

**เสถียรภาพการกระจายตัวของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จาก
การดูดซับเซทิลพิริดิเนียมคลอไรด์ผสมกับพอลิไวน์ลแอลกอฮอล์**
**Dispersion Stability of Ceramic Glaze Suspension Achieved through Cetylpyridinium
Chloride Mixed with Poly (vinyl alcohol) Adsorption**

ปรีชา ปัญญา¹
Preecha Panya¹

¹อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทคัดย่อ

ศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกรวมกัน 4 อนุภาค ได้แก่ ดินเหนียว หินปูน ควอร์ตซ์ และเฟลด์สปาร์ ที่ได้จากการดูดซับสารพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวน์ลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซทิลพิริดิเนียมคลอไรด์ (ซีพีซี) ทั้งแบบเดี่ยวๆ และสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว โดยกำหนดให้สภาวะสารละลายแขวนลอยของระบบมีค่าความแรงไอออนคงที่เป็น 0.01 โมลาร์ โซเดียมคลอไรด์ และพีเอชเท่ากับ 9 ตลอดจนทดลอง พบว่าสำหรับการดูดซับซีพีซี เมื่อเริ่มต้นจะเกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อนเนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นจากการจับกันเองของส่วนที่ไม่มีประจุ เกิดการดูดซับแบบสองชั้น เมื่อศึกษาการดูดซับสารผสมระหว่างพีวีเอกับซีพีซี พบว่า การดูดซับซีพีซีบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับพีวีเอไว้แล้ว จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับซีพีซีเดี่ยวๆ และค่าเสถียรภาพการกระจายตัวที่ได้จากผลของการดูดซับมีค่าสูงกว่า แสดงว่าผลของการเติมพีวีเอทำให้ปริมาณการดูดซับซีพีซีเพิ่มสูงขึ้นและเพิ่มเสถียรภาพการกระจายตัว ในกรณีการดูดซับพีวีเอบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า การดูดซับพีวีเอเมื่อผสมกับซีพีซีมีปริมาณสูงกว่าการดูดซับพีวีเอเดี่ยวๆ และมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวสูงขึ้นมากกว่าผลที่ได้จากการดูดซับพีวีเอเดี่ยวๆ สรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ และสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซีพีซี ทั้งในรูปเดี่ยวๆ และผสมกับพีวีเอ มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงกว่าที่ไม่ได้เติมสารใดๆ โดยเป็นผลมาจากการดูดซับซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก และความเข้มข้นสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เติม

คำสำคัญ : เซทิลพิริดิเนียมคลอไรด์ / พอลิไวน์ลแอลกอฮอล์ / เสถียรภาพการกระจายตัว / การดูดซับ / น้ำเคลือบเซรามิก

Abstract

The dispersion stability of ceramic glaze particles consist of kaolin, limestone, quartz and feldspar suspension achieved through adsorption of single and mixed of polyvinyl alcohol (PVA) and cationic surfactant cetylpyridinium chloride (CPC) were investigated at control pH 9 and 0.01 M NaCl. It was found that the adsorption of small amounts of CPC onto the primarily negatively charged surfaces of the ceramic particle, results in strong attraction and flocculation due to hydrophobic interactions. At higher surfactant concentrations a higher stability results from the bilayered adsorbed surfactant, providing stability. Adsorption of CPC on ceramic glaze particle preadsorbed with PVA is increased. The adsorption of CPC on ceramic glaze particles in the preadsorbed PVA (PVA+CPC) is higher than single CPC adsorbed amount, which higher dispersion stability. It is interesting that the preadsorbed CPC on the ceramic glaze particles can promote the dispersion stability of PVA. The results showed the adsorbed amount of PVA increase when preadsorbed with surfactant. The dispersion stability is higher than the single PVA adsorption. It can be concluded that the optimum condition for addition PVA and CPC need to create the high

dispersion stability of ceramic glaze component suspensions can be achieved through CPC and mixtures with PVA adsorption. Adsorption can increase dispersion stability depending on the particle in ceramic glaze and concentration of surfactant or polymer added.

