



การสังเคราะห์โซลเจล TEOS-SiO₂-PDMS เพื่อเคลือบผิวเซรามิกให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

Sol gel synthesis of TEOS-SiO₂-PDMS hydrophobic film for ceramic coating

ธิดารัตน์ เพรศแก้ว¹, ลดา พันธุ์สุขุมธนา^{2**}, สุธรรม ศรีหล่มสัก^{1*}, วราลี บางหลวง²

บทคัดย่อ

การวิจัยสังเคราะห์โซลเจลเพื่อเคลือบผิวเซรามิกให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำได้ทดลองใช้ เทตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate, TEOS) และ พอลิไดเมทิลซิล็อกเซน (Poly-dimethylsiloxane, PDMS) เป็นวัตถุดิบ ในการสังเคราะห์เจลที่ไม่ชอบน้ำ และเติมซิลิกาขนาดอนุภาค 12 และ 20 นาโนเมตร ปริมาณโดยน้ำหนักร้อยละ 0.5 5.0 และ 10.0 อบอุณหภูมิ 300 และ 400 องศาเซลเซียส เพื่อสังเคราะห์ฟิล์มที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีความส่องผ่านของแสง ได้ทดสอบมุมสัมผัส (contact angle) ในการแสดงระดับความไม่ชอบน้ำ และทดสอบความส่องผ่านของแสง (transmittance) แสดงระดับความสามารถในการให้แสงผ่าน ผลการวิจัยพบส่วนผสมและอุณหภูมิการอบที่ให้ค่า มุมสัมผัส 139° และมีค่าความส่องผ่านของแสงร้อยละ 73 เมื่อทดลองเคลือบฟิล์มนี้บนผิวเคลือบเซรามิก พบว่าหยดน้ำ มีลักษณะกลม และไหลออกได้อย่างรวดเร็ว การทดสอบมุมสัมผัสก่อนและหลังการขัดสีของฟิล์มบนเคลือบเซรามิก แสดงให้เห็นว่าสภาพของผิวเคลือบเซรามิกที่เรียบหรือขรุขระ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติมุมสัมผัสของฟิล์มที่เคลือบแตกต่างกัน

Abstract

Sol gel synthesis for ceramic hydrophobic coating was studied. Tetraethyl orthosilicate (TEOS) and Poly-dimethylsiloxane, (PDMS) were used to form the hydrophobic gel. Silica nano-particles, 12 and 20 nm, at 0.5, 5.0, or 10 wt.% and heat treatment at temperature 300 or 400°C were varied in the synthesis of the hydrophobic and transparent films. The contact angle was used to measure the hydrophobic property and the transmittance was used to measure the transparent property of the films. The study showed that the coating could have the contact angle of 139° and transmittance of 73%. When the ceramic glaze was coated by the gel, water droplets on the surface were in spherical shape and flow away quickly. The effects of abrasion on the contact angle of the film coated on the smooth surface of ceramic glazes or on the uneven one were showing different results.

คำสำคัญ : ไฮโดรโฟบิก , พอลิไดเมทิลซิล็อกเซน , โซลเจล , การขัดสี

Keywords : Hydrophobic , PDMS , Sol gel , Abrasion

¹ สาขาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000

² กรมวิทยาศาสตร์บริการ แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

E-mail address : sriloms@hotmail.com

**Corresponding author email address : lada@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำได้รับความสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้ง่าย ประหยัดน้ำ ลดการสูญเสียในการลำเลียง M. Ma และคณะได้กล่าวถึงแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีผิววัสดุที่ไม่ชอบน้ำในปัจจุบันได้แก่ การเพิ่มความขรุขระของผิววัสดุที่มีพลังงานผิวดำ (surface energy) การพัฒนาผิวพื้นขรุขระแล้วปรับปรุงผิวนั้นด้วยวัสดุที่มีพลังงานผิวดำ และการที่ทำให้วัสดุมีมุมสัมผัส (contact angle) ของน้ำสูงขึ้น เรียกว่า super-hydrophobic หรือ ultra-hydrophobic [1] PDMS เป็นซิลิโคนที่มีพลังงานผิวดำ Ashley Jones และคณะได้พัฒนาฟิล์มจากส่วนผสมของ PDMS และ TEOS พบว่าได้ฟิล์มที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ [2] การเติมและแปรปริมาณซิลิกาในฟิล์มดังกล่าวทำให้ความขรุขระบนผิวเพิ่มขึ้น และมีผลให้มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นได้ [3,4] สำหรับความทนทานต่อการใช้งานของฟิล์ม PDMS พบในงานของ L.Y.L.Wu. และคณะซึ่งได้ศึกษาความใสด้วยการตรวจพินิจและความแข็งด้วยวิกเกอร์ [5] งานวิจัยก่อนนี้ได้้นำโปรแกรมทางคณิตศาสตร์มาประมวลหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการสังเคราะห์โซลเจลของระบบ TEOS และ PDMS ที่เติมซิลิกาขนาดอนุภาคนาโน และได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณซิลิกาและอุณหภูมิการอบมีผลเป็นนัยสำคัญต่อมุมสัมผัสของฟิล์ม ในขณะที่ปริมาณซิลิกามีผลเป็นนัยสำคัญต่อความส่องผ่านของแสงของฟิล์ม[6] อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ฟิล์มในระบบนี้ ยังขาดการศึกษากการใช้ฟิล์มบนเคลือบเซรามิก ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงด้านความสวยงามและความทนทานต่อการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกสูตรที่เหมาะสม โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสเพื่อวัสดุสมบัติไม่ชอบน้ำ และความส่องผ่านของแสงเพื่อวัดความสามารถในการให้แสงผ่าน และทดสอบการใช้งานโดยวัดความทนทานของฟิล์มเมื่อเคลือบบนเคลือบเซรามิก

