47)/(60*1.13)+(1.13*46890)*[-2*k1*em*g+...
k1*eg*m/0.3+k3*eg^2-4*k3*z*g/0.5-2*k7*ec*g+k7*eg*w/2.5];
E5=(-8336*z)/(60*1.13)+(1.13*46890)*[k2*em*eg-2*k2*z*m/0.15+...
k3*eg^2-4*k3*z*g/0.5+k8*ec*eg-2*k8*z*w/1.25];
E6=(-8336*ec)/(60*1.13)+(1.13*46890)*[k4*eg/1.13+2*k5*eg*g+...
k6*eg^2-2*k7*ec*g+k7*eg*w/2.5-k8*ec*eg+2*k8*z*w/1.25];
E7=(-8336*w)/(60*1.13)+(2779*0.87)/(60*1.13)+...
(1.13*46890)*[2*k7*ec*g-k7*eg*w/2.5+k8*ec*eg-2*k8*z*w/1.25];
E8=(-8336*g_star)/(60*1.13)+(1.13*46890)*[2*k5*eg*g+k6*eg^2];

F=[w1*(em-0.02938)^2+w2*(g-0.06933)^2+w3*(eg-2.9086)^2+w4*(m-5.81724)^2+...
w5*(z-2.9086)^2+w6*(ec-0.018)^2+ w7*(w-0.0056)^2+w8*(g_star-0.094)^2]/w_plus;

G=[E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8];

return

```

## ค.2) โปรแกรมแมทเทติกา (MATHEMATICA)

```

In[1]:= FindRoot[{11399*0.002865*0.0167*0.8850 - 8549*em*0.0167*0.8850 -
  2*17.921*em*g*1.13*46890 + 17.921*eg*m*3.33*1.13*46890 -
  0.0817*em*eg*1.13*46890 + 2*0.0817*z*m*6.67*1.13*46890 == 0,
-8549*eg*0.0167*0.885 + 2*17.921*em*g*1.13*46890 -
  17.921*eg*m*3.33*1.13*46890 - 0.0817*em*eg*1.13*46890 +
  2*0.0817*z*m*6.67*1.13*46890 - 2*0.5445*eg*eg*1.13*46890 +
  8*0.5445*z*g*2*1.13*46890 - 0.0029*eg*0.8850*1.13*46890 -
  2*88.5482*eg*g*1.13*46890 - 48.8224*eg*eg*1.13*46890 +
  2*1.167*ec*g*1.13*46890 - 1.167*eg*v*0.4*1.13*46890 -
  0.1448*ec*eg*1.13*46890 + 2*0.1448*z*v*0.8*1.13*46890 == 0,
-8549*m*0.0167*0.8850 - 2850*0.01047*0.0167*0.885 +
  2*17.921*em*g*1.13*46890 - 17.921*eg*m*3.33*1.13*46890 +
  0.0817*em*eg*1.13*46890 - 2*0.0817*z*m*6.67*1.13*46890 == 0,
11399*0.0071629*0.0167*0.885 - 8549*g*0.0167*0.885 - 2850*0.01047*0.0167*0.885 -
  2*17.921*em*g*1.13*46890 + 17.921*eg*m*3.33*1.13*46890 +
  0.5445*eg*eg*1.13*46890 - 4*0.5445*z*g*2*1.13*46890 -
  2*1.167*ec*g*1.13*46890 + 1.167*eg*v*0.4*1.13*46890 == 0,
-8549*z*0.0167*0.885 + 0.0817*em*eg*1.13*46890 - 2*0.0817*z*m*6.67*1.13*46890 +
  0.5445*eg*eg*1.13*46890 - 4*0.5445*z*g*2*1.13*46890 +
  0.1448*ec*eg*1.13*46890 - 2*0.1448*z*v*0.8*1.13*46890 == 0,
-8549*ec*0.0167*0.885 + 0.0029*eg*0.885*1.13*46890 +
  2*88.5482*eg*g*1.13*46890 + 48.8224*eg*eg*1.13*46890 -
  2*1.167*ec*g*1.13*46890 + 1.167*eg*v*0.4*1.13*46890 -
  0.1448*ec*eg*1.13*46890 + 2*0.1448*z*v*0.8*1.13*46890 == 0,
-8549*v*0.0167*0.885 + 2850*0.00087*0.0167*0.885 +
  2*1.167*ec*g*1.13*46890 - 1.167*eg*v*0.4*1.13*46890 +
  0.1448*ec*eg*1.13*46890 - 2*0.1448*z*v*0.8*1.13*46890 == 0,
-8549*gs*0.0167*0.885 +
  2*88.5482*eg*g*1.13*46890 + 48.8224*eg*eg*1.13*46890 == 0},
{em, 0.000374676}, {eg, 0.000620629}, {m, 0.000765931}, {g, 0.0000249567},
{z, 0.000374845}, {ec, 0.00199892}, {v, 0.00237311}, {gs, 1.92485*10^-6}]

Out[1]= {em -> 0.000361533, eg -> 0.000107809, m -> -0.0000318295, g -> 0.000620385, z -> 0.0000110152,
ec -> 0.00332874, v -> 0.00228249, gs -> 0.00520516}

```

## ประวัติผู้เขียน

นายวิษณุ เกตแก้ว เกิดวันที่ 24 เมษายน พ.ศ.2509 ที่อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในปีการศึกษา 2528 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2539

