


สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเอชดีพีอี/เอ็มแอลแอลดีพีอี
สำหรับการขึ้นรูปรีออนสุญญากาศ



นายสมพร จันทวรลักษณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

หลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0772-8

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE/MLLDPE BLENDS
FOR VACUUM THERMOFORMING**

Mr. Somporn Chantavaraluk

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science
Program of Petrochemistry and Polymer Science**

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0772-8

Thesis Title MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE/MLLDPE BLENDS
FOR VACUUM THERMOFORMING

By Mr. Somporn Chantavaraluk

Field of Study Petrochemistry and Polymer Science

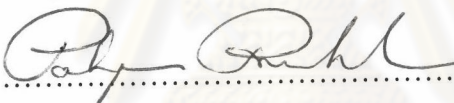
Thesis Advisor Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D.


Thesis Co-advisor Associate Professor Saowaroj Chuayjuljit, M.Sc.


Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

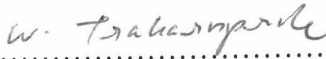
..... Dean of Faculty of Science
(Associate Professor Wanchai Phothiphichitr, Ph.D.)

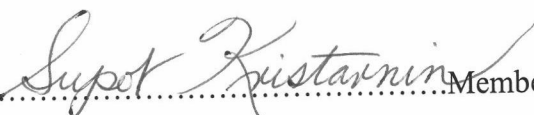
Thesis Committee

..... Chairman
(Professor Pattarapan Prasassarakich, Ph.D.)

..... Thesis Advisor
(Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor
(Associate Professor Saowaroj Chuayjuljit, M.Sc.)

..... Member
(Associate Professor Wimonrat Trakarnpruk, Ph.D.)

..... Member
(Mr. Supot Kristarnin, M.Eng.)

สมพร นันทวรลักษณ์ : สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เอชดีพีอี/เอ็มแอลแอลดีพีอี
สำหรับการขึ้นรูปรี้อนสูญญากาศ (MECHANICAL PROPERTIES OF
HDPE/MLLDPE BLENDS FOR VACUUM THERMOFORMING) อ. ที่ปรึกษา :
รศ.ดร. ศุภวรรณ ตันตยานนท์, อ.ที่ปรึกษาร่วม รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 92 หน้า.
ISBN 974-03-0772-8

เมทิลโลซีนพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (MLLDPE) 3 ชนิด ถูกนำมาผสม
กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 10% 20%
30% และ 40% เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลเช่น ความทนแรงกระแทกและสัมประสิทธิ์ความ
เสียดทาน ผลการทดลองแสดงความทนแรงกระแทกและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น
เมื่อปริมาณ MLLDPE เพิ่มขึ้นขณะที่มอดูลัสการคดโค้งและอุณหภูมิเอนต์วลดลงนอกจาก
นั้นสมบัติเชิงกลของการผสม HDPE กับ MLLDPE ทั้ง 3 ชนิดด้วยอัตราส่วน 20% และ
30% MLLDPE เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นแผ่นปูพื้นรถบรรทุกขนาด 1 ตัน การวิเคราะห์
ทางความร้อนแสดงการเข้ากันได้ดีของพอลิเมอร์ทั้งสอง ดังนั้นเมื่อนำพอลิเมอร์ผสม
HDPE/MLLDPE ไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปรี้อนด้วยสูญญากาศผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งความทน
แรงกระแทก และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....ลายมือชื่อนิติศ.....
สาขาวิชา.....ปีตรีเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2544.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4273413923-23 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORD : HDPE/MLLDPE, VACUUM THERMOFORMING

SOMPORN CHANTAVARALUK : MECHANICAL PROPERTIES OF
HDPE/MLLDPE BLENDS FOR VACUUM THERMOFORMING. THESIS
ADVISOR : ASSOC.PROF. SUPAWAN TANTAYANON, Ph.D., THESIS
CO-ADVISOR : ASSOC.PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, 92 pp. ISBN
974-03-0772-8

Three types of metallocene linear low density polyethylene (MLLDPE) were blended with high density polyethylene (HDPE) at various percent weights : 10%, 20%, 30% and 40% to improve the mechanical properties i.e., impact strength and coefficient of friction. The result shows that impact strength and coefficient of friction were increased when MLLDPE content increased whereas flexural modulus and heat distortion temperature were decreased. In addition, the mechanical properties revealed that three types of HDPE/MLLDPE blends at 20% and 30% MLLDPE contents were suitable for manufacturing of pick up truck liner. Thermal analysis shows that both polymer resins were compatible. Then, HDPE/MLLDPE blends were subjected to vacuum thermoforming process, it was obtained high impact strength and coefficient of friction.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Student's signature.....
Field of study..... Petrochemistry and Polymer Science..... Advisor's signature.....
Academic year..... 2001..... Co-advisor's signature.....