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ TEOS (Tetraethylorthosilicate, 98%, Acros Organics) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, 37%, Cario erba) เอทานอล (Absolute Alcohol, 99.8%) PDMS (Poly-dimethylsiloxane, d=0.965, Acros Organics) อะซีโตน (Acetone, 99.8%, Cario erba) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol, 99.7%, Cario erba) ซิลิกาขนาดอนุภาคนาโน (Aerosil®200, Primary particle size 12nm และ Aerosil®90, Primary particle size 20nm, Silica Degussa) และสารละลาย fluoropolymer ที่มีในท้องตลาด

2.2 การเตรียม TEOS-SiO₂-PDMS เจล และฟิล์ม

เตรียม TEOS-SiO₂-PDMS เจลโดยผสม TEOS ปริมาณ 5 กรัม เอทานอล ปริมาณ 2.5 กรัม และ 0.1M กรดไฮโดรคลอริก ปริมาณ 6 มิลลิลิตร ทำให้เป็นเจลด้วยชุดกลั่นไพล์ยอนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นเติม PDMS ปริมาณ 2.75 กรัม ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จำนวน 40 กรัม และซิลิกาขนาดอนุภาคนาโนโดยใช้น้ำและปริมาณที่กำหนด ผสมรวมกันด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที นำไปกลั่นไพล์ยอนอีก 6 ชั่วโมง กลายเป็น modified gel นำมาเคลือบบนกระจกใสด้วยวิธี spin coating (spin coater, Laurell Technologies corporation) ที่ความเร็ว 1500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 วินาที และเผาฟิล์มที่อุณหภูมิที่กำหนด ด้วยอัตราการเผา 5 °Cต่อนาที ขึ้นไฟ 60 นาที สำหรับการทดลองเคลือบบนเคลือบเซรามิก ได้ใช้เคลือบเซรามิกเป็นพื้นแทนกระจกใส และใช้วิธีเคลือบด้วยการชุบ สำหรับ fluoropolymer ฟิล์ม ได้จากการเตรียม fluoropolymer ร้อยละ 4 ในเอทานอลและกรดไฮโดรคลอริก(99:1) เคลือบบนเคลือบเซรามิกด้วยวิธีการชุบ ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง



2.3 การทดลองและการทดสอบ

การทดลองเตรียม TEOS-SiO₂-PDMS ฟิล์มที่แปรปริมาณซิลิกา 3 ระดับคือโดยน้ำหนักร้อยละ 0.5 5 และ 10 ขนาดซิลิกา 2 ระดับคือ 12 และ 20 nm และอุณหภูมิการอบฟิล์ม 2 ระดับคือ 300°C และ 400°C ที่อัตราการอบ 5°C/นาที่ และเย็นไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 60นาที่ ทดลองด้วยอย่างละ 2 ครั้ง ทดสอบมุมสัมผัสของน้ำแบบหยดนิ่ง (contact angle, Data Physics OCA20) ด้วยปริมาณน้ำ 5 ไมโครลิตร จำนวน 10 ตำแหน่งแล้วหาค่าเฉลี่ยของมุมสัมผัส ทดสอบความส่องผ่านของแสง (transmittance, UV-VIS Spectrophotometer, Cary IE) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร คัดเลือกตัวอย่าง TEOS-SiO₂-PDMS ฟิล์มที่มีมุมสัมผัส และความส่องผ่านของแสงสูงทดลองเคลือบบนเคลือบเซรามิก 2 ระบบ คือ ระบบ LiO₂-MgO-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂ ผลิตในห้องปฏิบัติการ และระบบ NaO₂-CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-ZrO₂ ผลิตจากอุตสาหกรรมกระเบื้อง จัดประเภทระบบเคลือบจากองค์ประกอบออกไซด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (Bruker S8 Tiger) ทดสอบความขรุขระของพื้นผิวเคลือบเซรามิกก่อนเคลือบ ด้วยหัววัดรัศมี 2 ไมครอน แรงกด 100 มิลลิกรัม อัตราการเคลื่อนที่ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที (Surface roughness Tester, Taylor-Hobson รุ่น Talysurf Series 2) และศึกษาโครงสร้างจุลภาคผิวเคลือบเซรามิกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Hitachi, S-2500) ทดสอบมุมสัมผัสของเคลือบเซรามิกก่อนและหลังการเคลือบผิวด้วยฟิล์ม ต่อจากนั้นขัดฟิล์มที่เคลือบบนเคลือบเซรามิก ทดสอบมุมสัมผัสของฟิล์มหลังการขัดสี การขัดผิวฟิล์มใช้ สก็อตช์-ไบรต์® แผ่นใยขัดสีเขียว ขนาด 10x14 เซนติเมตร ที่ติดกับแผ่นแก้วที่มีน้ำหนัก 420 กรัม ขัดบนผิวตัวอย่างที่แบบราบด้วยน้ำผสมผงขัดฟอกร้อยละ 15 บนจานหมุน ทดสอบมุมสัมผัสหลังการขัดตามจำนวนรอบขัดที่กำหนด โดยเปรียบเทียบมุมสัมผัสหลังการขัดของ TEOS-SiO₂-PDMS ฟิล์ม กับ fluoropolymer ฟิล์ม ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของฟิล์มทั้งสองด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาดก่อนและหลังการทดสอบการขัด

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดลองปัจจัย ปริมาณซิลิกา (silica amount) ขนาดซิลิกา (silica particle size) และอุณหภูมิการอบฟิล์ม (heat treatment temperature) ต่อสมบัติมุมสัมผัส ความส่องผ่านของแสง ของฟิล์ม TEOS-SiO₂-PDMS แสดงดังตารางที่ 1 ผลการวัดมุมสัมผัส TEOS-SiO₂-PDMS ฟิล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 และ 400°C เพิ่มปริมาณซิลิกาสองขนาดคือขนาด 12 และ 20 nm ที่ปริมาณโดยน้ำหนักร้อยละ 0.5 5 และ 10 แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าอุณหภูมิการเผามีผลต่อค่ามุมสัมผัส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาจาก 300 เป็น 400°C ทำให้มุมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น และการเพิ่มปริมาณซิลิกา ทำให้มุมสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การที่มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นเกิดจากการเติมซิลิกาที่มีผลให้ผิวของวัสดุที่มีความขรุขระเพิ่มขึ้น [3] โดยมุมสัมผัสมีค่าสูงสุดเท่ากับ 147.5° ในตัวอย่างที่เพิ่มปริมาณซิลิกานขนาด 20 นาโนเมตร ที่ปริมาณโดยน้ำหนักร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิการเผา 400°C

Table 1 Effect of experimental parameters as silica amount, silica particle size, and heat treatment temperature on contact angle and transmittance of the films.

Sample	Variable parameters			Contact angle (°)	Transmittance (%)
	Silica amount (wt%)	Heat treatment temperature (°C)	Silica particle size (nm)		
1	0.5	300	12	106	87.5
2	5	300	12	110	85.5
3	10	300	12	125	69
4	0.5	400	12	111	83
5	5	400	12	120	80
6	10	400	12	139	73
7	0.5	300	20	107	89
8	5	300	20	111.5	82
9	10	300	20	130	62
10	0.5	400	20	113	87.5
11	5	400	20	123.5	75.5
12	10	400	20	147.5	68

