

การสังเคราะห์เอพอกซีพอลิเมอร์ที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบโดยใช้  
สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะและมาลิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมขวาง

นางสาว นงนุช สุทธิวิเศษศักดิ์



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-973-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**SYNTHESIS OF METAL-CONTAINING EPOXY POLYMER  
USING METAL COMPLEXES AND MALEIC ANHYDRIDE  
AS CROSSLINKING AGENTS**

**MISS NONGNUCH SUTIVISEDSAK**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Chemistry**

**Department of Chemistry**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

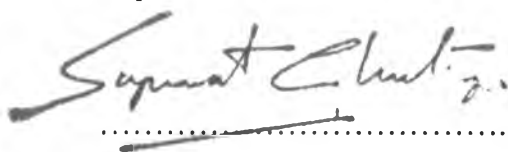
**Academic Year 1998**

**ISBN 974-331-973-5**

**Thesis Title**            Synthesis of Metal-Containing Epoxy Polymer Using Metal  
Complexes and Maleic Anhydride as Crosslinking Agents  
**By**                            Miss Nongnuch Sutivisedsak  
**Department**            Chemistry  
**Thesis Advisor**        Assistant Professor Nuanphun Chantarasiri, Ph.D.  
**Co-advisor**             Mongkol Sukwattanasinitt, Ph.D.

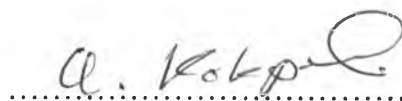
---

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



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

Thesis Committee



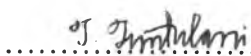
.....Chairman  
(Associate Professor Udom Kokpol, Ph.D.)




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



.....Co-advisor  
(Mongkol Sukwattanasinitt, Ph.D.)



.....Member  
(Assistant Professor Thawatchai Tuntulani, Ph.D.)



.....Member  
(Buncha Pulpoka, Ph.D.)

นางนุช สุทธิวิเศษศักดิ์ : การสังเคราะห์เอพอกซีพอลิเมอร์ที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบโดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะและมาลิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมขวาง (SYNTHESIS OF METAL-CONTAINING EPOXY POLYMER USING METAL COMPLEXES AND MALEIC ANHYDRIDE AS CROSSLINKING AGENTS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. นवलพรรณ จันทร์ศิริ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์, 72 หน้า. ISBN 974-331-973-5.

การสังเคราะห์เอพอกซีพอลิเมอร์ที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบทำได้โดยการทำให้ปฏิกิริยาเชื่อมขวางของไดโกลซิซิลอีเทอร์ของบิสฟีนอลเอ (DGEBA) โดยใช้มาลิกแอนไฮไดรด์และสารประกอบเชิงซ้อนโลหะเดนเทตชิฟเบสของโลหะทองแดง โคบอลต์ นิกเกิล และสังกะสี อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะลดลงถ้าใช้เทระบิวทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Bu}_4\text{NOH}$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาโดยใช้เทคนิคอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (infrared spectroscopy) และไอโซเทอร์มัล ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริเมตรี (isothermal differential scanning calorimetry) ทำให้ทราบอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทำให้ปฏิกิริยาเชื่อมขวาง การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนและเชิงกลของเอพอกซีพอลิเมอร์ที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบทำได้โดยใช้เทคนิคไดนามิก แมคานิคอล แอานาไลซิส (dynamic mechanical analysis) เทอร์โมกราวิเมตริก แอานาไลซิส (thermogravimetric analysis) และการทดสอบความทนแรงดึง (tensile testing) เอพอกซีพอลิเมอร์ที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบซึ่งได้จากการทำให้ปฏิกิริยาเชื่อมขวางของ DGEBA เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้สมบัติทางความร้อนและเชิงกลดีกว่าเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เอพอกซีพอลิเมอร์ที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบที่อัตราส่วนของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทองแดงต่อมาลิกแอนไฮไดรด์ต่อ DGEBA เท่ากับ 0.2 : 0.2 : 1 เป็นพอลิเมอร์ที่ให้สมบัติดีที่สุดโดยให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (glass transition temperature) เท่ากับ 143 องศาเซลเซียส ค่าความแข็งแรงต่อการทนแรงดึง (tensile strength) เท่ากับ 62 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พอลิเมอร์จะสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 2.8

