



ผลของการดูดซับโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนตผสมกับ  
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อเสถียรภาพการกระจายตัว  
ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิก

Effect of Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Mixed  
Polyvinyl alcohol Adsorption on the Dispersion  
Stability of Ceramic Glaze Suspension

ปรีชา ปัญญา

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

E-mail : preecha@kpru.ac.th

**บทคัดย่อ**

ศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกรวมกัน 4 อนุภาค ได้แก่ เกลือหินปูน คออร์ทซ์ และเฟลด์สปาร์ ที่ได้จากการดูดซับสารพอลิเมอร์ชนิดที่ไม่มีประจุ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (เอสดีบีเอส) ทั้งแบบเดี่ยว ๆ และแบบผสม ใช้การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและศักย์ซีต้าที่ค่าความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว ต่างๆกันเพื่อให้เข้าใจเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่กำหนดค่าความแรงไอออนคงที่เป็น 0.01 โมลาร์โซเดียมคลอไรด์ และพีเอชเท่ากับ 9 ผลการศึกษา พบว่า การดูดซับพีวีเอบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกมีค่าศักย์ซีต้าลดลงและมีค่าเสถียรภาพการกระจายตัวต่ำ ส่วนการดูดซับพีวีเอเมื่อผสมกับเอสดีบีเอสมีปริมาณสูงกว่า การดูดซับพีวีเอเดี่ยว ๆ และมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวสูงขึ้น โดยเป็นการเพิ่มประจุลบของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดแรงผลักประจุชั้นซ้อนพิเศษเพิ่มขึ้นจากแรงความเคอะระหว่างอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก สำหรับ สิ่งที่น่าสนใจในการดูดซับเอสดีบีเอสคือปริมาณการดูดซับบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับพีวีเอไว้แล้ว (PVA+SDBS) จะต่ำกว่าปริมาณการดูดซับเอสดีบีเอสแบบเดี่ยวๆ แต่ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวมีค่าสูงกว่าการดูดซับแบบเดี่ยวๆ ซึ่งอาจเกิดจากการดูดซับร่วมกันของสารเชิงซ้อนระหว่างพีวีเอกับเอสดีบีเอส (PVA-SDBA complexes) สามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวในแบบผสมกันระหว่างพีวีเอกับเอสดีบีเอส มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงกว่าในแบบเดี่ยวๆ โดยแรงผลักรวมกัน

ของประจุและแรงผลักรวมจากความเกาะกจากการดูดซับสารเชิงซ้อนพิวีเอกับเอสดีบีเอสสามารถเพิ่มเสถียรภาพการกระจายตัวได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เติม

### ABSTRACT

The dispersion stability of ceramic glaze particles, including kaolin, limestone, quartz and feldspar suspension, achieved through adsorption of single and mixed of uncharged polymer polyvinyl alcohol (PVA) and anionic surfactant sodium dodecylbenzene sulfonate (SDBS) were investigated. Both adsorption isotherms and the zeta potential were studied in order to understand the dispersion stability as a function of polymer and surfactant concentration at pH 9 and 0.01 M NaCl. It was found that the PVA strongly adsorbed on the ceramic glaze and the zeta-potential decreased slowly upon addition. The stability of these dispersions is relatively poor. The higher adsorption of PVA onto ceramic glaze particles was obtained using pre-adsorbed SDBS ceramic glaze particles. This lead to improve stability by introducing additional negative charges on the polymer chain giving rise to an extra electrical double layer repulsive force in addition to the steric force between ceramic glaze particles. It was interesting that the adsorption of SDBS on ceramic glaze particles in the pre-adsorbed PVA (PVA+SDBS) was lower than that of single SDBS, but the dispersion stability was higher than the single SDBS adsorption. It was probably due to cooperative adsorption of PVA-SDBS complexes. It can be concluded that the optimum condition for addition of PVA and SDBS influenced the dispersion stability of ceramic glaze component suspensions. Either electrical double layer repulsion or steric repulsion from PVA-SDBS complexes adsorption can increase dispersion stability depending on the concentration of surfactant or polymer added.

**คำสำคัญ:** โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เสถียรภาพการกระจายตัว การดูดซับน้ำเคลือบเซรามิก

**Keywords:** Sodium dodecylbenzene sulfonate, Polyvinyl alcohol, Dispersion stability, Adsorption, Ceramic glaze

### 1. บทนำ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบจากแหล่งทรัพยากรภายในประเทศและเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่รองรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกได้ถูกพัฒนาการผลิตจาก

อุตสาหกรรมภายในครอบครัวขนาดเล็กจนถึงระดับประเทศเพื่อได้ผลิตภัณฑ์สำหรับการส่งออก การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกในปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การผสมเป็นรูปร่าง การขึ้นรูป การเคลือบ และการเผา โดยขั้นตอน

การเคลือบ (glazing) เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะเป็นการเคลือบรูปร่างเซรามิกให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในกระบวนการทำน้ำเคลือบ มีองค์ประกอบที่ต่างกักันตามแต่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยองค์ประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน ซึ่งบดผสมกันเป็นผงละเอียด และรวมกับน้ำผสมให้เข้ากันเพื่อนำไปเคลือบบนรูปเซรามิก แล้วทำให้แห้ง ก่อนที่จะนำไปเผาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป (Panya et al., 2005)

