



รายการอ้างอิง

1. Chang, R. Chemistry. Fourth edition. USA: McGraw-Hill Inc, 1991:480–482.
2. Rizvi, S.S.H. et al. Food Technology. June 1986:55–65.
3. Bott, T.R. Chemistry and Industry. 19 June 1982:394–396.
4. Giddings, J.C. Unified Separation science. USA: John Wiley & Sons, 1991:26–31.
5. Hubert, P. and Vitzthum, O.G. Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 17. 1978:710–715.
6. Hawthorne, S.B. Anal.Chem. 62.1990:633A – 642A.
7. Wilke, G. Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 17.1978:701–702.
8. Brown, J. et al. Kirk – Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Third edition. Supplement volume. John Wiley & Sons, 1984:872–893.
9. De Filippi, R.P. and Moses.,J.M. Biotechnology and Bioengineering Symp. No. 12.1982: 205–219.
10. Lira, C.Y. Supercritical fluid extraction and chromatography techniques and applications. ACS Symposium Series 366, USA.1988:109–126.
11. Marentis; R.T. Supercritical fluid extraction and chromatography techniques and applications. ACS Symposium Series 366, USA. 1988:109–126.
12. Brogle, H. Chemistry and Industry. 19 June 1982:385–390.
13. Weatherley, L.R. Science and practice of liquid – liquid extraction. Oxford Engineering Science Series 27. Volume 2. USA: Clarendon Press, Oxford, 1992:367–378.
14. Hamm, W. Science and practice of liquid – liquid extraction. Oxford Engineering Science Series 27. Volume 2. USA: Clarendon Press, Oxford, 1992:367–378.
15. Giddings, J.C. Science. 14, October 1968:67–73.
16. Giddings, J.C; Myers, M.N. and King, J.W. J. Chromatography Science. 7, 2.
17. Stahl, E. et al. Angew – Chem. Int. Ed. Engl. 17. 1978:731–738.
18. Verrall, M.S. Science and practice of liquid – liquid extraction. Oxford Engineering Science Series 27. Volume 2. USA: Clarendon Press, Oxford, 1992:194–308.
19. Peter, S. and Brunner, G. Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 17. 1978:746–750.
20. เสาวรณีย์ ช่วยจุลจิตร์. เทคโนโลยีของยาง. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
21. วราภรณ์ ชจรไชยกุล. วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแห้ง. เอกสารทางวิชาการ เลขที่ 5, 2523

22. Y. Tanaka. NMR and macromolecules. ACS Symposium Series, No. 247, 1984:233
23. Y. Tanaka. J. Appl. Polym. Sci. Appl. Polym. Symp. 44(1989) 1
24. A.H. Eng, S. Kawahara and Y. Tanaka. Rubber Chemical Technology. 67(1994) 159
25. A.H. Eng, Y. Tanaka. And S.N. Gan, J.Nat.Rubb.Res. 7(1992) 152
26. N. Ichikawa, A.H. Eng and Y. Tanaka, Proc.Int. Rubb. Tech. Conf. Kuala Lumpur (1993) 101
27. P.S. Brown and A.J. Tinker. J. Nat. Rubb. Res. 6(1991) 175
28. A.H. Eng et al. J.Appl. Polym. Sci. Appl. Polym. Symp. 53 (1994) 5
29. Flory, Paul J. Principle of Polymer Chemistry. Cornell University Press. Twelfth edition. 1983:432.
30. Mc Pherson, A.T. and Klemen, A. Engineering Uses of Rubber. Reinhold Publishing Corporation, New York.1956:43
31. Burton, W.E. Engineering with Rubber. McGraw-Hill Book Co.Inc.1949:18
32. INIDO. Powdered liquid and thermoplastic natural rubber. United Nations Industrial Development Organisation Symposium. 14-15 May 1981, Phuket, Thailand:97-162
33. W. Majewski, P. Mengal, M. Perrut and J.P. Ecalard. Supercritical fluid fractionation of butter oil. Supercritical Fluid Processing of Food and Biomaterials. First edition. UK: Chapman & Hall, 1994:123-131
34. K. Udaya Sankar and B. Manchar. Mass transfer phenomena in supercritical fluid carbon dioxide extraction for production of spice essential oils. Supercritical Fluid Processing of Food and Biomaterials. First edition. UK: Chapman&Hall, 1994:44-52
35. Schultz, W.G., Schultz, T.H., Carlson, R.A., and Hudson, J.S. Pilot-plant extraction with liquid carbon dioxide. Food Technology. 29(6).1974:32-88
36. Brunner, G. Fluid Phase Equilibrium.10,1983:289-298
37. พรฤดี มุ่งสมานกุล. การระเหยและลอยเม็ดยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535
38. ชาญศักดิ์ คำมาตร. การกราฟต์โคโพลิเมอร์ของยางธรรมชาติด้วยเมทิลเมทาคริลेटในคาร์บอนไดออกไซด์สถานะเหนือวิกฤต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
39. พายัพ นามประเสริฐ. ยางพารา: พืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย.วิทยาศาสตร์สำหรับประชาชน.

ครั้งที่ 516 กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 24
มกราคม 2538

40. อุทัย ไชยชนะพันธุ์ และ รพีพล ภโวภาท. Supercritical fluids. Journal of strec. 1993. Vol.3(1)
41. รัตนา จิระรัตนานนท์. การถ่ายเทมวล. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี:
กรุงเทพฯ, 2538
42. Ray W. Fahien. Fundamentals of transport phenomena. USA: McGraw-Hill, Inc. 1983
43. J. Crank. The mathematics of Diffusion. Second edition. Clarendon press. Oxford. 1975
44. Y. Tanaka, S. Kawahara and J. Tangpakdee. Structural characterization of natural rubber. A
paper presented at the IRC' 95. 23-27 October, Kobe, Japan. 1995:6-11
45. S.S.H. Rizvi. Supercritical fluid processing of food and biomaterials. First edition. UK:
Chapman & Hall, 1994.
46. American Society for Testing and Material-D 3536. Standard test method for rubber-
molecular weight averages and molecule weight distribution by gel permeation
chromatography (GPC). Annual book of ASTM. 1980:140-155
47. American Society for Testing and Material-D 412. Standard test method for rubber-
properties in tension. Annual book of ASTM. 1987:100-111
48. American Society for Testing and Material-D 3536. Standard test method for rubber-D1646.
viscosity, stress relaxation, and pre-vulcanization characteristics (mooney viscometer).
Annual book of ASTM. 1996:328-337
49. ภิญโญ มีชำนะ. การลดขนาดด้วยเครื่องย่อยและเครื่องบด (ระบบหน่วย SI). อุตสาหกรรมเทคโนโลยี
อนาคต. ฉบับที่ 1. ศูนย์เทคโนโลยีอนาคตไทย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2538
50. ปรีชา ป็องภัย. สมบัติของยางและการใช้งาน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์ ปีที่ 1(2) พ.ศ.-ส.ศ. 2529:135-151
51. ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์. ยางผง. วารสารวิทยาศาสตร์. 40(7) ก.ศ. 2529:346-350
52. Douglas M. Considine, P.E. and Glenn D. Considine. Encyclopedia of Chemistry. Fourth
edition. New York: Van Nostrand Reinhold company Inc. 1984.
53. John A. Dean. Lange's handbook of chemistry. Twelfth edition. USA: McGraw-Hill, Inc. 1979
54. Meyer, E., Petroleum sulfonates and microcrystalline waxes. New York: Chemical Publishing
Company Inc., 1968:193-209
55. Phillips, J., Refine waxes for suitable properties. Petroleum Refiner 38 (Sept. 1959) :193-198
56. อภิชัย ศิริทัศนกุล. การตกผลึกโพรพาราฟินในน้ำมันไลต์ดิลทิเลตจากโรงกลั่นฝาง. วิทยานิพนธ์

มหบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530

57. Robert C. Weast, Samuel M. Selby, and Charles D. Hodgman. Handbook of chemistry and physics: A ready-reference book of chemical and physical data. Forth-fifth edition. USA: The Chemical rubber Co., 1964
58. C.M. Blow. Rubber technology and manufacture. Butterworths London: Cox and wyman, Fakenham, Norfolk, 1971.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

