การศึกษาสมบัติกายภาพของเซรามิกเนื้อพรุน เพื่อการพัฒนาเซรามิกที่มีกลิ่นหอม

A physical properties study of porous ceramics for the development of the fragrance ceramic

ลดา พันธ์สุขุมธนา[1]*, อินทิรา มาฆพัฒนสิน[1], วราลี บางหลวง[1]
Lada Punsukmtana[1]*, Inthira Markhapattanasin[1], Vararee Bangluang[1]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทดสอบสมบัติกายภาพของเซรามิกเนื้อพรุนที่พัฒนาจากการเติมอะลูมินาในเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลน สมบัติกายภาพที่ทดสอบได้แก่ สมบัติการดูดซึมน้ำ การหดตัว ระยะดูดน้ำ และอัตราการระเหยน้ำ ผลการทดลองพบว่าเนื้อดินที่พัฒนาเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียล มีสมบัติการดูดซึมน้ำร้อยละ 3.25-3.35 การหดตัวร้อยละ12.22-12.84 มีสมบัติระยะดูดน้ำประมาณ 90 และ 80 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีสมบัติอัตราการระเหยน้ำ สอดคล้องกับสมบัติการดูดซึมน้ำ และแปรตามอุณหภูมิที่เผาและความหนาของตัวอย่างคือ ที่ความหนา 1-2 มิลลิเมตรมีอัตราการระเหยน้ำในช่วง 0.11-0.46 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที การทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกหอมจากเนื้อดินทดลองที่เติมอะลูมินาร้อยละ 2 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียล พบว่ามีความสามารถในการดูดของเหลวให้มีความสูงในระยะที่ต้องการ และสามารถปลดปล่อยกลิ่นน้ำหอมได้

Abstract

The physical properties of porous ceramics developing from alumina added in porcelain commercial bodies were studied. The physical properties as water absorption, shrinkage, absorption length, and water evaporation rate were evaluated. It was found that the developing body after firing at 1200 °C and 1230 °C had water absorption and the shrinkage in the range of 3.25-3.35% and 12.00-12.84 % consecutively. Their water absorption lengths were about 90 and 80 millimeters consecutively. The evaporation rate agreed with the water absorption property and was found to vary with the firing temperatures and thickness of the samples. At the thickness of 1-2 millimeters, the evaporation rate was in the range of 0.11-0.46 $\mu g/mm^2/sec$. A development of the fragrance ceramic products from the 2 % alumina added experimental body fried at 1200 °C was found its ability to absorb the liquid at a certain level and to release the fragrance.

คำสำคัญ : เซรามิก, เซรามิกเนื้อพรุน, เซรามิกที่มีกลิ่นหอม
Keywords : Ceramics, Porous ceramics, Ceramic fragrances

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

1. บทนำ (Introduction)

ธุรกิจสปาของประเทศไทยเป็นที่รู้จักทั้งในและต่างประเทศ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวเนื่องกับธุรกิจนี้ได้รับการพัฒนาให้มีคุณภาพและรูปแบบหลากหลายรวมถึงผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้กับงานสปา เช่น ที่ปักธูปหอม เตาน้ำมันหอมระเหย หัวเผาน้ำมันหอม เป็นต้น จึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีสมบัติสามารถปลดปล่อยกลิ่นโดยอาศัยสมบัติพิเศษของเซรามิกเนื้อพรุน

เซรามิกเนื้อพรุนคือเซรามิกที่มีช่องว่าง (void) ภายในเนื้อหลังเผา ช่องว่างเหล่านี้อาจเป็นรูพรุนแบบเปิดหรือรูพรุนแบบปิด หากเป็นรูพรุนแบบเปิดอนุภาคของของเหลวหรือแก๊สที่มีขนาดเล็กกว่าจะสามารถแทรกเข้าไปตามรูพรุนในเนื้อเซรามิกได้ แต่หากเป็นรูพรุนแบบปิดอนุภาคเหล่านี้จะไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ การใช้งานของเซรามิกเนื้อพรุนที่มีรูพรุนแต่ละประเภทจะแตกต่างกัน เช่น เซรามิกที่มีรูพรุนแบบปิดอาจนิยมนำมาใช้ในงานที่เป็นฉนวนความร้อน ส่วนเซรามิกที่มีรูพรุนแบบเปิดนิยมนำมาใช้ในงานกรองสาร เป็นต้น รูพรุนแบบเปิดเมื่อมีขนาดเล็กมากจะมีสมบัติที่ทำให้เกิดแรงแคปิลลารี (Capillary) สามารถดูดของเหลวได้ (1,2) ซึ่งสมบัตินี้ได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการได้ดำเนินกิจกรรมพัฒนาเซรามิกที่มีกลิ่นหอม โดยออกแบบเป็นเครื่องประดับที่ใช้เซรามิกเนื้อพรุนในการเก็บน้ำหอม สมบัติที่ต้องการจากเนื้อเซรามิกคือความสามารถในการเก็บกักดูดลำเลียง และปลดปล่อยน้ำหอมในอัตราสม่ำเสมอ ได้ทดลองพัฒนาสูตรเซรามิกเนื้อพรุนและทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ การหดตัว ระยะดูดน้ำและอัตราการระเหยน้ำ โดยแปรเปลี่ยนอุณหภูมิที่เผาและความหนาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการทดสอบระยะดูดน้ำและอัตราการระเหยน้ำเป็นวิธีทดสอบที่ดัดแปลงจำลองการใช้งาน (3) เพื่อการตรวจประเมินเบื้องต้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีกลิ่นหอมได้แก่ ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดน้ำหอม สูตรเนื้อเซรามิกพรุนที่มีประสิทธิภาพในการดูดหรือระเหยน้ำหอม เป็นต้น