ภาควิชา..... 102

สาขาวิชา..... 102

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... พจน ทรัพย์วิเศษศักดิ์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... นवलพรรณ จันทร์ศิริ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์ + นวล

## 3970724923 : MAJOR CHEMISTRY

KEY WORD :

EPOXY POLYMER / METAL-CONTAINING EPOXY POLYMER

NONGNUCH SUTIVISEDSAK : SYNTHESIS OF METAL-CONTAINING EPOXY POLYMER USING METAL COMPLEXES AND MALEIC ANHYDRIDE AS CROSSLINKING AGENTS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. NUANPHUN CHANTARASIRI, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : MONGKOL SUKWATTANASINITT, Ph.D. 72 pp. ISBN 974-331-973-5.

Metal-containing epoxy polymers were synthesized by crosslinking of diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA) with maleic anhydride (MA) and tetradentate Schiff's base metal complexes (CuL, CoL, NiL and ZnL). The crosslinking temperature was decreased when tetrabutylammoniumhydroxide (Bu<sub>4</sub>NOH) was used as a catalyst. Infrared spectroscopy and isothermal differential scanning calorimetry were employed to obtain the suitable crosslinking temperatures and time. The thermal and mechanical properties of metal-containing epoxy polymers were investigated by dynamic mechanical analysis, thermogravimetric analysis and tensile testing. Metal-containing epoxy polymers obtained from the reaction in the presence of Bu<sub>4</sub>NOH had better thermal and mechanical properties than those obtained from the reactions without Bu<sub>4</sub>NOH. Copper-containing epoxy polymer with the mole ratio of CuL : MA : DGEBA = 0.2 : 0.2 : 1 showed the best properties with glass transition temperature of 143 °C, tensile strength of 62 N/mm<sup>2</sup> and showed 2.8% weight loss after heating at 250 °C for 48 hours.

ภาควิชา..... 102

สาขาวิชา..... 102

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... นงนุช สุตวิเสดสัก

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... นงนุช สุตวิเสดสัก

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... Mongkol Suwattanasinitt

## ACKNOWLEDGEMENTS



I would like to express my deepest gratitude to my advisor, Assistant Professor Dr. Nuanphun Chantarasiri and my co-advisor, Dr. Mongkol Sukwattanasinitt for the kindness, guidance, suggestions and assistant throughout the course of this thesis. I am also grateful to Associate Professor Dr. Udom Kokpol, Assistant Professor Dr. Thawatchai Tuntulani and Dr. Buncha Pulpoka as chairman and members of the thesis committee, respectively whose comments have been especially valuable.

I also thank the Thailand Research Fund and Chulalongkorn University for financial support. Sample testing results from the Scientific and Technological Research Equipment Center (STREC), the Institute of Biotechnology and Genetic Engineering at Chulalongkorn University and the Department of Chemistry at Mahidol University are appreciated. Thanks go towards to everyone who has contributed suggestions and support throughout this work. Finally, I owe my family a deep gratitude for love, support and encouragement.

Nongnuch Sutivisedsak

## CONTENTS

	Page
Abstract in Thai.....	iv
Abstract in English.....	v
Acknowledgements.....	vi
Contents.....	vii
List of Figures.....	x
List of Tables.....	xv
List of Schemes.....	xvii
List of Abbreviations.....	xviii
<b>CHAPTER I INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 Epoxy Polymers .....	1
1.2 Acid Anhydride Crosslinking Agents.....	3
1.3 Metal-Containing Epoxy Polymers.....	5
1.4 Objectives and Scope of the Research.....	9
<b>CHAPTER II EXPERIMENTAL SECTION.....</b>	<b>10</b>
2.1 Materials.....	10
2.2 Analytical Procedures.....	10
2.3 Preparation of Tetradentate Schiff's Base Metal Complexes (ML).....	10
2.3.1 Preparation of Copper Complex (CuL), Cobalt Complex (CoL), and Nickel Complex (NiL).....	10
2.3.2 Preparation of Zinc Complex (ZnL).....	11
2.4 Reaction between Tetradentate Schiff's Base Metal Complexes and Maleic Anhydride.....	11