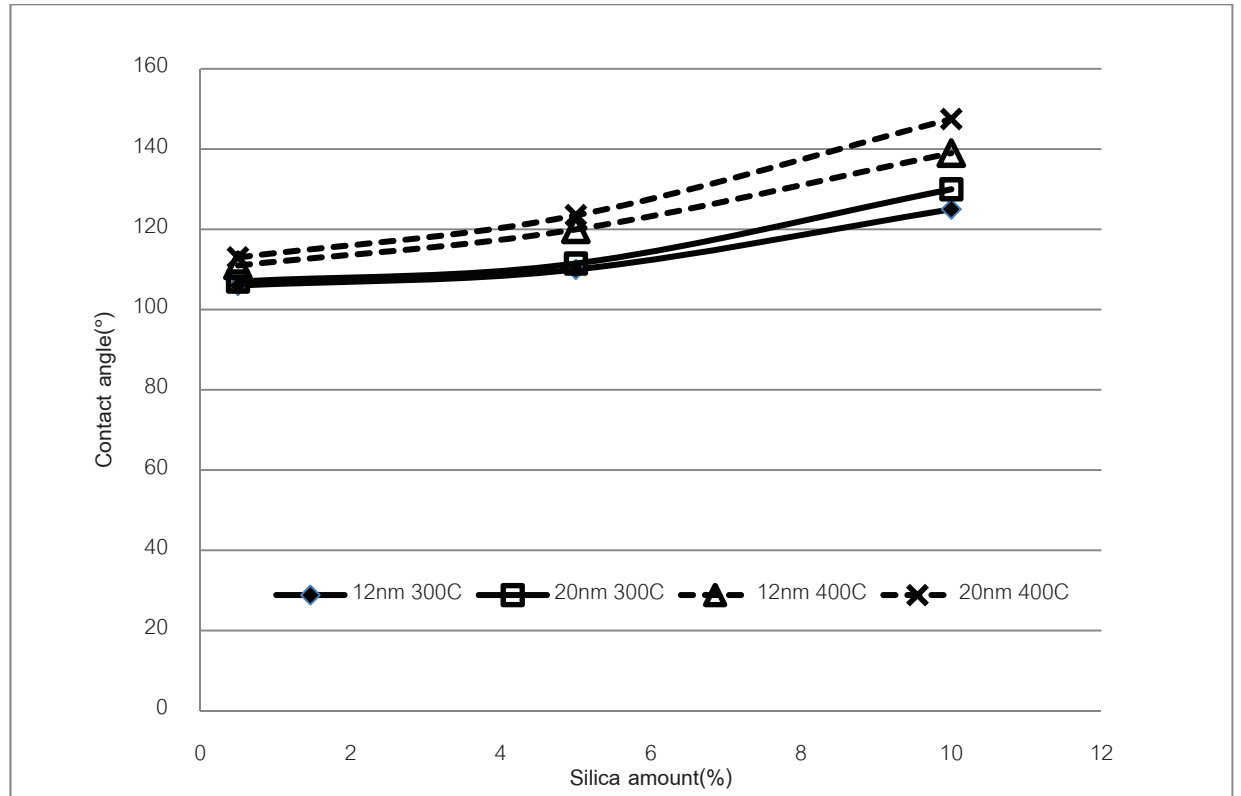


Figure 1 Graph showed effect of heat treatment temperature and silica particle size on the contact angle of TEOS-SiO₂-PDMS films.



ผลการวัดความส่องผ่านของแสงพบว่า TEOS-SiO₂-PDMS फिल्म ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 และ 400°C เพิ่มปริมาณซิลิกาขนาด 12 และ 20 นาโนเมตร ที่ปริมาณโดยน้ำหนักร้อยละ 0.5, 5 และ 10 แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าความส่องผ่านของแสงของตัวอย่างที่เผาที่ 300 และ 400°C ไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่การเพิ่มปริมาณซิลิกา มีผลทำให้ความส่องผ่านของแสงมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของซิลิกาในฟิล์มมีผลต่อการสะท้อนและการดูดของแสง เป็นผลให้ฟิล์มมีความสามารถให้แสงผ่านลดลง ทำให้ฟิล์มทึบแสงมากขึ้น [6] โดยความส่องผ่านของแสงมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 89 ในตัวอย่างที่เพิ่มปริมาณซิลิกาขนาด 20 นาโนเมตร ในปริมาณโดยน้ำหนักร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิการเผา 300°C

