

ผลของสารช่วยกระจายตัวแอมโมเนียมพอลิอะคริเลตต่อพฤติกรรมการกระจายตัวของ
สารแขวนลอยเลดเซอร์โคเนตไททาเนตในน้ำสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อเทป

นางสาวฤดีรัตน์ สันตะโก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 7 7 2 4 4 4 6 2 3

08485531

EFFECTS OF AMMONIUM POLYACRYLATE DISPERSANT ON DEFLOCCULATING
BEHAVIOR OF LEAD ZIRCONATE TITANATE AQUEOUS SUSPENSION FOR TAPE
CASTING METHOD

Miss Rudeerat Suntako

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Ceramic Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

492263

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของสารช่วยกระจายตัวแอมโมเนียมพอลิอะคริเลต
ต่อพฤติกรรมการกระจายตัวของสารแขวนลอย
เลดเซอร์โคเนตไททานเนตในน้ำสำหรับการขึ้นรูปด้วย
วิธีหล่อเทป

โดย

นางสาวฤดีรัตน์ สันตะโก

สาขาวิชา

เทคโนโลยีเซรามิก

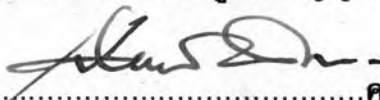
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร.นิตานาถ ไตรผล

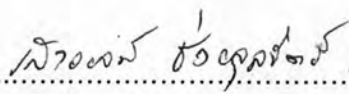
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

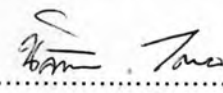
ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล

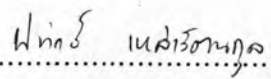
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวด)

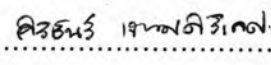
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(อาจารย์ ดร.นิตานาถ ไตรผล)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดนัย อารยะพงษ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพันธุ์ เจียมศิริเลิศ)

ฤดีรัตน์ สันตะโก : ผลของสารช่วยกระจายตัวแอมโมเนียมพอลิอะคริเลตต่อพฤติกรรม
 การกระจายตัวของสารแขวนลอยเลดเซอร์โคเนตไททาเนตในน้ำสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธี
 หล่อเทป (EFFECTS OF AMMONIUM POLYACRYLATE DISPERSANT ON
 DEFLOCCULATING BEHAVIOR OF LEAD ZIRCONATE TITANATE AQUEOUS
 SUSPENSION FOR TAPE CASTING METHOD) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.นิตานาถ ไตรผล ,
 อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล, 62 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณสารช่วยกระจายตัวแอมโมเนียมพอลิอะคริเลตที่มี
 ชื่อทางการค้าว่า Dispex A40 และค่าความเป็นกรด-ด่างต่อสมบัติต่าง ๆ ของสารแขวนลอย
 เลดเซอร์โคเนตไททาเนตที่เตรียมโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ได้แก่ ค่า zeta potential พฤติกรรมการ
 ไหลตัว พฤติกรรมการตกตะกอน การกระจายตัวของอนุภาคเลดเซอร์โคเนตไททาเนต ในสาร
 แขวนลอย และการดูดซับของสารช่วยกระจายตัวบนพื้นผิวอนุภาคของเลดเซอร์โคเนตไททาเนต
 จากการศึกษาพบว่าสารช่วยกระจายตัวแอมโมเนียมพอลิอะคริเลต ช่วยให้อนุภาคกระจายตัวได้ดี
 ขึ้นและสารแขวนลอยมีความเสถียรมากขึ้น โดยปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสม ในการ
 เตรียมสารแขวนลอยให้มีการกระจายตัวของอนุภาคที่ดี มีความเสถียรสูงและมีสมบัติการไหลตัวที่
 เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบหล่อเทป คือ 0.7% โดยน้ำหนักของของแข็ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง
 ของสารแขวนลอยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคและสมบัติของสาร
 แขวนลอยเนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลโดยตรงต่อการแตกตัวและรูปร่างของพอลิอิเล็กโทร
 ไลต์ จากการศึกษาพบว่า ในสารแขวนลอยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด พอลิอิเล็กโทรไลต์
 แตกตัวได้ไม่ดีและขดตัวเป็นก้อนทำให้ไม่สามารถแยกอนุภาคออกจากกันให้กระจายตัวอยู่ในสาร
 แขวนลอยได้ สารแขวนลอยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกรดจึงมีความเสถียรต่ำ ในขณะที่พอลิ
 อิเล็กโทรไลต์แตกตัวได้ดีและสายโซ่ยืดออกในสภาวะเป็นเบส ก่อให้เกิดแรงผลักแบบอิเล็กโทรสแต
 อริกระหว่างอนุภาค ส่งผลให้อนุภาคกระจายตัวได้ดีและสารแขวนลอยมีความเสถียรสูง
 นอกจากนี้ยังพบว่า สารแขวนลอยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นเบสต้องการสารช่วยกระจายตัว
 ปริมาณน้อยกว่าสารแขวนลอยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกรดในการทำให้อนุภาคกระจายตัวดี
 และสารแขวนลอยเลดเซอร์โคเนตไททาเนตในน้ำมีความเสถียรสูง

ภาควิชาวัสดุศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต..... ฤดีรัตน์ สันตะโก
 สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... นิตานาถ ไตรผล
 ปีการศึกษา 2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... พิศาล เหล่ารัตนกุล

4772444623: MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEY WORD: PZT / AQUEOUS SUSPENSION / TAPE CASTING / ADSORPTION

RUDEERAT SUNTAKO : EFFECTS OF AMMONIUM POLYACRYLATE


DISPERSANT ON DEFLOCCULATING BEHAVIOR OF LEAD ZIRCONATE

TITANATE AQUEOUS SUSPENSION FOR TAPE CASTING METHOD. THESIS

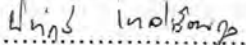
ADVISOR : NISANART TRAIIPHOL, Ph.D., THESIS COADVISOR : PITAK

LOARATANAKUL, Ph.D., 62 pp.

This research studied the effects of ammonium polyacrylate (APA) dispersant concentration in the form of Dispex A40, and pH on properties of PZT aqueous suspensions. Zeta potential, rheological behaviors, sedimentation behaviors, particle dispersion and adsorption of the dispersant on PZT surface were investigated. The results showed that APA promoted particle dispersion, leading to stability of the suspensions. The optimum dispersant concentration to produce a well-dispersed and highly stable suspension was found to be 0.7 wt% Dispex A40. The suspension pH was another factor influencing particle dispersion and suspension properties due to its direct effects on dissociation and conformation of the polyelectrolyte. In an acidic pH suspension, the polyelectrolyte weakly dissociated and coiled, resulting in a poorly dispersed and unstable suspension. Conversely, the polyelectrolyte highly dissociated with stretched chains in a basic pH suspension, providing electrosteric stabilization. As a result, the particles were well-dispersed and the suspension with basic pH was highly stable. In addition, this study found that the basic pH suspension required less dispersant than the acidic one in order to obtain a well-dispersed and highly stable PZT aqueous suspension.

Department Materials Science..... Student's signature..... 

Field of study Ceramic Technology..... Advisor's signature..... 

Academic year 2006..... Co-advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลและสถาบันต่าง ๆ ดังมีรายนามต่อไปนี้

1. อาจารย์ ดร.นิศานาถ ไตรผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
2. ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ)
3. คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาสั่งสอนวิชาและให้คำปรึกษาปัญหาต่าง ๆ
4. อาจารย์ ดร.รักษชาติ ไตรผล ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาให้ความรู้และความช่วยเหลือในการทำวิจัย
5. คุณสุรศักดิ์ ไวยวงษ์สกุล สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. หน่วยปฏิบัติการวิจัยเซรามิกขั้นสูง ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทั้งทางด้านบุคคลากร สถานที่ เครื่องมือและอื่น ๆ
7. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่กรุณาให้การสนับสนุนเงินทุนในการศึกษาและการทำวิจัยของผู้เขียน
8. พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ กำลังใจ และความสนุกสนานตลอดระยะเวลาในการศึกษา
9. สมาชิกในครอบครัวของผู้เขียนทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนทำให้การศึกษาสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การทำวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการทำวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัสดุเพียโซอิเล็กทริก	4
2.1.1 โครงสร้างผลึกและสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก	4
2.1.2 ปฏิกิริยาการเพียโซอิเล็กทริก.....	5
2.2 การขึ้นรูปแบบหล่อเทป (tape casting)	5
2.3 พฤติกรรมการไหลของของไหล	7
2.3.1 ของไหลแบบนิวโทเนียน (newtonian fluid)	7
2.3.2 ของไหลแบบนอนนิวโทเนียน (non-newtonian fluid).....	8
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหล	10
2.3.4 ค่าความหนืด	11
2.4 การกระจายตัวของอนุภาคเซรามิกในสารแขวนลอย	12
2.5 สารช่วยกระจายตัว (dispersants)	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.1 สมบัติทางกายภาพของผง PZT	21
3.2 สมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ.....	21
3.2.1 ค่า zeta potential ของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ	21

