การศึกษาปริมาณ SiO_2 ต่อสมบัติไม่ชอบน้ำ และสมบัติทางแสงของฟิล์ม TEOS-SiO_2-OTES บนกระจก

Study of effects of SiO_2 contents on hydrophobicity and optical properties of TEOS-SiO_2-OTES film on glass panels

5

อุษณีย์ พันธุลาภา[1*], เบญจมล เพ็ชรเจริญมงคล[1], วราภรณ์ แก้วแดง[1], กนิษฐ์ ตะปะสา[1]
Usanee Pantulap[1*], Benjamon Petchareanmongkol[1], Waraporn Kaewdang[1], Kanit Tapasa[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณ SiO_2 ต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำในฟิล์มไฮบริดระหว่าง TEOS (Tetraethyl Orthosilicate) และ OTES (Octyltriethoxysilane) ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซล-เจล โดยใช้ TEOS : OTES : โพรพานอล : น้ำ ในอัตราส่วน 2.4 : 0.6 : 94 : 3 และเติมอนุภาคซิลิกา ปริมาณ 0.5, 1, 3, 5, และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นเคลือบลงบนผิวกระจกโดยวิธีการปั่นเหวี่ยง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 200-450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาศึกษาสมบัติของฟิล์มด้วยเทคนิค FT-IR, UV-VIS Spectroscopy, XRD, AFM และ Contact angle ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น จะมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการส่องผ่านของแสงลดลง จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าฟิล์มไฮบริด TEOS-OTES ที่ดีที่สุดคือฟิล์มที่เติมซิลิกา 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ 119±4.1 องศา) และฟิล์มยังคงความใส (ค่าการส่องผ่านแสง 75 เปอร์เซ็นต์)

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of silica addition on TEOS-OTES hybrid films on hydrophobic properties. The film was prepared by sol-gel method from solvents such as, tetraethylorthosilicate (TEOS), octyltriethoxysilane (OTES), isopropanol alcohol (IPA), deionized water (DI) and silica particles. The sols were prepared at a volumetric ratio of TEOS : OTES : IPA : DI equal to 2.4 : 0.6 : 94 : 3. Silica particles at 0.5, 1, 3, 5 and 10 weight percent were subsequently added to the sol. The sol-gel precursor was spin-coated onto glass slides and heated at 200-450 ºC for 30 minutes. After the heat treatment, the film properties were characterized by FT-IR, UV-VIS Spectroscopy, XRD, AFM and contact angle. It was found that contact angle of film increased with increasing amounts of silica particles whereas the transmittance decreased with increasing amounts of silica particles. The optimal hydrophobic (Water contact angle of 119±4.1º) and optical (transmittance of 75%) properties were obtained in TEOS-OTES hybrid film containing 1 weight percentage of silica particles.

คำสำคัญ: มุมสัมผัส เคลือบไม่ชอบน้ำ เคลือบซิลิกา กระบวนการโซล-เจล
Keywords: Contact angle, Hydrophobic coatings, Silica film, Sol-gel process

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ
[*]Corresponding author. E-mail address: usanee@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยทุกวันนี้ใช้กระจกแทนการก่อผนังทึบในห้องน้ำ เนื่องจากกระจกเป็นวัสดุสำเร็จรูป ที่ติดตั้งได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว กว่าการก่อผนังทึบ และด้วยสมบัติพิเศษด้านความโปร่งใสของกระจกยังทำให้ ได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติ และเพิ่มความสวยงาม ความหรูหรา ทันสมัย แต่การใช้งานจะพบปัญหาเกี่ยวกับคราบสกปรกที่เกาะติดบนกระจก ซึ่งผู้บริโภคจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการทำความสะอาดและดูแลรักษา จึงทำให้มีความต้องการใช้งานกระจกทำความสะอาดตัวเองได้ (Self-cleaning) มากขึ้นเรื่อย ๆ แต่อย่างไรก็ตามกระจกทำความสะอาดตัวเองได้ ยังไม่มีผลิตขายในประเทศไทย ผู้บริโภคต้องนำเข้ากระจกชนิดนี้จากต่างประเทศในราคาค่อนข้างสูง หากประเทศไทยสามารถสร้างนวัตกรรมการผลิตกระจกทำความสะอาดตัวเองได้ขึ้นเอง จะช่วยให้ผู้บริโภคสามารถซื้อกระจกชนิดนี้ได้ ในราคาที่ไม่แพง และยังช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กระจกให้กับผู้ประกอบการด้านกระจกอีกด้วย