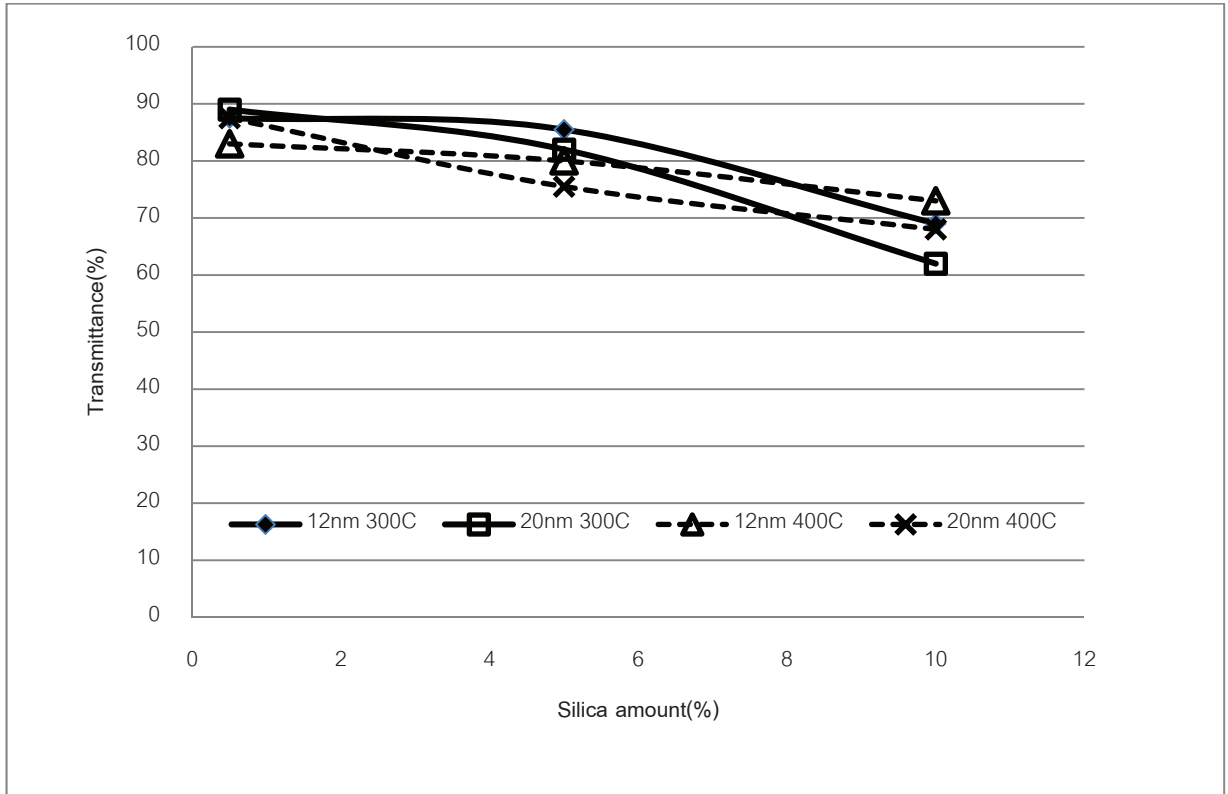


Figure 2 Graph showed effect of heat treatment temperature and silica particle size on the transmittance of TEOS-SiO₂-PDMS films.

การวิจัยสังเคราะห์ไฮลเจลเพื่อเคลือบผิวเซรามิกให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำนี้ ต้องการฟิล์มที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีความส่องผ่านของแสงไปพร้อมกัน ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสมบัติทั้งสองแปรผกผันกับปัจจัยการสังเคราะห์โดยเฉพาะกับปริมาณของซิลิกา จึงได้คัดเลือกฟิล์มที่เตรียมโดยเติมซิลิกาขนาด 12 nm ที่ปริมาณโดยน้ำหนักร้อยละ 10 อุณหภูมิการอบ 400°C ซึ่งมีสมบัติทั้งสองสูงคือที่ค่า contact angle 139° และมีค่า transmittance ร้อยละ 73 ทดลองเคลือบฟิล์มบนเคลือบเซรามิกที่มีผิวมันและเรียบ ผลการทดลองพบว่าสามารถเคลือบผิวเคลือบเซรามิกได้ เมื่อทดลองหยดน้ำลงบนผิวฟิล์มที่เคลือบบนผิวเคลือบเซรามิก พบว่าหยดน้ำมีลักษณะกลมดังแสดงในรูปที่ 3 และหยดน้ำสามารถไหลออกจากผิวฟิล์มได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสมบัตินี้แสดงถึงความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning) [7]



Figure 3 Picture showed water droplet on the film coated on ceramic glazes.