ACKNOWLEDGMENT

I, hereby wish to thank and acknowledge lots of people, more than could be listed here for their helps and encouragement. This thesis would never have been started without Associate Professor Saowaroj Chuayjuljit, who has introduced me to study in the field of polymer science. In addition, being one of the best teachers and finest scientists I have ever met, I would like to gratefully thank my advisor, Associate Professor Dr. Supawan Tantayanon for her encouraging guidance, supervision and helpful suggestion throughout this study. Furthermore, I wish to thank the thesis committee and Mr.Malcolm Kaye for their valuable comments.

Finally, I would like to express my deepest appreciation to my wife, Pannee; my son, Nathabol and my daughter, Punyaporn for their love, encouragement and support throughout my study at Chulalongkorn University.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

	Page
ABSTRACT IN THAI.....	iv
ABSTRACT IN ENGLISH.....	v
ACKNOWLEDGEMENT.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xi
LIST OF FIGURES.....	xiii
ABBREVIATION.....	xvi
CHAPTER	
I INTRODUCTION.....	1
1.1 General Introduction.....	1
1.2 The Objective of the Research.....	3
1.3 Scope of the Research.....	3
II THEORY.....	4
2.1 Ziegler-Natta Catalysts.....	4
2.2 Metallocene Catalysts for Olefin Polymerization.....	6
2.3 Metallocene Linear Low Density Polyethylene (MLLDPE)...	10
2.4 Polymer Blend.....	11
2.5 Determination of Polymer/Polymer Blend.....	13
2.6 Literature Reviews.....	13
III EXPERIMENTAL.....	15
3.1 Material.....	15

	Page
3.1.1 High Density Polyethylene (HDPE).....	15
3.1.2 Metallocene Linear Low Density Polyethylene (MLLDPE).....	15
3.2 Blending and Sample Preparation.....	16
3.2.1 Blending.....	16
3.2.2 Molding and Specimen Preparation.....	18
3.2.3 Sheet Extrusion Test.....	19
3.3 Mechanical Testing of Sample.....	22
3.3.1 Tensile Strength and Elongation Testing.....	22
3.3.2 Flexural Modulus Testing.....	23
3.3.3 Impact Strength Testing.....	24
3.3.4 Heat Distortion Testing.....	25
3.4 Physical Properties of HDPE/MLLDPE Blends.....	26
3.4.1 Melt Flow Index (MFI) Analysis.....	26
3.4.2 Density Measurement.....	26
3.4.3 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	26
3.4.4 Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA).....	27
3.5 Friction Testing.....	28
3.6 Sheet Orientation Testing.....	29
3.7 Thermoforming Processability Test.....	30
3.7.1 Sagging of Heated Sheet Test.....	33
3.7.2 Pick Up Formed Part Shrinkage Test.....	33
3.8 Reproducibility Test.....	34
IV RESULTS AND DISCUSSION.....	35
4.1 Mechanical Properties.....	35
4.1.1 Tensile Strength.....	35

	Page
4.1.2 Elongation.....	37
4.1.3 Flexural Modulus Testing.....	39
4.1.4 Impact Strength.....	40
4.1.5 Heat Distortion Testing.....	42
4.1.6 Comparisons of the Mechanical Properties of HDPE/MLLDPE Blends.....	43
4.2 Physical Properties of HDPE/MLLDPE Blends.....	45
4.2.1 Melt Flow Index.....	45
4.2.2 Density.....	47
4.2.3 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	49
4.2.4 Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA).....	52
4.3 Sheet Sample Preparation and Friction Testing.....	57
4.3.1 Sheet Sample Preparation.....	57
4.3.2 Friction Testing.....	58
4.4 Sheet Orientation.....	59
4.5 Extrusion Processability.....	60
4.6 Thermoforming Processability.....	62
4.6.1 Sagging of Heated Sheet.....	63
4.6.2 Pick Up Truck Formed Part Shrinkage	63
4.6.3 Reproducibility.....	64
V CONCLUSION AND SUGGESTION.....	65
5.1 Conclusion.....	65
5.2 Suggestion for Further Study.....	66
REFERENCES.....	67