ผลิตภัณฑ์ เซรามิก ส่วนมากจะมีการเคลือบเพื่อให้เกิดความสวยงามและง่ายต่อการทำความสะอาด ซึ่งน้ำเคลือบที่ใช้ต้องเหมาะสมกับชนิดและสมบัติของเนื้อดินปั้น มิฉะนั้น จะเกิดตำหนิบนผลิตภัณฑ์ได้ไม่ว่าจะเป็นเคลือบไม่สุก ผิวด้าน เคลือบหลุดร่อนออกจากผิวผลิตภัณฑ์หรือหากเคลือบสุกตัวที่มีความมันวาว สดใสก็อาจจะแตกร้าว ที่เรียกว่าเคลือบรานหรือเคลือบแตกกลายงาได้ โดยสาเหตุที่สำคัญ คือ อนุภาคในน้ำเคลือบจะเกิดการนอนกัน (sedimentation) อยู่ที่ส่วนล่างของน้ำเคลือบอย่างรวดเร็ว หรือเกิดการกระจายตัว (dispersion) ต่ำภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก และทำให้กระจายตัวกลับคืนได้ยาก ทำให้ในกระบวนการเคลือบเกิดได้ไม่ดี พื้นผิวที่เคลือบจะไม่เรียบและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพต่ำ เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเซรามิก จึงมีงานวิจัยที่พยายามค้นคว้าหาวิธีการแก้ปัญหาเพื่อควบคุมกระบวนการกระจายตัวในน้ำเคลือบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพสูง โดยการเติมสารที่ช่วยทำให้เกิดกระจายตัวได้ดี (dispersant) ได้แก่ สารพอลิเมอร์ สารอนินทรีย์ และสารลดแรงตึงผิว เป็นต้น (Panya et al., 2005) ซึ่งสารจำพวกนี้จะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคของน้ำเคลือบ ทำให้เกิดผลของแรงผลักจากความเกะกะ (steric

repulsion) ของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับ และแรงผลักจากประจุชั้นซ้อน (electrical double layer repulsion) จะช่วยทำให้อนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเกิดเสถียรภาพการกระจายตัว (dispersion stability) คือกระจายตัวได้ดีขึ้นหรือนานขึ้นในน้ำเคลือบ แต่ที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่สามารถอธิบายกลไกของการเกิดเสถียรภาพนี้ได้อย่างชัดเจน (Satchawan et al., 2014)

ที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวไอออนิกที่มีต่อเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีส่วนประกอบรวมกัน 4 ตัว ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาลิน โดยศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซททิลพิริดิเนียมคลอไรด์ (CPC) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาลิน พบว่าการดูดซับ CPC เกิดได้ดีบนประจุลบของอนุภาคในน้ำเคลือบทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคดีขึ้นที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุด (Panya et al., 2004) และต่อมาได้ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ SDBS ที่มีผลต่อเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิก พบว่าการเติม SDBS สามารถเพิ่มเสถียรภาพการกระจายตัวได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ SDBS ที่เติม (Satchawan et al., 2014)

สำหรับการดูดซับสารลดแรงตึงผิวไอออนลบ ผสมกับสารพอลิเมอร์นั้น ได้มีรายงานการศึกษาการดูดซับ SDBS ผสมสารพอลิเมอร์ประจุลบ ได้แก่ โซเดียมโพลี-อะครีเลต (NaPAA) บนเกาลิน พบว่า ปริมาณการดูดซับ SDBS ลดลงจากผลของการดูดซับ NaPAA ก่อน (pre-adsorbed) เนื่องจากทั้งคู่มีประจุลบเหมือนกัน ทำให้เกิดการแข่งขันในการดูดซับ เมื่อเติม NaPAA ลง

ไปก่อน ทำให้ปริมาณการดูดซับ SDBS ที่เติมที่หลังลดลง (Sjöberg et al., 1999) ส่วนการศึกษาการดูดซับสารพอลิเมอร์ไม่มีประจุ ได้แก่ พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ผสมกับสารลดแรงตึงผิว SDBS บนอนุภาคเกาหลิน พบว่ากลไกการดูดซับ SDBS ที่มีผลของ PVP จะเกิดโดยการแลกเปลี่ยนประจุที่ขอบ (edges) ของอนุภาคเกาหลิน โดยการรวมตัวของสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว (Torn et al., 2003) ต่อมาได้มีรายงานการดูดซับสารพอลิเมอร์ ได้แก่ PVA กับสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ SDBS ที่ผิวสัมผัสของเหลวกับน้ำมัน พบว่า เกิดการดูดซับสารเชิงซ้อนระหว่างสารพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิวที่หยดของอิมัลชันระหว่างน้ำกับน้ำมัน ทำให้ค่าของศักย์ซีตามีค่าเพิ่มขึ้น (Nambam and Philip, 2012)

ดังนั้น เพื่อเป็นการศึกษาการดูดซับที่ทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น ในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการดูดซับสารผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ SDBS และสารพอลิเมอร์ ได้แก่ PVA ที่มีผลต่อการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบที่มีอนุภาค 4 ตัวรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาหลิน เพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการทำน้ำเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิกต่อไป

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (sodium dodecylbenzene sulfonate, SDBS (>98%) จากบริษัท Fluka ประเทศ Switzerland สารพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) (>98%) มีมวลโมเลกุลเฉลี่ย 18,000 g/mol

บริษัท Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบน้ำเคลือบเซรามิกทุกตัวใช้เกรดวิเคราะห์ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ (feldspar,  $\text{KNa} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) 98% หินปูน (calcium carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) 96% ควอร์ตซ์ (quartz,  $\text{SiO}_2$ ) 99% และเกาหลิน (kaolin,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) >99%