กระจกทำความสะอาดตัวเองได้ หมายถึงกระจกที่ไม่ยอมให้สิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นละอองและสารอินทรีย์ต่าง ๆ มาเกาะติดแน่นที่กระจก มีการทำงานภายใต้ความเปียก (Wetting) โดยแบ่งประเภทกระจกเป็น 2 ประเภท ตามหลักการทำงานคือ กระจกที่ทำงานโดยหลักการชอบน้ำ (Hydrophilic) และกระจกที่ทำงานโดยหลักการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระจกที่ทำงานโดยหลักการไม่ชอบน้ำ ซึ่งเป็นกระจกมีค่ามุมสัมผัสกับน้ำตั้งแต่ 90 องศาขึ้นไป ทำให้น้ำรวมตัวกันเป็นหยดรูปร่างค่อนข้างกลม และหยดน้ำจะทำหน้าที่พาสิ่งสกปรกที่ติดบนกระจกให้ออกไปพร้อมหยดน้ำ ซึ่งคล้ายกับน้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus Effect)

การเคลือบผิวกระจกด้วยวัสดุเคลือบผิวไฮบริด(Hybrid Coating Material) เป็นนวัตกรรมที่ใช้ในการผลิตกระจกทำความสะอาดตัวเองได้ [1-5] ซึ่งวัสดุเคลือบผิวไฮบริดเกิดจากการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซล-เจล ที่มีส่วนประกอบหลักของ TEOS เป็นสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Components) ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการโซล-เจล และเติมสารประกอบอินทรีย์ (Organic Components) เพื่อเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำ Octyltriethoxysilane (OTES) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้สังเคราะห์ฟิล์มซิลิกาเพื่อเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำ ในงานวิจัยของ Purcar และคณะ [1] ใช้ OTES เป็นสารปรับแต่งสมบัติความไม่ชอบน้ำในฟิล์มซิลิกา บนกระจกสไลด์ โดยแผ่นฟิล์มสังเคราะห์ด้วยเทคนิคกระบวนการโซล-เจลในสภาวะอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีประกอบด้วย TEOS และ OTES ผลการศึกษาพบว่า ฟิล์มซิลิกาบนกระจกสไลด์มีสมบัติไม่ชอบน้ำและวัดค่าค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้ 107±3 องศา นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Holubova และคณะ [6] ศึกษาการสังเคราะห์ฟิล์มที่มีส่วนผสมของ TEOS และ OTES โดยใช้เทคนิคโซล-เจลในสภาวะอุณหภูมิต่ำ และไม่ผ่านการให้ความร้อนหลังเคลือบฟิล์มบนกระจก ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มีความใส ยึดเกาะกับกระจกได้ดี มีสมบัติไม่ชอบน้ำ และวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้ 105.8±1.6 องศา และจากการศึกษาของ Kumar และคณะ [5] พบว่าสามารถเตรียมเคลือบฟิล์มบาง TEOS-PDMS (polydimethyl siloxane) ที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดบนกระจก โดยใช้เทคนิคโซล-เจล และมีการเติมผงซิลิกาปริมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำของแผ่นฟิล์ม ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงขึ้น เนื่องจากสภาพผิวเคลือบมีความขรุขระ ฟิล์มที่มีซิลิกาปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้สูงที่สุดในงานวิจัย คือ 154 องศา แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานการศึกษาผลของการเติมปริมาณซิลิกาเพื่อเพิ่มสมบัติไม่ชอบน้ำในฟิล์ม TEOS -OTES ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสังเคราะห์ฟิล์ม TEOS-SiO_2-OTES ด้วยกระบวนการโซล-เจล ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ และสามารถนำไปใช้ได้จริงกับอุตสาหกรรมกระจก