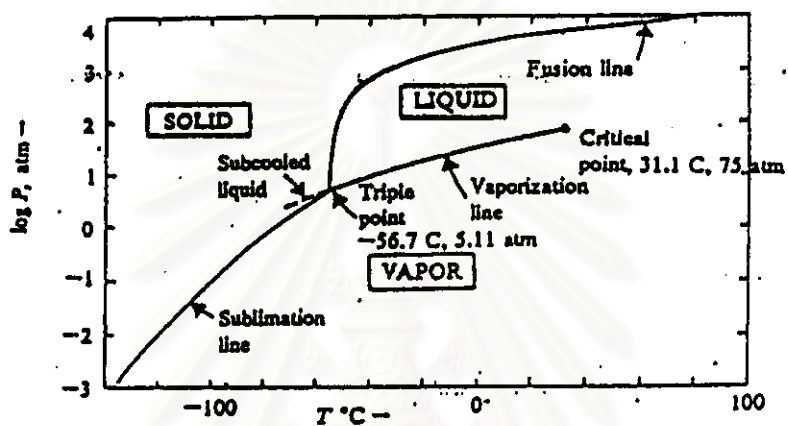


ภาคผนวก

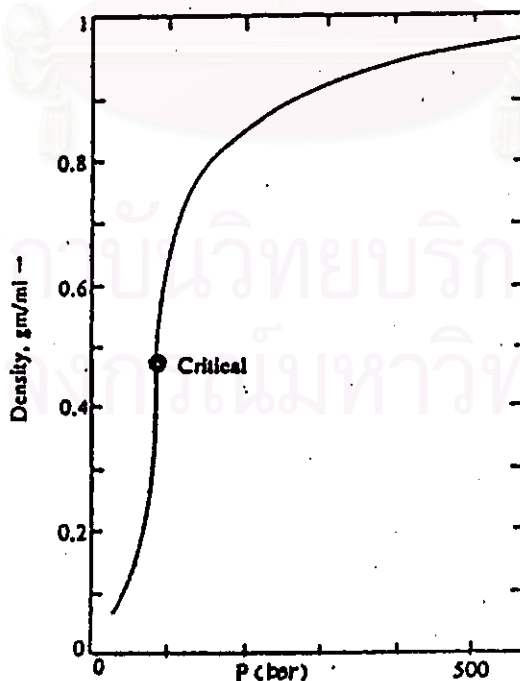
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

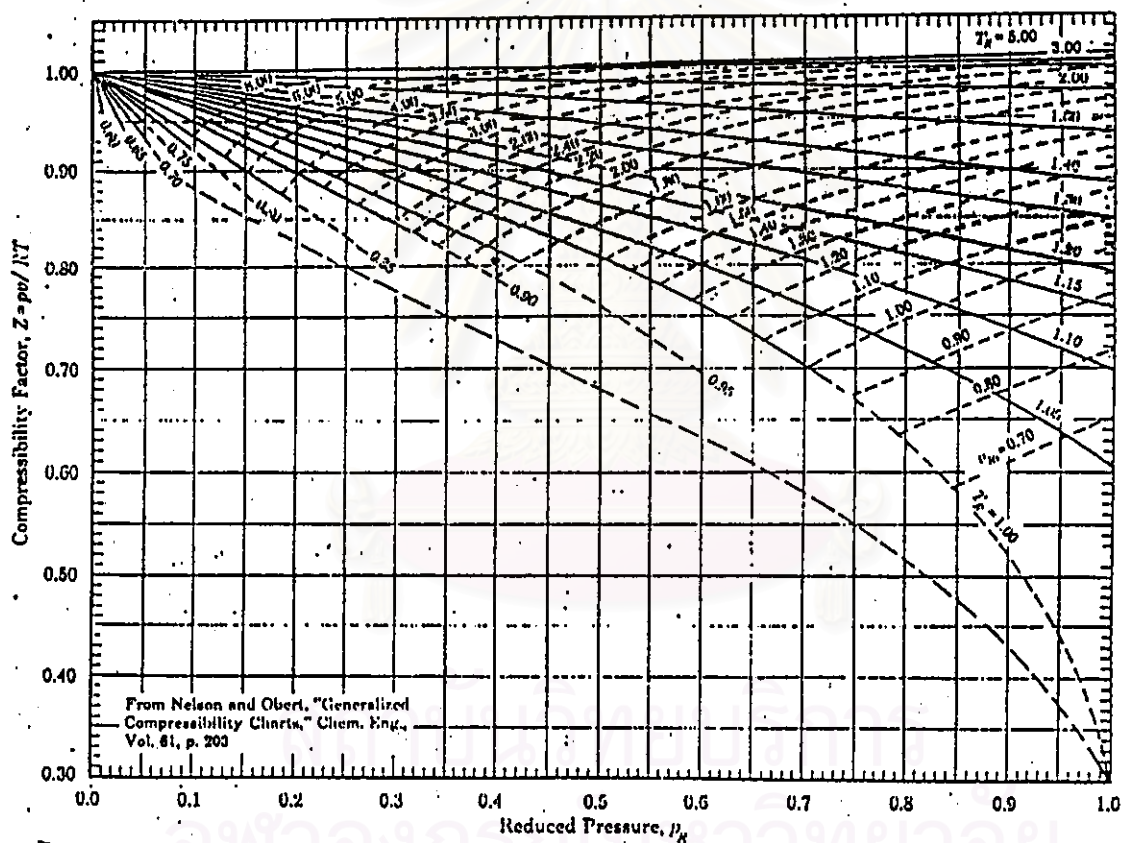
สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของคาร์บอนไดออกไซด์



