

บรรณานุกรม

1. Thongpin, C., Santavitee, O., and Sombatsompop, N., 2006, "Degradation Mechanism and Mechanical Properties of PVC in PVC - PE Melt Blends: Effect of Molecular Architecture, Content and MFI of PE", **Journal of Vinyl & Additive Technology**, Vol. 12, pp. 115-123.
2. กมล ดวงนิลม, 2542, "แนวทางการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันอุตสาหกรรมพลาสติกแปรรูปของประเทศไทยในต่างประเทศ", วารสารพลาสติก, ปีที่15, ฉบับที่ 6, หน้า 60.
3. Scheirf, J., 1998, **Polymer Recycling**, John Wiley, New York, pp. 2-268.
4. Wypych, J., 1986, **Poly (vinyl chloride) Stabilization**, Chapman & Hall, New York, pp. 74-175.
5. Titow, W.V., 1990, **PVC Plastics: Properties, Processing and Application**, Elsevier Applied Science, New York, pp. 62-333.
6. Brydson, J.A., 1989, **Plastics Materials**, 5th ed., Anchor Press, London, pp. 291-341.
7. Burgess, R.H., 1982, **Manufacture and Processing of PVC**, Macmillan Publishing CO., INC., New York, pp. 1-213.
8. Nicholas, P., 1989, **Handbook of Polymer Science and Technology**, Vol.1, Marcel Dekker, INC., New York, pp. 347-361.
9. ชลธิชา นุ่มหอม, 2538, **โพลีเมอร์**, พรสิวิการพิมพ์, หน้า 2-163.
10. Uitenham, L.C. and Geil P.H., 1981, "Processing, Morphology and Properties of PVC", **Journal of Macromolecule Science – Physics**, B Vol. 20, No. 4, pp. 593-622.
11. Benjamin, P., 1980, "Quality and Quality Control of Unplasticized Poly (vinyl chloride) Pressure Pipe", **Plastics and Rubber Processing and Application**, Vol. 6, pp. 151-160.
12. Tersilius, B. And Jansson, J.F., 1985, "Gelation of PVC: Effect on Structure and Physical Properties", **Plastics and Rubber Processing and Application**, Vol. 5, No. 3, pp. 193-201.
13. Chanda, M., and Salil, K.R., 1998, **Plastics Technology Handbook**, 3rd ed., Marcel Dekker, New York, pp. 310-320.
14. Kiyoshi, E., 2002, "Synthesis and Structure of Poly (vinyl chloride)", **Progress in Polymer Science**, Vol. 27, pp. 2021-2054.

15. Williams, P.T., and Williams, E.A., 1999, “Interaction of Plastic in Mixed – Plastics Pyrolysis”, *Energy Fuels*, Vol. 13, pp 188-196.
16. Starnes Jr. W.H., 2002, “Structural and Mechanistic Aspects of the Thermal Degradation of Poly (vinyl chloride)”, **Progress in Polymer Science**, Vol. 27, pp. 2133-2170.
17. Adisa, A., Alan, E., and Lan, H., 2003, **Polymers the Environment and Sustainable Development**, John Wiley & Sons Ltd., England, pp. 32-43.
18. Owen, E.D., 1984, **Degradation and Stabilisation of PVC**, Elsevier Applied Science, New York, pp. 81-132.
19. Leonard, I.N., and Charles, A.H., 1986, **Encyclopedia of PVC Volume 1: Resin Manufacture and Properties**, 2nd ed., Marcel Dekker, New York, pp. 397-433.
20. Jessse, E., 1992, **Plastics Additive and Modifiers Handbook**, Van Nostrand Rrinhold, New York, p. 3-55.
21. Pritchard, G., 1998, **Plastics Additives: An A-Z Reference**, Chapman & Hall, London, p. 500.
22. Gachter, R. and Muller, H., 1990, **Plastics Additives Handbook**, Hanser Publishers, New York, pp. 271-535.
23. Nicholas, P., 1989, **Handbook of Polymer Science and Technology**, Vol.2, Marcel Dekker, INC., New York, pp. 261-365.
24. Titow, W.V. and Lanham, B.J., 1971, **PVC Technology**, 3rd ed., Applied Science Publishers, London, pp. 544 .
25. Paul, D.R. and Newman, S., 1978, **Polymer Blend**, New York, Academic Press, p. 501.
26. Wiseman, P., 1986, **Petrochemicals**, John Wiley&Son Ltd., New York, pp. 44-48.
27. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2527, **เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน**, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 308-318.
28. Crawford, R.J., 1987, **Plastics Engineering**, 2nd ed., Oxford, Pergamon press, pp. 11-21.
29. Cheremisinoff, N.P., 1993, **Guidebook to Commercial Polymer Properties and Application**, New Jersey, PTR Prentice Hall, pp. 145-147.
30. Burke, D.M., 1996, “Ambient Mechanical Properties of Impact-Modified Poly (vinyl chloride) and Methyl Methacrylate Copolymer Blends”, **Journal of Vinyl & Additive Technology**, Vol. 2, No.3, pp. 202-210.

