

การปรับสมบัติของเศษโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงด้วยสารปรับการกระแทก

นางสาว สุรชาติพิศ ตั้งรัตนโสภณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-749-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENHANCEMENT OF THE PROPERTIES OF HIGH IMPACT POLYSTYRENE SCRAP
BY AN IMPACT MODIFIER

Miss Sutathip Tangratanasophon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-749-6

Thesis Title ENHANCEMENT OF THE PROPERTIES OF HIGH IMPACT
 POLYSTYRENE SCRAP BY AN IMPACT MODIFIER

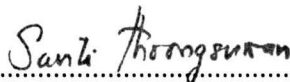
By Miss Sutathip Tangratanasophon

Department Chemical Engineering

Thesis Advisor Dr. Sirijutaratana Covavisaruch

Thesis Co-Advisor Mr. Supavat Pisitpong

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


..... Dean of Graduate School
(Associate Professor Santi Thoongsuwan, Ph.D.)

Thesis Committee


..... Chairman
(Associate Professor Chirakarn Muangnapoh, Dr. Ing.)


..... Thesis Advisor
(Sirijutaratana Covavisaruch, Ph.D.)


..... Thesis Co-Advisor
(Mr. Supavat Pisitpong)


..... Member
(Assistant Professor Sasithorn Boon-Long, Dr. 3 ieme Cycle)


..... Member
(Associate Professor Chairit Satayaprasert, Dr. Ing.)

สุทธาทิพย์ ตั้งรัตนโสภณ : การปรับสมบัติของเศษโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงด้วยสารปรับการ
กระแทก (ENHANCEMENT OF THE PROPERTIES OF HIGH IMPACT POLYSTYRENE SCRAP BY
AN IMPACT MODIFIER) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.สิริจิวารัตน์ ไคววาสารัช อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :
คุณศุภวัฒน์ พิเศษภูหงส์, 96 หน้า. ISBN 974-632-749-6

การวิจัยนี้เป็นการนำเศษพลาสติกโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง 2 ชนิด คือ เศษพลาสติกในกระบวนการผลิต และเศษพลาสติกที่เกิดในกระบวนการขึ้นรูปโดยการขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoform) พลาสติกที่ผ่านการบดแล้วถูกนำมาฉีดและบดอีกจนครบ 5 ครั้ง การนำเศษพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ทำให้สมบัติทางกลเปลี่ยนแปลงคือ สมบัติการทนแรงดึง (Tensile properties) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation) ค่อนข้างเล็กน้อย แต่ทำให้สมบัติการทนแรงกระแทกโดยวิธีไอซอด (Izod impact strength) เสื่อมลงมาก สีเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการนำเศษพลาสติกกลับมาใช้ใหม่เมื่อผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่แล้ว เศษพลาสติกจะมีสีเหลือง การใส่โพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกลงในเศษโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกนั้นสามารถเพิ่มสมบัติของเศษโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น การวิจัยนี้ได้ศึกษาการใส่สารปรับการกระแทก (Impact modifier) ลงในเศษโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก สารปรับการกระแทกที่ศึกษาคือสารประเภท SBS block copolymer 2 ชนิดโดยปริมาณของ SBS block copolymer ที่เติมอยู่ในช่วง 0-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณของ SBS block copolymer มากขึ้น สมบัติอื่นๆ เช่น การทนแรงดึงและความแข็งต่างมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของ SBS block copolymer มากขึ้น อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้พบว่า SBS block copolymer ที่เลือกใช้แต่ละชนิดมีผลทำให้อัตราการไหลของเม็ดพลาสติกเมื่อหลอมเหลว (Melt flow rate) และจุดอ่อนตัวไวแคต (Vicat softening point) มีการเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้ามกัน ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลเนื่องมาจากน้ำมันที่มีอยู่ใน SBS block copolymer ที่เลือกใช้ การศึกษาโดยเทคนิคแฟร็กโตกราฟี แสดงหลักฐานทางภาพถ่ายของการเข้ากันได้ระหว่างโพลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกและ SBS block copolymer

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต Putanip Tangratanasophon
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา S. Coravisanuch
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Syarat Pong

C318011 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: HIGH IMPACT POLYSTYRENE/HIPS SCRAPS/SBS BLOCK COPOLYMER/IMPACT MODIFIER/RECYCLE

SUTATHIP TANGRATANASOPHON : ENHANCEMENT OF THE PROPERTIES OF HIGH IMPACT POLYSTYRENE SCRAP BY AN IMPACT MODIFIER. THESIS ADVISOR : SIRIJUTARATANA COVAVISARUCH, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : SUPAVAT PISITPONG 96 pp. ISBN 974-632-749-6