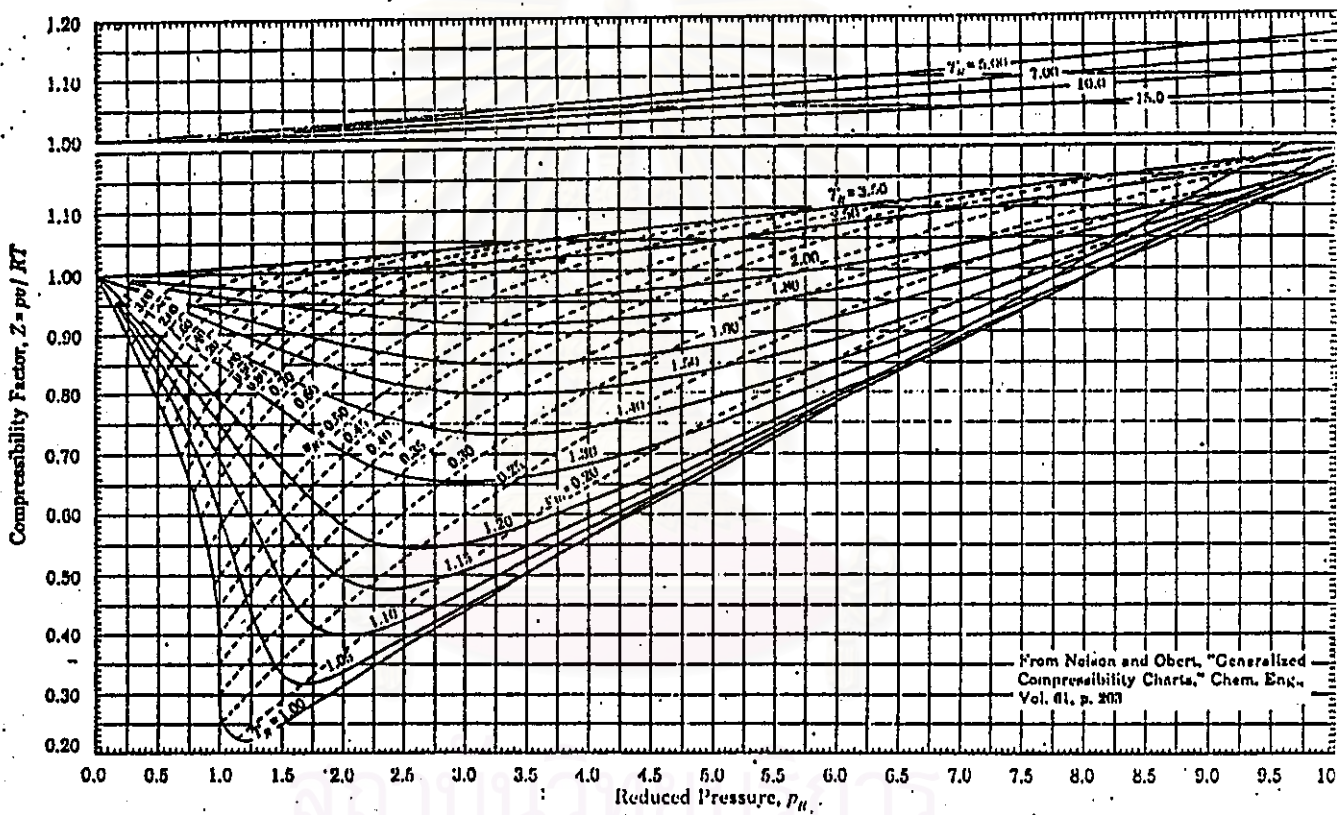
รูป ก.1 แผนผังวัฏภาคของคาร์บอนไดออกไซด์



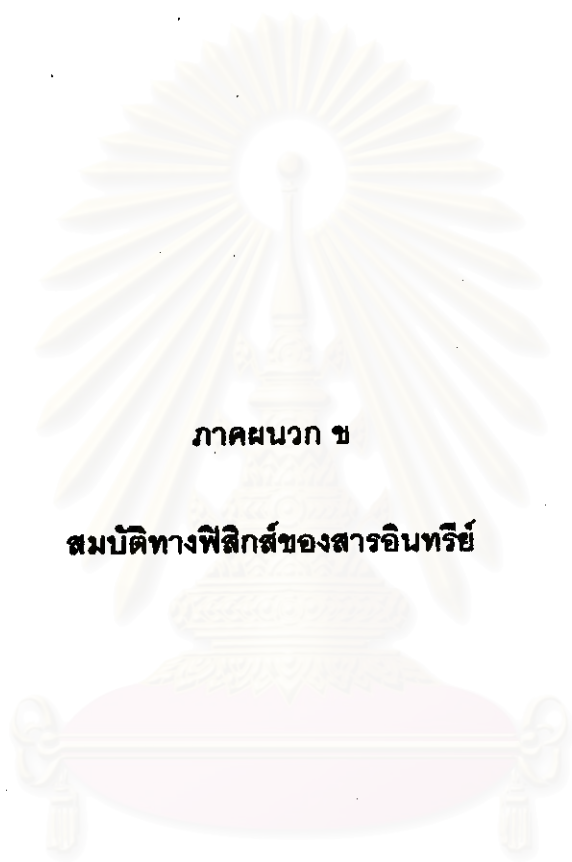
รูป ก.2 แสดงผลของความดันที่มีต่อความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่บริเวณวิกฤต



รูป ก.3 แผนผัง compressibility ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความดันต่ำ



รูป ก.4 แผนผัง compressibility ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความดันปานกลาง



ภาคผนวก ข

สมบัติทางพิพิธภัณฑสถานอินทรี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.1 สมบัติทางฟิสิกส์ของสารอินทรีย์

	Temperature, °C	Density, g.mL ⁻¹	Refractive Index (n _D)	Viscosity, mN.s.m ⁻²	Dielectric constant, ε	Dipole moment, D	Surface tension, dyn.cm ⁻¹	
							a	b
ethanol	25	0.7851	1.3594	1.078	24.55	1.69	24.05	0.0832
1-propanol	25	0.7995	1.3837	2.004	20.33	1.68	25.26	0.0777
1-butanol	20	0.8097	1.3993	3.379 ¹⁵	17.5 ²⁵	1.66	27.18	0.08983
1-octanol	20	0.8258	1.4296	6.125 ³⁰	10.34	1.68	29.09	0.0795
1,2-propanediol	20	1.0364	1.4329	56	32	2.25	72.0 ²⁵	-
2-aminoethanol	25	1.0116	1.4521	19.35	37.72	2.27	51.11	0.1117
1-hexadecanol	60	1.4355	0.8116	-	-	1.7	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Name	Specific gravity	Melting point, °C	Boiling point, °C
ethyl alcohol	0.789(20°/4)	-114.5	78.4
propyl alcohol (n)	0.804(20°/4)	-127	97.2
butyl alcohol (n)	0.810(20°/4)	-89.8	118
octyl alcohol (n)	0.829(20°/4)	-16.7	194.5
propylene glycol (α)	1.040(19.4°)	-	188-9
cetyl alcohol	0.815(55°/4)	49.2	189.5 ^{15mm}
ethanolamine	1.022(20°)	10.5	171 ^{757mm}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.2 สมบัติของไซพาทิน

สมบัติทางกายภาพ		สมบัติทางเคมี	
melting point, °F	120-145	molecular weight	360-420
penetration, needle 77 °F	10-20	oil content, %	0-1
viscosity, 210 °F SSU	35-50	urea reactible, %	75-100
flash point, °F	350-450	iodine no., Hanus	~0
specific gravity @ 200 °F	~0.75	neutralization no., mg KOH/ g,max	0.2
carbon residue, conradson%	~0	saponification no., mg KOH/ g,max	2
contraction from 10 °F above to 50 °F below MP,%	13.5-14.5	light-stability	fairly good
adhesion (or laminating strength)	0	thermal stability	poor
flexibility at low temperature,properties when mixed with petroleum oil	0	reactivity with sulfuric acid	low
ductility	low		
staining or blending	high		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 แสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากยางแผ่นธรรมชาติ

การทดลองที่	1	2	3	4	5	6
ความดัน(บาร์)	40	50	60	70	80	90
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	57	57	57	57	57	57
เวลา(นาที)	60	60	60	60	60	60
น.น.ยางก่อนทดลอง(กรัม)	13.8554	13.1268	13.1895	13.1417	13.7214	13.2546
นาทีที่	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ (ลูกบาศก์เมตร)					
5	0.0944	0.1378	0.2013	0.2086	0.2220	0.2680
10	0.0006	0.0008	0.0381	0.1172	0.2030	0.2330
15	0	0.0001	0.0001	0.0003	0.0431	0.1080
20	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0779
25	0	0	0	0	0.0001	0.0009
30	0	0	0	0	0	0.0003
35	0	0	0	0	0	0.0001
40	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0
รวม	0.0951	0.1388	0.2396	0.3263	0.4684	0.6882

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่	7	8	9	10	11
ความดัน(บาร์)	80	80	80	80	80
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	37	47	57	67	77
เวลา(นาที)	60	60	60	60	60
น.น. ยางก่อนทดลอง(กรัม)	12.125	12.0571	12.2011	12.2819	12.1143
นาทีที่	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ (ลูกบาศก์เมตร)				
5	0.201	0.2298	0.2408	0.2171	0.2098
10	0.1593	0.1856	0.219	0.185	0.171
15	0.0015	0.0042	0.0198	0.0048	0.0042
20	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001	0.0003
25	0.0001	0.0001	0.0001	0	0.0001
30	0	0	0.0001	0	0
35	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0
รวม	0.3621	0.42	0.48	0.407	0.3854

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.2 แสดงผลการคำนวณสัดส่วนน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางทั้งหมด

Experimental No.	1	2	3	4	5	6
Pr	0.54	0.68	0.81	0.95	1.08	1.22
Tr	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
Z	0.85	0.82	0.77	0.72	0.67	0.60
g. of rubber	13.8554	13.1268	13.1895	13.1417	13.7214	13.2546
vol. of CO ₂ (cm ³)x10 ⁻⁶	0.0951	0.1388	0.2396	0.3263	0.4684	0.6882
vol. of CO ₂ NTP(lit)x10 ⁻³	0.0857	0.1251	0.2159	0.2940	0.4220	0.6201
g.mol CO ₂ x10 ⁻³	0.0038	0.0056	0.0096	0.0131	0.0188	0.0277
wt.of CO ₂ (g)	168.3100	245.6512	424.0492	577.4927	828.9844	1217.9911
density of CO ₂ (g/cm ³)	0.0765	0.0991	0.1266	0.1580	0.1940	0.2437
vol. of CO ₂ NTP(cm ³)/g of rubber	6.1842	9.5270	16.3675	22.3713	30.7569	46.7814
g.mol CO ₂ /g of rubber	0.2761	0.4253	0.7307	0.9987	1.3731	2.0885
wt.of CO ₂ g/g of rubber	12.1476	18.7137	32.1505	43.9435	60.4154	91.8920