31. Wenguang, M. and Mantia, F.P.L., 1996, "Processing and Mechanical Properties of Recycled PVC and Homopolymer Blends with Virgin PVC", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 59, No. 5, pp. 759-767.
32. Torikai, A. and Hasegawa, H., 1999, "Accelerated Photodegradation of Poly (vinyl chloride)", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 63, pp. 441-445.
33. Yarahmadi, N., Jakubowicz, I., and Gevert, T., 2001, "Effect of Repeated Extrusion on The Properties and Durability of Rigid PVC Scrap", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 73, pp. 93-99.
34. Braun, D., 2002, "Recycling of PVC", **Progress in Polymer Science**, Vol. 27, pp. 2171-2195.
35. Loutcheva, M.K., Proietto, M., Jilov, N., and Mantia, F.P.L., 1997, "Recycling of High Density Polyethylene Containers", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 57, pp. 77-81.
36. Radu, S., Silviu, J., and Znjiro, O., 1998, "Chemiluminescence Study on the Oxidation of Several Polyolefins – I. Thermal-induced Degradation of Additive-Free Polyolefins", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 60, pp. 377-383.
37. Jin, W.P., Sea, C.O., Hae, P.L., Hee, T.K., and Kyong, O.Y., 2000 "A Kinetic Analysis of Thermal Degration of Polymer Using a Dynamic Method", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 67, pp. 535-540.
38. Andersson, T., Stalbm, B., and Wesslen, B., 2004, "Degradation of Polyethylene During Extrusion. II. Degradation of Low-Density Polyethylene, Linear Low-Density Polyethylene, and High-Density Polyethylene in Film Extrusion", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 91, pp. 1525-1537.
39. Abad, M.J., Ares, A., and Barral, L., 2004, "Effect of a Mixture of Stabilizers on the Structure and Mechanical Properties of Polyethylene During Reprocessing", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 92, pp. 3910-3916.
40. Pinheiro, L.A., Chinelatto, M.A., and Canevarolo, S.V., 2004, "The Role of Chain Scission and Chain Branching in High Density Polyethylene During Thermo-Mechanical Degradation", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 86, pp. 445-453.