### 2.2 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์

การศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) ของ SDBS โดยเตรียมสารละลาย SDBS ความเข้มข้นต่างๆ ที่มีสภาวะของสารละลายที่ควบคุมความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl และ pH = 9 แล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า นำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้ไปเขียนกราฟกับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว แล้วหาจุดที่เส้นกราฟเกิดการหักเหไป เป็นค่าของ cmc จากนั้นเตรียมสารละลาย SDBS ความเข้มข้นต่างๆ เหมือนเดิม แต่เติมสารละลาย PVA เข้มข้น 50 100 และ 200 mg/L เพื่อดูผลของ PVA มีต่อค่า cmc

### 2.3 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

การศึกษาการดูดซับ SDBS และ PVA แบบเดี่ยวๆ บนพื้นผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนที่มีผลต่อการดูดซับเท่ากับ 0.01 M NaCl ในการศึกษาการดูดซับใช้วิธี Depletion Method (Lo et al., 2012) โดยคำนวณจากสมการ (1)

$$q_e = \frac{[C_{in} - C_e] \times V(\text{mL})}{1000 \times w} \quad (1)$$

เมื่อ

$q_e$  = ปริมาณการดูดซับ

$C_{in}$  = ความเข้มข้นเริ่มต้น

$C_e$  = ความเข้มข้นที่สมดุล

$V$  = ปริมาตรสารละลายที่ใช้

และ

$w$  = มวลของน้ำเคลือบเซรามิกที่ใช้

โดยหาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารก่อนและหลังการดูดซับโดยใช้เครื่อง UV - Visible Spectrophotometer (Perkins Elmer, USA) ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำมาเขียนกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารโดยใช้เทคนิคเขียนกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) สำหรับความยาวคลื่นที่ใช้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสงของ SDBS เท่ากับ 223 นาโนเมตร (Panya et al., 2004) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับสารพอลิเมอร์ PVA จะใช้วิธี colorimetry โดยทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีกับ  $I_2$  และ Boric acid แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 690 นาโนเมตร (Silvia et al., 2005)

สำหรับการหาปริมาณการดูดซับสูงสุดของ SDBS และ PVA แบบเดี่ยวๆ จะนำข้อมูลการดูดซับตามสมการ (1) มาเขียนกราฟตามไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ดังสมการที่ (2) (Satchawan et al., 2014)

$$\frac{C_e}{q_e} = \left( \frac{1}{q_m b} \right) + \left( \frac{C_e}{q_m} \right) \quad (2)$$

เมื่อ  $q_m$  = ปริมาณการดูดซับสูงสุดแบบชั้นเดียว

$b$  = ค่าคงที่ของการดูดซับแบบแลงเมียร์

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์โดยให้  $C_e/q_m$  เป็นแกน  $y$  และ  $C_e$  เป็นแกน  $x$  จะได้ค่าความชันเท่ากับ  $1/q_m$  และจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ  $1/b \cdot q_m$

สำหรับการศึกษาการดูดซับ PVA ผสมกับ SDBS บนพื้นผิวอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีวิธีการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาการดูดซับแบบเดี่ยว ๆ แต่ปริมาณการเติม PVA หรือ SDBS ตัวที่ 1 ก่อนที่จะเติม PVA หรือ SDBS ตัวที่ 2 ผสมลงไปนั้น จะใช้ปริมาณการเติม PVA หรือ SDBS ตัวที่ 1 ในหน่วย mg/g หรือ  $\mu\text{mol/g}$  ที่ต้องสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุด ( $q_m$ ) ของ PVA หรือ SDBS

แบบเดี่ยวๆ ที่ได้จากการคำนวณตามสมการแบบแลงเมียร์ (ตารางที่ 3)

## 2.4 การศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก

การศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ใช้วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm เพื่อบอกค่าเสถียรภาพการกระจายตัวโดยใช้ชุดการทดลองเหมือนกับการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวในหัวข้อที่ 2.3 นำสารละลายที่ได้จากการดูดซับไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ 500 นาโนเมตร บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น ( $A_1$ ) และที่เวลาใดๆ ( $A_2$ ) สำหรับค่า  $A_2/A_1$  เรียกว่า ค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ (relative absorbance) ซึ่งถ้าค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์มีค่ามากแสดงว่าสารละลายแขวนลอยมีเสถียรภาพการกระจายตัวสูง แต่ถ้าค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์มีค่าน้อยแสดงว่ามีเสถียรภาพการกระจายตัวต่ำ คือมีแนวโน้มนอนกันเร็วกว่า (Esumi et al., 1998 ; Satchawan et al., 2014)

## 2.5 การศึกษาศักย์ซีตา (zeta potential) ของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก

เตรียมสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิก 10 wt% โดยเติม PVA หรือ SDBS ให้สอดคล้องกับปริมาณการดูดซับในหน่วย mg/g และ  $\mu\text{mol/g}$  ของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จากนั้นคนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำสารละลายแขวนลอยผสมที่ได้ไปวัดค่าศักย์ซีตาโดยใช้เครื่อง AcoustoSizer II ยี่ห้อ Colloidal Dynamics ประเทศออสเตรเลีย ตามวิธีการของ Franks (2002) โดยค่าศักย์ซีตาเฉลี่ยคำนวณได้จากทฤษฎีแบบสองชั้น (O'Brien, 1990)

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1. ผลการศึกษาสมบัติของอนุภาคที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิก

สมบัติของน้ำเคลือบเซรามิกและอนุภาคที่ใช้ทำเป็นน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาลิน ได้แก่ ความหนาแน่นโดยใช้เทคนิคพิคโนเมตรี (pycnometry) การหาพื้นที่ผิวของอนุภาคโดยใช้สมการบีอีที (BET) และการหาขนาดอนุภาคโดยใช้เทคนิค laser particle sizers ของเครื่อง Mastersizer ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของอนุภาคแต่ละชนิดในน้ำเคลือบเซรามิก และน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน

อนุภาค	wt%	ความหนาแน่น (g/mL)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดอนุภาค (~m)
เกาลิน	27	2.6	16.5	15.89
หินปูน	28	2.8	2.6	13.11
ควอร์ตซ์	20	2.6	2.7	23.43
เฟลด์สปาร์	25	2.5	1.1	16.53
น้ำเคลือบเซรามิก	100	2.8	9.7	15.33

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (cmc) ของ SDBS เมื่อเติม PVA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตัวทำละลาย	ความเข้มข้น PVA ที่เติม (mg/L)	ค่า cmc (mM)
น้ำปราศจากไอออน	0	2.00
0.01 M NaCl และ pH = 9	0	0.90
0.01 M NaCl และ pH = 9	50	0.60
0.01 M NaCl และ pH = 9	100	0.42
0.01 M NaCl และ pH = 9	200	0.20

#### 3.3. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

##### 3.3.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

รูปที่ 1 แสดงการดูดซับ PVA บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิก โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ที่มีต่อการดูดซับ พบว่าปริมาณการดูดซับ PVA เต็มๆจะต่ำกว่าปริมาณการดูดซับ PVA บน

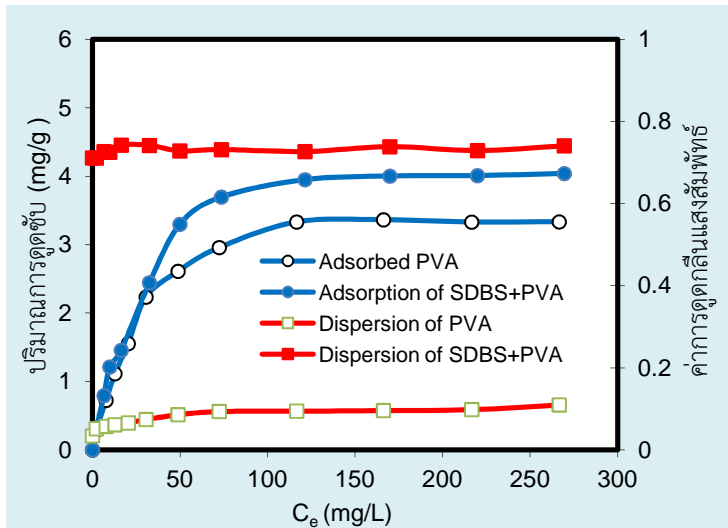
#### 3.2 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวเนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (cmc) ของ SDBS เนื่องจากผลของการเติม PVA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีสภาวะของสารละลายที่ควบคุมความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl และ pH = 9 โดยใช้เทคนิค Conductometry ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า รุ่น 4071 ยี่ห้อ Jenway ประเทศอังกฤษ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

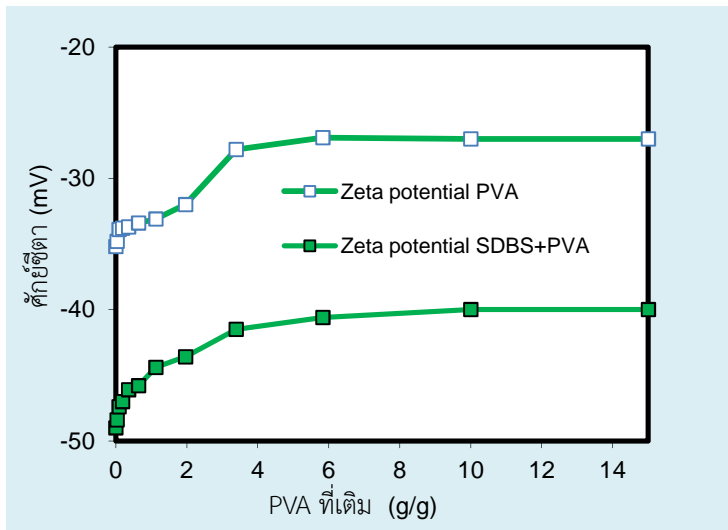
อนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS ไว้แล้ว (ใช้สัญลักษณ์ SDBS+PVA) สำหรับค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิก เนื่องจากผลของการดูดซับ PVA พบว่า ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ PVA เต็มๆ จะต่ำกว่าค่าเสถียรภาพ

การกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS ไว้แล้ว (SDBS+PVA) แสดงว่าผลของการเติม SDBS มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ PVA เพิ่มขึ้น และมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้น

ด้วย ส่วนรูปที่ 2 แสดงค่าศักย์ซีตาของบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับ PVA และการดูดซับ SDBS ผสมกับ PVA (SDBS+PVA) พบว่าค่าศักย์ซีตามีค่าเป็นลบลดลงจากเดิมทั้งสองกรณี



รูปที่ 1 เสถียรภาพการกระจายตัวที่เกิดจากการดูดซับ PVA แบบเดี่ยวๆ และแบบผสม (SDBS+PVA)



รูปที่ 2 ค่าศักย์ซีตาของอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับ PVA และแบบเดี่ยวๆ และแบบผสม (SDBS+PVA)

