

การเตรียมอีลาสโตเมอร์พอลิยูรีเทนด้วยสารเชื่อมขวางจากเอมีนและอีพอกไซด์



นายเอก อัครกาญจนสุภา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-234-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**PREPARATION OF POLYURETHANE ELASTOMER BY USING
CROSSLINKING AGENTS FROM AMINES AND EPOXIDES**



Mr. Ek Akkakanjanasupa

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

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-637-234-3

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

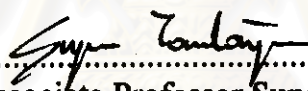
Thesis Title PREPARATION OF POLYURETHANE ELASTOMER
BY USING CROSSLINKING AGENTS FROM
AMINES AND EPOXIDES
By Mr. EK AKKAKANJANASUPA
Department Petrochemistry and Polymer Science
Thesis Advisor Nuanphun Chantarasiri, Ph.D.

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



.....Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

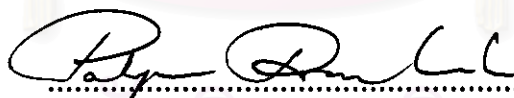
Thesis Committee



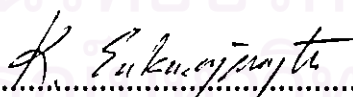
.....Chairman
(Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D.)



.....Thesis Advisor
(Nuanphun Chantarasiri, Ph.D.)



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



.....Member
(Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.)



.....Member
(Assistant Professor Prapaipit Jamsuksai Ternai, Ph.D.)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เอก อัครมาญจนสุภา : การเตรียมอีลาสโตเมอร์พอลิยูรีเทนด้วยสารเชื่อมขวางจากเอมีนและอีพอกไซด์ (PREPARATION OF POLYURETHANE ELASTOMER BY USING CROSSLINKING AGENTS FROM AMINES AND EPOXIDES)

อ. ที่ปรึกษา : ดร. นวลพรรณ จันทศิริ, 111 หน้า. ISBN 974-637-234-3.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเตรียมอีลาสโตเมอร์พอลิยูรีเทนด้วยสารเชื่อมขวาง ที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นใหม่ คือ BDPD และ TAPE สารตั้งต้นที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ อีพอกซีเรซิน, ไดเอซิลเอมีน, เอทิลดีนโคเอมีน, และ เอพิลไกลซิลอีเทอร์ สารเชื่อมขวางที่เตรียมได้นี้ มีหมู่พันธะคู่อยู่ที่ปลายทั้งสองข้าง และมีหมู่ไฮดรอกซี เป็นหมู่แทนที่ในโมเลกุล ซึ่งทำให้ได้อีลาสโตเมอร์พอลิยูรีเทนที่มีโครงสร้างแบบร่างแห นอกจากนี้ยังได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมโครงสร้างร่างแหของอีลาสโตเมอร์พอลิยูรีเทนและพอลิสไตรีน โดยใช้กระบวนการเตรียมแบบวันชอต ความเข้ากันได้ของวัฏภาคในอีลาสโตเมอร์สามารถสังเกตได้จากความใสของชิ้นงาน และสามารถดูได้จากเครื่องสแกนนิ่ง อิเล็กตรอน ไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope)

ได้ทำการวัดสมบัติเชิงกลของอีลาสโตเมอร์พอลิยูรีเทน และพอลิเมอร์ผสมโครงสร้างร่างแหของอีลาสโตเมอร์พอลิยูรีเทนและพอลิสไตรีน ได้แก่ ความทนแรงดึง, เปอร์เซนต์การหดตัว ณ จุดขาด, และความแข็ง โดยมีค่าทนต่อแรงดึงอยู่ในช่วง 0.91 ถึง 2.60 เมกกะปาสคาล, เปอร์เซนต์การหดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ในช่วง 77.30 ถึง 170.70 เปอร์เซนต์, ความแข็ง (ชอร์เอ) มีค่าอยู่ในช่วง 38.9 ถึง 62.4 ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนโดยมวลและปริมาณของสไตรีน

สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษาคืออุณหภูมิคล้ายแก้วสามารถดูได้จากเทคนิค ไดนามิกส์ แมคคานิคอล แอลนอนอลโลซิส (Dynamic Mechanical Analysis) และความเสถียรต่ออุณหภูมิ ซึ่งสามารถศึกษาได้โดยใช้เทอร์โมกราวิเมตริก แอลนอนอลโลซิส (thermogravimetric analysis)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....
สาขาวิชา ปิโตรเคมีและปิโตรพลาสติกโพลีเมอร์.....
ปีการศึกษา ๒๕๔๐.....