Keywords: Cetylpyridinium Chloride / Poly (Vinyl Alcohol) / Dispersion Stability / Adsorption / Ceramic Glaze

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบจากแหล่งทรัพยากรภายในประเทศและเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่รองรับอุตสาหกรรมอื่นๆ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกได้ถูกพัฒนาการผลิตจากอุตสาหกรรมภายในครอบครัวขนาดเล็ก จนถึงระดับประเทศเพื่อได้ผลิตภัณฑ์สำหรับการส่งออก การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกในปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การเตรียมวัตถุดิบ 2) การผสมเป็นรูปร่าง 3) การขึ้นรูป 4) การเคลือบ และ 5) การเผา โดยขั้นตอนการเคลือบเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะเป็นการเคลือบรูปร่างเซรามิกให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในกระบวนการทำน้ำเคลือบมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามแต่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยองค์ประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน ซึ่งบดผสมกันเป็นผงละเอียด และรวมกับน้ำ ผสมให้เข้ากันเพื่อนำไปเคลือบบนรูปร่างเซรามิกแล้วทำให้แห้ง ก่อนที่จะนำไปเผาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป (Panya et al., 2005)

ผลิตภัณฑ์เซรามิก ส่วนมากจะมีการเคลือบ เพื่อให้เกิดความสวยงามและง่ายต่อการทำความสะอาด ซึ่งเคลือบที่ใช้ต้องเหมาะสมกับชนิดและสมบัติของเนื้อดินปั้น มิฉะนั้น จะเกิดตำหนิบนผลิตภัณฑ์ได้ไม่ว่าจะเป็นเคลือบไม่สุก ผิวดำน้ำ เคลือบหลุดร่อนออกจากผิวผลิตภัณฑ์หรือหากสุกตัวมีความมันวาวสดใส ก็อาจเกิดการแตกร้าว ที่เรียกว่าเคลือบรานหรือเคลือบแตกกระจายได้ โดยสาเหตุที่สำคัญคือ อนุภาคในน้ำเคลือบจะเกิดการนอนกัน อยู่ที่ส่วนล่างของน้ำเคลือบอย่างรวดเร็ว หรือเกิดการกระจายตัวต่ำภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก และกระจายตัวกลับคืนได้ยาก ทำให้ในกระบวนการเคลือบเกิดได้ไม่ดีพื้นผิวที่เคลือบจะไม่เรียบและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพต่ำ เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเซรามิก จึงมีงานวิจัยที่พยายามค้นคว้าหาวิธีการแก้ปัญหาเพื่อควบคุมกระบวนการกระจายตัวในน้ำเคลือบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพสูง โดยการเติมสารที่ช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี ได้แก่ สารพอลิเมอร์ สารอนินทรีย์ และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสารจำพวกนี้จะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคของน้ำเคลือบ ทำให้เกิดผลของแรงผลักจากความเกาะกะของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับ และแรงผลักจากประจุชั้นซ้อน จะช่วยทำให้อนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเกิดเสถียรภาพการกระจายตัว คือกระจายตัวได้ดีขึ้นหรือนานขึ้นในน้ำเคลือบ แต่ที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่สามารถอธิบายกลไกของการเกิดเสถียรภาพนี้ได้อย่างชัดเจน (Panya et al., 2004)

ที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวไอออนิกที่มีต่อเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีส่วนประกอบรวมกัน 4 ตัวได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน โดยศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (CPC) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาลิน พบว่าการดูดซับ CPC เกิดได้ดีบนประจุลบของอนุภาคในน้ำเคลือบ ทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคดีขึ้นที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุด (Panya et al., 2004) และต่อมาได้มีการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) ที่มีผลต่อเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิก พบว่าการเติม SDBS สามารถเพิ่มเสถียรภาพการกระจายตัวได้ (Satchawan et al., 2014)

ดังนั้น เพื่อเป็นการศึกษากระบวนการดูดซับที่ทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น ในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการดูดซับสารผสมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวกได้แก่ เซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ และสารพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีผลต่อการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบที่มีอนุภาค 4 ตัวรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาลิน เพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการทำน้ำเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิกต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซทิลไพริดีเนียมคลอไรด์ (cetylpyridinium chloride, CPC (>98%) จากบริษัท Fluka ประเทศ Switzerland สารพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) (>98%) มีมวลโมเลกุลเฉลี่ย 18,000 g/mol จากบริษัท Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ (feldspar, $\text{KNa} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) 98% หินปูน (limestone or calcium carbonate, CaCO_3) 96% ควอร์ตซ์ (quartz, SiO_2) 99% และ เกาลิน (kaolin, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) >99% จากบริษัทไทยสิน จำกัด

การศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคที่ใช้ทำเป็นน้ำเคลือบเซรามิก

ศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคที่ใช้ทำเป็นน้ำเคลือบเซรามิกและน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และกาลินด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน ได้แก่ การหาความหนาแน่นโดยใช้เทคนิคพิคโนเมตรี (pycnometry) การหาพื้นที่ผิวของอนุภาคโดยใช้การดูดซับแก๊สไนโตรเจนแล้วคำนวณโดยใช้สมการบีอีที (BET) และการหาขนาดอนุภาคโดยใช้เทคนิค laser particle sizers ของเครื่อง Mastersizer (Panya et al., 2004)

การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวเนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์

การศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) ของ CPC เนื่องจากผลของการเติม PVA ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเตรียมสารละลาย CPC ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีสภาวะของสารละลายที่ควบคุมความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl และ pH = 9 แล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า นำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้ไปพล็อตกราฟกับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว แล้วหาจุดที่เส้นกราฟเกิดการหักเหไป เป็นค่าของ cmc (Panya et al., 2004) จากนั้นก็เตรียมสารละลาย CPC ความเข้มข้นต่าง ๆ เหมือนเดิม แต่เติมสารละลาย PVA เข้มข้น 50 100 หรือ 200 mg/L เพื่อดูผลความเข้มข้นของ PVA ที่มีต่อค่า cmc ของ CPC

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

การศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเดี่ยวบนพื้นผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนที่มีผลต่อการดูดซับเท่ากับ 0.01 M NaCl ในการศึกษาการดูดซับใช้วิธี Depletion Method คือ หาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารก่อนและหลังการดูดซับ (Panya et al., 2004) โดยใช้เครื่อง UV – Visible Spectrophotometer (Perkins Elmer, USA). ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำมาเขียนกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารโดยใช้เทคนิคเขียนกราฟมาตรฐาน สำหรับความยาวคลื่นที่ใช้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสงของ CPC เท่ากับ 259 นาโนเมตร ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับสารพอลิเมอร์ PVA จะใช้วิธี colorimetric โดยทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีกับ I_2 และ Boric acid แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 690 นาโนเมตร (Silvia et al., 2005)

สำหรับการศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ CPC ผสมกับสารพอลิเมอร์ PVA บนพื้นผิวอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีวิธีการทำเช่นเดียวกับการศึกษาการดูดซับสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยวๆ แต่ปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์ (PVA) หรือสารลดแรงตึงผิวตัว (CPC) ที่ 1 ก่อนที่จะเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 2 ผสมลงไปนั้น จะใช้ปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 1 ในหน่วย $\mu\text{mole/g}$ หรือ mg/g จะต้องสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุดของสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยวๆ บนอนุภาคอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก (ตารางที่ 3)

การศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก

ในการศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะใช้วิธี การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm เพื่อบอกค่าเสถียรภาพการกระจายตัว โดยวิธีการจะใช้ชุดการทดลองเหมือนกับการศึกษา

ไอโซเทอร์มการดูดซับพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวในหัวข้อที่ 3 นำสารละลายที่ได้จากการดูดซับไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 500 nm บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น (A_1) และที่เวลาใดๆ (A_2) จากนั้นนำค่า A_2/A_1 เรียกว่า ค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ (relative absorbance) ซึ่งถ้าค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์มีค่ามากแสดงว่าสารละลายแขวนลอยมีเสถียรภาพการกระจายตัวสูง แต่ถ้าค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์มีค่าน้อยแสดงว่ามีเสถียรภาพการกระจายตัวต่ำ คือมีแนวโน้มนอนกันเร็วกว่า (Esumi et al., 1998 และ Panya et al., 2004)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคที่ใช้ทำเป็นน้ำเคลือบเซรามิก

คุณสมบัติของอนุภาคที่ใช้ทำเป็นน้ำเคลือบเซรามิก และน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาลินด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน โดยคุณสมบัติที่ศึกษาได้แก่ ความหนาแน่น (density) พื้นที่ผิว (surface area) และขนาดอนุภาค (particle size) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอนุภาคแต่ละตัวในน้ำเคลือบเซรามิก และน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หินปูน ควอร์ตซ์ และเกาลินด้วยอัตราส่วนต่างๆ กัน

อนุภาค	wt%	ความหนาแน่น (g/mL)	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ขนาดอนุภาค (μm)
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

2. การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวเนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของ CPC เนื่องจากผลของการเติม PVA ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยมีสภาวะของสารละลายที่ควบคุมความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl และ pH = 9 โดยใช้เทคนิค Conductometry ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (cmc) ของ CPC เนื่องจากผลของการเติม PVA ที่ความเข้มข้นต่างๆ (สภาวะสารละลาย 0.01 M NaCl และ pH = 9)

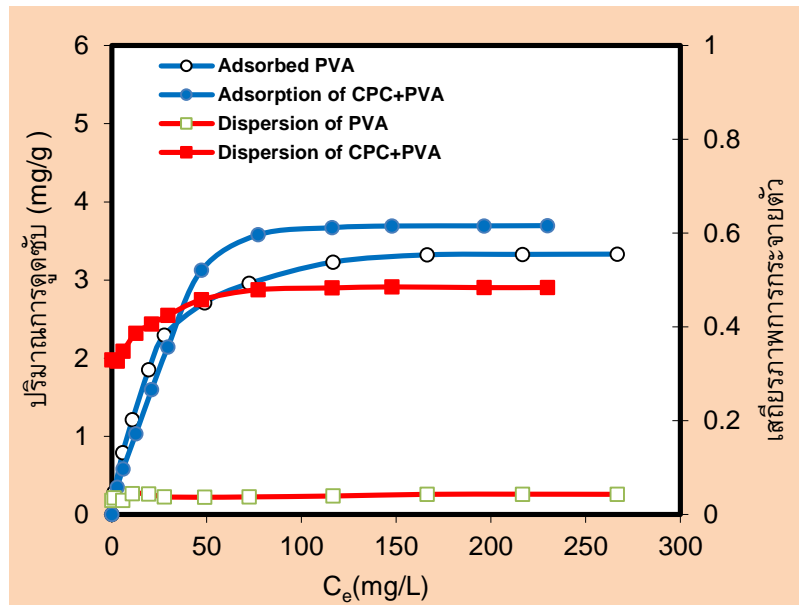
สารลดแรงตึงผิว	ความเข้มข้น PVA ที่เติม (mg/L)	ค่า cmc* (mM)
CPC	0	0.36
	50	0.32
	100	0.20
	200	0.12

*ค่า cmc ของ CPC ในสารละลายน้ำปราศจากไอออนมีค่า 0.90 mM (Hong et al., 2009)

3. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

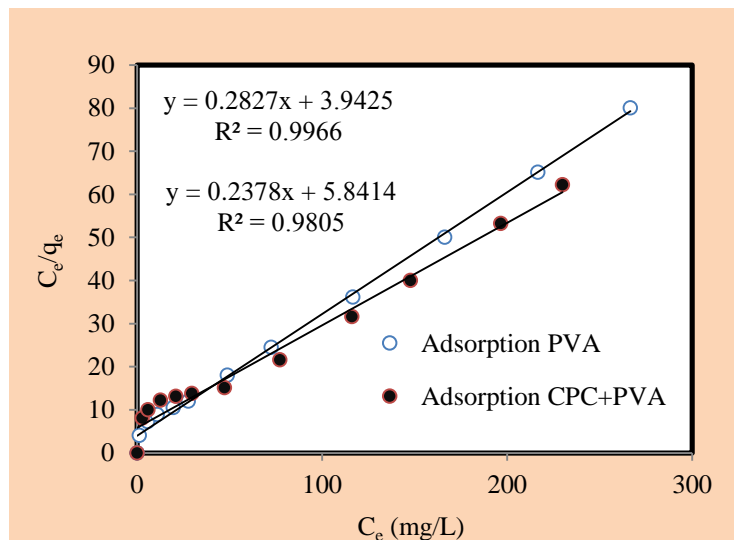
3.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

ภาพที่ 1 แสดงการดูดซับสารพอลิเมอร์ PVA บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิก โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ที่มีต่อการดูดซับ พบว่าปริมาณการดูดซับ PVA อย่างเดียว จะน้อยกว่าปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC ไว้แล้ว (ใช้สัญลักษณ์ CPC+PVA)



ภาพที่ 1 เสถียรภาพการกระจายตัวที่เกิดจากการดูดซับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (PVA) และบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (CPC+PVA)