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

เตรียมฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ด้วยกระบวนการโซล-เจล โดยใช้ TEOS (Acros Organics, 98%) : OTES (Acros Organics, 97%) : โพรพานอล : น้ำ ในอัตราส่วนโดยปริมาตร 2.4 : 0.6 : 94 : 3 ตามลำดับ จากนั้นปรับค่า pH ประมาณ 2 ด้วยกรดไนตริก ปั่นกวนสารละลายที่ความเร็ว 400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บสารละลายไว้เป็นเวลา 1 วัน ลำดับถัดไปเติมอนุภาคซิลิกา (ขนาดประมาณ 11 ไมครอน) ปริมาณ 0.5, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และปั่นกวนต่ออีก 2 ชั่วโมง เก็บสารละลายไว้เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นเคลือบสารละลายลงบนกระจกใสด้วยวิธีเคลือบแบบปั่นเหวี่ยง (spin coating) ด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเพื่อให้ฟิล์มมีความหนาประมาณ 85 ไมครอน จากนั้นปล่อยกระจกให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำกระจกที่เคลือบแล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิช่วง 200-400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากอบฟิล์มแล้วนำไปวัดสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ค่าการส่องผ่านแสง ค่าความหยาบผิว และทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์ม ได้แก่ โครงสร้างจุลภาค และพันธะทางเคมี

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

ผลของอุณหภูมิในการอบฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ต่อมุมสัมผัสของหยดน้ำแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบฟิล์มเพิ่มขึ้น มุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวฟิล์มมีค่าลดลง โดยมุมสัมผัสของหยดน้ำบนชิ้นงานที่ค่าสูงสุดที่อุณหภูมิอบฟิล์ม 200 องศาเซลเซียส มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ 110±4.2 องศา และฟิล์มที่เติมซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ 140.5±1.7 องศา นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่ 250-450 องศาเซลเซียส ทำให้ฟิล์มที่เคลือบบนกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำน้อยกว่า 90 องศา

จากรูปที่ 1 พบว่าฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีเนื้อฟิล์มค่อนข้างเรียบ เป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิในการอบเป็น 250 องศาเซลเซียส เริ่มการสลายตัวของฟิล์ม สังเกตได้จากรูพรุนที่เกิดในเนื้อฟิล์ม ทำให้เนื้อฟิล์มไม่เป็นเนื้อเดียว เกิดการขาดของฟิล์ม ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำลดลง และฟิล์มที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 300-450 องศาเซลเซียสขึ้นไปเกิดการสลายตัวของฟิล์มบนกระจก ทำให้ไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้ ดังนั้นจากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES สามารถสรุปได้ว่า ฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่ผ่านอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงที่สุดในงานวิจัยนี้

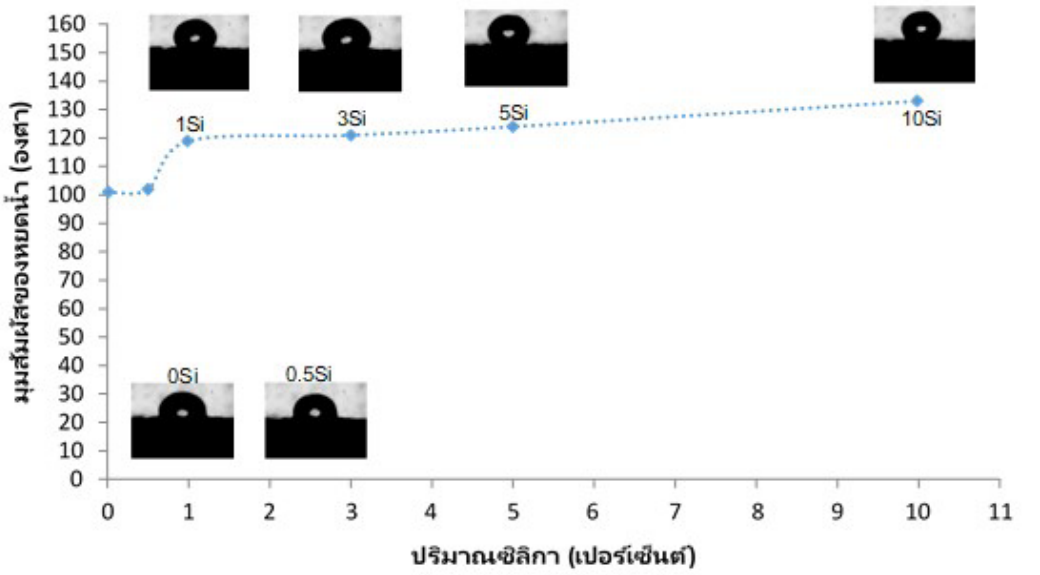
ตารางที่ 1 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่มีอุณหภูมิในการอบฟิล์มแตกต่างกัน