2.5 Isothermal DSC Study.....	11
2.5.1 IR Study.....	11
2.5.2 Isothermal DSC Study.....	12
2.6 Preparation of Metal-Containing Epoxy Polymers Using Tetradentate Schiff's Base Metal Complexes and Maleic Anhydride as Crosslinking Agents.....	12
2.6.1 Copper-Containing Epoxy Polymers.....	12
2.6.2 Cobalt-Containing Epoxy Polymers.....	14
2.6.3 Nickel-Containing Epoxy Polymers.....	15
2.6.4 Zinc-Containing Epoxy Polymers.....	16
2.7 Preparation of Metal-Containing Epoxy Polymers Using Tetradentate Schiff's Base Metal Complexes and Maleic Anhydride as Crosslinking Agents in the Presence of Bu <sub>4</sub> NOH.....	17
2.8 Characterization of Metal-Containing Epoxy Polymers.....	19
2.8.1 IR Spectroscopy.....	19
2.8.2 Thermal Properties.....	19
2.8.3 Thermal Stability.....	19
2.8.4 Mechanical Properties.....	19
<b>CHAPTER III RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>20</b>
3.1 Synthesis of Tetradentate Schiff's Base Metal Complexes (ML).....	20
3.2 Reaction between Tetradentate Schiff's Base Metal Complexes and Maleic Anhydride.....	22
3.3 Crosslinking Reaction of DGEBA Epoxy Resin with Tetradentate Schiff's Base Metal Complexes and Maleic Anhydride.....	24
3.3.1 IR Study.....	24
3.3.2 Isothermal DSC Study.....	26



3.4 Effect of Catalysts.....	30
3.5 Preparation of Metal-Containing Epoxy Polymers.....	33
3.6 Characterization of Metal-Containing Epoxy Polymers.....	33
3.6.1 IR Spectroscopy.....	33
3.6.2 Glass Transition Temperature.....	34
3.6.3 Thermal Stability.....	38
3.6.4 Mechanical Properties.....	41
<b>CHAPTER IV CONCLUSION AND SUGGESTION FOR</b>	
<b>FUTURE WORK.....</b>	<b>45</b>
4.1 Conclusion.....	45
4.2 Suggestion for Future Work.....	45
<b>REFERENCES.....</b>	<b>47</b>
<b>APPENDICES.....</b>	<b>50</b>
<b>VITA.....</b>	<b>72</b>

## LIST OF FIGURES

	Page
Figure 3.1 IR spectrum of ZnL.....	21
Figure 3.2 MALDI-TOF MS of ZnL.....	22
Figure 3.3 IR spectra of a mixture of CuL and maleic anhydride at the mole ratio of 1 : 1 (a) before heating and (b) after heating at 150 °C for 1 hour.....	23
Figure 3.4 IR spectra of the mixture of CuL, MA and DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1 at 150 °C (a) before heating (b) after 1 h (c) after 2 h and (d) after 3 h.....	25
Figure 3.5 DSC thermogram of crosslinking reaction of DGEBA with ZnL .....	28
Figure 3.6 IR spectrum of Cu-containing epoxy polymer at the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1 and Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup> OH was employed as a catalyst.....	34
Figure 3.7 DMA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1.....	35
Figure 3.8 TGA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1 and Bu <sub>4</sub> N <sup>+</sup> OH was employed as a catalyst.....	41
Figure A. 3.1 Isothermal (150 °C) DSC thermogram of CuL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1.....	51
Figure A. 3.2 Isothermal (150 °C) DSC thermogram of CuL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.3 : 0.3 : 1.....	51
Figure A. 3.3 Isothermal (150 °C) DSC thermogram of CoL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1.....	52

