


ผลของตัวแปรขององค์ประกอบและกระบวนการผลิตต่อสมบัติการสกัดกัน
ของฟิล์มพอลิเมอร์ผลึกเหลวและพอลิเอทีลิน



นางสาว ตติยา ตรงสถิตกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3847-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF COMPOSITION AND PROCESSING VARIABLES ON BARRIER PROPERTY OF
LIQUID CRYSTALLINE POLYMER/POLYETHYLENE BLEND FILMS



Miss Tatiya Trongsatitkul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2003


ISBN 974-17-3847-1

Thesis Title Effects of Composition and Processing Variables on Barrier Property
of Liquid Crystalline Polymer/Polyethylene Blend Films
By Miss Tatiya Trongsatitkul
Field of Study Applied Polymer Science and Textile Technology
Thesis Advisor Assistant Professor Duangdao Aht-Ong, Ph.D.
Thesis Co-advisor Wannee Chinsirikul, Ph.D.


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
(Associate Professor Saowaroj Chaujuljit)


..... Thesis Advisor
(Assistant Professor Duangdao Aht-Ong, Ph.D.)


..... Thesis Co-advisor
(Wannee Chinsirikul, Ph.D.)


..... Member
(Associate Professor Paiparn Santisuk)


..... Member
(Associate Professor Werusak Udomkichdecha, Ph.D.)

ตติยา ตรงสถิตกุล : ผลของตัวแปรขององค์ประกอบและกระบวนการผลิตต่อสมบัติการสกัดกั้นของฟิล์มพอลิเมอร์ผลึกเหลวและพอลิเอทิลีน (EFFECTS OF COMPOSITION AND PROCESSING VARIABLES ON BARRIER PROPERTY OF LIQUID CRYSTALLINE POLYMER / POLYETHYLENE BLEND FILMS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ดวงดาว อัจจงค์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. วรณิ ฉินศิริกุล , 144 หน้า. ISBN 974-17-3847-1.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของตัวแปรขององค์ประกอบและกระบวนการผลิตที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติการสกัดกั้นแก๊สรวมถึงสมบัติการต้านทานแรงดึง ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ผลึกเหลวและพอลิเอทิลีน ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวด้วยเทคนิคการหล่อฟิล์ม ทั้งนี้พอลิเมอร์ผลึกเหลวที่ใช้เป็นชนิดอโรมาติกพอลิเอสเทอร์ พอลิเอทิลีนที่ใช้มี 2 ชนิดคือพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) และสารช่วยผสมคือ เอทิลีนเมทคริลิกแอสிடโคพอลิเมอร์ การศึกษาทำโดยผสม LDPE กับพอลิเมอร์ผลึกเหลว และ สารช่วยผสมร้อยละ 10 และ 0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แล้วจึงผลิตฟิล์ม โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่างกัน 6 ภาวะ เปรียบเทียบกับผลของการใช้อุปกรณ์ช่วยผสม (Mixing elements) ร่วมในการผลิตฟิล์มที่ภาวะอุณหภูมิชุดเดียวกัน เพื่อหาภาวะในการผลิตฟิล์มที่เหมาะสม จากนั้นจึงใช้ภาวะดังกล่าวในการศึกษาขยายผลของความเร็วรอบเกลียวหนอนซึ่งผันแปรจาก 12 ถึง 60 รอบต่อนาที ปริมาณสารช่วยผสมและปริมาณพอลิเมอร์ผลึกเหลวที่ผันแปรในช่วงร้อยละ 0-10 และ 0-40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และผลของสัดส่วนการดึงหลังพันด้ายที่ผันแปรจาก 1 ถึง 3