(A) $\text{LiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ system

(B) $\text{NaO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ system

ความขรุขระของพื้นผิวเคลือบในระบบ $\text{LiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ และ $\text{NaO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ มีค่า 4.99 และ 0.36 ไมโครเมตร ตามลำดับ โครงสร้างจุลภาคผิวเคลือบเซรามิกก่อนเคลือบผิวด้วยฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดแสดงดังรูปที่ 4 พบว่าเคลือบในระบบ $\text{LiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ มีผลึกและมีความขรุขระมากกว่าเคลือบในระบบ $\text{NaO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ มุมสัมผัสของเคลือบเซรามิกก่อนเคลือบผิวด้วยฟิล์มของระบบ $\text{LiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ มีค่า 60° และของระบบ $\text{NaO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ มีค่า 18° ผลการทดลองวัดมุมสัมผัสก่อนและหลังการทดสอบการขัดสีของ TEOS-SiO₂-PDMS และ fluoropolymer ฟิล์มที่เคลือบบนเคลือบเซรามิกทั้งสองลักษณะ แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า การขัดผิวตัวอย่างมีผลให้สมบัติมุมสัมผัสของฟิล์มลดลง และลักษณะของผิวของเคลือบเซรามิกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสหลังการขัดสี โดยเคลือบที่ผิวขรุขระเคลือบผิวด้วย TEOS-SiO₂-PDMS และ fluoropolymer ฟิล์ม มีการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสหลังการขัดสีลดลงในระดับเดียวกัน คือจากค่าเริ่มต้นที่ $125^\circ\text{-}130^\circ$ เหลือ $72\text{-}76^\circ$ หลังการขัด ส่วนเคลือบที่ผิวเรียบกว่าเคลือบผิวด้วย TEOS-SiO₂-PDMS มีค่ามุมสัมผัสก่อนและหลังขัดสูงกว่าตัวอย่างที่เคลือบผิวด้วย fluoropolymer ฟิล์ม คือมีค่าเริ่มต้นที่ 142° เหลือ 101° และค่าเริ่มต้นที่ 102° เหลือ 83° หลังการขัด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมสัมผัสของเคลือบเซรามิกก่อนเคลือบผิวด้วยฟิล์ม พบว่าหลังการขัดเคลือบเซรามิกที่เคลือบผิวด้วยฟิล์ม 2000 รอบยังคงมีสมบัติมุมสัมผัสที่สูงกว่าเดิมทุกตัวอย่าง โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดดังรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า TEOS-SiO₂-PDMS ฟิล์มบนเคลือบในระบบ $\text{NaO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ ที่มีความขรุขระต่ำ มีความหนาแน่นมากกว่า fluoropolymer ฟิล์ม ทำให้หลังการขัด 2000 รอบ มีเนื้อฟิล์มที่ยังคงสภาพผิวมากกว่า

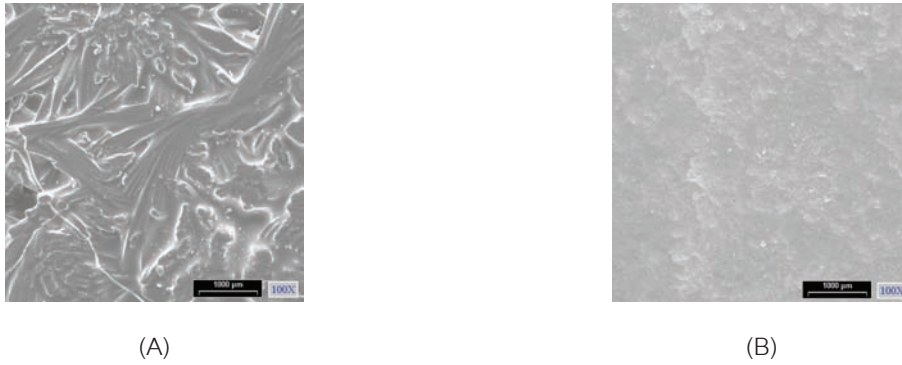


Figure 4 SEM images of the ceramic glaze surfaces.