	Page
APPENDICES.....	71
APPENDIX A.....	72
APPENDIX B.....	80
VITAE.....	92

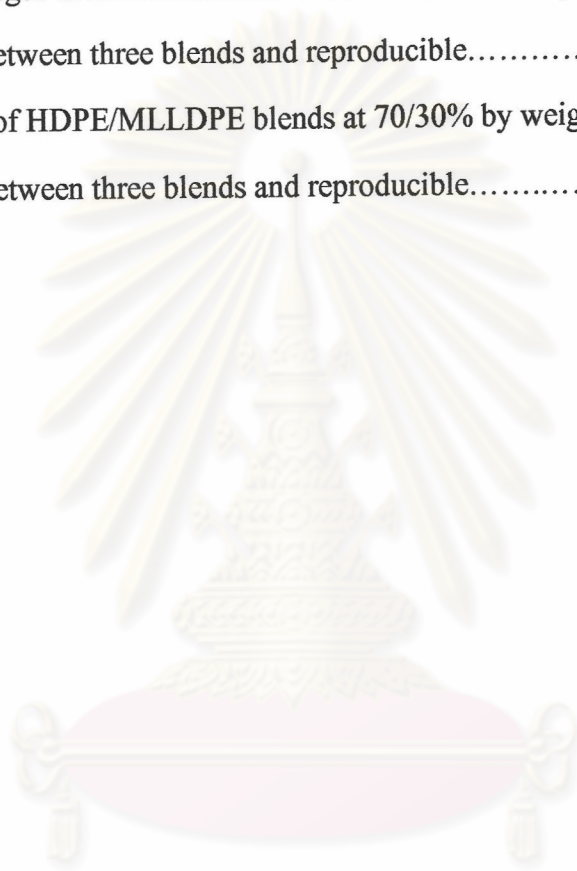


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 The properties of HDPE and MLLDPE	6
3.1 The basic properties of metallocene linear low density polyethylene...	16
3.2 Formulation of HDPE/MLLDPE blends (%) by weight.....	17
3.3 Extrusion conditions.....	21
3.4 Thermoforming conditions.....	31
4.1 Comparisons of the mechanical properties of HDPE/MLLDPE blends...	44
4.2 Melt flow index of HDPE/MLLDPE blends at load 21.6 kg from experiment and calculation (g/10 min) at various contents of the three blends.....	47
4.3 Density of HDPE/MLLDPE blends from experiment and calculation at various contents of the three blends.....	48
4.4 Sheet orientation of HDPE/MLLDPE (Elite blends) at 80/20 and 70/30.....	59
4.5 Sheet Orientation of HDPE/MLLDPE (Elite) at 80/20 and 70/30.....	60
A-1 Tensile strength of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends.....	72
A-2 Elongation of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends.....	73
A-3 Impact strength of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends.....	74
A-4 Flexural modulus of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends.....	75
A-5 Heat distortion of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends.....	76

A-6	Part shrinkage of conventional HDPE.....	77
A-7	Part shrinkage of HDPE/MLLDPE blends at 80/20 % by weight.....	77
A-8	Part shrinkage of HDPE/MLLDPE blends at 70/30 % by weight.....	78
A-9	Impact strength of HDPE/MLLDPE blends at 70/30% by weight compared between three blends and reproducible.....	78
A-10	Tensile strength of HDPE/MLLDPE blends at 70/30% by weight compared between three blends and reproducible.....	79
A-11	Elongation of HDPE/MLLDPE blends at 70/30% by weight compared between three blends and reproducible.....	79