ผลการศึกษาดังกล่าวพบว่าลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผลึกเหลว ที่ปรากฏในฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีพอลิเมอร์ผลึกเหลวย้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นส่วนประกอบ ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นเส้นใยที่มีประสิทธิภาพในการเสริมแรงคือมีสัดส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 ขึ้นไป โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์ผลึกเหลวใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการผลิตฟิล์มสูงขึ้นและมีลักษณะเป็นแถบ (Ribbon structure) ในที่สุด ปริมาณสารช่วยผสมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักและความเร็วรอบเกลียวหนอน 12 รอบต่อนาทีเป็นปริมาณและภาวะที่ทำให้ฟิล์มมีสมบัติการสกัดกั้นและการต้านทานแรงดึงที่ดีที่สุดคือค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 80 และการซึมผ่านของแก๊สลดลงร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE บริสุทธิ์ที่มีความหนาเท่ากัน การใช้อุปกรณ์ช่วยผสมนั้นช่วยในการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผลึกเหลวได้ดี เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตต่ำ แต่ผลดังกล่าวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตสูงขึ้น ปริมาณของพอลิเมอร์ผลึกเหลวที่เพิ่มขึ้นทำให้สมบัติการสกัดกั้นเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้น ผลของการดึงหลังพันด้ายจะชัดเจนเมื่อฟิล์มมีปริมาณพอลิเมอร์ผลึกเหลวสูง เช่น ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยสัดส่วนการดึงหลังพันด้ายเท่ากับ 3 ทำให้มอดุลัสของฟิล์มเพิ่มขึ้น 35 เท่า และสมบัติการสกัดกั้นเพิ่มขึ้น 4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE ที่ความหนา 30 ไมโครเมตร เมื่อผสม LLDPE ร่วมในเมทริกซ์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักเพื่อปรับปรุงความเหนียวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม พบว่าความเหนียวของฟิล์มที่มีพอลิเมอร์ผลึกเหลวย้อยละ 10 โดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเมอร์ผสมชนิดเดียวกันที่มี LDPE เป็นเมทริกซ์

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต..... *ตติยา ตรงสถิตกุล*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Dr. D. J.*

4372267523 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD : LIQUID CRYSTALLINE POLYMER / BARRIER PROPERTIES / MORPHOLOGY CONTROL / IMMISCIBLE BLEND

TATIYA TRONGSATITKUL : EFFECTS OF COMPOSITION AND PROCESSING VARIABLES ON BARRIER PROPERTY OF LIQUID CRYSTALLINE POLYMER / POLYETHYLENE BLEND FILMS THESIS ADVISOR : ASST. PROF. DUANGDAO AHT-ONG, Ph.D, THESIS COADVISOR : WANNEE CHINSIRIKUL, Ph.D. 144 pp. ISBN 974-17-3847-1

Cast films of liquid crystalline polymer / polyethylene were investigated. Effects of compatibilizer and LCP content as well as processing parameters i.e., processing temperature profile, use of mixing elements, screw speed, and post-die drawing on morphology, barrier performance and tensile properties were presented. Increasing processing temperature and LCP content tended to enhance aspect ratio (L/D) and continuity of LCP dispersed phase. LDPE films containing 10 wt% of LCP produced at all six temperature profiles generally possess effective LCP fibers with high aspect ratio of 100 or higher. Interestingly, at high temperature profiles, LCP morphologies presented in a more or less "ribbon-like" structure together with a common LCP fibrillar structure. Mixing elements performed a good potential in increasing degree of mixing, initial LCP size and dispersion, when low processing temperature profiles were used. Screw speed of 12 RPM and 0.5 wt% of compatibilizer were found to be optimal values in this LCP/LDPE blend system. Improvements of modulus of approximately 800% and barrier property of 40 % were obtained in the LCP/LDPE films, as compared to LDPE film alone having similar thickness of ~ 60 μm . Increasing of LCP content in blend films tended to decrease OTR linearly . Post-die drawing clearly improved aspect ratios of the LCP domains and the resulting films' moduli. Effects of post-die drawing on enhancing films' barrier properties became more pronounced at high LCP content. LDPE films containing 30 wt% LCP showed increases of modulus and barrier property of 35 and 4 folds, respectively over LDPE films of similar thicknesses of ~30 μm . LLDPE/LDPE (30:70) blends were prepared in order to improve toughness of blend films instead of using LDPE matrix alone. Toughness enhancement of ~ 80% was obtained when films were produced under appropriate conditions.