### 3.3.2 โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS)

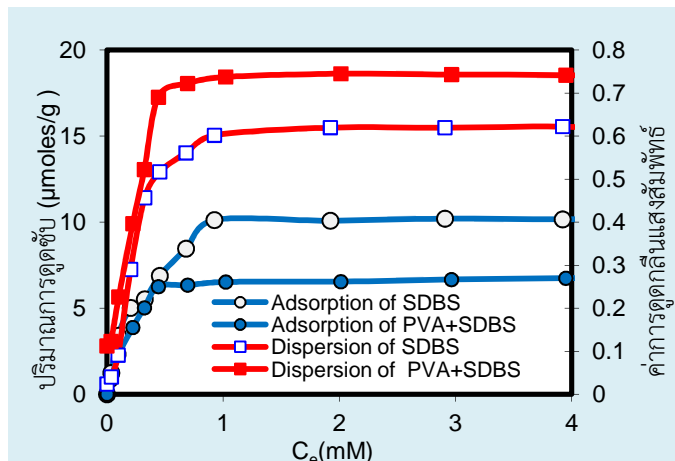
รูปที่ 3 แสดงผลการดูดซับ SDBS บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า เมื่อเริ่มต้นความเข้มข้น SDBS ต่ำๆ การดูดซับ SDBS แบบเดี่ยวๆ จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับ SDBS แบบผสม (PVA +SDBS) จากนั้นเมื่อความเข้มข้น SDBS เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกับจุด cmc (ตารางที่ 2) และพบว่าปริมาณการดูดซับ SDBS แบบผสมจะต่ำกว่าปริมาณการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ โดยปริมาณการดูดซับ SDBS สูงสุดแบบผสมจะคงที่ก่อนการดูดซับ SDBS สูงสุดเดี่ยว ๆ เนื่องจากค่า cmc ของ SDBS ที่มีผลของ PVA มีค่าต่ำกว่า

การศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากการดูดซับ SDBS (รูปที่ 3) พบว่า การดูดซับ SDBS จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ SDBS ต่ำๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างช้า ๆ จนกระทั่ง

เมื่อความเข้มข้นของ SDBS เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่จุดใกล้เคียงกับจุด cmc จากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ SDBS แบบเดี่ยวๆ และแบบผสม (PVA +SDBS) สิ่งที่น่าสนใจคือ แม้ว่าปริมาณการดูดซับ SDBS แบบผสมจะต่ำกว่าปริมาณการดูดซับ SDBS เดี่ยวๆ แต่สามารถทำให้ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกมีค่าสูงกว่าผลของการดูดซับ SDBS เดี่ยวๆ

ส่วนรูปที่ 4 แสดงค่าศักย์ซีตาของอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการเติมสาร SDBS และการดูดซับ PVA ผสมกับ SDBS (PVA+SDBS) พบว่าค่าศักย์ซีตามีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้นจากเดิมทั้งสองกรณี

เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนไอโซเทอร์มการดูดซับตามแบบแลงเมียร์ (สมการที่ 2) พบว่าทั้งการดูดซับ PVA และการดูดซับ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกเป็นไปตามสมการแบบแลงเมียร์ โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3

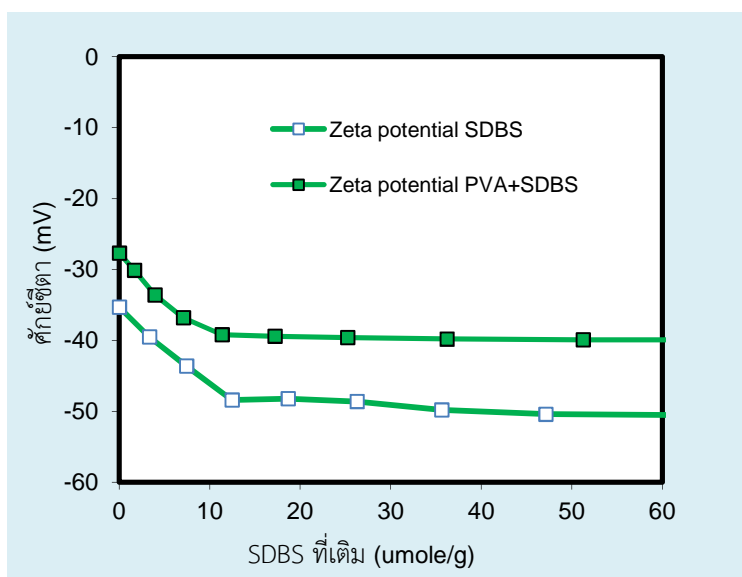


รูปที่ 3 เสถียรภาพการกระจายตัวที่เกิดจากการดูดซับ SDBS แบบเดี่ยวๆ และแบบผสม (PVA+SDBS)



ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์จากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์

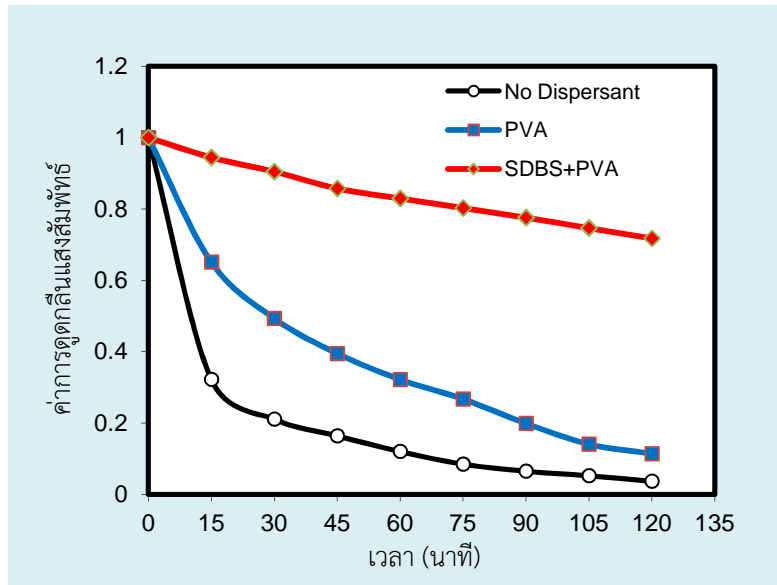
สารช่วยกระจายตัว	ค่าพารามิเตอร์ของแลงเมียร์	
	$q_m$	$r^2$
PVA	3.66 (mg/g)	0.9996
SDBS+PVA	4.43 (mg/g)	0.9805
SDBS	10.66 ( $\mu\text{mol/g}$ )	0.9970
PVA+SDBS	6.90 ( $\mu\text{mol/g}$ )	0.9982