อุณหภูมิในการอบฟิล์ม (องศาเซลเซียส)	**มุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)**	
	เติมซิลิกา 0 เปอร์เซ็นต์	**เติมซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์**
200	110±4.2	140.5±1.7
250	88.9±2.5	89.6±6.4
300	81.6±4.8	34.8±4.1
350	60.6±5.0	35.3±8.6
400	43.7±6.8	37.4±6.4
450	35.2±1.8	31.5±1.9

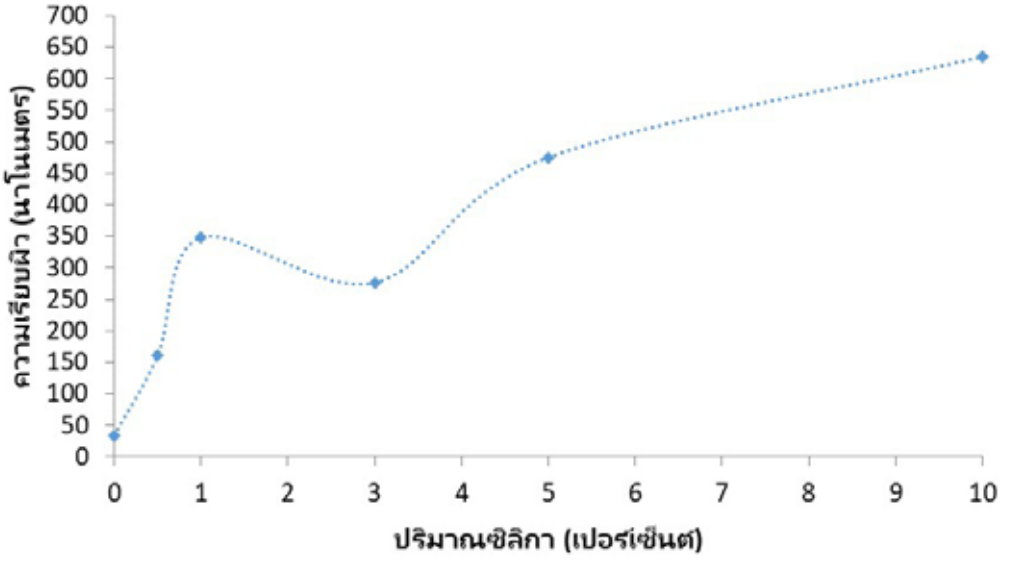
ผลของปริมาณซิลิกาที่เติมในฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES หลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำหรือมุมสัมผัสของหยดน้ำแสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนแผ่นฟิล์มสูงขึ้น เนื่องจากอนุภาคซิลิกาเพิ่มความขรุขระให้กับเนื้อฟิล์มแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ซึ่งความขรุขระที่เกิดขึ้นเพิ่มช่องว่างระหว่างของจุดสัมผัสระหว่างน้ำกับผิวเคลือบ น้ำรวมตัวเป็นหยดค่อนข้างกลม ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมากกว่า 90 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับ ธิดารัตน์ เพริศแก้ว [6] และ Kumar และคณะ [5] ที่พบว่าการเติมซิลิกาเพิ่มขึ้น ในฟิล์ม TEOS-SiO_2–PDMS ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนแผ่นฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

อุณหภูมิในการอบฟิล์ม	**เติมซิลิกา 0 เปอร์เซ็นต์**	**เติมซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์**
200 องศาเซลเซียส		
250 องศาเซลเซียส		
300 องศาเซลเซียส		
350 องศาเซลเซียส		
400 องศาเซลเซียส		
450 องศาเซลเซียส		

รูปที่ 1 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่มีอุณหภูมิในการอบฟิล์มแตกต่างกัน