Experimental No.	7	8	9	10	11
Pr	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Tr	1.02	1.05	1.09	1.12	1.15
Z	0.45	0.55	0.66	0.68	0.73
g. of rubber	12.1250	12.0571	12.2011	12.2819	12.1143
vol. of CO ₂ (cm ³)x10 ⁻⁶	0.3621	0.4200	0.4800	0.4070	0.3854
vol. of CO ₂ NTP(lit)x10 ⁻³	0.3263	0.3784	0.4325	0.3667	0.3472
g.mol CO ₂ x10 ⁻³	0.0146	0.0169	0.0193	0.0164	0.0155
wt.of CO ₂ (g)	640.8523	743.3250	849.5143	720.3173	682.0892
density of CO ₂ (g/cm ³)	0.3075	0.2437	0.1969	0.1855	0.1679
vol. of CO ₂ NTP(cm ³)/g of rubber	26.9074	31.3857	35.4460	29.8575	28.6641
g.mol CO ₂ /g of rubber	1.2012	1.4011	1.5824	1.3329	1.2796
wt.of CO ₂ g/g of rubber	52.8538	61.6504	69.6260	58.6487	56.3045

ตาราง ค.3 ข้อมูลการทดลองการแทรกซึมไฮพาราฟีนและโพรพิลีนไกลคอลเข้าไปในยางบดที่อุณหภูมิ
องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ เวลา 60 นาที

เวลาที่ใช้บดยาง (นาที)	ปริมาณไฮพาราฟีน (phr)	ปริมาณโพรพิลีนไกลคอล (phr)
0	28±0	0.3±0.2
15	40±2	0.6±0.2
30	39±4	0.7±0.1
60	38±1	0.7±0.1

ตาราง ค.4 ความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาดของยางบดที่มีไฮพาราฟีนแทรกซึมอยู่

เวลาที่ใช้บดยาง (นาที)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	-	-
15	0.491±0.019	200±114
30	0.464±0.015	138±34
60	0.456±0.022	175±52

ตาราง ค.5 ความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาดของยางบดที่มีโพรพิลีนไกลคอลแทรกซึมอยู่

เวลาที่ใช้บดยาง (นาที)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	-	-
15	0.329±0.017	630±105
30	0.285±0.033	724±65
60	0.290±0.101	735±89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.6 ข้อมูลการทดลองการชนถ่ายสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส
ความดัน 80 บาร์ เวลา 60 นาที

สารที่แทรกซึมเข้าไปในยาง	ปริมาณการแทรกซึม (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
ethanol	1.4±0.1*	0.148±0.010	1261±2
n-propanol	2.2±1.0*	0.101±0.008	655±149
n-butanol	1.8±0.1*	0.132±0.038	320±226
n-octanol	21.2±0.2	0.064±0.020	72±55
propylene glycol	1.4±0.2	0.277±0.016	1287±171
ethanolamine	1.4±0.5	0.245±0.029	1023±324
GMS	6.1±0.5	0.418±0.039	599±30
LANNETTE O	24.8±1.9	0.386±0.011	222±14
wax	47.2±5.1	0.487±0.068	141±12

*ปริมาณการแทรกซึมติดลบ

ตาราง ค.7 ข้อมูลการทดลองผลของความดันต่อปริมาณการแทรกซึมไซพาราฟินที่อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส
เวลา 60 นาที

ความดัน (บาร์)	ปริมาณไซพาราฟิน (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	50±5	0.415±0.031	143±16
40	58±5	0.570±0.040	144±14
50	50±9	0.530±0.050	142±9
60	49±5	0.605±0.044	147±7
70	51±4	0.543±0.090	138±5
80	47±5	0.487±0.068	141±12
90	51±5	0.524±0.022	146±20

ตาราง ค.8 ข้อมูลการทดลองผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการแทรกซึมไฮพาราฟินที่ความดัน 80 บาร์

เวลา (นาที)	ปริมาณการแทรกซึม (phr)			
	T=59 °C	T=69 °C	T=79 °C	P=0 bar, T=59 °C
0	0	0	0	0
5	22±2	24±4	27±2	15±4
10	27±0	30±5	36±3	20±3
30	43±2	45±7	59±5	40±2
60	47±5	53±3	60±7	50±5
120	69±6	77±8	80±8	65±3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.9 ข้อมูลการทดลองผลของปริมาณไซพาราฟีนต่อความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาด
ที่ความดัน 80 บาร์

เวลา (นาที)	T=59 °C		
	ปริมาณการแทรกซึม (pHr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.255±0.011	616±6
5	22±2	0.378±0.014	254±19
10	27±0	0.412±0.057	267±30
30	43±2	0.425±0.030	158±51
60	47±5	0.487±0.068	141±26
120	69±6	0.561±0.038	146±75
เวลา (นาที)	T=69 °C		
	ปริมาณการแทรกซึม (pHr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.295±0.013	613±103
5	24±4	0.396±0.073	300±110
10	30±5	0.457±0.069	250±55
30	45±7	0.481±0.048	164±101
60	53±3	0.538±0.042	160±95
120	77±8	0.623±0.052	146±69
เวลา (นาที)	T=79 °C		
	ปริมาณการแทรกซึม (pHr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.321±0.036	625±95
5	27±2	0.436±0.121	265±52
10	36±3	0.512±0.123	241±150
30	59±5	0.635±0.073	148±110
60	60±7	0.587±0.051	151±85
120	80±8		

ตาราง ค.10 ข้อมูลการทดลองผลของปริมาณไพรอราฟีนต่อความต้านทานแรงดึงและการยืดออกเมื่อขาด
ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณการแทรกซึม (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.258±0.003	804±376
.5	15±4	0.408±0.014	317±21
10	20±3	0.375±0.031	237±21
30	40±2	0.491±0.019	200±114
60	50±5	0.415±0.031	143±35
120	65±3	0.420±0.101	130±76

ตาราง ค.11 ข้อมูลการทดลองผลของความดันต่อปริมาณการแทรกซึมโพรพิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิ 59
องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

ความดัน (บาร์)	ปริมาณโพรพิลีนไกลคอล (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0.6±0.1	0.272±0.006	831±199
40	0.6±0.1	0.313±0.022	950±3
60	0.6±0.0	0.271±0.028	1050±201
80	1.4±0.2	0.277±0.016	1287±171
90	1.3±0.6	0.283±0.056	1220±228

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.12 ข้อมูลการทดลองผลของอุณหภูมิต่อปริมาณการแทรกซึมโพรทิสีนไกลคอลที่ความดัน 80 บาร์

เวลา (นาที)	ปริมาณการแทรกซึม (phr)			
	T=59 °C	T=69 °C	T=79 °C	P=0 bar, T=59 °C
0	0	0	0	0
5	0.6±0.2	0.8±0.2	1.1±0.1	0.4±0.1
10	0.7±0.0	1.1±0.1	1.5±0.2	0.5±1.3
30	0.8±0.2	1.2±0.1	1.7±0.1	0.6±0.2
60	1.4±0.2	1.7±0.1	2.7±0.3	0.6±0.1
90	1.4±0.1	2.1±0.1	2.8±0.3	0.7±0.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.13 ข้อมูลการทดลองผลของปริมาณโพรพิลีนไกลคอลต่อความต้านทานแรงดึงและการยืดออก
เมื่อขาด ที่ความดัน 80 บาร์