(A) $\text{LiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ system

(B) $\text{NaO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ system

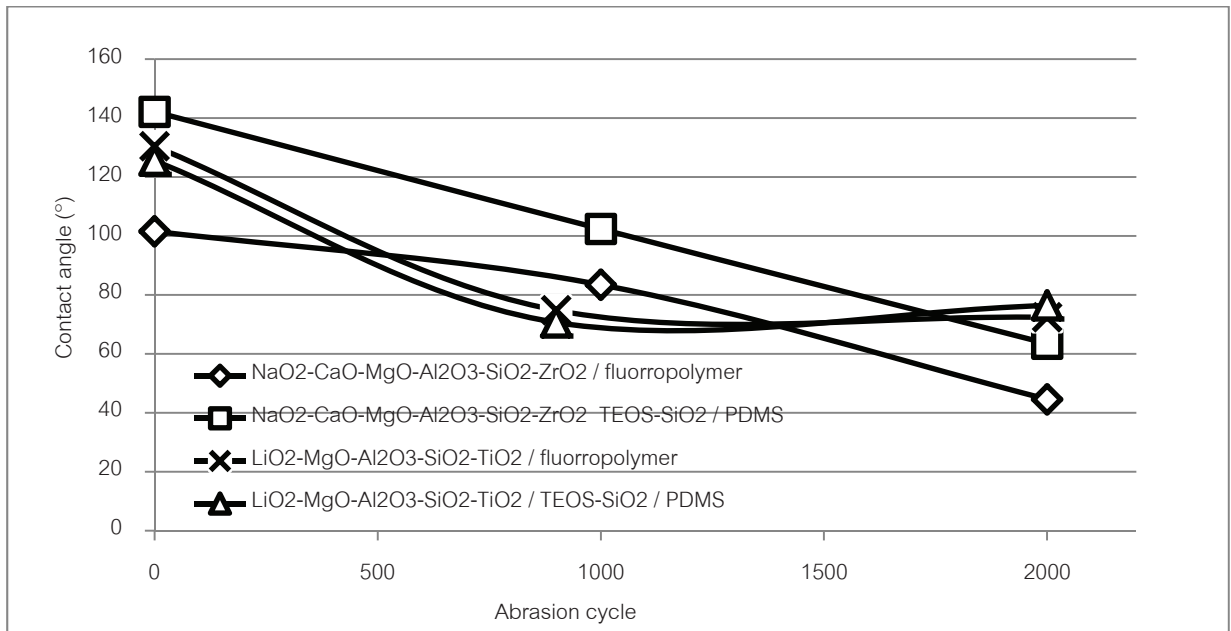


Figure 5 Graph showed contact angles of TEOS-SiO₂-PDMS and fluoropolymer films before and after abrasion tests.