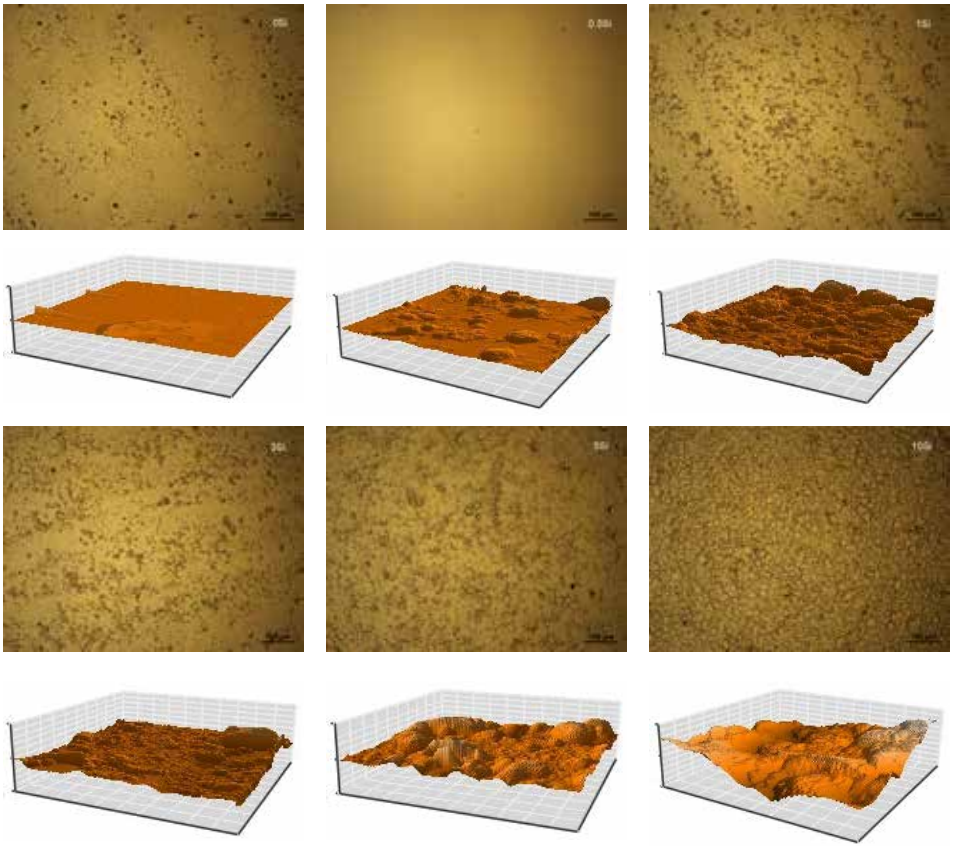


รูปที่ 2 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณต่าง ๆหลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3 ความเรียบผิวของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณต่าง ๆ หลังอบอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