41. Ajji, A., 1995, "Morphology and Mechanical Properties of Virgin and Recycled Polyethylene/Polyvinyl Chloride Blends", **Polymer Engineering and Science**, Vol. 35, pp. 64-71.
42. Sakata, Y., Uddin, M.A., Koizumi, K., and Murata, K., 1996, "Thermal Degradation of Polyethylene Mixed with Poly (vinyl chloride) and Poly (ethylene terephthalate)", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 53, pp. 111-117.
43. Pospisil, J., Horak, Z., Nespurek, S., and Kuroda, S., 1999, "Degradation and Ageing of Poly Blends I. Thermomechanical and Thermal Degradation", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 65, pp. 405-414.
44. Anold, J.C., and Maund, B., 1999, "The Properties of Recycled PVC Bottle Compounds. 2: Reprocessing Stability", **Polymer Engineering and Science**, Vol. 39, pp. 1242-1250.
45. Guowai, M., Zhenging, F., and Chengwai, X., 2003, "Phase Dispersion-Crosslinking Synergism in Binary Blends of Poly (vinyl chloride) with Low-Density Polyethylene: Entrapping Phenomenon in PVC/LDPE/DCP Blends", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 88, pp. 1296-1303.
46. Sombatsompop, N., Sugsanit, K., and Thongpin, C., 2004, "Structure Changes of PVC in PVC/LDPE Melt-Blends: Effect of LDPE Content and Number of Extrusion", **Polymer Engineering and Science**, Vol. 44, pp. 487-495.
47. Mills, N.J., 1993, **Plastics Microstructure & Engineering Applications**, 2nd ed., London : Edward Arndd A. member of Hodder Headline group, 23-29, 144-147.
48. Brandrup, J., and Immergut, E.H., 1989, **Polymer Handbook**, 3rd ed., New York, John Wiley, pp. II-475.
49. Matuschek, G., Milanov, N., and Kettrup, A., 2000, "Thermoanalytical Investigations for the Recycling of PVC", **Thermochimica Acta**, Vol. 361, pp. 77-84.
50. He, P., Huang, Xiao, H.W., Huang, S., and Cheng, S., 1997, "A Study on PVC/LLDPE Blends with Solid-State Chlorinated Polyethylene as Compatibilizer", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 64, pp. 2535-2541.
51. Geoffrey, M.A., 1999, "Kinetic and Chemical Studies of Polymer Cross-linking using Thermal Gravimetry and Hyphenated Methods Degradation of Polyvinylchloride." **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 64, pp. 353-357.

52. Anold, J.C., Maund, B., and Isaac D.H., 1996, "The Mechanical Properties of Recycled PVC Bottle Compounds", **Materials Processing Technology**, Vol. 56, pp. 475-481.
53. Qing-Ye, Z., Bang-Hua, Z., Mou-Dao, S., and Bing-Lin, H., 1996, "Compatibilizing effect of Poly(Hydrogenated butadiene-methyl methacrylate)copolymer for PVC/LLDPE blends." **European Polymer Journal**, Vol. 32, pp. 1140 -1150.
54. Charles, B.A., 1996, **Polymer Toughening**, New York , Marcel Dekker, Inc., pp. 199-208, 220-221.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงคุณสมบัติของ High Density Polyethylene ที่ใช้ในงานวิจัย

Properties	Unit	Testing Method (ASTM)	HDPE	
			H6105JU	H5818J
Melt Flow Index	g/10 min	D 1238	5	18
Density	g/cm ³	D 1505	0.961	0.958
Tensile Strength at Yield	MPa	D 638	30.4	27.5
Tensile Strength at Break	MPa	D 638	16.7	19.6
Elongation at Break	%	D 638	>500	100
Flexural Modulus	MPa	D 790	1226	1275
Hardness, Shore D	-	D 2240	66	66
Melting Point	°C	D 2117	133	131
Vicat Softening Point	°C	D 1525	127	122

หมายเหตุ : ข้อมูลต่างๆ ได้รับจากแคตตาล็อกผลิตภัณฑ์ของ Thai Polyethylene Co.,Ltd. และเป็นข้อมูลแสดงสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากการทดสอบภายใต้สภาวะการควบคุมในห้องทดสอบของเจ้าของเทคโนโลยีการผลิตเท่านั้น ทั้งนี้สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับสภาวะการผลิตของผู้ผลิต

