



247527

ผลของการอ่านกระดาษแก้วนิโม่เหนียวชนิดฉนวนไฟฟ้าที่มีผลต่อพฤติกรรมการกระโดดของ  
สารแขวนลอยแบบเบรคเกอร์โคเน็คไทเทเนียมในน้ำสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก

นางสาวอุกฤษฏ์ ชื่นทองโก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี ภาควิชาวิศวกรรม  
เคมี วิทยาลัยปิโตรเคมีและเทคโนโลยีปิโตรเคมี  
ปีการศึกษา 2549  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๖๐๐๒๕๒๓๕๑

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247527

ผลของสารช่วยกระจายตัวแอมโมเนียมพอลิอะคริเลตต่อพฤติกรรมการกระจายตัวของ  
สารแขวนลอยเลดเซอร์โคเนตไททาเนตในน้ำสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อเทป



นางสาวฤติรัตน์ สันตะโก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา ๒๕๔๙  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 7 7 2 4 4 4 6 2 3

**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**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของสารช่วยกระจายตัวแอมโมเนียมพอลิอะคริเลต  
ต่อพฤติกรรมการกระจายตัวของสารแขวนลอย  
เลคเชอร์โคเคนต์ไททานเนียมสำหรับการขึ้นรูปด้วย  
วิธีหล่อเทป

โดย

นางสาวฤติรัตน์ สันตะโก

สาขาวิชา

เทคโนโลยีเซรามิก

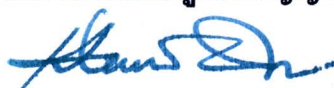
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร.นิศานาถ ไตรผล

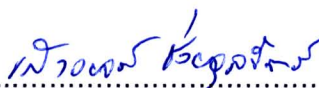
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล

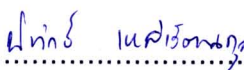
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์  
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

  
.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(อาจารย์ ดร.นิศานาถ ไตรผล)

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

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดนัย อารยะพงษ์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริณว 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.นิศานาถ ไตรผล ,  
อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล, 62 หน้า

247527

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  
ติกระหว่างอนุภาค ส่งผลให้อนุภาคกระจายตัวได้ดีและสารแขวนลอยมีความเสถียรสูง  
นอกจากนี้ยังพบว่า สารแขวนลอยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นเบสต้องการสารช่วยกระจายตัว  
ปริมาณน้อยกว่าสารแขวนลอยที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกรดในการทำให้อนุภาคกระจายตัวดี  
และสารแขวนลอยเลดเซอร์โคเนตไททาเนตในน้ำมีความเสถียรสูง

ภาควิชาวัสดุศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....ฤดีรัตน์ สันตะโก  
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....นิต ๒๐  
ปีการศึกษา 2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....นิต ๒๐

# # 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

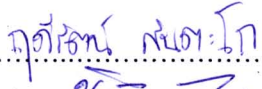
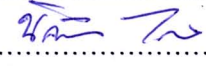
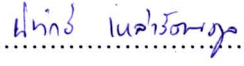
TITANATE AQUEOUS SUSPENSION FOR TAPE CASTING METHOD. THESIS

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

LOARATANAKUL, Ph.D., 62 pp.

247527

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 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่กรุณาสั่งสอนวิชาและให้คำปรึกษาปัญหาต่าง ๆ
4. อาจารย์ ดร.รักษชาติ ไตรผล ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ที่กรุณาให้ความรู้และความช่วยเหลือในการทำวิจัย
5. คุณสุรศักดิ์ ไวยยวงศ์สกุล 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 ปฏิกิริยาการแผ่เพียโซอิเล็กทริก.....                 | 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   |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 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 Displex 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 Displex A40 ต่อสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ .....                                                            | 29 |
| 4.2.1 ผลของปริมาณ Displex 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 Displex 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 |

|                                                                                                               | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.3.3 พฤติกรรมการไหลตัวของสารแขวนลอย.....                                                                     | 46   |
| 4.4 ผลของปริมาณ Displex A40 และค่า pH ต่อการดูดซับของสารช่วยกระจายตัว<br>Displex 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<br>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<br>ต่าง ๆ .....                                                                | 33   |
| ตารางที่ 4.4 ช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ<br>ที่ปริมาณ Dispex A40 ค่าต่าง ๆ ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง .....                        | 35   |
| ตารางที่ 4.5 ช่วงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารแขวนลอย PZT ในน้ำที่ปริมาณ<br>Dispex A40 ค่าต่าง ๆ ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง.....                              | 37   |

## สารบัญรูปภาพ

| รูปภาพ                                                                                                                                                                                | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก .....                                                                                                                                 | 4    |
| รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดของเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก .....                                                                                                                           | 5    |
| รูปที่ 2.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อเทปด้วยดอกเตอร์เบลด .....                                                                                                                           | 6    |
| รูปที่ 2.4 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนิวโทเนียน .....                                                                                                                                 | 7    |
| รูปที่ 2.5 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดเสมือนพลาสติก .....                                                                                                             | 8    |
| รูปที่ 2.6 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดไดลาแทนต์ .....                                                                                                                 | 9    |
| รูปที่ 2.7 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิดพลาสติก .....                                                                                                                   | 9    |
| รูปที่ 2.8 พฤติกรรมการไหลของของไหลแบบนอนนิวโทเนียนชนิด thixotropic และ<br>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<br>repulsion ( $V_R$ ) ของอนุภาคในน้ำ .....                                          | 15   |
| รูปที่ 2.12 ผลของความเข้มข้นของสารช่วยกระจายตัวต่อ zeta potential และ pH<br>ของสารแขวนลอย PLZT 1% โดยปริมาตร .....                                                                    | 17   |
| รูปที่ 2.13 การตกตะกอนของสารแขวนลอย PZT และ BaTiO <sub>3</sub> ในน้ำที่ 5% โดยปริมาตร<br>ณ ค่า pH ต่าง ๆ .....                                                                        | 17   |
| รูปที่ 2.14 Zeta potential ของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ 1% โดยปริมาตรที่ค่า pH<br>ต่าง ๆ .....                                                                                             | 18   |
| รูปที่ 2.15 Zeta potential ณ pH ต่าง ๆ ของสารแขวนลอย BaTiO <sub>3</sub> ที่เติมปริมาณ<br>สารช่วยกระจายตัวแตกต่างกัน .....                                                             | 19   |
| รูปที่ 2.16 การดูดซับของ PAA-NH <sub>4</sub> บนพื้นผิวที่เติมสารช่วยกระจายตัวปริมาณต่าง ๆ<br>ในช่วง pH 6 – 11 .....                                                                   | 19   |
| รูปที่ 2.17 ปริมาณการดูดซับของ poly (acrylic acid) (PAA), lignosulphonate (LS)<br>และ comb copolymer (CP) บนพื้นผิว alumina เมื่อเติมสารช่วยกระจายตัว<br>ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ..... | 20   |
| รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำที่ปริมาณ<br>สารช่วยกระจายตัวต่าง ๆ .....                                                                            | 22   |

| รูปภาพ                                                                                                                                                                                                                 | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาลักษณะของค่า pH ต่อสมบัติของสารแขวนลอย PZT ในน้ำ.....                                                                                                                              | 23   |
| รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาลักษณะของค่า 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 เริ่มต้น ( $h_0$ ).....                                                                                 | 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 Displex A40 บนพื้นผิวอนุภาค PZT ในสารแขวนลอยที่ pH ต่าง ๆ..... | 48 |