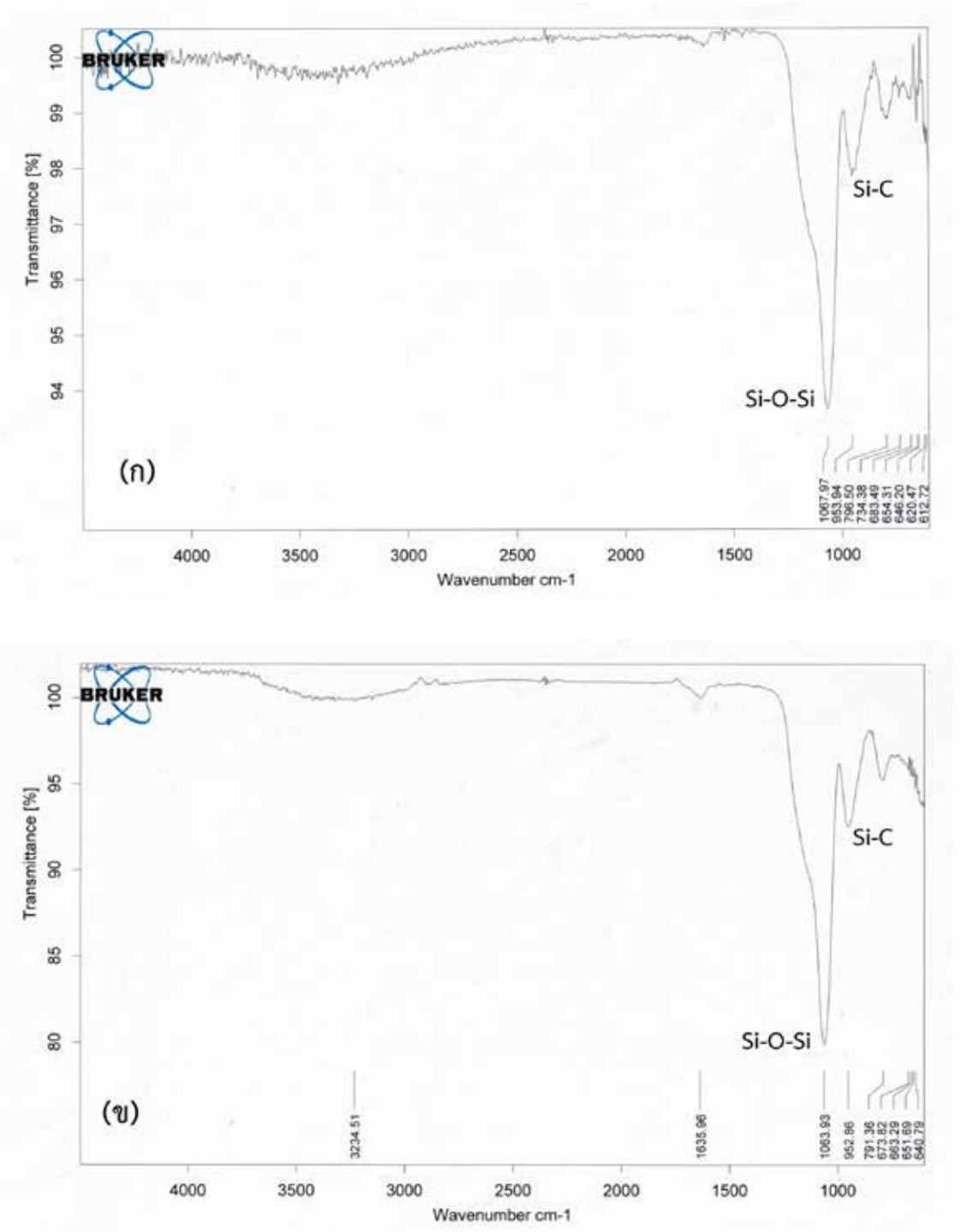
รูปที่ 5 แสดงผล FTIR ของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความยาวคลื่นประมาณ 1000 เซนติเมตร$^{-1}$ เกิดพีคของพันธะ Si-O-Si และ Si-C ซึ่งมาจากการเกิดปฏิกิริยาของ TEOS กับ OTES ซึ่งพันธะ C มาจาก OTES ที่ใช้ มีสูตรเคมีดังนี้ $CH_3(CH_2)_7Si(OC_2H_5)_3$