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2003

Student's signature.....

Advisor's signature.....

T. Trongsatitkul

Duangdao Aht-ong

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank all people who made completion of the thesis possible. My deepest gratitude goes to my advisor, Assistant Professor Dr. Duangdao Aht-Ong and co-advisor Dr. Wannee Chinsirikul for their valuable advice and their great encouragement, patient guidance, kindness, and for all that I have learnt from them throughout this research. I would also like to thank the thesis committee, Assoc. Prof. Saowaroj Chuayjuljit, Assoc. Prof. Paiparn Santisuk, and Assoc. Prof. Dr. Werasak Udomkichdecha for suggestion and serving on my thesis committee.

My appreciation also extend to the National Metal and Materials Technology Center (MTEC) and staffs for technical supports. Special thanks go to Mr. Noppadon Kerddonfag for being my mentor when I worked on my lab at MTEC and for every appreciated help. I would also like to thank Mr. Wachrakorn Susiwa for his help in making mixing elements and assistance in designing and making various types of air-boxes. I would also like to extent my gratitude to Dr. Asira Fuongfuchat for valuable advice on rheological study. I would give additional thanks to all members of PPD team for all worth experience I had with them.

Thanks also go to Miss Yada Chantarasomboon and Miss Duangporn Deepadung at the Department of Packaging Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasatsart University for their hard working on transmission rate testing. I would like to thank Ticona (USA) and Cementhai Chemical Co.,Ltd. (CCC) for kindly providing liquid crystalline polymer and low-density polyethylene, respectively. I also appreciate the funding from Thailand Graduate Institute of Science and Technology (TGIST), National Science and Technology Development Agency (NSTDA).

Thanks to all my friends at the Department of Materials Science for their friendship and their help throughout my studies. Many thanks for Ohm and OH for being handy in a very critical moment. In addition, big thank for my best friend, Ble, who never leave me alone when I need somebody, thanks for all things you have done for me.

Finally, I would like to express my deepest appreciation to my dearest family for their endless love, care, and encouragement, especially my mom who gives me a great inspiration and always support. Many thanks for grand mom for her continual love and lots of care.

TABLE OF CONTENT

	PAGE
Abstract in Thai.....	iv
Abstract in English.....	v
Acknowledgements.....	vi
Table of Content.....	vii
List of Tables.....	x
List of Figures.....	xi

CHAPTER

1. Introduction.....	1
2. Background.....	6
2.1 Introduction	6
2.2 General Principle of Transport Phenomena in Polymeric System.....	6
2.2.1 Solubility Coefficient (S)	7
2.2.2 Diffusion Coefficient (D)	8
2.2.3 Permeation Coefficient (P).....	9
2.3 What Effects on Permeability in the Crystalline Polymer.....	10
2.3.1 The Effects of Crystallinity and Morphology on Barrier Properties .	10
2.3.2 The Effects of Molecular Orientation on Barrier Properties	11
2.4 High Barrier Polymers	12
2.5 Development of Barrier Materials by Blending	15
2.6 Polymer Blends Containing LCPs.....	16
2.6.1 Liquid Crystalline Polymers (LCPs).....	16
2.6.2 Challenges of Blend Containing Liquid Crystalline Polymers in Barrier Development.....	27
2.7 Polyethylene (PE).....	29
2.8 Relationship of Blends' Structure and Their Properties	32
2.8.1 Transport Properties: Gas Transport Property Prediction in Multiphase Polymer System.....	32

	PAGE
2.8.2 Mechanical Properties: Application of Composite Theory	35
2.9 Transmission Rate and Permeability	38
3. Experiment.....	39
3.1 Materials.....	41
3.1.1 Liquid Crystalline Polymer (LCP).....	41
3.1.2 Polyethylene (PE).....	41
3.1.3 Compatibilizer.....	43
3.1.4 Antioxidant.....	43
3.2 Instruments.....	44
3.3 Methodology	45
3.3.1 Blending and Pelletization.....	45
3.3.2 Film Fabrication	47
3.4 Characterizations and Testings	54
3.4.1 Morphology Study	54
3.4.2 Barrier Properties Testing.....	55
3.4.3 Tensile Testing.....	57
4. Results and Discussion.....	58
4.1 Effects of Processing Temperature Profiles and Use of Mixing Elements	58
4.1.1 Film Morphology.....	59
4.1.2 Tensile Properties	69
4.1.3 Barrier Properties.....	76
4.2 Effect of Screw Speed	80
4.2.1 Film Morphology.....	80
4.2.2 Tensile Properties.....	83
4.2.3 Barrier Properties.....	85