Two kinds of HIPS scrap, i.e., commercial scrap and post-fabrication industrial scrap which has been compounded and thermoformed were ground. Each of the ground scraps was then repeatedly injected and ground for five times. For pure HIPS scrap, the mechanical properties, namely, the tensile properties and the elongation at break were found to decrease slightly. Deterioration in the Izod impact strength was rather significant. Color change which is one major concern was evident in the recycled scraps. The yellowness was found to increase progressively with more passes of recycling. A study on the properties of the HIPS scraps modified by an impact modifier was conducted. Two kinds of SBS block copolymers were used separately as an impact modifier. Within the range of SBS block copolymer of 0 to 10 % w/w, the impact strength was found to increase significantly. The enhancement in the impact strength is believed to be imparted by the butadiene rubber phase in the SBS block copolymer. Other properties such as the tensile properties and the hardness became lower while the elongation at break increased with the amount of SBS block copolymer. However, each of the SBS block copolymers was found to depict an opposite effect on the melt flow rate and the Vicat softening point. The oil content in one of the SBS block copolymers is believed to be the major contributor for the different effect. The SEM fractography evidently confirms the miscibility between the HIPS and the SBS block copolymer.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต *Sutathip Tangratanasophon.*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *S. Covavisaruch*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *Supavut Pitsitpong*

ACKNOWLEDGMENTS

This research endeavor and thesis is completed with the assistance and collaboration of many people. The help is first and foremost contributed from my thesis adviser, Dr. Sirijutaratana Covavisaruch, and my thesis co-advisor, Mr. Supavat Pisitpong, the R&D Manager at Pacific Plastics (Thailand) Co. Ltd. I truly appreciate their guidance, suggestion and finally the revision of my thesis. I also thank members of my thesis committee, namely, Assistant Professor Dr. Sasithorn Boon-Long, Associate Professor Dr. Chairit Satayaprasert and Associate Professor Dr. Chirakarn Muangnapoh, who had generously given their valuable time to comment on my thesis. Pacific Plastics (Thailand) Co., Ltd., has provided a lot of useful data for the thesis. Thanks are extended to all the people in the company who have contributed to the accomplishment of this work. In addition, I am grateful to my friend, Mr. Suravut Premyodin. Finally, I am truly thankful to my parents whose encouragement and support have strengthened me and steered me to the completion of my graduate study.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (THAI)	iv
ABSTRACT (ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xi
LIST OF FIGURES.....	xii

CHAPTER

I INTRODUCTION

1.1 General Introduction	1
1.2 Polystyrene (PS)	3
1.3 Known Approaches to Recycle Mixed Plastic Wastes ...	5
1.4 The Purpose of the Present Study	6

II THEORY

2.1 Production of High Impact Polystyrene (HIPS)	7
2.2 Degradation of High Impact Polystyrene	9
2.3 Impact Modifier for HIPS	11
2.3.1 Impact Modifier	11
2.3.2 SBS Block Copolymer.....	12
2.3.2.1 Structure of SBS Block Copolymer	12
2.3.2.2 Synthesis of SBS Block Copolymer	15

CONTENTS (CONTINUED)

CHAPTER	PAGE
2.3.2.3 SBS Block Copolymer Used in This Study.....	16
III EXPERIMENTAL WORK	
3.1 Raw Materials Used.....	20
3.1.1 Virgin High Impact Polystyrene.....	20
3.1.2 High Impact Polystyrene Scraps.....	21
3.1.3 Impact Modifier.....	21
3.2 Sample Preparation.....	22
3.2.1 Mixes of Virgin HIPS and HIPS Scraps.....	22
3.2.2 Passes of 100% HIPS Scrap Recycling.....	23
3.2.3 Addition of SBS Block Copolymer to HIPS Scraps.....	23
3.3 Mechanical Tests.....	23
3.3.1 Tensile Properties.....	23
3.3.2 Izod Impact Strength.....	25
3.4 Thermal Properties.....	26
3.4.1 Melt Flow Rate.....	26
3.4.2 Vicat Softening Point.....	27
3.5 Physical Properties.....	27
3.5.1 Molecular Weight.....	27
3.5.2 Color.....	27
3.5.3 Hardness.....	28
3.5.4 Specific Gravity.....	28
3.6 Morphology.....	29

CONTENTS (CONTINUED)

CHAPTER	PAGE
IV RESULTS AND DISCUSSIONS	
4.1 HIPS Scraps Mix with Virgin HIPS.....	30
4.1.1 Mechanical Properties	30
4.1.1.1 Tensile Properties	30
4.1.1.2 Izod Impact Strength	33
4.1.2 Thermal Properties	34
4.1.2.1 Melt Flow Rate.....	34
4.1.2.2 Vicat Softening Point.....	36
4.2 Five Passes of Recycling	37
4.2.1 Mechanical Properties	38
4.2.1.1 Tensile Properties	38
4.2.1.2 Izod Impact Strength	42
4.2.2 Thermal Properties	45
4.2.2.1 Melt Flow Rate.....	45
4.2.2.2 Vicat Softening Point.....	47
4.2.3 Physical/Structural Properties	48
4.2.3.1 Molecular Weight	48
4.2.3.2 Color	53
4.3 Enhancing Properties by Adding an Impact Modifier ...	55
4.3.1 Mechanical Properties	56
4.3.1.1 Tensile Properties	56
4.3.1.2 Izod Impact Strength	62
4.3.2 Thermal Properties	67
4.3.2.1 Melt Flow Rate.....	67
4.3.2.2 Vicat Softening Point.....	69