เวลา (นาที)	T=59 °C		
	ปริมาณการแทรกซึม (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.255±0.011	616±6
5	0.6±0.2	0.292±0.020	628±59
10	0.7±0.0	0.259±0.027	556±68
30	0.8±0.2	0.279±0.070	646±99
60	1.4±0.2	0.277±0.016	1287±171
90	1.4±0.1	0.280±0.046	1285±287
เวลา (นาที)	T=69 °C		
	ปริมาณการแทรกซึม (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.295±0.013	613±103
5	0.8±0.2	0.264±0.160	647±75
10	1.1±0.1	0.282±0.015	742±201
30	1.2±0.1	0.280±0.010	810±41
60	1.7±0.1	0.262±0.017	894±3
90	2.1±0.1	0.294±0.009	1253±146
เวลา (นาที)	T=79 °C		
	ปริมาณการแทรกซึม (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.321±0.036	625±95
5	1.1±0.1	0.269±0.178	400±120
10	1.5±0.2	0.246±0.027	397±104
30	1.7±0.1	0.222±0.014	471±96
60	2.7±0.3	0.231±0.013	459±61
90	2.8±0.3	0.258±0.046	406±152

ตาราง ค.14 ข้อมูลการทดลองผลของปริมาณโพธิ์ลินไกลคอลต่อความต้านทานแรงดึงและการยืดออก
เมื่อขาด ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส

เวลา (นาทื)	ปริมาณการแทรกซึม (phr)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0	0.258±0.003	804±376
5	0.4±0.1	0.296±0.027	731±195
10	0.5±1.3	0.289±0.054	605±125
30	0.6±0.2	0.329±0.017	630±72
60	0.6±0.1	0.272±0.006	831±115
120	0.7±0.1	0.310±0.100	900±96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.15 ข้อมูลการทดลองผลของอายุตัวอย่างต่อความต้านทานแรงดึงของยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับยางที่มีไซพาราฟินและโพรพิลีนไกลคอลแทรกซึมอยู่

	ความต้านทานแรงดึง (MPa)		
	1 วัน	5 วัน	30 วัน
ยางธรรมชาติ	0.235±0.118	0.181±0.056	0.125±0.014
ยางดูดซับ CO ₂	0.163±0.061	0.162±0.108	0.118±0.100
ยางที่มีโพรพิลีนไกลคอลแทรกซึมอยู่	0.215±0.011	0.241±0.075	0.222±0.016
ยางที่มีไซพาราฟินแทรกซึมอยู่	0.535±0.084	0.520±0.161	0.465±0.021

ตาราง ค.16 ข้อมูลการทดลองผลของอายุตัวอย่างต่อการยืดออกเมื่อขาดของยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับยางที่มีไซพาราฟินและโพรพิลีนไกลคอลแทรกซึมอยู่

	การยืดออกเมื่อขาด (%)		
	1 วัน	5 วัน	30 วัน
ยางธรรมชาติ	566±210	488±126	360±180
ยางดูดซับ CO ₂	484±120	292±90	315±145
ยางที่มีโพรพิลีนไกลคอลแทรกซึมอยู่	1200±250	1150±300	1185±159
ยางที่มีไซพาราฟินแทรกซึมอยู่	160±56	146±85	136±96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.17 ข้อมูลการทดลองดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 59 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

ความดัน (บาร์)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
0	0.258±0.003	804±376
40	0.300±0.021	478±15
60	0.225±0.029	445±81
80	0.255±0.011	616±6

ตาราง ค.18 ข้อมูลการทดลองดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของยางธรรมชาติที่ความดัน 80 บาร์ เวลา 60 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดออกเมื่อขาด (%)
59	0.255±0.011	616±6
69	0.295±0.013	613±103
79	0.321±0.036	625±95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

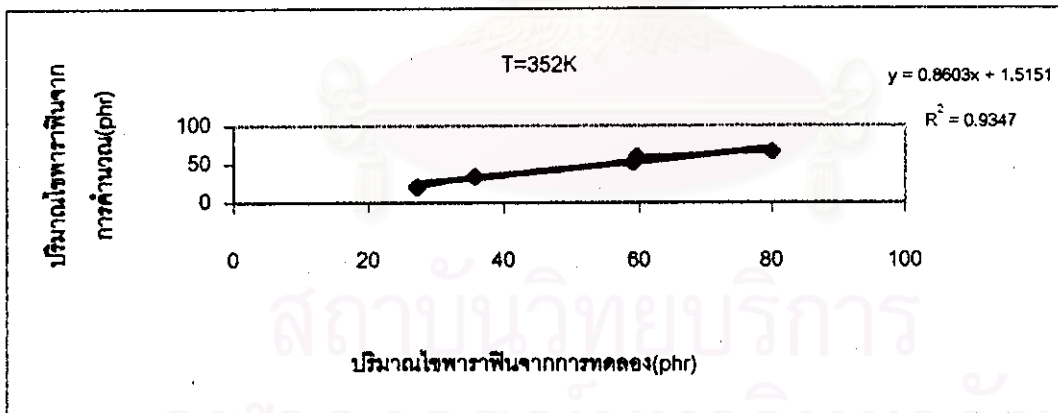
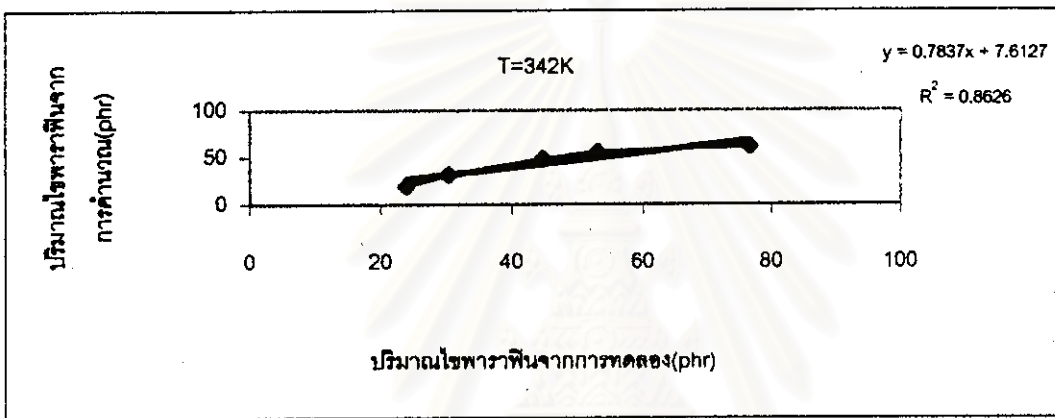
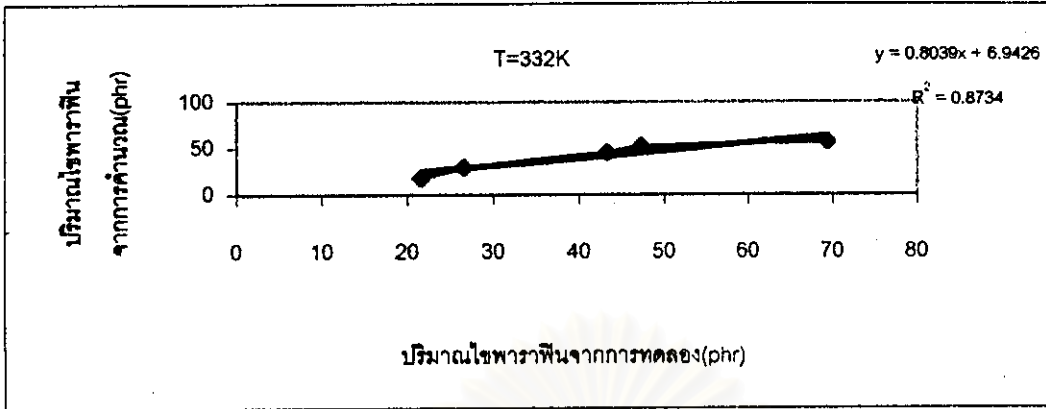
ตาราง ค.19 เปรียบเทียบปริมาณการแทรกซึมไพรพาฟีนที่ได้จากการทดลอง
และจากการคำนวณ

ปริมาณไพรพาฟีน (phr)					
T=332K		T=342K		T=352K	
การทดลอง	การคำนวณ	การทดลอง	การคำนวณ	การทดลอง	การคำนวณ
22	18	24	19	27	21
27	30	30	32	36	34
43	45	45	48	59	52
47	52	53	56	60	60
69	57	77	62	80	66