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 The iron sandwich : The first metallocene, dicyclopentadienyl iron; $(D_5H_2)_2Fe$	7
2.2 Primary metallocene catalysts.....	8
2.3 Cyclic and linear methyl aluminoxane (MAO)	8
2.4 Schematic of the relative effects of blending polymer.....	12
3.1 Schematic diagram of single screw extruder.....	17
3.2 Schematic diagram of injection molding machine.....	18
3.3 Schematic diagram of sheet extrusion processing.....	20
3.4 The dimensions of dumb-bell specimen of type I.....	22
3.5 Schematic diagram of flexural modulus testing.....	23
3.6 Schematic diagram of impact tester.....	24
3.7 Schematic diagram of heat distortion tester.....	25
3.8 Schematic diagram of Mettler (DSC).....	27
3.9 Schematic diagram of Perkin Elmer DMA-7e.....	28
3.10 Schematic diagram of friction tester.....	29
3.11 Orientation across the sheet width in machine direction.....	30
3.12 Schematic diagram of female mold vacuum thermoforming process.....	32
3.13 Schematic diagram of photoelectric eye detects sagging distance.....	33
3.14 Schematic diagram of pick up truck liner formed part.....	34
4.1 Tensile strength of HDPE/MLLDPE blends.....	36
4.2 Elongation at break of HDPE/MLLDPE.....	38
4.3 Flexural modulus of HDPE/MLLDPE sheet at various contents of the three blends.....	39

4.4	Impact strength of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends.....	42
4.5	Heat distortion temperature of HDPE/MLLDPE blends at various contents of three blends.....	43
4.6	Melt flow index of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends from measurement.....	46
4.7	Density of HDPE/MLLDPE blends at various contents of the three blends.....	48
4.8	DSC of HDPE/MLLDPE blends 60/40, 70/30, and 80/20, MLLDPE from Mpack D 139.....	51
4.9	DMTA of HDPE/MLLDPE blend 80/20 and MLLDPE from Elite 5100.....	53
4.10	DMTA of HDPE/MLLDPE blend 70/30 and MLLDPE from Elite 5100.....	54
4.11	DMTA of HDPE/MLLDPE blend 70/30 and MLLDPE from Exceed D350 D60.....	55
4.12	DMTA of HDPE/MLLDPE blend 70/30 and MLLDPE from Mpack D139.....	56
B-1	DSC of HDPE/MLLDPE blend 90/10 and MLLDPE from Mpack D139.....	80
B-2	DSC of HDPE/MLLDPE blend 80/20 and MLLDPE from Mpack D139.....	81
B-3	DSC of HDPE/MLLDPE blend 70/30 and MLLDPE from Mpack D139.....	82
B-4	DSC of HDPE/MLLDPE blend 60/40 and MLLDPE from Mpack D139.....	83
B-5	DSC of HDPE/MLLDPE blend 90/10 and MLLDPE from Exceed D350 D60.....	84

B-6	DSC of HDPE/MLLDPE blend 80/20 and MLLDPE from Exceed D350 D60.....	85
B-7	DSC of HDPE/MLLDPE blend 70/30 and MLLDPE from Exceed D350 D60.....	86
B-8	DSC of HDPE/MLLDPE blend 60/40 and MLLDPE from Exceed D350 D60.....	87
B-9	DSC of HDPE/MLLDPE blend 90/10 and MLLDPE from Elite 5100.....	88
B-10	DSC of HDPE/MLLDPE blend 80/20 and MLLDPE from Elite 5100.....	89
B-11	DSC of HDPE/MLLDPE blend 70/30 and MLLDPE from Elite 5100.....	90
B-12	DSC of HDPE/MLLDPE blend 60/40 and MLLDPE from Elite 5100.....	91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABBREVIATIONS

AMP	Ampere
ASTM	American Society for Testing and Materials
°C	Degrees Celsius
g	Gram
g/cc	Gram per cubic centimeter
g/10 min	Grams per 10 minutes
h	Hour
J/M	Joules per meter
kg	Kilogram
kg/cm ²	Kilograms per square centimeter
kg/h	Kilogram per hour
L/D	Length by diameter
MD	Machine direction
mg	Milligram
cc/s	Milliliters per minute
mm/min	Millimeters per minute
mm/mm	Millimeters per millimeters
PSI	Pounds per square inch
rpm	Revolutions per minute
SD	Standard deviation
Tg	Glass transition temperature
wt %	Percentage by weight
\bar{X}	Mean