DEVELOPMENT OF DIELECTRIC ELASTOMERS AND BLENDS FOR ACTUATOR APPLICATIONS

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ruksapong Kunanuruksapong

A Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
and Case Western Reserve University
2010

530001

Thesis Title:	Development of Dielectric Elastomers and Blends for Actuator Applications
By:	Ruksapong Kunanuruksapong
Program:	Polymer Science
Thesis Advisor:	Assoc. Prof. Anuvat Sirivat

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.

.... Dean

(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

Thesis Committee:

.... (Asst. Prof. Pomthong Malakul)

.... (Assoc. Prof. Anuvat Sirivat)

.... (Assoc. Prof. Ratana Rujiravanit)

.... (Assoc. Prof. Sujitra Wongkasemjit)

.... (Dr. Sumonman Niamlang)

ABSTRACT

4782009063: Polymer Science Program

Ruksapong Kunanuruksapong: Development of Dielectric Elastomers and Blends for Actuator Applications

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Anuvat Sirivat

Keywords: Poly(p-phenylene)/Dielectric Elastomers/Actuator/ Electromechanical properties/Dielectrophoresis Force/Dielectric Constant/Electrostriction

This study evaluated and characterized the many types of dielectric elastomers and poly(p-phenylene)/dielectric elastomers blends towards the electroactive application. Dielectric elastomers films and AR71/PPP blends were prepared and investigated as an electroactive polymer. The acrylic elastomers (AR70, AR71, AR72) possess linearly positive storage modulus responses or sensitivities with increasing temperature and dielectric constant. On the other hand, the styrene copolymers (SAR, SBS, SIS) attain the maximum storage modulus responses or sensitivties at the glass transition temperature of the hard segments. For AR71/PPP blends, the dynamic moduli, G′ and G″ of each blend, are higher than those of pure AR71. In addition, The effects of dielectric constant and DC/AC electric field strength on the deflection angle and the dielectrophoresis force of acrylic elastomers and styrene copolymers were investigated. As a DC electric field is applied, five elastomers, with the exception of SAR, deflect towards the anode side of the electrodes. For these elastomers, internal dipole moments are generated under electric field leading to the attractive force between the elastomers and the anode. SAR contains metal impurities (Cu and Zn) as determined by EDX. Their presence introduces a repulsive force between the Cu^{2+} and Zn^{2+} ions and the aniodic electrode, leading to the bending towards the neutral electrode. The dielectrophoresis forces of the six elastomers generally increase with increasing electric field strength, and increase monotonically with the dielectric constants. For an AC electric field, the deflection angle and the dielectrophoresis force increase with amplitude but decreases with increasing freqency under AC electrical field. The opitmum thickness

for acrylic elastomer is 0.25 mm which gives the highest deflection angle and force. For AR71/doped PPP blends, the cut-off frequency of each blend are higher than those of pure AR71. The conductive particles act as a filler and can be used to improve the electromechanical responses at high frequency.

บทคัดย่อ

รักษพงศ์ คุณานุรักษพงศ์: การพัฒนายางไดอิเล็คทริคและพอลิเมอร์ผสมสำหรับประยุกต์เป็นแอคชูเอเตอร์ที่ตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า (Development of Dielectric Elastomers and Blends for Actuator Applications) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. อนุวัฒน์ ศิริวัฒน์ 238 หน้า