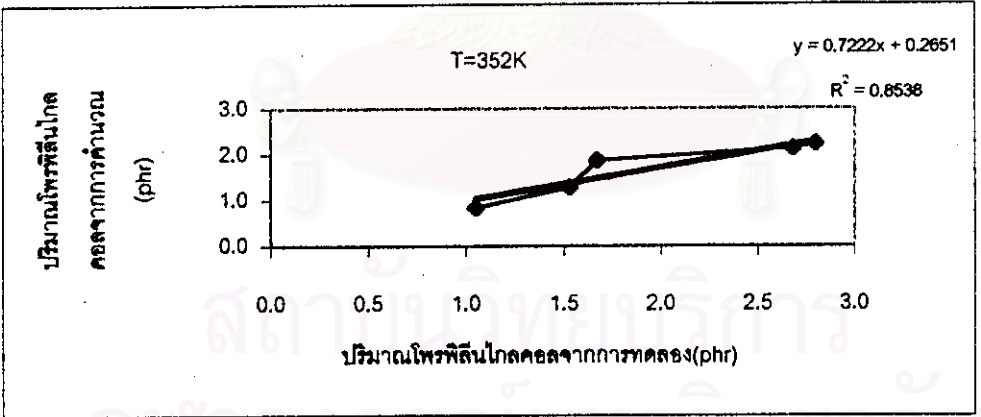
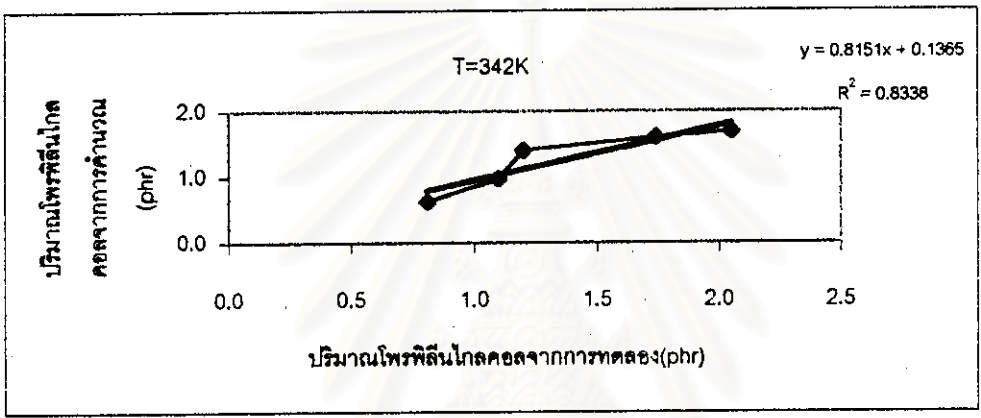
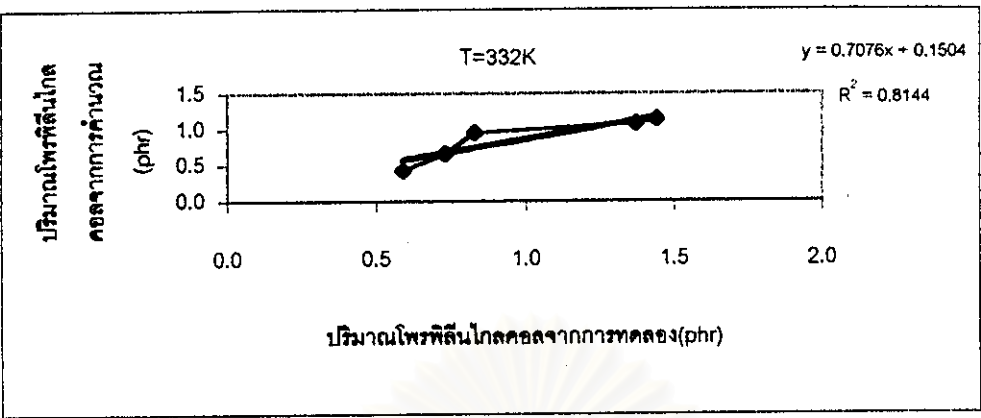


ตาราง ค.20 เปรียบเทียบปริมาณการแทรกซึมโพรพิลีนไกลคอลที่ได้จากการทดลองและ
จากการคำนวณ

ปริมาณโพรพิลีนไกลคอล (phr)					
T=332K		T=342K		T=352K	
การทดลอง	การคำนวณ	การทดลอง	การคำนวณ	การทดลอง	การคำนวณ
0.6	0.4	0.8	0.6	1.1	0.8
0.7	0.7	1.1	1.0	1.5	1.3
0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9
1.4	1.1	1.7	1.6	2.7	2.1
1.4	1.1	2.1	1.7	2.8	2.2



รูป ค.1 เปรียบเทียบปริมาณการแทรกซึมไซพาราฟีนที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ



รูป ค.2 เปรียบเทียบปริมาณการแทรกซึมโพรพิลีนไกลคอลที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ

ภาคผนวก ง

วิธีทดสอบ

การวัดความหนืดมูนนี่

เตรียมตัวอย่างยางโดยชั่งน้ำหนักยาง 250 ± 5 กรัม นำไปบดด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 70 ± 5 องศาเซลเซียสและปรับระยะห่างระหว่างสองลูกกลิ้งเท่ากับ 2.5 ± 0.1 มิลลิเมตร บดยางโดยให้ยางผ่านลูกกลิ้งประมาณ 10 ครั้งจะได้ยางแผ่นออกมา จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนนี่ โดยเริ่มต้นเครื่องทดสอบมีอุณหภูมิ 23 ± 3 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างยางที่บดแล้วไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิลดลงก่อนจะวัด จากนั้นเตรียมตัวอย่างยางเป็น 2 ชิ้นมีปริมาตร 25 ± 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ตัวอย่างยางเข้าไปให้เต็มช่อง น้ำหนักตัวอย่างยางคำนวณได้จาก

$$m = v \times d = 25 \text{ cm}^3 \times d$$

เมื่อ m คือมวลเป็นกรัม

v คือปริมาตรในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร

d คือความหนาแน่นในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

นำตัวอย่างยางไปทดสอบค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนนี่ โดยนำชิ้นตัวอย่างประกบลงบนแกนหมุนของเครื่อง ซึ่งจะใช้แกนหมุนขนาดใหญ่ ควบคุมอุณหภูมิการทดลองไว้ที่ 100 ± 5 องศาเซลเซียส โดยใช้ความร้อนก่อน (preheat) เป็นเวลา 1 นาที แล้ววัดค่าความหนืดที่ได้เมื่อเวลา 4 นาที บันทึกค่าความหนืดแบบมูนนี่คือ ML 1+4 ที่ได้เมื่อ M หมายถึงความหนืดแบบมูนนี่ และ L หมายถึงแกนหมุนขนาดใหญ่ (ใช้อักษร S ถ้าใช้แกนหมุนขนาดเล็ก) ส่วน 1 หมายถึงเวลาในการให้ความร้อนก่อนและ 4 หมายถึงเวลาที่ใช้ในการวัดความหนืดแบบมูนนี่

การวัดน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุล

ชั่งน้ำหนักยางที่จะทดสอบ 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran) 10 มิลลิลิตรลงไปละลายยาง ใช้กระดาษฟรอยด์ปิดปากขวดก่อนที่จะปิดฝาให้สนิท นำไปเขย่าเพื่อช่วยให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ด้วยเครื่องเขย่า (vortex mixer) เป็นเวลา 30 วินาทีแล้วนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายมากรองเอาสิ่งเจือปนออกด้วยกระดาษกรองขนาดรูพรุน 0.5 ไมโครเมตร ใช้เข็มฉีดยาดูดสารละลายที่กรองเรียบร้อยแล้ว 100 ไมโครลิตรฉีดเข้าไปในเครื่อง GPC สารละลายจะไหลเข้าไปในคอลัมน์ และจะวัดน้ำหนักโมเลกุลออกมา ภายในเครื่อง GPC ประกอบด้วยคอลัมน์ที่บรรจุ styragel ซึ่งมีขนาด 10^4 , 10^5 , 10^6 Å² และ linear (น้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ $2,000-10^7$) และมีอัตราการไหลสารละลาย 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่ได้จะคำนวณจากกราฟ calibration ของพอลิสไตรีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาตรฐานอยู่ในช่วง 8.5×10^3 ถึง 1.06×10^7