ลายมือชื่อนิสิต 100 อัครมาญจนสุภา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ทนทน ดิงดา ๒๕.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

C827600 : MAJOR POLYMER SCIENCE

KEY WORD:

CROSSLINKING AGENT / POLYURETHANE ELASTOMER /
INTERPENETRATING POLYMER NETWORK

EK AKKANJANASUPA : PREPARATION OF POLYURETHANE
ELASTOMER BY USING CROSSLINKING AGENTS FROM AMINES AND
EPOXIDES. THESIS ADVISOR : NUANPHUN CHANTARASIRI, Ph.D. 111 pp.
ISBN 974-637-234-3.

The research objectives was to prepare a polyurethane elastomer by using new crosslinking agents BDPD and TAPE. The starting materials used in this work were diglycidyl ether of bisphenol A, diallylamine, ethylene diamine, and allyl glycidyl ether. The crosslinking agents contain unsaturated double bonds at both terminals and hydroxy groups, which were used to obtain crosslinked polyurethane elastomers (PU). The polyurethane and polystyrene (PU/PS) elastomer was also prepared using one-shot process. The compatibility of different phases in the elastomers could be observed from the transparency of the materials and by SEM technique.

The mechanical properties including tensile strength, elongation at break, and hardness of PU and PU/PS elastomers were measured. The values of tensile strength, elongation at break, and hardness (shore A) of polymer were in the ranges of 0.91-2.60 MPa, 77.30-170.70 %, 38.9-62.4, respectively dependent upon the equivalent weight ratio and amount of styrene monomer used.

The glass transition temperature and thermal stability has been studied by differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....

สาขาวิชา.....

ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deepest gratitude to my advisor, Nuanphan Chantarasiri, Ph.D., for her invaluable guidance, advice and encouragement throughout this research. I am also grateful to Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D., Professor Pattarapan Prasassarakich, Ph.D., Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D., and Assistant Professor Prapaipit Jamsuksai Ternai, Ph.D., for serving as chairman and members of thesis committee, respectively whose comments have been especially valuable.

I also thanks Chulalongkorn University for financial support of this research and the Scientific and Technological Research Equipment Center (STREC), the Department of Polymer Science, Mahidol University and the National Metal and Materials Technology Center (MTEC) for testing the polymers synthesized. The raw materials for this research were supplied by Thai Polyurethane Co., Ltd. and Siam Polystyrene Co., Ltd. This support is gratefully acknowledged.

Furthermore, many thanks are going to my friends and all those who helped and encouraged me over the years of this study.

Finally, I owe deep gratitude for love, support, and encouragement of my family.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT (in Thai).....	iv
ABSTRACT (in English).....	v
ACKNOWLEDGEMENT.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	x
LIST OF FIGURES.....	xii
ABBREVIATIONS.....	xviii
CHAPTER I INTRODUCTION	
1.1 General.....	1
1.2 Objectives.....	3
1.3 Scope of the Research.....	3
CHAPTER II THEORY AND LITERATURE REVIEW	
2.1 Basic Chemistry.....	7
2.2 Raw Materials for Polyurethane.....	8
2.2.1 Isocyanate.....	9
2.2.2 Polyols.....	11
2.2.3 Crosslinking Agents.....	12
2.2.4 Catalysts.....	13
2.2.5 Additives.....	13
2.3 Methods for Preparation of Polyurethane Elastomers.....	13
2.3.1 Prepolymer Process.....	13
2.3.2 One-shot Process.....	14
2.4 Basic Structure of a Polyurethane Elastomer.....	15
2.5 Interpenetrating Polymer Networks (IPNs).....	18