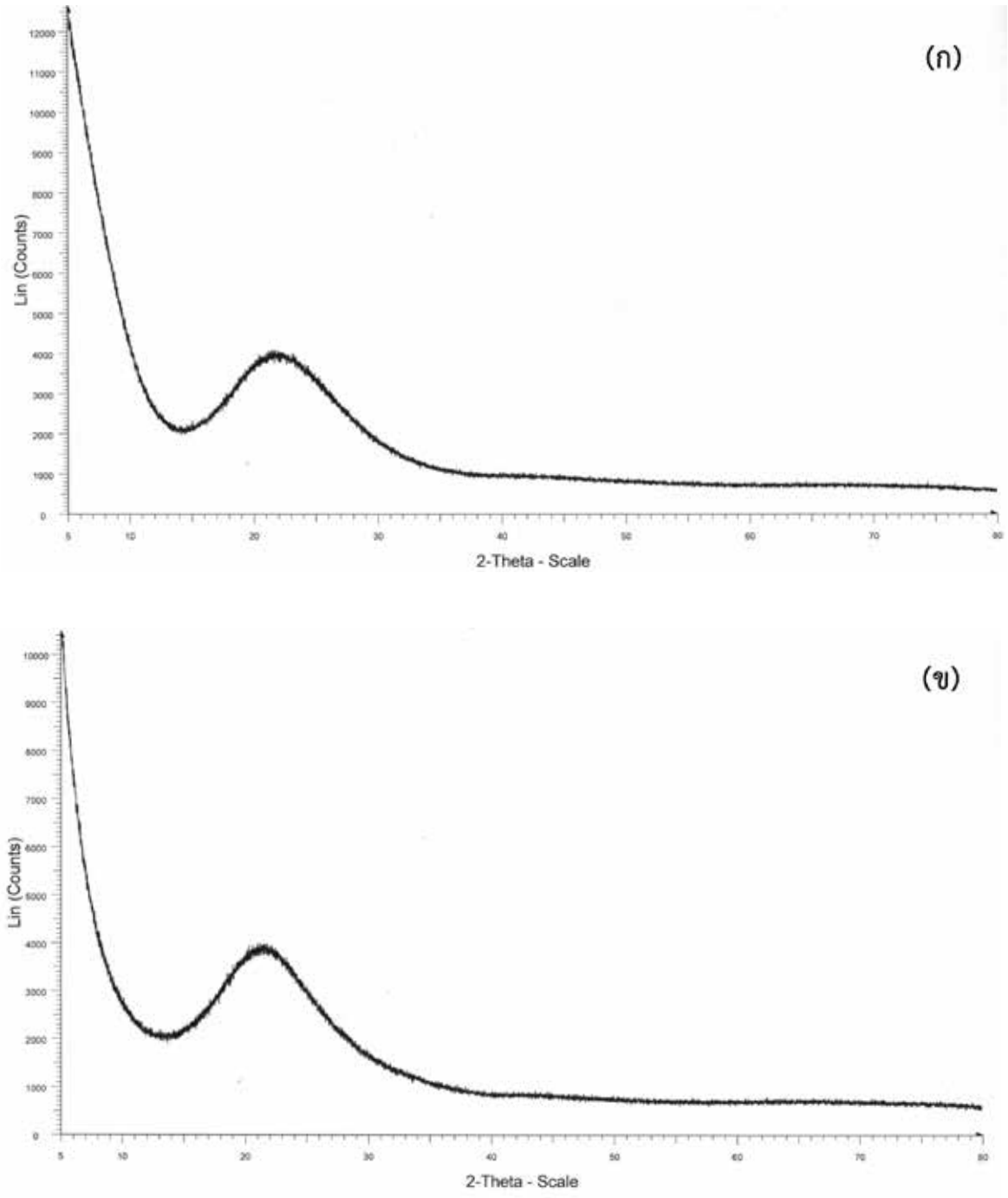
รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาค และ AFM ของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณต่าง ๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาเฟสองค์ประกอบของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันแสดงดังรูปที่ 6 พบพีคกว้าง ๆ แสดงให้เห็นว่าฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous)

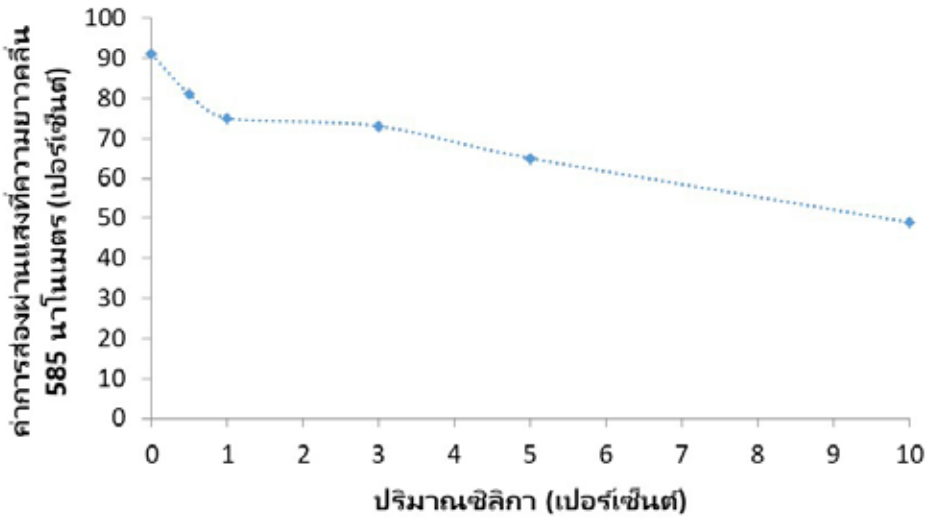
ผลการศึกษาค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณต่าง ๆ หลังอบอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 7 พบว่าค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มมีค่าลดลงเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น โดยค่าการส่องผ่านของแสงสูงสุดเท่ากับ 81 เปอร์เซ็นต์ในฟิล์มที่เติมซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การลดลงของค่าการส่องผ่านแสงเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นเกิดจากอนุภาคซิลิกาที่อยู่ในฟิล์มบดบังแสงที่ผ่านเข้ามาในเกิดการสะท้อนและดูดกลืนแสง ทำให้ความสามารถของแสงส่องผ่านได้ลดลง ฟิล์มจึงมีความทึบแสงมากขึ้น ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัย [6]