ตารางแสดงคุณสมบัติของ Low Density Polyethylene ที่ใช้ในงานวิจัย

Properties	Unit	Testing Method (ASTM)	LDPE		
			LD1905F	S1018	SU1018
Melt Flow Index	g/10 min	D 1238	5	20	45
Density	g/cm ³	D 1505	0.919	0.916	0.916
Tensile Strength at Yield	MPa	D 638	-	9.5	9.5
Tensile Strength at Break	MPa	D 638	20.6 (MD) 16.7 (TD)	8.5	7.5
Elongation at Break	%	D 638	200 (MD) 720 (TD)	400	170
Hardness, Shore D	-	D 2240	46	48	48
Melting Point	°C	D 2117	110	-	-
Vicat Softening Point	°C	D 1525	90	82	78

หมายเหตุ : ข้อมูลต่างๆ ได้รับจากแคตตาล็อกผลิตภัณฑ์ของ Thai Polyethylene Co.,Ltd. และเป็นข้อมูลแสดงสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้จากการทดสอบภายใต้สภาวะการควบคุมในห้องทดสอบของเจ้าของเทคโนโลยีการผลิตเท่านั้น ทั้งนี้สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับสภาวะการผลิตของผู้ผลิต

ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณสมบัติด้านทานแรงดึง

สมบัติด้านทานแรงดึงของวัสดุ เป็นตัวบอกความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนขาดในระยะเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราการดึงคงที่ โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบจะเตรียมให้อยู่ในรูปของคัมเบล (Dumbbell) ตามมาตรฐาน ASTM D638, Type I ด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นงานแยกขาดจากกัน โดยผลการทดลองที่ได้จะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) โดยค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสูตรที่แสดงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับงานวิจัยนี้จะนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงดึง ในรูปของค่าความทนทานต่อการเสียรูป (Elastic modulus) ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) และความสามารถในการยืดตัวสูงสุด (Elongation at break) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรที่แสดงในสมการที่ 3 - 5 ตามลำดับ

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

สมการที่ 1

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

สมการที่ 2

โดย	σ	คือ ความเค้น มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร
	ε	คือ ความเครียด
	F	คือ แรงดึงที่ให้กับชิ้นงาน มีหน่วยเป็นนิวตัน
	A_0	คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานในช่วงความยาวเกจ (Gauge length) มีหน่วยเป็น ตาราง เมตร
	L_i	คือ ความยาวชิ้นงาน ณ ตำแหน่งหรือระยะยืดใดๆ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
	L_0	คือ ความยาวของชิ้นงานเริ่มต้นในช่วงความยาวเกจ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความทนทานต่อการเสียรูป (Elastic modulus)

ค่า Elastic modulus คือค่าที่สามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในช่วงก่อนถึงจุดคราก (Yield) ของเส้นกราฟ ซึ่งในช่วงดังกล่าว

ชิ้นงานตัวอย่างจะสามารถกลับคืนสู่ขนาดเดิมก่อนทำการดึงชิ้นงานตัวอย่างได้ เมื่อปล่อยแรงที่ให้กับชิ้นงาน โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ 3 โดยค่า Elastic modulus มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

$$\text{Elastic modulus} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{สมการที่ 3}$$

ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength)

เป็นอัตราส่วนของแรงดึงที่ชิ้นงานได้รับที่จุดครากซึ่งมีค่าสูงสุดกับพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น ดังสมการที่ 4 เมื่อ $F_{\max}$ คือแรงดึงสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้ มีหน่วยเป็นนิวตัน

$$\text{Yield strength} = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad \text{สมการที่ 4}$$

ความสามารถในการยืดตัวสูงสุด (Elongation at break)

ค่า Elongation at break เป็นค่าบอกความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงาน ณ จุดขาด นิยมรายงานในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\% \text{ Elongation} = \frac{(L_i - L_0) \times 100}{L_0} \quad \text{สมการที่ 5}$$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวอาทิตยา โยธารักษ์
 ที่อยู่ 96/145-146 ซ.เอกชัย 109 ถ.เอกชัย แขวงบางบอน เขตบางบอน จังหวัด
 กรุงเทพมหานคร 10150

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิ
 เมอร์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม
 พ.ศ. 2546 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์