	Page
2.5.1 Sequential Synthesis.....	20
2.5.2 Simultaneous Synthesis.....	20
2.6 Literature Review.....	22
 CHAPTER III EXPERIMENTAL	
3.1 General.....	25
3.2 Experimental Procedure.....	28
3.2.1 Preparation of Bis-(3-N,N'-diallylamino-2-propanol) diphenylolpropane (BDPD, 3).....	28
3.2.2 Preparation of N,N,N',N'-tetrakis-(3-allyloxy-2-propanol) ethylenediamine (TAPE, 6).....	29
3.3 Calculations.....	30
3.3.1 Equivalent Weights.....	30
3.3.2 Percentage Free NCO.....	30
3.3.3 Equivalent Weight of an Isocyanate.....	30
3.3.4 Hydroxy Content.....	31
3.3.5 Isocyanate Index.....	32
3.4 Preparation of Polyurethane Elastomer.....	33
3.4.1 MDI/POLYOL/BDPD Formulation.....	33
3.4.2 MDI/POLYOL/TAPE Formulation.....	34
3.5 Preparation of Polyurethane/Polystyrene Elastomer.....	34
3.5.1 MDI/POLYOL/BDPD and Polystyrene Formulation.....	34
3.5.2 MDI/POLYOL/TAPE and Polystyrene Firmulation.....	35
3.6 Characterization of Crosslinking Agents and Polyurethane Elastomer.....	39
3.6.1 Nuclear Magnatic Resonance Spectroscopy.....	39

	Page
3.6.2 Tensile Testing (ASTM D638).....	39
3.6.3 Hardness Testing (ASTM D785).....	41
3.6.4 Compression Set (ASTM D395).....	41
3.6.5 Dynamic Mechanical Analysis (DMA).....	43
3.6.6 Thermogravimetric Analysis (TGA).....	44
3.6.7 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	45
3.6.8 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	45
 CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSION	
4.1 Synthesis of Crosslinking Agents.....	46
4.2 Preparation of PU Elastomer.....	58
4.3 Preparation of PU/PS Elastomer.....	59
4.4 Morphology of PU and PU/PS Elastomer.....	60
4.5 Thermogravimetric Analysis (TGA) of PU and PU/PS Elastomer.....	61
 CHAPTER V CONCLUSION AND SUGGESTION FOR FUTURE WORK	
5.1 Conclusion.....	68
5.2 Suggestion for Future Work.....	69
 REFERENCES	 70
APPENDIX	75
VITA	111

LIST OF TABLES

Table	Page
2.1 Polyether used in polyurethane elastomer synthesis.....	11
2.2 Polyester used in polyurethane elastomer synthesis.....	12
2.3 Properties of a urethane polymer as polyol content (flexible segments) is decreased, and diisocyanate (rigid segments) increased.....	16
2.4 Classification of IPNs.....	22
3.1 Source of chemicals.....	25
3.2 Specification of polymeric MDI (Raypol C900).....	26
3.3 Specification of polyester polyol (F113).....	27
3.4 Specification of styrene monomer.....	27
3.5 Composition of starting materials in MDI:POLYOL:BDPD formation.....	33
3.6 Composition of starting materials in MDI:POLYOL:TAPE formation.....	34
3.7 Composition of starting materials in MDI:POLYOL:BDPD (PU) and PS formation.....	35
3.8 Composition of starting materials in MDI:POLYOL:TAPE (PU) and PS formation.....	36
4.1 Mechanical properties of PU elastomer at different equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:Crosslinking agents and 1 wt% of MEKP/Co.....	62
4.2 Effect of the amount of styrene monomer and MEKP/Co on the mechanical properties of PU/PS elastomer:10 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	63

Table	Page
4.3 Effect of the amount of styrene monomer and MEKP/Co on the mechanical properties of PU/PS elastomer:10 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	64
4.4 Effect of the amount of styrene monomer and MEKP/Co on the mechanical properties of PU/PS elastomer:20 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	65
4.5 Effect of the amount of styrene monomer and MEKP/Co on the mechanical properties of PU/PS elastomer:20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	66
4.6 Properties of PU and PU/PS elastomer.....	67



 สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 structure-property relationships in polyurethanes.....	6
2.2 TDI isomers.....	9
2.3 Structures of 4,4'-MDI and 2,4'-MDI.....	10
2.4 Structure of polymeric MDI.....	10
2.5 Prepolymer route for the preparation of a polyurethane elastomer.....	14
2.6 One-shot process for polyurethane elastomer preparation.....	15
2.7 The basic unit a urethane block copolymer.....	16
2.8 Strain-induced elongation crystallization of polyether soft segment in a segmented polyurethane elastomer by elongation it to 200 % extension.....	17
2.9 Mixed polymer structure:	18
2.10 Ideal interpenetrating polymer network (IPN):	19
2.11 Synthesis of IPNs:	21
3.1 Procedure for the preparation of polyurethane elastomer.....	37
3.2 Procedure for the preparation of polyurethane/polystyrene elastomer.....	38
3.3 Device for compression set test under constant deflection.....	42
3.4 Sinusoidal stress with the strain response.....	43
A1 Tensile strength of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	76
A2 Tensile strength of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	76