การวัดความต้านทานแรงดึง

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นแผ่นบางมีความหนาอยู่ระหว่าง 1.3-3.3 มิลลิเมตร ตัดให้เป็นรูปดัมเบล (dumbbell) ด้วยหัวตัดแบบ C ดังแสดงในรูป ง.1 ควรเตรียมหัวตัดให้มีความคมเพื่อตัดเป็นชิ้นได้เพียงครั้งเดียวและชิ้นทดสอบที่ได้จะมีผิวเรียบ วัดความหนาของชิ้นทดสอบโดยแบ่งวัดเป็น 3 จุดคือที่จุดกึ่งกลาง 1 จุด จุดบนและจุดล่างของจุดกึ่งกลางอีกอย่างละ 1 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ จากนั้นนำไปทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียสมีระยะทดสอบ (bench marks) เท่ากับ 33 ± 2 มิลลิเมตร

1. การคำนวณความต้านทานแรงดึง (tensile strength)

$$\text{tensile strength} = F/A$$

เมื่อ F คือแรงที่ใช้ดึงชิ้นทดสอบจนขาด

A คือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนทดสอบ

2. การคำนวณการยืดออกเมื่อขาด (ultimate elongation) เป็นเปอร์เซ็นต์

$$E = 100(L-L_0) / L_0$$

เมื่อ L คือระยะทดสอบของชิ้นทดสอบที่ถูกดึงจนขาด

L_0 คือระยะทดสอบเริ่มต้น

การวิเคราะห์ขนาดด้วยวิธีตะแกรงมาตรฐาน

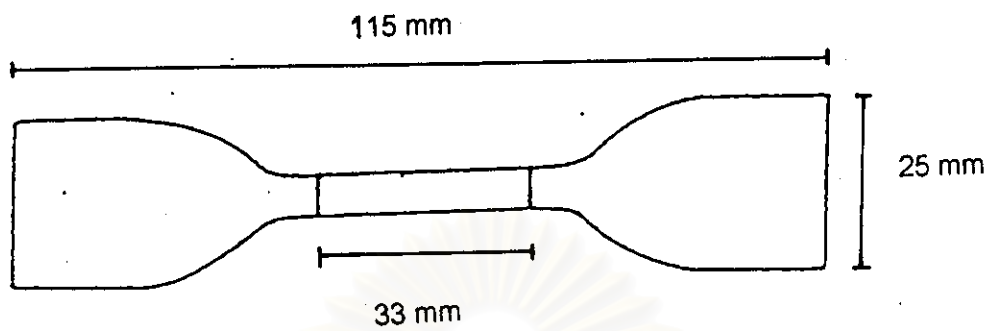
การวิเคราะห์ขนาดด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก การใช้ตะแกรงมาตรฐานมักใช้กับวัสดุที่มีขนาดค่อนข้างหยาบ เพราะหากใช้กับวัสดุที่มีขนาดละเอียดมากๆ แล้วมักจะเกิดปัญหาการอุดตันของวัสดุในรูตะแกรงโดยเฉพาะเม็ดวัสดุที่มีขนาดใกล้เคียงกับรูตะแกรง การใช้ตะแกรงมาตรฐานอาจใช้วิธีแห้งหรือวิธีเปียกก็ได้

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเส้นลวดนำมาสานกันทำให้เกิดเป็นช่องสี่เหลี่ยมและมีกบอกขนาดเป็นเมช (mesh) ตะแกรงขนาด 10 เมช ซึ่งหมายถึงระยะความยาว 1 นิ้ว จะมีช่องรูตะแกรงจำนวน 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกเสียด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด ดังนั้นคำว่าเมช จึงยังไม่ได้บอกขนาดที่แท้จริงของสารที่ผ่านลวดรูตะแกรง จนกว่าจะทราบขนาดของเส้นลวดที่โรงงานต่างๆ นำมาใช้สานทำตะแกรง วิธีง่ายๆ วิธีหนึ่งที่จะทราบขนาดของช่องตะแกรงเป็นเมช ก็คือเมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดและช่องว่าง (หน่วยเป็นนิ้ว) แล้วนำตัวเลขทั้งสองมารวมกันแล้วนำไปหาร 1 ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นเมช เช่นตะแกรงมีช่องว่าง 0.0015 นิ้วและมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดเท่ากับ 0.0010 นิ้ว เมื่อนำมารวมกันจะได้ 0.0025 นิ้วเมื่อนำไปหาร 1 จะได้ 400 คือขนาดของตะแกรงนั้นเป็น 400 เมช

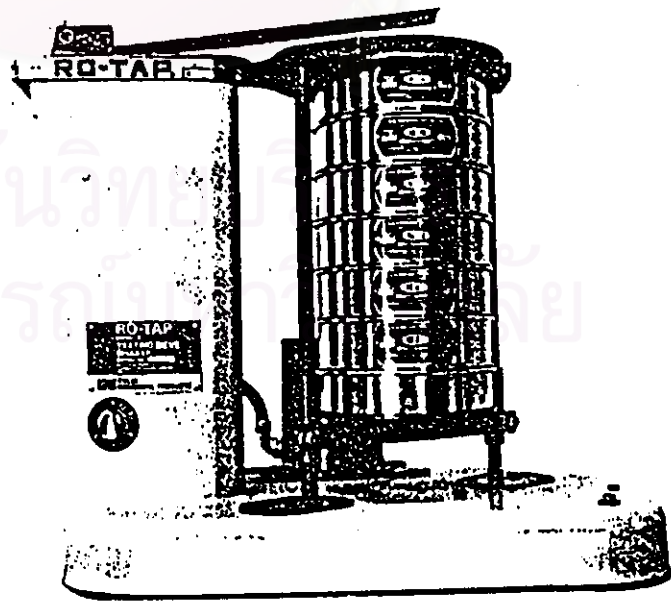
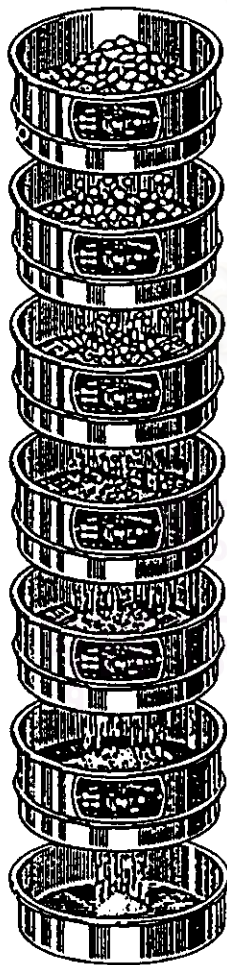
การคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานนี้ ทำได้โดยการนำของแข็งที่ผ่านการย่อยหรือบดมาแล้วไปผ่านบนตะแกรง (seive) ที่มีขนาดต่างๆ กัน การคัดขนาดโดยใช้มืออาจใช้คัดขนาดวัสดุ ซึ่งต้องการคัดขนาดเพียงขนาดเดียวหรือ 2-3 ขนาด แต่ถ้าหากต้องการคัดออกมาหลายๆ ขนาดก็ต้องวางชุดตะแกรง (stack of seive) เป็นหลายๆ ชั้นซึ่งการคัดขนาดแบบนี้โดยไม่ใช้เครื่องมือช่วยเลยนั้นจะต้องใช้เวลานาน และผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นจึงควรใช้เครื่องคัดขนาดแบบสั่น โดยนำเอาชุดของตะแกรงซึ่งมีขนาดต่างๆ มาเขย่าบนเครื่องมือดังกล่าว