	PAGE
4.3 Effect of Compatibilizer.....	87
4.3.1 Film Morphology.....	87
4.3.2 Tensile Properties.....	90
4.3.3 Barrier Properties.....	92
4.4 Effects of LCP Content.....	95
4.4.1 Film Morphology.....	95
4.4.2 Tensile Properties.....	101
4.4.3 Barrier Properties.....	104
4.5 Effect of Post-Die Drawing.....	106
4.5.1 Film Morphology.....	106
4.5.2 Tensile Properties.....	110
4.5.3 Barrier Properties.....	113
4.6 Effect of LLDPE/LDPE Blend Matrix.....	115
4.6.1 Morphology.....	115
4.6.2 Tensile Properties.....	117
4.6.3 Barrier Properties.....	119
4.7 Prediction of Tensile Property Related to Structure by Composite Theory	122
5. Conclusions and Suggestions for Future Work.....	125
5.1 Conclusions.....	125
5.2 Suggestions for Future Work.....	129
References.....	131
Appendices.....	136
Biography.....	145

LIST OF TABLES

	PAGE
Table 2.1 Principal advantages and disadvantages of some high barrier polymers [1]	14
Table 2.2 Typical Commercial Thermotropic LCPs	21
Table 2.3 Comparison of gases transport properties of a wholly aromatic liquid crystalline polymer (Vectra type) with polyacrylonitrile (PAN) at 35°C.....	23
Table 2.4 Gas transport properties at 35°C for aromatic polyester LCP (PET/PHB) films	24
Table 2.5 The properties and trend of properties related to density of polyethylene	32
Table 3.1 The instruments used in the experiment	44
Table 3.2 List of blends composition	45
Table 3.3 Compositions and Processing Condition of LCP/PE Blend Films	51
Table 4.1 Estimated of LCP fibers' aspect Ratio (L/D) in LCP/LDPE films by applying Halpin -Tsai model.....	124



 ศูนย์วิจัยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

	PAGE
Figure 1.1 Tortuous path concept of polymer blend; (a) single polymer ,(b) polymer blend with droplet structure and ,(c) polymer blend with fibrous structure	3
Figure 2.1 "Solution-diffusion" process	7
Figure 2.2 Tortuous path concept of polymer blend ; (a) single polymer, (b) polymer blend with droplet structure, and (c) polymer blend with fibrous structure	15
Figure 2.3 The Schematic diagrams of molecular arrangements of liquid crystal (a) Nematic, (b) Smectic, and (c) Cholesteric	17
Figure 2.4 Anisotropic units giving rise to liquid phases	18
Figure 2.5 Mesogenic position in liquid crystalline polymers	19
Figure 2.6 Schematic representation of the molecular structure in melt and solid state of liquid crystalline polymer and semi-crystalline polymer	20
Figure 2.7 Permeability of polymer films	22
Figure 2.8 Changing of oxygen permeability with relative humidity of polymer films	22
Figure 2.9 Relationship of morphology and rheology of LCP	25
Figure 2.10 Orientability of rigid rod in simple shear and uniaxial extensional flow field [.....	26
Figure 2.11 Repeating unit of polyethylene	29
Figure 2.12 Alkene comonomer	30
Figure 2.13 Permeability of a hypothetical blend vs. vol% of the dispersed phase, when matrix permeability=100 and dispersed-phase permeability =1	35
Figure 2.14 Graphical representation of the Halpin–Tsai equation at (a) a draw ratio of 15.2 and (b) a draw ratio of 1.5. Aspect ratios are indicated in the figures: where (*) is experimental data.	37
Figure 3.1 The overview of the experiment.....	40
Figure 3.2 DSC thermogram of as-received LCP	42
Figure 3.3 The chemical structure of an ethylene-methacrylic acid copolymer	43
Figure 3.4 The chemical structure of the antioxidant , IRGANOX 1076.....	43
Figure 3.5 Schematic diagram of single screw extruder and pelletization line.....	46