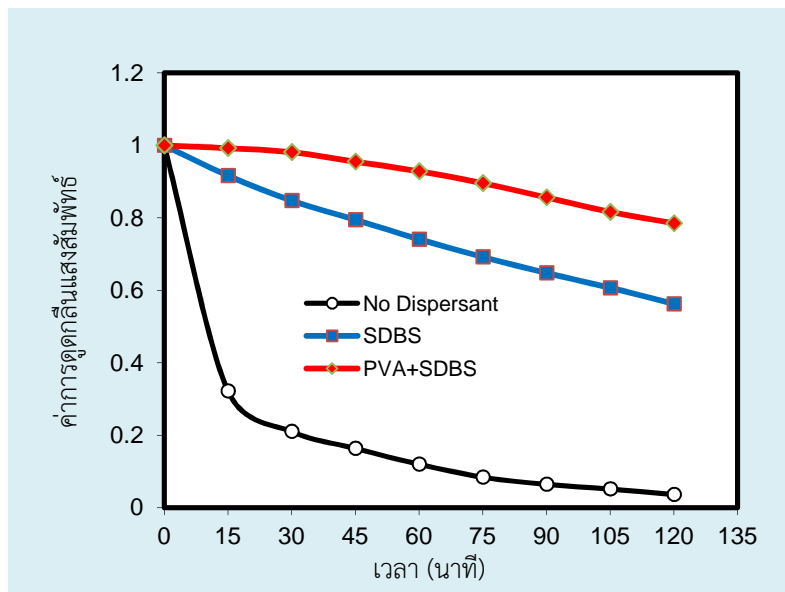
รูปที่ 4 ค่าศักย์ซีตาของบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับ SDBS เพียงอย่างเดียวและแบบผสม (PVA+SDBS)

รูปที่ 5 และ 6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์ที่เวลาต่างๆ ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิก เนื่องจากผลของการเติม PVA และ SDBS แบบเดี่ยวๆ และแบบผสมระหว่าง PVA กับ SDBS โดยเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้เติมสารใดๆ พบว่า สารแขวนลอยของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ จะมีการดูดกลืนแสงสัมพันธ์ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าเริ่มต้นภายในเวลา 8 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติม SDBS

PVA+SDBS และ SDBS+PVA ค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์จะลดลงอย่างช้าๆ โดยเวลาที่ใช้ในการลดลงครึ่งหนึ่งเกินกว่า 3 ชั่วโมง (ตารางที่ 4) สำหรับการเติม PVA เพียงอย่างเดียวทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์ลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 28 นาที แต่เมื่อผสมกับ SDBS มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงช้ากว่า โดย ให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง



รูปที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ที่เวลาต่างๆ จากการเติมสาร PVA และ SDBS+PVA และที่ไม่ได้เติม



รูปที่ 6 ค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ที่เวลาต่างๆ จากการเติมสาร SDBS และ PVA+SDBS และที่ไม่ได้เติม

ตารางที่ 4 ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก เนื่องจากการดูดซับ PVA และ SDBS

เวลาที่สารช่วยกระจายตัว	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm				
	หลังเขย่า (เริ่มจับเวลา)	ครึ่งหนึ่งของค่า การดูดกลืนแสงหลังเขย่า	เวลาที่ค่าการดูดกลืนแสง ลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง	ค่าการดูดกลืนแสง หลังทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง	
1	ไม่เติม	3.050	1.525	8 นาที	0.112
2	PVA	3.080	1.540	28 นาที	0.354
3	SDBS+PVA	3.204	1.602	243 นาที	2.354
4	SDBS	3.310	1.655	190 นาที	1.880
5	PVA+SDBS	3.144	1.572	223 นาที	2.487

#### 4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

##### 4.1 การดูดซับเดี่ยวและค่าเสถียรภาพการกระจายตัว

การดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า สามารถเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ยืนยันได้จากค่าศักย์ซีตาเป็นลบลดลง (รูปที่ 2) เนื่องจากการดูดซับ PVA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุจึงมีผลทำให้ที่ผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีประจุลดลง โดยกลไกการดูดซับ PVA สามารถดูดซับได้ทั้ง hydrophobic siloxane groups ของพื้นผิวซิลิกา กับกลุ่ม OH<sup>-</sup> ของสายโมเลกุล PVA ที่ขอบของพื้นผิวเกลิติน และที่ผิวควอร์ทซ์กับเฟลสปาร์ ในน้ำเคลือบเซรามิก สอดคล้องกับการศึกษาของ Tadros (1974) และ Sjöberg et al. (1999) และ Silvia et al. (2005) ที่รายงานไว้ว่ากลไกการดูดซับ PVA เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ OH<sup>-</sup> ของสายโมเลกุล PVA กับกลุ่ม silanol อิสระของซิลิกา และดินเกลิติน

การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ ได้แก่ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า การดูดซับ SDBS เกิดได้บนอนุภาคที่มีประจุบวก ในน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ หินปูน และที่ขอบของอนุภาคเกลิติน (Sjöberg et al., 1999) นอกจากนี้ ยัง

สามารถเกิดอันตรกิริยาของส่วนที่ไม่มีประจุกับผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก (hydrophobic interactions) (Torn et al., 2003) การดูดซับ SDBS สามารถยืนยันได้จากการศึกษาศักย์ซีตา กล่าวคือ การดูดซับ SDBS ทำให้ค่าศักย์ซีตาสูงขึ้นถึง -50 mV (รูปที่ 4) ซึ่งทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวได้ดี เนื่องจากเกิดแรงผลักจากประจุชั้นซ้อนของโมเลกุลที่ดูดซับ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Panya et al., 2004 ; Panya et al., 2005) โดยที่ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่จุดสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุด (รูปที่ 3)

##### 4.2 การดูดซับผสมและค่าเสถียรภาพการกระจายตัว

ปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับแบบผสม (SDBS+PVA) จะมีปริมาณสูงกว่าการดูดซับ PVA เดี่ยว ๆ (รูปที่ 1) และพบว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก สูงกว่าผลของการดูดซับ PVA แบบเดี่ยวๆ เช่นกัน การดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกมีค่าศักย์ซีตาลดลง (รูปที่ 2) และมีค่าเสถียรภาพการกระจายตัวต่ำ ส่วนการดูดซับ PVA เมื่อผสมกับ SDBS มีปริมาณสูงกว่าการดูดซับ PVA เดี่ยวๆ และมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวสูงขึ้น

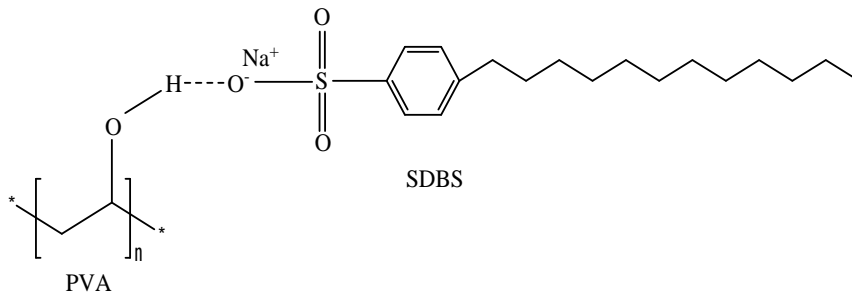
โดยอาจเป็นการเพิ่มประจุลบของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดแรงผลักประจุชั้นซ้อนพิเศษเพิ่มขึ้นจากแรงความเคระหว่างอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก (Torn et al., 2003 ; Song et al., 2011)

จากการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว โดยเลือกเติมที่ความเข้มข้นที่สอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุดตามสมการแบบแลงเมียร์ (ตารางที่ 3) มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกได้แก่ เมื่อผสม SDBS กับ PVA มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์จะลดลงช้ากว่า (รูปที่ 5) กรณีไม่ได้เติมหรือกรณีการเติมแบบเดี่ยวๆ โดยผลของ SDBS+PVA มีเสถียรภาพสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมงอธิบายได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่จุด cmc หรือสูงกว่าจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับแบบผสม (SDBS+PVA) และการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับแบบผสม (PVA+SDBS) โดยสอดคล้องกับรายงานที่ว่า ในการรวมกันของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เกิดไมเซลล์จะเริ่มเกิดขึ้นที่จุดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับหรือสูงกว่าค่า cmc (Mateos et al., 1997)

สำหรับสิ่งที่น่าสนใจในการดูดซับ SDBS คือ ปริมาณการดูดซับบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับแบบผสม(PVA+SDBS) มีค่าต่ำกว่าการดูดซับ SDBS แบบเดี่ยวๆ เนื่องจากเมื่อเกิดการดูดซับ PVA เป็นลำดับแรกไว้ที่ผิวแล้วทำให้มีเฉพาะโมเลกุล SDBS บางส่วนที่เกิดการดูดซับที่ผิวประจุบวกได้แก่ ผิวหินปูน

และที่ขอบของเกลติน และที่ผิวที่ดูดซับ PVA ไว้โดยเกิดสารเชิงซ้อนกับ PVA ได้ แต่มีโมเลกุล SDBS อีกส่วนหนึ่งไม่สามารถเกิดการดูดซับบนอนุภาคประจุบวกของน้ำเคลือบเซรามิกได้ เนื่องจากที่ผิวของเกลตินในน้ำเคลือบมีประจุบวกที่ลดลงไปเนื่องจากการเกิดการดูดซับ PVA (ที่ไม่มีประจุ) ทำให้ปริมาณการดูดซับลดลงสอดคล้องกับการศึกษาของ Torn et al. (2003) ที่รายงานไว้ว่า กลไกการดูดซับ SDBS ที่ผิวของเกลตินลดลงเนื่องจากผลของสารพอลิเมอร์พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) และตามการอธิบายของ Borush et al. (2010) ที่ว่า ในระบบที่มี PVA กับสารโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) พบว่า ไมเซลล์ของ SDS ทั้งหมดเกิดการรวมกับสายโซ่ของ PVA ส่วนสายโซ่ PVA ส่วนที่เหลืออาจจะอยู่ล้อมรอบไมเซลล์ ทำให้เกิดการบดบังโมเลกุล SDS ได้