Figure	Page
A3 Tensile strength of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.6:0.4, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	77
A4 Tensile strength of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	77
A5 Tensile strength of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 0-2 % of MEKP/Co.....	78
A6 Elongation at break of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	78
A7 Elongation at break of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	79
A8 Elongation at break of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.6:0.4, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	79
A9 Elongation at break of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	80
A10 Elongation at break of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 0-2 % of MEKP/Co.....	80
A11 Hardness (shore A) of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	81

Figure	Page
A12 Hardness (shore A) of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	81
A13 Hardness (shore A) of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.6:0.4, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	82
A14 Hardness (shore A) of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	82
A15 Hardness (shore A) of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 0-2 % of MEKP/Co.....	83
A16 Compression set of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	83
A17 Compression set of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.8:0.2, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	84
A18 Compression set of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.6:0.4, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	84
A19 Compression set of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 1-2 % of MEKP/Co.....	85
A20 Compression set of PU and PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 0-20 % styrene, and 0-2 % of MEKP/Co.....	85

Figure	Page
A21 SEM micrograph of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, and 1 wt% of MEKP/Co.....	86
A22 SEM micrograph of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, and 1 wt% of MEKP/Co.....	86
A23 SEM micrograph of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 20 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	87
A24 SEM micrograph of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 20 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	87
A25 SEM micrograph of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	88
A26 SEM micrograph of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	88
A27 DMA thermogram of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, and 1 wt% of MEKP/Co.....	89
A28 DMA thermogram of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, and 1 wt% of MEKP/Co.....	90
A29 DMA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 20 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	91
A30 DMA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 20 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	92

Figure	Page
A31 DMA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	93
A32 DMA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	94
A33 DSC thermogram of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, and 1 wt% of MEKP/Co.....	95
A34 DSC thermogram of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, and 1 wt% of MEKP/Co.....	96
A35 DSC thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	97
A36 DSC thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	98
A37 TGA thermogram of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, and 1 wt% of MEKP/Co.....	99
A38 TGA thermogram of PU elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, and 1 wt% of MEKP/Co.....	100
A39 TGA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 20 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	101
A40 TGA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 20 wt% of styrene, and 1 wt% of MEKP/Co.....	102

Figure	Page
A41 TGA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:BDPD=2:1.8:0.2, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	103
A42 TGA thermogram of PU/PS elastomer at the equivalent weight ratio of MDI:POLYOL:TAPE=2:1.4:0.6, 20 wt% of styrene, and 2 wt% of MEKP/Co.....	104
A43 ¹ H-NMR spectrum (CDCl ₃) of Diglycidyl ether of bisphenol A (1).....	105
A44 ¹ H-NMR spectrum (CDCl ₃) of Diallylamine (2).....	106
A45 ¹ H-NMR spectrum (CDCl ₃) of Bis-(3-N,N'-diallylamino-2-propanol) diphenylolpropane (3).....	107
A46 ¹ H-NMR spectrum (CDCl ₃) of Ethylene diamine (4).....	108
A47 ¹ H-NMR spectrum (CDCl ₃) of Allylglycidyl ether (5).....	109
A48 ¹ H-NMR spectrum (CDCl ₃) of N,N,N',N'-tetrakis-(3-allyloxy-2-propanol)ethylenediamine(6).....	110

ABBREVIATIONS

BDPD	:	Bis-(3-N,N'-diallylamino-2-propanol)diphenylolpropane
Co	:	Cobalt naphthenate
DMA	:	Dynamic mechanical analysis
DSC	:	Differential scanning calorimetry
IPN	:	Interpenetrating polymer network
MDI	:	Diphenylmethane diisocyanate
MEKP	:	Methyl ethyl ketone peroxide
MPa	:	MegaPascal
NMR	:	Nuclear magnetic resonance spectroscopy
PS	:	Polystyrene
PU	:	Polyurethane
SEM	:	Scanning electron microscopy
TAPE	:	N,N,N',N'-tetrakis-(3-allyloxy-2-propanol) ethylenediamine
TDI	:	Toluene diisocyanate
T_g	:	Glass transition temperature
TGA	:	Thermogravimetric analysis
wt%	:	Percentage by weight