	PAGE
Figure 3.6 Schematic diagram of single screw extruder and cast film line.....	49
Figure 3.7 Drawing of (a) die adapter (b) die and die adapter (c) die adapter with mixing elements.....	50
Figure 3.8 Schematic diagram of (a) an operational principle of oxygen transmission rate measurement and (b) oxygen permeation analyzer, the instrument	55
Figure 3.9 Test dish used in measuring water vapor transmission rates by the gravimetric method.....	56
Figure 4.1 Optical micrographs of 10 wt%LCP blend films produced at different temperature profiles T1 –T6 (a-f).....	60
Figure 4.2 SEM micrographs of 10 wt%LCP blend films produced at different temperature profiles T1 –T6 (a-f).....	61
Figure 4.3 Schematic of molten blend flow through mixing elements.....	63
Figure 4.4 Optical micrographs showing comparison of film structure when 10 wt%LCP/LDPE blend films were produced without mixing element (a-f) versus with a use of mixing elements (g-l), at temperature profiles T1 – T6	64
Figure 4.5 SEM micrographs showing comparison of film structure when 10 wt%LCP/LDPE blend films were without mixing element (a-f) versus with a use of mixing elements (g-l), at temperature profiles T1 – T6	68
Figure 4.6 Modulus in MD and TD of LDPE films produced at different processing temperature profiles (T1-T6).....	69
Figure 4.7 Tensile properties of LDPE and 10%LCP/LDPE films produced at different processing temperature profiles (T1-T6) : (a) modulus, (b) yield strength and (c) toughness	70
Figure 4.8 Comparison of tensile behavior between LDPE film and 10%LCP/LDPE film	73
Figure 4.9 Tensile properties of 10%LCP/LDPE films produced at different processing temperature profiles (T1-T6) with a use of mixing elements (MEs) and without mixing elements: (a) modulus, (b) yield strength and (c) toughness.....	74

Figure 4.10 Oxygen transmission rate of 10%LCP/LDPE films produced at different processing temperature profiles (T1-T6) compare to 10%LCP/LDPE films produced by using of mixing elements and LDPE films.....	76
Figure 4.11 Water vapor transmission rate of 10%LCP/LDPE films produced at different processing temperature profiles (T1-T6) compare to 10%LCP/LDPE films produced by using of mixing elements and LDPE films.....	77
Figure 4.12 Crystallinity and oxygen transmission rate of LDPE films and 10%LCP/LDPE films as a function of processing temperature profiles.....	79
Figure 4.13 Optical micrographs showing effect of screw speed on morphology of 10 wt%LCP/LDPE blend films produced at T2 and T6	81
Figure 4.14 SEM micrographs showing effect of screw speed on morphology of 10 wt%LCP/LDPE blend films produced at T2 and T6	82
Figure 4.15 Effect of screw speed on tensile properties in MD and TD of 10%LCP/LDPE films produced at temperature profile T2 and T6 as compared to LDPE films: (a) modulus, (b) yield strength, and (c) toughness.....	84
Figure 4.16 Effect of screw speed on oxygen transmission rate of 10%LCP/LDPE films produced at temperature profile T2 and T6 as compared to LDPE films	85
Figure 4.17 Effect of screw speed on water vapor transmission rate of 10%LCP/LDPE films produced at temperature profile T2 and T6 as compared to LDPE films.....	86
Figure 4.18 Optical micrographs of 10 wt%LCP blend films produced at T2 as a function of compatibilizer content (200X magnification).....	88
Figure 4.19 SEM micrographs of 10 wt%LCP blend films produced at T2 as a function of compatibilizer content (750X magnification).....	89
Figure 4.20 Tensile properties of 10%LCP/LDPE films produced at temperature profile T2 as a function of compatibilizer content as compared to LDPE film: (a) modulus, (b) yield strength, and (c) toughness.....	91