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปริมาณการดูดซับ SDBS แบบผสม (PVA +SDBS) จะต่ำกว่าการดูดซับ SDBS แบบเดี่ยวๆ แต่ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวกลับมีค่าสูงกว่า และค่าศักย์ซีตาเป็นลบเพิ่มขึ้นจาก -28 mV เป็น -40 mV (รูปที่ 4) ซึ่งอาจเกิดจากการดูดซับร่วมกันของสารเชิงซ้อนระหว่าง PVA กับ SDBS (PVA-SDBA complexes) ตามการอธิบายของ Negim et al. (2014) ที่รายงานไว้ว่า SDBS สามารถเกิดอันตรกิริยากับ PVA โดยสร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงขึ้นในปูนซีเมนต์ได้ (รูปที่ 7) และตามการอธิบายของ Nambam and Philip (2012) ที่ว่า การดูดซับ PVA กับ SDBS ที่ผิวสัมผัสของเหลวน้ำกับน้ำมันนั้น จะเกิดการดูดซับในรูปของสารเชิงซ้อนระหว่าง PVA กับ SDBS ที่หยดของอิมัลชันระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยค่าของศักย์ซีตามีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่าง PVA กับ SDBS ที่มา (Negim et al., 2014)

จึงสามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวในแบบผสมกันระหว่าง PVA กับ SDBS มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงกว่าในแบบเดี่ยวๆ โดยแรงผลักจากชั้นซ้อนของประจุและแรงผลักจากความเกะกะจากการดูดซับสารเชิงซ้อน PVA กับ SDBS สามารถเพิ่มเสถียรภาพการกระจายตัวได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เติม

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศาสตราจารย์ จอร์จ วี แฟรงก์ส แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมีและชีวะโมเลกุล มหาวิทยาลัยเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลีย สำหรับการวัดค่าศักย์ซีตาโดยใช้เครื่อง Colloidal Dynamics, AcoustoSizer II และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนทุนอุดหนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

Boruah, B., Saikia, P.M. and Dutta, R.K. (2010). Spectrophotometric investigation of the monomer-dimer process of C.I. Basic Blue 9 in aqueous polymer-surfactant system. *Dyes and Pigments* 85: 16-20.

Esumi, K., Iitaka, M. and Koide, Y. (1998). Simultaneous Adsorption of Poly(ethylene oxide) and cationic surfactant at the Silica/Water Interface. *Journal of Colloid and Interface Science* 208: 178-182.

Franks, G.V. (2002). Zeta potentials and the yield stresses of silica in concentrated mono valent electrolytes: isoelectric point shift and additional attraction. *Journal of Colloid and Interface Science* 249: 44-51.

Lo, S.F., Wang, S.Y., Tsai, M.J. and Lin, L.D. (2012). Adsorption capacity and removal efficiency of heavy metal ions by Moso and Ma bamboo activated carbons. *Chemical engineering research and design* 90: 1397-1406.

Mateos, I.G., Perez, S. and Velazquez, M.M. (1997). Interaction between cetyl pyridinium chloride and water-soluble polymers in aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science* 194: 356-363.

Nambam, J.S. and Philip, J (2012). Competitive adsorption of polymer and surfactant at a liquid droplet interface and its effect on flocculation of emulsion. *Journal of Colloid and Interface Science* 366: 88-95.

Negim, E.S., Kozhamzharova, L., Khatib, J., Bekbayeva, L. and Williams, C. (2014). Effects of Surfactants on the Properties of Mortar

- Containing Styrene/ Methacrylate superplasticizer. *The Scientific World Journal*.
- O'Brien, R.W. (1990). The electroacoustic equation for a colloidal suspension. *Journal Fluid Mech.* 212: 81-93.
- Panya, P., Arquero, O., Franks, G.V. and Wanless, E. J. (2004). Dispersion stability of a ceramic glaze achieved through ionic surfactant adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science* 279: 23-35.
- Panya, P., Arquero, O., Wanless, E. J. and Franks, G.V. (2005). The effect of ionic surfactant adsorption on the rheology of ceramic glaze suspensions. *Journal of American Ceramic Society* 88 : 540-551.
- Satchawan, S., Naksata, W., Rattanakawin, C., Thiansem, S, Panya, P., Sooksamiti, P., Scales,P.J. and Arquero, O. (2014). Effect of sodium dodecyl benzene sulfonate on the dispersion stability of ceramic glaze suspension. *Korean Journal Chemical Engineering* 31(6): 1076-1081.
- Silvia, G., de Bussettia and Ferreiro, E.A. (2005). Effect on 2, 2 - bipyridine adsorption of poly (vinyl alcohol) adsorbed on  $\text{Na}^+$  - kaolinite. *Applied Clay Science* 29: 207 - 214.
- Sjöberg, M., Bergström, L., Larsson, A. and Sjöström, E. (1999). The effect polymer and surfactant adsorption on colloidal stability and the rheology of the kaolin dispersions. *Colloids and Surface A* 159: 197-208.
- Song, Y. H., Zhou, J. T., Lan, X. Z., Zhou, J. and Yang, Y. (2011). The Effect of SDBS- $\text{Ag}^+$  Ligand on the Preparation of Flake-Like the silver particles. *Advanced Materials Research* (233-235): 1911-1915.
- Tadros, T.F. (1974). The interaction of cetyltri - methylammonium bromide and sodium dodecylbenzene sulfonate with poly vinyl alcohol adsorption of the polymer-surfactant complexes on silica. *Journal of Colloid and Interface Science* 46: 528-40.
- Torn, L.H., Keizer, A.D., Koopal, L.K. and Lyklema, J. (2003). Mixed adsorption of Polyvinyl pyrrolidone and sodiumdodecylbenzen sulfonate on kaolinite. *Journal of Colloid and Interface Science* 260: 1-8.