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการนำยางไดอิเล็คทริคชนิดต่างๆและพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ยางอะคริลิกและพอลิพาราฟีนีลีน สำหรับประยุกต์เป็นแอคชูเอเตอร์ที่ตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า จากการทดลองพบว่าค่าการตอบสนองต่อมอดูลัสเฉือนและความว่องไวในการตอบสนองของมอดูลัสเฉือนของยางอะคริลิกทั้งสามชนิด จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิในการทดลองและค่าคงที่ไดอิเล็คทริคของยาง ในทางตรงกันข้ามค่าการตอบสนองต่อมอดูลัสเฉือนและความว่องไวในการตอบสนองของมอดูลัสเฉือนของยางผสมที่มีสไตรีนเป็นส่วนประกอบทั้งสามชนิดนั้น จะมีค่าสูงที่สุด ณ อุณหภูมิทรานซิสชั่นของส่วนแข็งในเนื้อยาง ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางอะคริลิกและพอลิพาราฟีนีลีนนั้น ค่ามอดูลัสเฉือนแบบสะสมและแบบสูญเสียของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าสูงกว่าในกรณีของยางอะคริลิกบริสุทธิ์เสมอ นอกจากนี้ยังพบว่า ในการทดลองวัดค่าการบิดเบนภายใต้สนามไฟฟ้าแบบตรงและการคำนวนหาค่าแรงไดอิเล็คโทรโฟเลซิส จะพบว่าค่าการบิดเบนภายใต้สนามไฟฟ้าและค่าแรงไดอิเล็คโทรโฟเลซิสจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความเข้มสนามไฟฟ้า และเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของค่าคงที่ไดอิเล็คทริคของยางไดอิเล็คทริค นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่ยาง ยางทุกชนิดจะบิดเข้าไปหาขั้วแอโนดเสมอๆ ยกเว้นยางสไตรีน-อะคริลิก ที่เบนเข้าหาขั้วกลาง ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบของยางด้วยเทคนิค อีดีเอกซ์ จะพบว่าในยางสไตรีน-อะคริลิกนั้นมีการปนเปื้อนด้วยธาตุ ทองแดง และ สังกะสี อยู่จึงส่งผลกระทบต่อทิศทางการบิดของตัวยางภายใต้สนามไฟฟ้านั่นเอง ในการทดลองต่อมา ทางผู้ทดลองได้ทำการวัดค่าการบิดเบนภายใต้สนามไฟฟ้าแบบสลับและการคำนวนหาค่าแรงไดอิเล็คโทรโฟเลซิส จากการทดลองพบว่า ค่าการบิดเบนภายใต้สนามไฟฟ้าและค่าแรงไดอิเล็คโทรโฟเลซิสจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของขนาดสนามไฟฟ้าแบบสลับ แต่จะมีค่าลดลงตามการเพิ่มของความถี่ของสนามไฟฟ้าสลับ เนื่องมาจากยางไม่สามารถตอบสนองต่อความถี่ได้ทันนั่นเอง จากการทดลองปรับค่าความหนาของชิ้นงานเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะพบว่า ที่ความหนาของยางอะคริลิกเท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร จะให้ค่าการบิดเบนภายใต้สนามไฟฟ้าและค่าแรงไดอิเล็คโทรโฟเลซิสสูงที่สุด ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง

อะคริลิกและพอลิพาราฟีนีลีนนั้นจะมีคุณสมบัติในการตอบสนองที่ความถี่สูงเหนือกว่ายางอะคริลิกบริสุทธิ์เสมอๆ

ACKNOWLEDGEMENTS

Appreciation is expressed to those who have made contributions to this dissertation. The author is grateful for the scholarship and funding of the thesis work provided by the Petroleum and Petrochemical College, and by the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand. The author gratefully acknowledges his advisor, Assoc. Prof. Anuvat Sirivat from The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University for giving his the opportunity to be in the interesting avenue of research, their attention to the development of this work, invaluable knowledge, meaningful guidance, tolerance, and the encouragement all along the way.

He gratefully acknowledges all faculty members and staffs at The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University for their knowledge and assistances.

Assist. Prof. Pomthong Malakul, Assoc. Prof. Rattana Rujiravanit, Assoc. Prof. Sujitra Wongkasemjit, and, Dr. Sumonman Niamlang are further acknowledged for being his dissertation committee, making comments, and their helpful ideas and suggestion.

He wishes to express his deep gratitude to his family for their unconditional love, continual encouragement, understanding, and for being his limitless inspiration source during all these years he has spent for his PhD study.

He owes his special thanks to all of his teachers in his life for giving his knowledge and supports. He is thankful for the contributions, wonderful friendship, liveliness, and supports from his friends and the other members of his research groups.

This work would not be carried out successfully without financial supports provided by the Thailand Research Fund (the RGJ grant no. PHD/0182/2548, and BRG grant), the Conductive and Electroactive Polymer Research Unit and KFAS of Chulalongkorn university, Thai Royal Government (Budget of Fiscal Years 2550-2552), the Center of Petroleum and Petrochemical and Advanced Materials, and the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

FIGURE **PAGE**

FIGURE PAGE

CHAPTER VI

FIGURE **PAGE**

ABBREVIATION

ER	Electrorheology
DC	Direct current
AC	Alternate current
PPP	Poly (p-phenylene)
AR	Acrylic elastomers
SAR	Styrene-acrylic copolymers
SIS	Styrene-isoprene-styrene triblocks copolymers
SBR	Styrene-butadiene rubber
FT-IR	Fourier transform infrared spectrometer
UV-Vis	Ultraviolet-visible spectrometer
TGA	Thermogravimetric analysis
EDX	Energy dispersive X-ray spectroscopy
SEM	Scanning electron microscopy

LIST OF SYMBOL

E_o applied electric field strength
G' storage modulus (Pa/s)
G'' loss modulus (Pa/s)
t_{ind} induction time
t_{rec} recovery time
ϕ volume fraction
σ electrical conductivity
ε' dielectric permittivity
ε'' dielectric loss
R resistant
t film thickness
K geometric correction fractor
β relative polarizability
K_f dielectric permittivity of medium
η^* complex oscillatory steady shear viscosity
ω frequency
F_e elastic force
F_d dielectrophoresis force
E Young's modulus
l_0 initial length of specimens
l length of specimens
I moment of inertia