ตะแกรงที่ใช้คัดขนาดจะติดอยู่กับส่วนล่างของโลหะทองเหลืองรูปกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทั่วๆ ไปที่ให้มีประมาณ 8 นิ้ว สูงประมาณ 2 นิ้ว ตะแกรงชุดหนึ่งจะประกอบไปด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ มีฝาปิดครอบตะแกรงชั้นบนสุด และชั้นล่างสุดจะมีกระโถนรองรับ กระโถนมีรูปร่างลักษณะคล้ายกับตะแกรงทั่วๆ ไป แต่ข้างล่างแทนที่จะมีลวดเป็นตะแกรง กลับเป็นโลหะที่บดสำหรับรองรับวัสดุที่ผ่านตะแกรงชั้นเหนือกว่าไว้ หลังจากการคัดขนาดจะมีวัสดุค้างอยู่บนตะแกรงเรียกว่า วัสดุโตเกินขนาด

สิ่งที่ควรระวังในการคัดขนาดก็คือ อย่าใช้ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่งๆ เพราะเม็ดวัสดุจะเกิดการอุดตันในรูตะแกรงมาก และอาจจะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะทำให้วัสดุเม็ดเล็กๆ เกิดรวมตัวกันเป็นก้อนทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ผิดไป นอกจากนี้ความชื้นจะต้องมีน้อยที่สุด



รูป ง.1 ขนาดขึ้นทดสอบรูปดัมเบล



รูป ง.2 การวิเคราะห์ขนาดด้วยตะแกรงร่อนมาตรฐาน

ตาราง ง.1 แสดงค่า error function และฟังก์ชันที่เกี่ยวข้อง

x	$e^{-x^2} \operatorname{erfc} x$	$4\pi^{-1/2} x e^{-x^2}$	$2\pi^{-1/2} e^{-x^2}$	$\operatorname{erf} x$	$\operatorname{erfc} x$	$2 \operatorname{ierfc} x$
0	1-0	0	1-1284	0	1-0	1-1284
0.05	0.9460	0.1126	1-1256	0.056372	0.943628	1-0312
0.1	0.8965	0.2234	1-1172	0.112463	0.887537	0.9396
0.15	0.8509	0.3310	1-1033	0.167996	0.832004	0.8537
0.2	0.8090	0.4336	1-0841	0.222703	0.777297	0.7732
0.25	0.7703	0.5300	1-0600	0.276326	0.723674	0.6982
0.3	0.7346	0.6188	1-0313	0.328627	0.671373	0.6284
0.35	0.7015	0.6988	0.9983	0.379382	0.620618	0.5639
0.4	0.6708	0.7692	0.9615	0.428392	0.571608	0.5043
0.45	0.6423	0.8294	0.9215	0.475482	0.524518	0.4495
0.5	0.6157	0.8788	0.8788	0.520500	0.479500	0.3993
0.55	0.5909	0.9172	0.8338	0.563323	0.436677	0.3535
0.6	0.5678	0.9447	0.7872	0.603856	0.396144	0.3119
0.65	0.5462	0.9614	0.7395	0.642029	0.357971	0.2742
0.7	0.5259	0.9678	0.6913	0.677801	0.322199	0.2402
0.75	0.5069	0.9644	0.6429	0.711156	0.288844	0.2097
0.8	0.4891	0.9520	0.5950	0.742101	0.257899	0.1823
0.85	0.4723	0.9314	0.5479	0.770668	0.229332	0.1580
0.9	0.4565	0.9035	0.5020	0.796908	0.203092	0.1364
0.95	0.4416	0.8695	0.4576	0.820891	0.179109	0.1173
1.0	0.4276	0.8302	0.4151	0.842701	0.157299	0.1005
1.1	0.4017	0.7403	0.3365	0.880205	0.119795	0.0729
1.2	0.3785	0.6416	0.2673	0.910314	0.089686	0.0521
1.3	0.3576	0.5413	0.2082	0.934008	0.065992	0.0366
1.4	0.3387	0.4450	0.1589	0.952285	0.047715	0.0253
1.5	0.3216	0.3568	0.1189	0.966105	0.033895	0.0172
1.6	0.3060	0.2791	0.0872	0.976348	0.023652	0.0115
1.7	0.2917	0.2132	0.0627	0.983790	0.016210	0.0076
1.8	0.2786	0.1591	0.0442	0.989091	0.010909	0.0049
1.9	0.2665	0.1160	0.0305	0.992790	0.007210	0.0031
2.0	0.2554	0.0827	0.0207	0.995322	0.004678	0.0020
2.1	0.2451	0.0576	0.0137	0.997021	0.002979	0.0012
2.2	0.2356	0.0393	0.0089	0.998137	0.001863	0.0007
2.3	0.2267	0.0262	0.0057	0.998857	0.001143	0.0004
2.4	0.2185	0.0171	0.0036	0.999311	0.000689	0.0002
2.5	0.2108	0.0109	0.0022	0.999593	0.000407	0.0001
2.6	0.2036	0.0068	0.0013	0.999764	0.000236	0.0001
2.7	0.1969	0.0042	0.0008	0.999866	0.000134	
2.8	0.1905	0.0025	0.0004	0.999925	0.000075	
2.9	0.1846	0.0015	0.0003	0.999959	0.000041	
3.0	0.1790	0.0008	0.0001	0.999978	0.000022	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยางทั้งหมด

ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ NTP คือปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ (V_{NTP})

ปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ คือปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผ่านยางปล่อยออกมาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ (V_{atm})

สูตรคำนวณคือ

$$\begin{aligned} (PV/T)_{NTP} &= (PV/T)_{atm} \\ (1 \text{ atm}) (V_{NTP}) / (273 \text{ K}) &= (1 \text{ atm}) (V_{atm}) / (273+30 \text{ K}) \\ V_{NTP} &= (273 \text{ K}) (V_{atm}) / (273+30 \text{ K}) \\ V_{NTP} &= (0.901) V_{atm} \end{aligned}$$

ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ NTP (ลบ.ซม.) = 0.901 x ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลการทดลองที่ 1 ทำการทดลองดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 40 บาร์ อุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที

$$\text{น้ำหนักแผ่นยางหลังการดูดซับ} = 13.8554 \text{ กรัม}$$

$$\text{ปริมาตรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผ่านยางปล่อยออกมา} = 0.0951 \times 10^6 \text{ ลบ.ซม.}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ NTP} &= 0.901 \times 0.0951 \times 10^6 \\ &= 0.0857 \times 10^6 \text{ ลบ.ซม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ที่ NTP} &= (\text{ปริมาตรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์} / 22.4) \times 44 \\ &= [(0.0857 \times 10^6 \text{ ลิตร}) / (22.4 \text{ ลิตร/กรัมโมล})] \times 44 \\ &= 168.3100 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น น้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำหนักยาง (กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกรัมยาง)} \\
 &= 168.3100/13.8554 \\
 &= 12.1476 \text{ กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกรัมยาง}
 \end{aligned}$$

การคำนวณหาความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์

สูตรที่ใช้คำนวณคือ

$$\text{ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ (กรัมต่อลบ.ซม.)} = PM / ZRT$$

โดย P, M, T และ Z คือความดัน (บาร์) น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อกรัมโมล) ซึ่งใช้ค่าเท่ากับ 44 กรัมต่อกรัมโมล อุณหภูมิ (เคลวิน) และค่า compressibility factor ของคาร์บอนไดออกไซด์ขณะทดลอง

R คือค่าคงที่ของแก๊ส เท่ากับ 82.06 ลบ.ซม. บาร์.กรัมโมล.เคลวิน

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลการทดลองที่ 1 ทำการทดลองดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 40 บาร์ อุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 60 นาที

$$\begin{aligned}
 \text{ความดันลดทอน (P}_r\text{)} &= P / P_c = 40 / 73.8 \\
 &= 0.5420
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{อุณหภูมิลดทอน (T}_r\text{)} &= T / T_c = (273+57) / (273+31.1) \\
 &= 1.0853
 \end{aligned}$$

จากกราฟรูป ก.3 ในภาคผนวก ก อ่านค่า Z ได้ 0.85

ดังนั้นความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ (กรัมต่อลบ.ซม.)

$$\begin{aligned}
 PV &= mRT / M \\
 &= (40 \times 44) / (0.85 \times 82.06 \times (273+57)) \\
 &= 0.0765
 \end{aligned}$$



ประวัติผู้เขียน

นางสาวคัทลียา ชะโรจน์บวร เกิดวันที่ 6 เมษายน พ.ศ.2518 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ
การศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อพ.ศ. 2539



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย