DEVELOPMENT OF SOFT AND FLEXIBLE CONDUCTIVE POLYMER FOR ACTUATOR APPLICATIONS

Piyanoot Hiamtup

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,
Case Western Reserve University, and Institut Francais du Petrole
2007

Thesis Title:	Development of Soft and Flexible Conductive Polymer for Actuator Applications
By:	Piyanoot Hiamtup
Program:	Polymer Science
Thesis Advisors:	Assoc. Prof. Anuvat Sirivat
	Prof. Alexander M. Jamieson

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

.... College Director
(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

Thesis Committee:

....
(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

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

....
(Prof. Alexander M. Jamieson)

....
(Assoc. Prof. Pitt Supaphol)

....
(Dr. Ladawan Ruangchuay Wanatong)

ABSTRACT

4582001063: Polymer Science Program
Piyanoot Hiamtup: Development of Conductive Polymer for Actuator Applications
Thesis Advisors: Assoc. Prof. Anuvat Sirivat and Prof. Alexander M. Jamieson, 150 pp.
Keywords: Polyaniline/ Conductive polymer/ Actuator/ Electrorheological fluid/ Suspension/ Gelation/ Oscillatory shear/ Steady-state shear/ Yield stress

In this study, polyaniline (PANI) was synthesized via oxidative coupling polymerization in acid conditions and its conductivity was controlled by doping in camphorsulfonic acid (CSA) solution and de-doping in solution of ammonia. Under oscillatory shear, the dynamic moduli, G' and G", dramatically increase and the suspensions of PANI/silicone oil reach liquid to solid transition occurs at a critical electric field strength, whose value depends on particle concentration and host fluid viscosity as well as the shearing amplitude and the shearing frequency. The critical dimensionless parameter, the Mason number (Mn), varies with Peclet number (Pe) at the critical point according to a scaling relation $Mn \sim Pe^{0.091}$. The formation structure has a static yield strength τ_y, whose value scales with electric field strength as $\tau_y \sim E^{1.88}$. When the field is switched off a residual structure remains, whose yield stress increases with the strength of the applied field and particle concentration.The creep response of the suspensions was also studied. Creep resistance of the suspensions generally increases with the effects of electric field strength, particle concentration, and operating temperature. Electromechanical response of camphorsulfonic acid (CSA) – doped polyaniline (PANI) particles embedded in an elastic cross-linked PDMS matrix on the effects of electric field strength, particle concentration, and operating temperature was finally studied.

บทคัดย่อ

ปิยนุช เหี้ยมทัพ : การพัฒนาพอลิเมอร์นำไฟฟ้าสำหรับประยุกต์เป็นแอกชูเอเตอร์ (Development of Conductive Polymer for Actuator Applications) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อนุวัฒน์ ศิริวัฒน์ และ ศ.ดร. อเลกซานเดอร์ เอ็ม จาไมซัน 150 หน้า

ในงานวิจัยนี้ อนุภาคพอลิอะนีลีน ได้ถูกสังเคราะห์ด้วยการพอลิเมอร์ไรซ์แบบออกซิเดทีฟ ค่าการนำไฟฟ้าของอนุภาคจะถูกควบคุมโดยกระบวนการการโดปและดีโดปซึ่งหมายถึงกระบวนการแช่อนุภาคในสารละลายกรดแคมฟอร์ซัลโฟนิคแอซิดและด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการทดลองภายใต้แรงเฉือนแบบกลับไปกลับมา พบว่าของไหลดังกล่าวแสดงสมบัติวิสโคอีลาสติก โดยค่าสตอเรจและลอสมอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความแรงของสนามไฟฟ้าเมื่อให้สนามไฟฟ้ามีความแรงมากพอ พฤติกรรมของของไหลพอลิอะนีลีนจะเปลี่ยนไป โดยเปลี่ยนจากของไหลที่มีสมบัติคล้ายของเหลวเป็นของไหลที่มีสมบัติคล้ายของแข็งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคในสารแขวนลอย ความหนืดของซิลลิโคนออยล์ รวมทั้งแรงเฉือนและความถี่ในการให้แรงเฉือนกับระบบ โดยได้มีการศึกษาค่าตัวแปรไร้หน่วยสองตัวคือ ค่าตัวเลขเมสัน และ ค่าตัวเลขเพคเล่ท์ ณ จุดวิกฤตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วย ภายใต้แรงเฉือนแบบต่อเนื่อง พบว่า ของไหลมีพฤติกรรมแบบของไหลบิงแฮมภายใต้สนามไฟฟ้าโดยของโดยจะมีค่าความเค้นวิกฤตค่าหนึ่งซึ่งมีความสัมพันธ์กับความแรงของสนามไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันยกกำลังโดยเลขดัชนีชี้กำลังของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นวิกฤตและความแรงของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.88 จากการทดลองเปิด-ปิดสนามไฟฟ้าสลับไปมาพบว่าโครงสร้างสายโซ่ของอนุภาคที่จัดเรียงตัวกันภายใต้สนามไฟฟ้านั้นยังคงสภาพอยู่บางส่วน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปัจจัยด้านความเข้มของสนามไฟฟ้า ปริมาณอนุภาค และอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดครีบของสารแขวนลอย และสุดท้ายได้เปลี่ยนตัวกลางจากน้ำมันเหลวเป็นตัวกลางที่มีเป็นยางมีความอ่อนนุ่ม โดยผสมผงอนุภาคพอลิอะนีลีนที่โดปด้วยกรดแคมฟอร์ซัลโฟนิคแอซิดในยางพอลิไดเมธิลไซลอกเซน และศึกษาการตอบสนองของสารผสมดังกล่าว ภายใต้สนามไฟฟ้า

ACKNOWLEDGEMENTS

Appreciation is expressed to those who have made contributions to this dissertation. First the author gratefully acknowledges her advisors, Assoc. Prof. Anuvat Sirivat from The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University and Prof. Alexander M. Jamieson from Department of Macromolecular Science, Case Western Reserve University, for giving her the opportunity to be in the interesting avenue of research, their attention to the development of this work, invaluable knowledge, meaningful guidance, tolerance, and their encouragement all along the way. She also thank Professor Massood Tabib-Azar of Case Western Reserve University for useful comments.

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

Assoc. Prof. Nantaya Yanumet, Assist. Prof. Pitt Supaphol, and Dr. Ladawan Ruangchuay Wanatong are further acknowledged for being her dissertation committee, making comments, and their helpful ideas and suggestion.

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

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

This work would not be carried out successfully without financial supports provided by the Thailand Research Fund (the RGJ grant no. PHD/0234/2544; the Conductive & Electroactive Polymers Research Unit and KFAS of Chulalongkorn University; the Thai Royal Government (Budget of Fiscal Year 2550); the Petroleum and Petrochemical and Advanced Materials Consortium; and the US National Science Foundation, Polymers Program, through grant DMR 0513010; the Petroleum and Petrochemical College; and the National Excellence Center for Petroleum, Petreochemicals, and Advanced Materials, Thailand.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

FIGURE **PAGE**

CHAPTER IV

FIGURE **PAGE**

CHAPTER V

CHAPTER VI

FIGURE **PAGE**

CHAPTER VI

CHAPTER VII

CHAPTER VIII

ABBREVIATIONS

ER	Electrorheology
DC	Direct current
AC	Alternate current
PANI	Polyaniline
FT-IR	Fourier transform infrared spectrometer
NMR	Nuclear magnetic resonance spectrometer
UV-Vis	Ultraviolet-visible spectrometer
TGA	Thermogravimetric analysis
CSS	Controlled shear stress

LIST OF SYMBOLS

τ	shear stress
τ_y	yield stress
$\dot{\gamma}$	shear rate
E_o	applied electric field strength
η	shear viscosity
G'	storage modulus (Pa/s)
G"	loss modulus (Pa/s)
t_{ind}	induction time
t_{rec}	recovery time
ϕ	volume fraction
α	scailing exponent
γ	scailing exponent
σ	electrical conductivity
R	resistant
t	disk thickness
K	geometric correction fractor
β	relative polarizability
K_f	dielectric permittivity of medium
η^*	complex oscillatory steady shear viscosity
ω	frequency
Hz	Hertz
J_C	equilibrium creep compliance
J_R	equilibrium recovery compliance