Figure A. 3.4 Isothermal (150 °C) DSC thermogram of CoL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.3 : 0.3 : 1.....	52
Figure A. 3.5 Isothermal (180 °C) DSC thermogram of NiL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1.....	53
Figure A. 3.6 Isothermal (180 °C) DSC thermogram of NiL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.3 : 0.3 : 1.....	53
Figure A. 3.7 Isothermal (190 °C) DSC thermogram of ZnL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1.....	54
Figure A. 3.8 Isothermal (190 °C) DSC thermogram of ZnL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.3 : 0.3 : 1.....	54
Figure A. 3.9 Isothermal (150 °C) DSC thermogram of CuL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1 and Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	55
Figure A. 3.10 Isothermal (150 °C) DSC thermogram of DGEBA : MA at the mole ratio of 1 : 2.8 and BDMA was employed as a catalyst.....	55
Figure A. 3.11 Isothermal (150 °C) DSC thermogram of CoL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1 and Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	56
Figure A. 3.12 Isothermal (180 °C) DSC thermogram of NiL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1 and Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	56
Figure A. 3.13 Isothermal (190 °C) DSC thermogram of ZnL : MA : DGEBA at the mole ratio of 0.2 : 0.2 : 1 and Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	57
Figure A. 3.14 DMA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1.....	57

Figure A. 3.15 DMA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1.....	58
Figure A. 3.16 DMA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.4 : 0.4 : 1.....	58
Figure A. 3.17 DMA thermogram of Co-containing epoxy polymer at the mole ratio of CoL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1.....	59
Figure A. 3.18 DMA thermogram of Co-containing epoxy polymer at the mole ratio of CoL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1.....	59
Figure A. 3.19 DMA thermogram of Co-containing epoxy polymer at the mole ratio of CoL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1.....	60
Figure A. 3.20 DMA thermogram of Co-containing epoxy polymer at the mole ratio of CoL : MA : DGEBA 0.4 : 0.4 : 1.....	60
Figure A. 3.21 DMA thermogram of Ni-containing epoxy polymer at the mole ratio of NiL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1.....	61
Figure A. 3.22 DMA thermogram of Ni-containing epoxy polymer at the mole ratio of NiL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1.....	61
Figure A. 3.23 DMA thermogram of Ni-containing epoxy polymer at the mole ratio of NiL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1.....	62
Figure A. 3.24 DMA thermogram of Ni-containing epoxy polymer at the mole ratio of NiL : MA : DGEBA 0.4 : 0.4 : 1.....	62
Figure A. 3.25 DMA thermogram of Zn-containing epoxy polymer at the mole ratio of ZnL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1.....	63
Figure A. 3.26 DMA thermogram of Zn-containing epoxy polymer at the mole ratio of ZnL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1.....	63
Figure A. 3.27 DMA thermogram of Zn-containing epoxy polymer at the mole ratio of ZnL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1.....	64

- Figure A. 3.28 DMA thermogram of Zn-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of ZnL : MA : DGEBA 0.4 : 0.4 : 1 .....64
- Figure A. 3.29 DMA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....65
- Figure A. 3.30 DMA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....65
- Figure A. 3.31 DMA thermogram of Cu-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of CuL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....66
- Figure A. 3.32 DMA thermogram of Co-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of CoL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....66
- Figure A. 3.33 DMA thermogram of Co-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of CoL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....67
- Figure A. 3.34 DMA thermogram of Co-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of CoL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....67
- Figure A. 3.35 DMA thermogram of Ni-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of NiL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....68
- Figure A. 3.36 DMA thermogram of Ni-containing epoxy polymer at  
the mole ratio of NiL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1 and  
Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....68

- Figure A. 3.37 DMA thermogram of Ni-containing epoxy polymer at the mole ratio of NiL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1 and Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....69
- Figure A. 3.38 DMA thermogram of Zn-containing epoxy polymer at the mole ratio of ZnL : MA : DGEBA 0.1 : 0.1 : 1 and Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....69
- Figure A. 3.39 DMA thermogram of Zn-containing epoxy polymer at the mole ratio of ZnL : MA : DGEBA 0.2 : 0.2 : 1 and Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....70
- Figure A. 3.40 DMA thermogram of Zn-containing epoxy polymer at the mole ratio of ZnL : MA : DGEBA 0.3 : 0.3 : 1 and Bu<sub>4</sub>NOH was employed as a catalyst.....70
- Figure A. 3.41 DMA thermogram of DGEBA-MA system at DGEBA : MA ratio of 1 : 2.8 and BDMA was employed as a catalyst.....71
- Figure A. 3.42 DMA thermogram of DGEBA-DETA system at DGEBA : DETA ratio of 1 : 1.....71