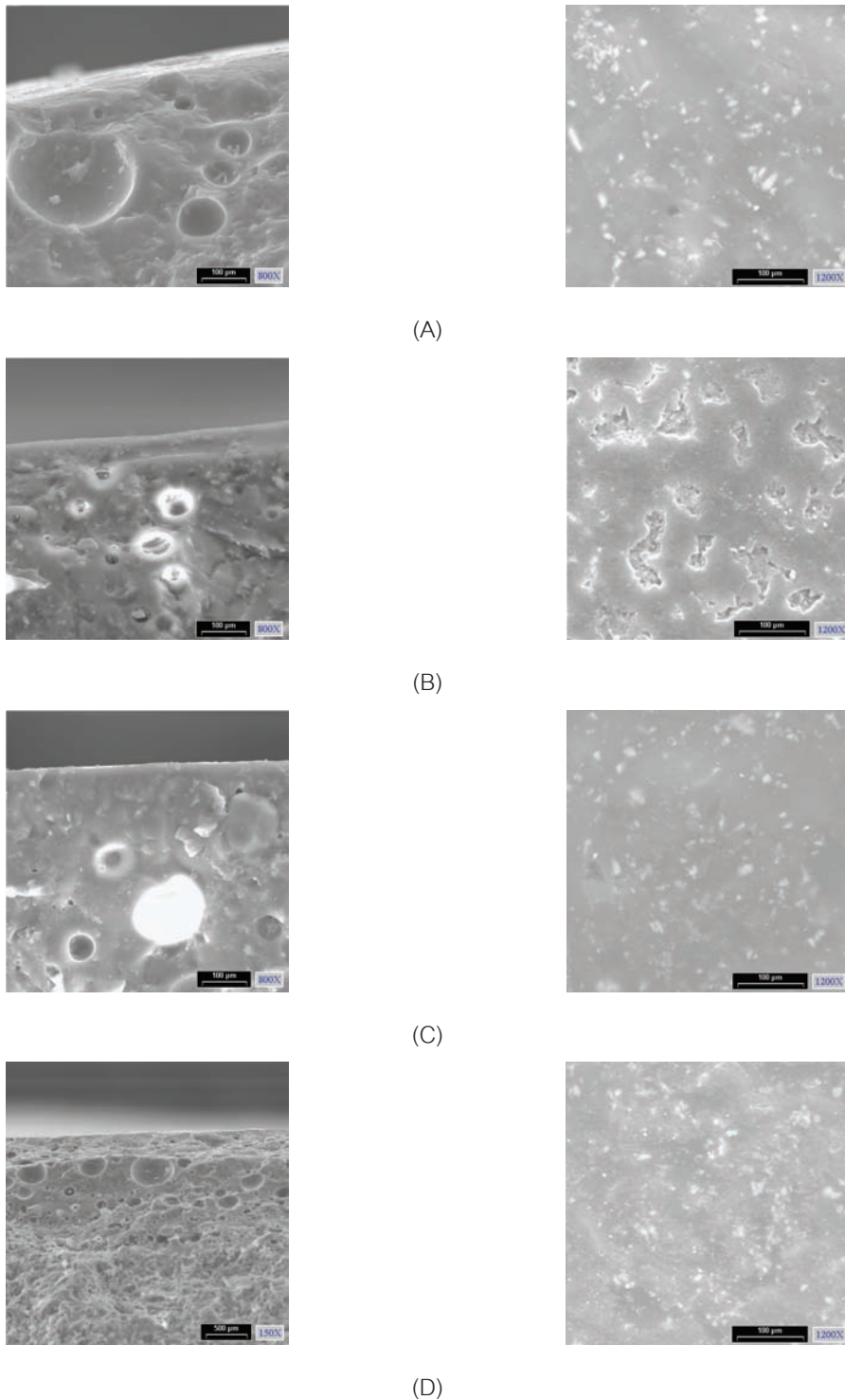


Figure 6 SEM images of the fracture surface and top views of the films coated on the $\text{NaO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ glaze before and after abrasion tests.

- (A) Fluoropolymer film before abrasion test
- (B) Fluoropolymer film after abrasion test
- (C) TEOS-SiO₂-PDMS film before abrasion test
- (D) TEOS-SiO₂-PDMS film after abrasion test



4. สรุป (Conclusion)

การวิจัยการสังเคราะห์ไฮโดรเจล TEOS-SiO₂-PDMS เพื่อเคลือบผิวเซรามิก พบว่าสามารถสังเคราะห์ฟิล์มบนผิวเคลือบเซรามิก โดย TEOS-SiO₂-PDMS ที่ใช้ซิลิกาขนาด 12 นาโนเมตร ที่ปริมาณโดยน้ำหนักร้อยละ 10 และอุณหภูมิการอบ 400°C ได้ฟิล์มที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ให้มุมสัมผัส 139° และความส่องผ่านของแสงร้อยละ 73 ฟิล์มที่ได้เมื่อเคลือบบนผิวเคลือบเซรามิกทำให้มีมุมสัมผัสมีค่าสูงกว่า 100° และเมื่อผ่านการขัดสี มุมสัมผัสมีค่าลดลงแต่ยังคงอยู่ในระดับที่สูงกว่าเคลือบเซรามิกที่ไม่เคลือบผิวด้วยฟิล์ม และความหนาของฟิล์มมีผลให้หลังการขัด มุมสัมผัสของฟิล์มยังมีค่าสูง

5. กิตติกรรมประกาศ(Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณบริษัทเซรามิคอุตสาหกรรมไทยจำกัด ที่อนุเคราะห์กระเบื้องสำหรับการทดลอง บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์สารเคมีสำหรับการทดลอง คุณวราสนา วิชัย มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ทดสอบความขรุขระของพื้นผิววัสดุ และกรมวิทยาศาสตร์บริการ คุณชัยวัฒน์ ธาณิรัตน์ ที่ทดสอบ SEM ศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว ที่ทดสอบ XRF

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Minglin Ma and Randal M. Hill, **Superhydrophobic surfaces**, *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 11 (2006) 193-202.
- [2] Ashley Jones and Norman Lamb, Zhang, 2004. **Hydrophobic Material**. U.S. patent 6,743,467 B1. Jun 1.
- [3] Linda Y. L. Wu, G. H. Tan, X. T. Zeng, T. H. Li, Z. Chen, 2006. **Synthesis and Characterization of Transparent Hydrophobic Sol-Gel Hard Coatings**. *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 38, 85–89.
- [4] Linda Y.L. Wu, A.M. Soutar, X.T. Zeng, 2005. **Increasing hydrophobic of sol-gel coating by chemical and morphological modifications**. *Surface&Coating Technoloby* 198.420-424
- [5] Linda Y.L. Wu, G.H. Tan, M. Qian and T. H. Li, **Formation of transparent hydrophobic sol-gel hard coating**. *SIM Tech technical report*, vol.6, No.2, Jul-Sep, (2005) 1-4.
- [6] T. Prertkaew, L. Punsukumtana, and S. Srilomsuk, **Thin Film Society and Harbin Institute of Technolgy. Processing parameters on properties of TEOS-SiO₂-PDMS film**. The 5th International conference on technological advances of thin films & surface coatings (ThinFilms2010) and The First International conference on advanced polymer and polymer composites (COMPO2010). 2010. July; 11-14; CHINA: Harbin, 2010.
- [7] Shuxue Zhou, Limin Wu, Jian Sun, Weidian Shen, **The change of the properties of acrylic-based polyurethane via addition of nano-silica**, *Progress in Organic Coatings* 45 (2002) 33–42.
- [8] Liang Jin-sheng, Meng Jun-ping, Liang Guang-chuan, Wang Li-juan, Zhang Jin, Li Ji-juan, **Effect of surface free energy of ceramic glaze on oil droplet shape and its behavior in water**. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. 16, (2006), s538-s541.