	หน้า
3.2.2 ผลของปริมาณสารช่วยกระจายตัวต่อสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ	21
3.2.3 ผลของค่า pH ต่อสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ.....	22
3.3 การดูดซับของสารช่วยกระจายตัวบนพื้นผิว PZT	23
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างมาตรฐานสำหรับศึกษาการดูดซับของ ammonium polyacrylate ในรูปของ Dispex A40 บนพื้นผิวของอนุภาค PZT	23
3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่างมาตรฐานสำหรับศึกษาการดูดซับในสารแขวนลอย ที่มีค่า pH เป็นเบส	23
3.3.1.2 การเตรียมตัวอย่างมาตรฐานสำหรับศึกษาการดูดซับในสารแขวนลอย ที่มีค่า pH เป็นกรด	24
3.3.2 ผลของค่า pH และปริมาณสารช่วยกระจายตัวต่อการดูดซับของ ammonium polyacrylate (APA) บนพื้นผิวของอนุภาค PZT	25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	27
4.1 สมบัติทางกายภาพของผง PZT	27
4.1.1 โครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของผง PZT.....	27
4.1.2 ลักษณะรูปร่างอนุภาคของผง PZT	27
4.1.3 การกระจายของขนาดอนุภาคของผง PZT.....	29
4.1.4 พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของผง PZT.....	29
4.2 ผลของปริมาณ Dispex A40 ต่อสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ	29
4.2.1 ผลของปริมาณ Dispex A40 ต่อค่า pH ของสารแขวนลอย	29
4.2.2 การกระจายของขนาดอนุภาค (particle size distribution)	30
4.2.3 ค่า zeta potential ของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ	31
4.2.4 พฤติกรรมการไหลตัว (rheological behavior) ของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ.....	31
4.2.5 ปริมาณ Dispex A40 ที่เหมาะสม.....	33
4.2.6 ความเสถียรของสารแขวนลอย : การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืด	34
4.2.7 ความเสถียรของสารแขวนลอย : การเปลี่ยนแปลงของค่า pH	36
4.2.8 ความเสถียรของสารแขวนลอย : พฤติกรรมการตกตะกอน	37
4.3 ผลของค่า pH ต่อสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ.....	39
4.3.1 การกระจายของขนาดอนุภาค (particle size distribution)	39
4.3.2 พฤติกรรมการตกตะกอนของสารแขวนลอย.....	44

4.3.3 พฤติกรรมการไหลตัวของสารแขวนลอย.....	46
4.4 ผลของปริมาณ Dispex A40 และค่า pH ต่อการดูดซับของสารช่วยกระจายตัว Dispex A40 บนพื้นผิวอนุภาค PZT.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย	49
รายการอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	52
ภาคผนวก ก วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย.....	53
ภาคผนวก ข กราฟตัวอย่างมาตรฐานสำหรับหาปริมาณการดูดซับของ สารช่วยกระจายตัวบนพื้นผิวของอนุภาค PZT.....	55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	62

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่า 2 theta และ h k l d ของ $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.44}\text{Ti}_{0.44}\text{Mn}_{0.44}\text{Ni}_{0.44}\text{Nb}_{0.44})\text{O}_3$	28
ตารางที่ 4.2 ค่า pH ของสารแขวนลอยที่เตรียมด้วย Dispex A40 ในปริมาณต่าง ๆ	30
ตารางที่ 4.3 ค่า power law index (n) ของสารแขวนลอยที่ปริมาณ Dispex A 40 ต่าง ๆ	33
ตารางที่ 4.4 ช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ ที่ปริมาณ Dispex A40 ค่าต่าง ๆ ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง	35
ตารางที่ 4.5 ช่วงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารแขวนลอย PZT ในน้ำที่ปริมาณ Dispex A40 ค่าต่าง ๆ ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง	37