## LIST OF TABLES

	Page
Table 2.1 Composition of starting materials in CuL : MA : DGEBA.....	13
Table 2.2 Composition of starting materials in CoL : MA : DGEBA.....	14
Table 2.3 Composition of starting materials in NiL : MA : DGEBA.....	15
Table 2.4 Composition of starting materials in ZnL : MA : DGEBA.....	16
Table 2.5 Composition of starting materials in crosslinking reaction of DGEBA using maleic anhydride and diethyltriamine as crosslinking agents.....	17
Table 2.6 Time for crosslinking reaction of DGEBA at different ratios of ML : MA : DGEBA in the presence of Bu <sub>4</sub> NOH.....	18
Table 3.1 Crosslinking parameters for crosslinking reaction of DGEBA using different metal complexes and maleic anhydride.....	25
Table 3.2 Crosslinking temperature and time taken to complete the crosslinking reaction of DGEBA with metal complexes and maleic anhydride.....	27
Table 3.3 Crosslinking temperature and time taken to complete the crosslinking reaction of DGEBA with metal complexes and maleic anhydride when Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	31
Table 3.4 Glass transition temperature (T <sub>g</sub> ) of the metal-containing epoxy polymers obtained from different ratios of ML : MA : DGEBA.....	36
Table 3.5 Glass transition temperature (T <sub>g</sub> ) of the metal-containing epoxy polymers obtained from different ratios of ML : MA : DGEBA and Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	37
Table 3.6 Thermal stability at 250 °C of the metal-containing epoxy polymers obtained from different ratios of ML : MA : DGEBA.....	38

Table 3.7 Thermal stability at 250 °C of the metal-containing epoxy polymers obtained from different ratios of ML : MA : DGEBA and Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	39
Table 3.8 Tensile strength of the metal-containing epoxy polymers obtained from different ratios of ML : MA : DGEBA.....	42
Table 3.9 Tensile strength of the metal-containing epoxy polymers obtained from different ratios of ML : MA : DGEBA and Bu <sub>4</sub> NOH was employed as a catalyst.....	43



## LIST OF SCHEMES

	Page
Scheme 1.1 Crosslinking reaction of DGEBA with amine.....	1
Scheme 1.2 Crosslinking reaction of DGEBA with phenol.....	2
Scheme 1.3 Crosslinking reaction of DGEBA with organic acid .....	2
Scheme 1.4 Ring opening of acid anhydride by alcoholic accelerators.....	3
Scheme 1.5 Possible mechanism of the crosslinking reaction of DGEBA with maleic anhydride in the presence of alcohol.....	4
Scheme 1.6 Mechanism of the reaction between DGEBA and maleic anhydride in the presence of benzyldimethylamine.....	5
Scheme 1.7 Examples of metal complexes in Kurnoskin's Work.....	7
Scheme 1.8 Synthesis of metal-containing epoxy polymers using tetradentate Schiff's base metal complexes.....	8
Scheme 1.9 Synthesis of metal-containing epoxy polymers using metal complexes and maleic anhydride as crosslinking agents.....	9
Scheme 2.1 Preparation scheme of Cu-containing epoxy polymers.....	13
Scheme 2.2 Preparation scheme of metal-containing epoxy polymers in the presence of Bu <sub>4</sub> NOH.....	18
Scheme 3.1 Synthesis of metal complexes.....	20
Scheme 3.2 Reaction between metal complexes and maleic anhydride.....	24
Scheme 3.3 Proposed mechanism of the crosslinking reaction of DGEBA with metal complexes and maleic anhydride.....	29
Scheme 3.4 Proposed mechanism of the crosslinking reaction of DGEBA with metal complexes and maleic anhydride in the presence of Bu <sub>4</sub> NOH.....	32

## LIST OF ABBREVIATIONS

CoL	Schiff's base cobalt complex
CuL	Schiff's base copper complex
DGEBA	Diglycidyl ether of bisphenol-A
DMA	Dynamic mechanical analysis
DSC	Differential scanning calorimetry
DETA	Diethylenetriamine
MA	Maleic anhydride
ML	Schiff's base metal complex
NiL	Schiff's base nickel complex
phr	part per hundred
$T_g$	Glass transition temperature
TGA	Thermogravimetric analysis
ZnL	Schiff's base zinc complex