สำหรับค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิก เนื่องจากผลของการดูดซับ PVA พบว่า ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ PVA อย่างเดียวจะต่ำกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC ไว้แล้ว แสดงว่าผลของการเติม CPC มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ PVA เพิ่มขึ้น และมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 2 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (PVA) และบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (CPC+PVA)

3.2 เซททิลพีริดิเนียมคลอไรด์

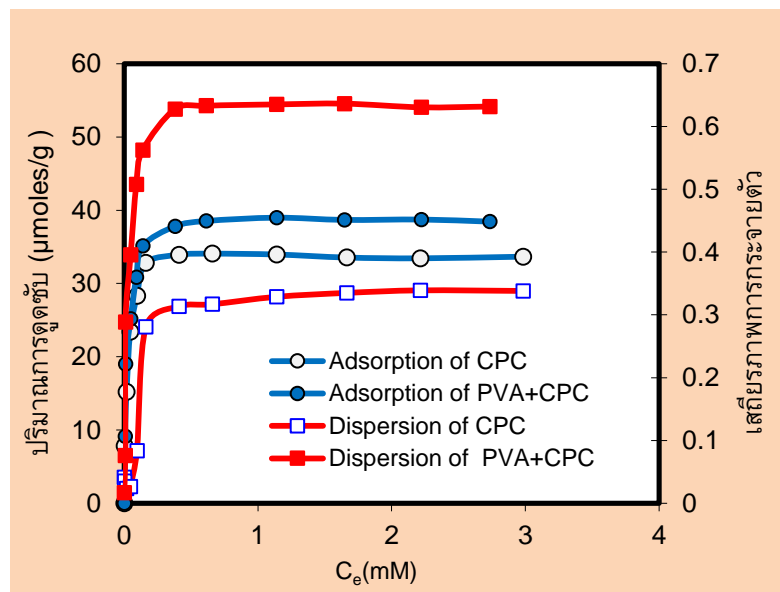
ภาพที่ 3 แสดงผลการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกได้แก่ เซททิลพีริดิเนียมคลอไรด์บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า เมื่อเริ่มต้นใช้ความเข้มข้น CPC ที่ต่ำมาก การดูดซับ CPC อย่างเดียว จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้น CPC เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียง

กับจุด cmc (ตารางที่ 2) และพบว่าปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC อย่างเดียว โดยที่ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดใกล้เคียงกับจุด cmc ทั้งสองสภาวะ โดยปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้วจะคงที่ก่อนปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดอย่างเดียวนั้น เนื่องจากค่า cmc ของ CPC ที่มีผลของ PVA ต่ำกว่า cmc ของ CPC อย่างเดียว (ตารางที่ 2)

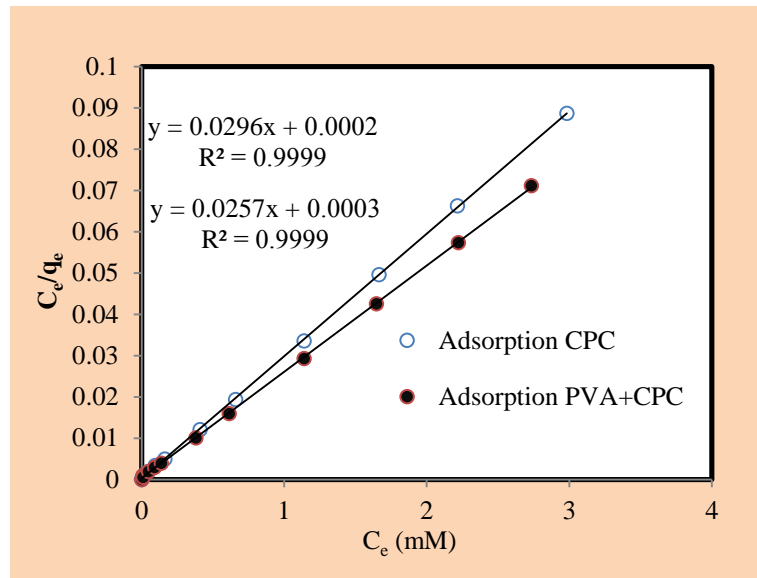
การศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากการดูดซับ CPC (ภาพที่ 3) พบว่า การดูดซับ CPC จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นใช้ความเข้มข้นของ CPC ที่ต่ำมาก ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเล็กน้อยอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของ CPC เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่จุดใกล้เคียงกับจุด cmc จากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ CPC อย่างเดียว และการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว

สิ่งที่น่าสนใจได้แก่ ปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC อย่างเดียว ทำให้ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+CPC) ไว้แล้ว มีค่าสูงกว่าผลของการดูดซับ CPC อย่างเดียวด้วย แสดงว่าผลของการเติม PVA มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ CPC เพิ่มขึ้น และทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนไอโซเทอร์มการดูดซับตามแบบแลงเมียร์ พบว่าทั้งการดูดซับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และการดูดซับเซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเป็นไปตามสมการแบบแลงเมียร์ ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 4 ตามลำดับ โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3



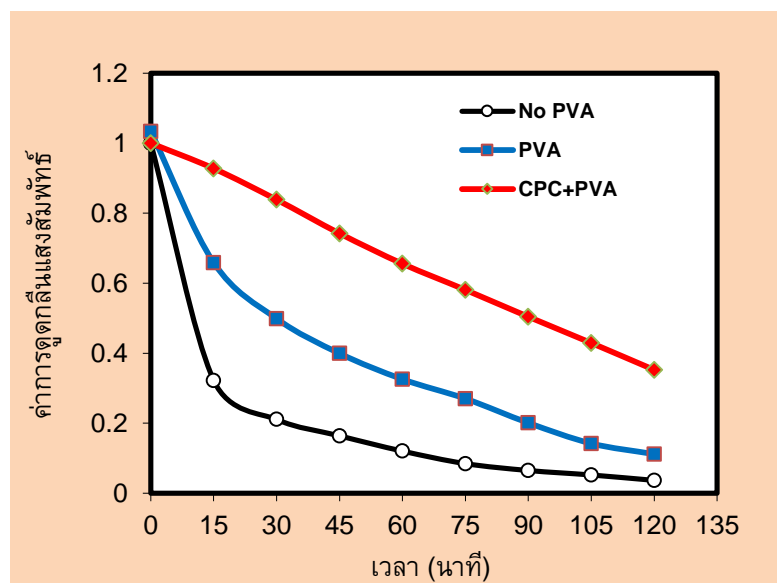
ภาพที่ 3 เสถียรภาพการกระจายตัวที่เกิดจากการดูดซับเซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (CPC) และบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกและที่ถูกดูดซับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA+CPC)



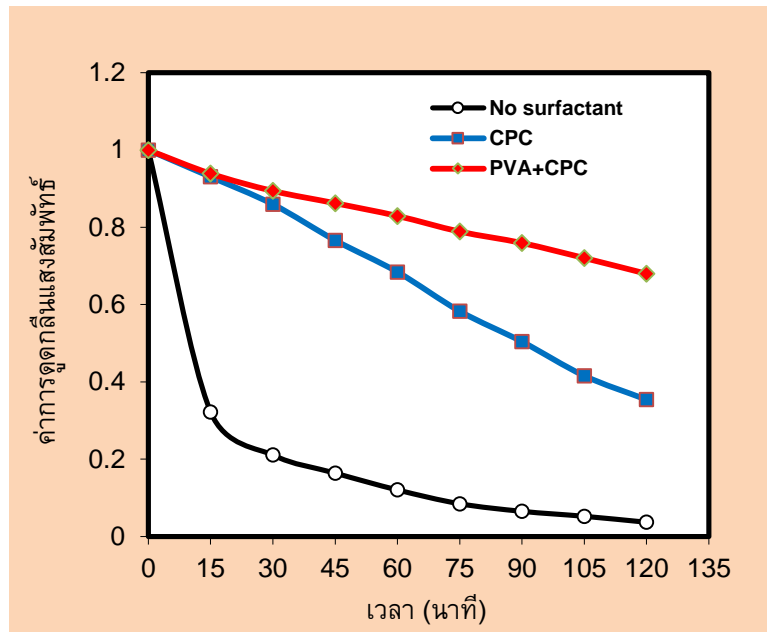
ภาพที่ 4 แล่งเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับเซททิลพรีดีเนียมคลอไรด์ บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (CPC) และบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกและที่ถูกดูดซับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA+CPC)

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์จากไอโซเทอร์มแบบแล่งเมียร์

สารช่วยกระจายตัว	ค่าพารามิเตอร์ของแล่งเมียร์	
	q_m	r^2
PVA	3.54 (mg/g)	0.9996
CPC+PVA	4.20 (mg/g)	0.9805
CPC	33.78 ($\mu\text{mol/g}$)	0.9999
PVA+CPC	38.76 ($\mu\text{mol/g}$)	0.9999



ภาพที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์ที่เวลาต่างๆ ที่เกิดจากการเติมสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (PVA) และบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (CPC+PVA)



ภาพที่ 6 ค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ที่เวลาต่างๆ ที่เกิดจากการเติมสารเซทิลทริดีนิลเมทิลคลอไรด์บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (CPC) และบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกและที่ถูกดูดซับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA+CPC)

ภาพที่ 5 และ 6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ที่เวลาต่างๆ ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิก เนื่องจากผลของการเติม PVA CPC และสารผสมระหว่าง PVA กับ CPC พบว่า สารแขวนลอยของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ จะมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 8 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติม CPC PVA+CPC และ CPC+PVA ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างช้าๆ โดยมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งเกินกว่า 1.30 ชั่วโมง (ตารางที่ 4) การเติม PVA เพียงอย่างเดียวทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 28 นาที แต่เมื่อผสมกับ CPC มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงช้ากว่า โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 92 นาที

ตารางที่ 4 ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm) ของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากการดูดซับ PVA และ CPC อย่างเดียวและแบบผสม

ชนิดที่	สารช่วยกระจายตัว	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm			
		หลังเขย่า (เริ่มจับเวลา)	ครึ่งหนึ่งของค่าการดูดกลืนแสงหลังเขย่า	เวลาที่ค่าการดูดกลืนแสงลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง	ค่าการดูดกลืนแสงหลังทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง
1	ไม่เติม	3.050	1.525	8 นาที	0.112
2	PVA	3.080	1.540	28 นาที	0.354
3	CPC+PVA	3.164	1.582	92 นาที	1.115
4	CPC	3.184	1.592	94 นาที	1.127
5	PVA+CPC	3.242	1.621	156 นาที	2.204

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การดูดซับเดี่ยว (Single Adsorption) และค่าเสถียรภาพการกระจายตัว

การดูดซับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า การดูดซับ PVA สามารถเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก สอดคล้องกับการศึกษาของ Tadros (1974) ซึ่งสรุปไว้ว่าเนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ระหว่างหมู่ OH⁻ ของสายโมเลกุล PVA กับกลุ่ม silanol อิสระ

ที่ขอบของพื้นผิวเกล็ดในน้ำเคลือบเซรามิก โดยกลไกการดูดซับ PVA สามารถดูดซับได้ทั้งหมด siloxane ที่ไม่มีขั้วของพื้นผิวซิลิกาด้วยหมู่ OH^- ของ PVA (Sjöberg et al., 1999. & Silvia et al., 2005)

การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก ได้แก่ เซทิลทริดีนิเอียมคลอไรด์บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า การดูดซับ CPC ที่ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นใกล้จุดสูงสุด ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้นที่จุดปริมาณการดูดซับสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Panya et al., 2004) ที่รายงานไว้ว่าการดูดซับส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวกับผิวอนุภาคเกล็ดที่มีประจุเป็นลบ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว จากนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเป็นค่าบวก นั่นคือเกิดการดูดซับเนื่องจากการจับกันเองของส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกล้อมรอบดูดซับก่อนแล้ว โดยที่ส่วนหัวจับกับอนุภาคประจุลบจะทำให้ส่วนหางยื่นออกมา และจับกับสารลดแรงตึงผิวโมเลกุลใหม่ที่เข้าไปจับ ทำให้สุดท้ายพื้นผิวอนุภาคเป็นบวก โดยแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก (McCarron et al., 2002) โดยที่ปริมาณจุดนี้จะสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุด

การดูดซับผสม (Mixed adsorption) และค่าเสถียรภาพการกระจายตัว

ปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC (CPC+PVA) ไว้แล้ว จะมีปริมาณสูงกว่าการดูดซับ PVA อย่างเดียว และพบว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกสูงกว่าผลของการดูดซับ PVA อย่างเดียวเช่นกัน

จากการทดลองศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว โดยเลือกเติมที่ความเข้มข้นที่สอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุดตามสมการแบบแลงเมียร์ มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ เมื่อผสม CPC กับ PVA มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์จะลดลงช้ากว่ากรณีไม่ได้เติมหรือกรณีการเติมแบบเดี่ยวๆ โดยผลของ CPC+PVA มีเสถียรภาพสูงสุด (2 ชั่วโมง 36 นาที)

ผลการศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิก เนื่องจากการดูดซับแบบผสมระหว่าง PVA กับ CPC พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่จุด cmc หรือสูงกว่าจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่ สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC ไว้แล้ว (CPC+PVA) และการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (PVA +CPC) โดยสอดคล้องกับรายงานที่ว่าในการรวมกันของ สารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เกิดไมเซลล์จะเริ่มเกิดขึ้นที่จุดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เท่ากับหรือสูงกว่าค่า cmc (Mateos et al., 1997)

สรุปได้ว่าสถานะที่เหมาะสมในการเติม PVA และ CPC ทั้งในรูปแบบเดี่ยวๆ และแบบผสม มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงกว่าที่ไม่ได้เติมสารใดๆ โดยเป็นผลมาจากการดูดซับซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก และความเข้มข้นสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เติม

สำหรับกลไกการดูดซับบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก อาจเกิดการจับกันระหว่าง PVA กับ CPC ทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นและเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวดีขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ Wang et al. (2008) และ Tadros (1974) ที่สรุปไว้ว่าการดูดซับสารผสมระหว่าง PVA กับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก ได้แก่ เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) สามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของ PVA-CTAB ได้และทำให้เพิ่มปริมาณการดูดซับ PVA บนผิวซิลิกา และรายงานของ Parathakkatt et al. (2009) ที่สรุปไว้ว่า พอลิเอทิลีนออกไซด์สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับ CPC ได้ แต่กลไกที่แน่นอนของการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVA กับ CPC จะต้องมีการศึกษาในลำดับถัดไป

เอกสารอ้างอิง

Esumi, K., Iitaka, M., & 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.

- Hong, H.J., Kim, H., Lee, U.Y., and Yang, J.W. (2009). Removal of anionic contaminants by surfactant modified powdered activated carbon (SM-PAC) combined with ultrafiltration. **Journal of Hazardous Materials**, **170**, 1242-1246.
- Mateos, I.G., Perez, S., & Velazquez, M.M. (1997). Interaction between Cetyl Pyridinium Chloride and water-soluble polymers in aqueous solutions original research article. **Journal of Colloid and Interface Science**, **194**, 356-363.
- McCarron, A.M., Crispo, S., & Smith-Palmer, T. (2002). The flocculation of Kaolin by cationic polyacrylamides and the effect of cationic surfactant on this process. **Journal of Applied Polymer Science**, **83**, 2382-2389.
- Panya, P., Arquero, O., Franks, G.V., & 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., & Franks, G.V. (2005). The effect of ionic surfactant adsorption on the rheology of ceramic glaze suspensions. **Journal of the American Ceramic Society**, **88**, 540-551.
- Parathakkatt, S., George, J., Moothandassery, S., & Sreejith, L., (2009). Polymer induced structures in cetylpyridinium chloride–octanol micellar system. **Journal of Polymer Research**, **87**, 211-219.
- Satchawan, S., Naksata, W., Rattanakawin, C., Thiansem, S, Panya, P., Sooksamiti, P., Scales, P.J. & Arquero Panya, O. (2014). Effect of sodium dodecylbenzene sulfonate on the dispersion stability of ceramic glaze suspension. **Korean Journal of Chemical Engineering**, **31 (6)**, 1076-1081.
- Sjöberg, M¹, Bergström, L., Larsson, A., & Sjöström, E., (1999). The effect of polymer and surfactant adsorption on the colloidal stability and rheology of Kaolin dispersions. **Colloids and Surfaces A**, **159**, 197-208.
- Silvia, G., de Bussettia, & Ferreiro, E.A. (2005). Effect on 2,2'-bipyridine adsorption of poly (vinyl alcohol) adsorbed on Na⁺-kaolinite. **Applied Clay Science**, **29**, 207-214.
- Tadros, T.F. (1974). The interaction of cetyltrimethylammonium bromide and sodium dodecylbenzene sulfonate with polyvinyl alcohol adsorption of the polymer-surfactant complexes on silica. **Journal of Colloid and Interface Science**, **46**, 528-540.
- Wang, W., Wang, J., Sun, P., Yuan, Z., Ding, D., & Chen, T. (2008) Polyvinylalcohol (PVA) induced wormhole-like mesoporous silica nano-fibers. **Materials Letters**, **62**, 711-714.