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก.....	4
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดของเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก	5
รูปที่ 2.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อเทปด้วยดอกเตอร์เบลด์.....	6
รูปที่ 2.4 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนิวโทเนียน	7
รูปที่ 2.5 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดเสมือนพลาสติก.....	8
รูปที่ 2.6 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดไคลาแทนต์	9
รูปที่ 2.7 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดพลาสติก.....	9
รูปที่ 2.8 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิด thixotropic และ rheopectic	10
รูปที่ 2.9 แบบจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของระนาบชั้นของไหล	11
รูปที่ 2.10 การ stabilization ของอนุภาคเซรามิก.....	13
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง total interaction potential (V_T) , attraction (V_A) และ repulsion (V_R) ของอนุภาคในน้ำ	15
รูปที่ 2.12 ผลของความเข้มข้นของสารช่วยกระจายตัวต่อ zeta potential และ pH ของสารแขวนลอย PLZT 1% โดยปริมาตร.....	17
รูปที่ 2.13 การตกตะกอนของสารแขวนลอย PZT และ BaTiO ₃ ในน้ำที่ 5% โดยปริมาตร ณ ค่า pH ต่าง ๆ.....	17
รูปที่ 2.14 Zeta potential ของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ 1% โดยปริมาตรที่ค่า pH ต่าง ๆ.....	18
รูปที่ 2.15 Zeta potential ณ pH ต่าง ๆ ของสารแขวนลอย BaTiO ₃ ที่เติมปริมาณ สารช่วยกระจายตัวแตกต่างกัน.....	19
รูปที่ 2.16 การดูดซับของ PAA-NH ₄ บนพื้นผิวที่เติมสารช่วยกระจายตัวปริมาณต่าง ๆ ในช่วง pH 6 – 11.....	19
รูปที่ 2.17 ปริมาณการดูดซับของ poly (acrylic acid) (PAA), lignosulphonate (LS) และ comb copolymer (CP) บนพื้นผิว alumina เมื่อเติมสารช่วยกระจายตัว ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	20
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำที่ปริมาณ สารช่วยกระจายตัวต่าง ๆ.....	22

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาผลของค่า pH ต่อสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ.....	23
รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาผลของค่า pH และปริมาณสารช่วยกระจายตัวต่อการดูดซับของ APA บนพื้นผิวของอนุภาค PZT ในสารแขวนลอย PZT ในน้ำ 20% โดยน้ำหนัก ที่มีปริมาณ Displex A40 0 – 1% โดยน้ำหนักของของแข็ง.....	26
รูปที่ 4.1 โครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของผง PZT	27
รูปที่ 4.2 ลักษณะรูปร่างอนุภาคของผง PZT จากกล้อง optical microscope	29
รูปที่ 4.3 การกระจายของขนาดอนุภาคของสารแขวนลอย PZT 60% โดยน้ำหนัก.....	30
รูปที่ 4.4 ค่า zeta potential ของสารแขวนลอยที่ความเข้มข้นของ Displex A40 ต่าง ๆ.....	31
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน (shear rate) และความหนืดของสารแขวนลอย PZT ที่ปริมาณ Displex A40 ที่แตกต่างกัน.....	32
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Displex A40 และความหนืดที่ shear rate 46.5 และ 93 /s ของสารแขวนลอย PZT.....	34
รูปที่ 4.7 ความหนืดของสารแขวนลอย PZT ที่ shear rate 46.5 /s เมื่อเวลาผ่านไป 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง ที่ปริมาณ Displex A40 ต่าง ๆ.....	35
รูปที่ 4.8 ค่า pH ของสารแขวนลอย PZT เมื่อเวลาผ่านไป 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง ที่ปริมาณ Displex A40 ต่าง ๆ.....	36
รูปที่ 4.9 การตกตะกอนของสารแขวนลอยที่เตรียมด้วยปริมาณ Displex A40 ต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน.....	38
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Displex A40 และสัดส่วนของความสูงของตะกอน (h) กับความสูงของสารแขวนลอย PZT เริ่มขึ้น (h ₀).....	38
รูปที่ 4.11 การกระจายของขนาดอนุภาคของสารแขวนลอย PZT 60% โดยน้ำหนัก ที่เติม Displex A40 1% โดยน้ำหนักของของแข็งที่มี pH เป็น 3.2 , 10.1 และ 11.9.....	40
รูปที่ 4.12 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสารแขวนลอยที่มี pH เป็น 3.2, 10.1 และ 11.9	40
รูปที่ 4.13 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคในสารแขวนลอย PZT ในน้ำที่มีค่า pH ต่าง ๆ.....	41

รูปที่ 4.14	รูปแบบการดูดซับของ anionic polyelectrolyte บนผิวของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงตาม pH และความเข้มข้นของไอออนในสารแขวนลอย (ionic strength)	43
รูปที่ 4.15	โมเดลของอนุภาคในสารแขวนลอย PZT	45
รูปที่ 4.16	การตกตะกอนของสารแขวนลอย PZT ที่มี pH เป็น 3.2 , 10.1 และ 11.9 เมื่อเวลาผ่านไป	46
รูปที่ 4.17	สัดส่วนความสูงของการตกตะกอนของสารแขวนลอย PZT ที่มี pH เป็น 3.2 , 10.1 และ 11.9 เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน.....	46
รูปที่ 4.18	ความหนืดของสารแขวนลอย PZT ที่มี pH เป็น 3.2 , 10.1 และ 11.9.....	47
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับของสารช่วยกระจายตัว ammonium polyacrylate ในรูปของ Dispex A40 บนพื้นผิวอนุภาค PZT ในสารแขวนลอยที่ pH ต่าง ๆ.....	48