รูปที่ 5 FTIR ของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณต่าง ๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
(ก) 0 เปอร์เซ็นต์ และ (ข) 10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6 XRD ของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณต่าง ๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
(ก) 0 เปอร์เซ็นต์ และ (ข) 10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 7 ค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกาปริมาณต่าง ๆ หลังอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

4. สรุป (Conclusion)

ฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ที่เติมซิลิกา เพื่อปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำสามารถเตรียมจากเทคนิคโซล-เจล ซึ่งปริมาณซิลิกาส่งผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำและสมบัติทางแสง โดยปริมาณซิลิกาในเนื้อฟิล์มเพิ่มขึ้น ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่กลับลดสมบัติทางแสงของฟิล์มหรือค่าการส่องผ่านแสงลดลง งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการเติมซิลิกา 1 เปอร์เซ็นต์ลงในเตรียมฟิล์ม TEOS-SiO_2–OTES ทำให้ฟิล์มมีสมบัติทั้งความไม่ชอบน้ำและสมบัติทางแสงดีที่สุด ซึ่งมีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเท่ากับ 120 องศา และค่าการส่องผ่านแสง 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งฟิล์มดังกล่าวเป็นฟิล์มทำความสะอาดตัวเองได้ และสามารถนำไปกระยุกต์ใช้เป็นเคลือบบนกระจกภายในอาคารบ้านเรือนเช่น ห้องน้ำหรือห้องครัว เป็นต้นได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนให้จัดทำกิจกรรมวิจัยเรื่องการสังเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบผิวกระจกด้วยกระบวนการโซล-เจลเพื่อสมบัติความทนทานต่อสภาพอากาศ ในปี 2560 ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมวิจัยดังกล่าว

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] PURCAR, V., I. STANMATIN, O. CINTEZA, C. PRTCU, V. RADITOIU, M. GHIUREA, T. MICLAUS and A. ANDRONIE. Fabrication of Hydrophobic and Antireflective Coatings Base on Hybrid Silica Films by Sol-Gel Process. *Surface & Coatings Technology.* 2012, 206, 4449-4454.

[2] GAO, L. and J. HE. A Facile Dip-Coating Approach Based on Three Silica Sols to Fabrication of Broadband Antireflective Superhydrophobic Coating. *Journal of Colloid and Interface Science.* 2013, 400, 24-30.

[3] WANG, S.D. and S.S. LUO. Fabrication of Transparent Superhydrophobic Silica-Based Film on a Glass Substrate. *Applied Surface Science.* 2012, 258, 5443-5450.

[4] RAMEZANI, M., M.R. VAEZI and A. KAZEMZADEH. Preparation of Silane-Functionalized Silica Film via Two-Step Dip Coating Sol-Gel and Evaluation of Their Surperhydrophobic Properties. *Appiled Surface Science.* 2014, 317, 147-153.

[5] KUMAR, D., X. Wu., Q. Fu., J.W.C. Ho., and P.D. KANHERE. Hydrophobic Sol-Gel Coating Based on Polydimethylsiloxane for Self-Cleaning Application. *Materials and Design.* 2015, 86, 855-862.

[6] PRERTKAEW, T., et al. Effect of Sol-Gel Processing Parameters on Properties of TEOS-SiO2-PDMS Film. *Suranaree J. Sci. Technol.* 2012, 19(4), 237-249.