CONTENTS (CONTINUED)

CHAPTER	PAGE
4.3.3 Physical Properties.....	71
4.3.3.1 Color	71
4.3.3.2 Hardness.....	74
4.3.3.3 Specific Gravity.....	77
4.4 Morphology	79
4.4.1 HIPS Scraps	79
4.4.2 SBS Block Copolymer.....	82
4.4.3 HIPS Scraps Mixed with SBS Block Copolymer...	84
V CONCLUSIONS.....	88
RECOMMENDATION FOR FURTHER STUDIES.....	91
REFERENCES	92
VITA.....	96

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
3.1	Properties of Styron(R) 486B.....	20
3.2	Properties of SBS block copolymer	22
4.1	The change in the Vicat softening point compared with that of the virgin HIPS	48

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
1.1	Developing and reclaiming the plastics value chain.....	2
1.2	The out-look for world commodity plastics capacity in 1995	3
2.1	Grafting of polystyrene chain on rubber	7
2.2	Phase-contrast photomicrographs showing particle formation via phase inversion with agitation.....	9
2.3	The glass transition temperatures of S-B-S and SBR copolymers	13
2.4	Phase structure of S-B-S block copolymer	14
2.5	Polymerization of thermoplastic elastomers.....	18
3.1	Typical tensile apparatus.....	24
3.2	Dimensions of the Izod test specimen.....	25
3.3	Izod impact machine.....	26
4.1	The tensile properties of virgin HIPS/HIPS scrap mixtures	31
4.2	The elongation of virgin HIPS/HIPS scrap mixtures.....	32
4.3	The Izod impact strength of virgin HIPS/HIPS scrap mixtures...	33
4.4	The melt flow rate of virgin HIPS/HIPS scrap mixtures	35
4.5	The Vicat softening point of virgin HIPS/HIPS scrap mixtures..	36
4.6	The plot of tensile strength at yield with the various passes of recycling	38
4.7	The plot of tensile strength at rupture with the various passes of recycling	40

FIGURES (CONTINUED)

FIGURE	PAGE
4.8	The plot of elongation with several passes of recycling..... 41
4.9	The effect of several passes of recycling on the Izod impact strength 43
4.10	Impact strength of PS plotted against the molecular weight..... 44
4.11	The melt flow rate (MFR) of HIPS scraps upon gradual processing upto five passes of recycling..... 45
4.12	The Vicat softening point of HIPS scraps upon gradual processing upto five passes of recycling..... 47
4.13	The molecular weights of HIPS scraps upon gradual processing upto five passes of recycling..... 49
4.14	The weight and the number average molecular weight of Polystyrene upto eight passes of recycling with and without additives..... 51
4.15	The plot of Lightness index with several passes of recycling of HIPS scraps 53
4.16	The plot of Yellowness index with several passes of recycling of HIPS scraps 54
4.17	Stress-Strain curves of HIPS 56
4.18	The tensile strength at yield of HIPS scraps mixed with SBS block copolymer concentration..... 57
4.19	The tensile strength at rupture of HIPS scraps mixed with SBS block copolymer concentration..... 59

FIGURES (CONTINUED)

FIGURE	PAGE
4.20 The elongation at break of HIPS scraps mixed with SBS block copolymer concentration.....	61
4.21 The Izod Impact of HIPS scraps with and without SBS-I and SBS-II block copolymer concentration	63
4.22 The effect of blend type and the rubber content on Izod impact resistance of polybutadiene/polystyrene blends.....	65
4.23 Schematic indicating the three types of fracture during an impact test of HIPS at different temperatures	66
4.24 The melt flow rate of the scraps with SBS block copolymer plotted against the SBS block copolymer concentration	68
4.25 The Vicat softening point of the scraps with SBS block copolymer plotted against SBS block copolymer concentration	70
4.26 The "Lightness index" of the scraps with SBS block copolymer plotted against the SBS block copolymer concentration	72
4.27 The "Yellowness index" of the scraps with SBS block copolymer plotted against the SBS block copolymer concentration	73
4.28 The hardness of the scraps with SBS block copolymer plotted against the SBS block copolymer concentration	75

FIGURES (CONTINUED)

FIGURE	PAGE
4.29 The specific gravity of the scraps with SBS block copolymer plotted against the SBS block copolymer concentration	78
4.30 The river pattern of HIPS scraps (x100)	80
4.31 The fracture surface of HIPS scraps (x1000).....	80
4.32 The fracture surface of polystyrene containing 20% by mass of Titanium dioxide.....	81
4.33 General appearance of SBS-I (x35).....	82
4.34 Higher magnification of Figure 4.33 (x1000).....	83
4.35 General appearance of SBS-II (x35).....	83
4.36 Higher magnification of Figure 4.35 (x500).....	84
4.37 The fracture surface of HIPS scraps mixed with SBS block copolymer (x100).....	85
4.38 The fracture surface of HIPS scraps mixed with SBS block copolymer at ten times the magnification of Figure 4.37 (x1000)	85
4.39 The surface of SBS-I in the mixture (x1500)	86
4.40 The surface of SBS-II in the mixture (x1500)	87