Figure 4.21 Effect of compatibilizer content on oxygen transmission rate of 10%LCP/LDPE films produced at temperature profile T2 as compared to LDPE film	93
Figure 4.22 Effect of compatibilizer content on water vapor transmission rate of 10%LCP/LDPE films produced at temperature profile T2 as compared to LDPE film	94
Figure 4.23 Optical micrographs of blend films containing various contents of LCP from 5 wt% to 40 wt% produced at T2 (200X magnification).....	96
Figure 4.24 SEM micrographs of blend films containing various contents of LCP from 5 wt% to 40 wt% produced at T2 (750X magnification).....	97
Figure 4.25 SEM micrographs of blend films containing various contents of LCP from 5 wt% to 40 wt% produced at T6 (200X magnification).....	99
Figure 4.26 SEM micrographs of blend films containing various contents of LCP from 5 wt% to 40 wt% produced at T6 (750X magnification).....	100
Figure 4.27 Tensile properties of LCP/LDPE blend films produced at temperature profiles T2 and T6 as a function of LCP content : (a) modulus, (b) yield strength and (c) toughness.....	102
Figure 4.28 Oxygen transmission rate of LCP/LDPE blend films produced at temperature profiles T2 and T6 as a function of LCP content	104
Figure 4.29 Water vapor transmission rate of LCP/LDPE blend films produced at temperature profiles T2 and T6 as a function of LCP content	105
Figure 4.30 Optical micrographs showing drawing effects on 10 wt%LCP blend films produced at T2 (a-d) and T6 (e-h) (200X magnification)	107
Figure 4.31 SEM micrographs showing drawing effects on 10 wt%LCP blend films produced at T2 (a-d) and T6 (e-h) (750X magnification).....	108
Figure 4.32 SEM micrographs showing drawing effects on 30 wt%LCP blend films produced at T2 (a-d) and T6 (e-h) (750X magnification).....	109

Figure 4.33 Comparisons of tensile properties of 10 and 30 wt% films as a function of degree of drawing (a) modulus, (b), yield strength ,and (c) toughness ;Note that Draw ratios of 1, 1.5, 2, and 3 correspond to film thicknesses of 90, 60, 45, and 30 μm , respectively	111
Figure 4.35 Water vapor transmission rate of 10 and 30 wt%LCP/LDPE film produced at temperature profiles of T2 and T6 as a function of post- die drawing.....	114
Figure 4.36 Optical micrographs of 10 wt%LCP in LLDPE/LDPE (30/70) blend matrix produced at T2 (a) and T6 (b) (200X magnification)	116
Figure 4.37 SEM micrographs of 10 wt%LCP in LLDPE/LDPE (30/70) blend matrix produced at T2 (a) and T6 (b) (750X magnification)	116
Figure 4.38 Comparison of tensile properties of 10 wt% blend films with two different matrix i.e. , LDPE and LLDPE/LDPE(30:70)	118
Figure 4.38 Comparison of tensile properties of 10 wt% blend films with two different matrix i.e. , LDPE and LLDPE/LDPE(30:70)	119
Figure 4.39 Comparison of oxygen transmission rate of two different PE films (LDPE and LLDPE/LDPE (30:70) and two different blend films of 10%LCP/LDPE and 10%LCP/(LLDPE/LDPE)	120
Figure 4.39 Comparison of water vapor transmission rate of two different PE films (LDPE and LLDPE/LDPE (30:70) and two different blend films of 10%LCP/LDPE and 10%LCP/(LLDPE/LDPE)	121
Figure 4.41 Master Curve for aspect ratio prediction by applying Halpin-Tsai and ROM models	122
Figure 4.42 Illustration of LCP fibers' aspect ratio prediction for 10%LCP/LDPE films produced at 6 different temperature profiles and constant draw ratio of 1.5....	123
Figure 4.43 Illustration of applying Halpin-Tsai model for prediction of LCP fibers' aspect ratios of film containing different amount of LCP (10 and 30 wt%).....	123