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ เนื้อดินสำเร็จรูปพอรซเลน (บจก.คอมเพาด์เคลย์) มีองค์ประกอบเคมีที่ผู้ผลิตแสดงไว้ดังตารางที่ 1 อนุภาคของเนื้อดินนี้มีขนาดมัธยฐานที่ 0.48 ไมครอน และวัตถุดิบอื่นที่ใช้ได้แก่ อะลูมินาเกรด A12 (Showa Denki Ltd.) อนุภาคของอะลูมินามีขนาดมัธยฐานที่ 7.69 ไมครอน

ได้ทดลองเตรียมส่วนผสมระหว่างเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลนกับอะลูมินาที่อัตราส่วน 100:2 100:4 และ 100:6 (ชื่อตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 2) นำส่วนผสมมาเตรียมเป็นน้ำสลิปโดยการบดผสมในหม้อบดที่ปริมาณน้ำร้อยละ 70 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.1 ของวัตถุดิบแห้ง ขึ้นรูปตัวอย่างโดยการหล่อในแบบปูนปลาสเตอร์

ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ แท่งทดสอบที่เตรียมโดยวิธีหล่อตันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการทดสอบการดูดซึมน้ำ การหดตัว ระยะดูดน้ำ และแท่งทดสอบที่เตรียมโดยวิธีหล่อกลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.70 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการทดสอบอัตราการระเหยน้ำ เผาแท่งทดสอบที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส ในเตาไฟฟ้า (Lenton Thermal Designs Ltd.) ยืนไฟ 30 นาที

วิธีทดสอบการดูดซึมน้ำทำโดยการวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวอย่างแห้งทดสอบโดยการต้มตัวอย่างในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง และแช่ค้างคืนไว้ วิธีทดสอบการหดตัวหลังเผาทำโดยการวัดขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปหลังเผาเปรียบเทียบกับขนาดตัวอย่างก่อนเผา วิธีทดสอบระยะดูดน้ำทำโดยการวัดระยะทางของน้ำที่แท่งทดสอบดูดได้กับเวลา โดยการแช่แท่งทดสอบในน้ำผสมสีผสมอาหารที่ปริมาตร

1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12.50 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร (แสดงดังภาพที่1) และวิธีทดสอบอัตราการการระเหยน้ำ ทำโดยการวัดน้ำหนักของน้ำที่ลดลงกับเวลา ใช้วิธีเติมน้ำปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในแท่งทดสอบแบบกลวง ปิดผนึกช่องเติมน้ำ และทิ้งไว้ในห้องปิดที่อุณหภูมิห้อง

นำผลการทดสอบมาคัดเลือกสูตรส่วนผสมเพื่อทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีพื้นที่ผิวสำหรับการระเหยน้ำหอมประมาณ 20 ตารางเซนติเมตร ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อดัน เผาผลิตภัณฑ์ที่ 1200 องศาเซลเซียส ทดสอบการใช้งานโดยทดสอบระยะเวลาที่น้ำถูกดูดจนเต็มพื้นที่ผิว

ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อผลิตภัณฑ์เมื่อเติมน้ำหอมโดยใช้แบบสอบถาม ทำโดยการเติมน้ำหอมผสมแอลกอฮอล์ 1:2 ส่วน ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ในผลิตภัณฑ์เซรามิกหอม วางที่มุมห้องขนาด 5x5x3 เมตร จำนวน 2 และ 4 ตำแหน่ง มุมละหนึ่งตำแหน่ง วางตรงกันข้าม ทดสอบขณะเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศ

Table 1. Chemical compositions of the commercial porcelain body

Constituents	Content, in wt %
SiO_2	60.50
Al_2O_3	27.60
Fe_2O_3	0.52
MgO	0.11
CaO	0.09
Na_2O	1.14
K_2O	3.65
TiO_2	0.03

Table 2. Sample names and their compositions

Sample name	Commercial porcelain body	Alumina (A12)
P	100	0
PA2	100	2
PA4	100	4
PA6	100	6

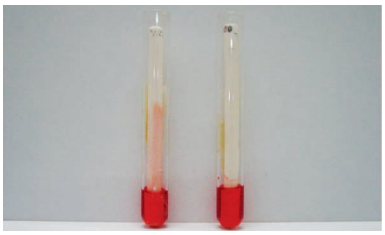

Figure 1. Water absorption length test.

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมอะลูมินาร้อยละ 2 4 และ 6 มีผลให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาเพิ่มขึ้น กล่าวคือที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลซียส จากเนื้อดินสำเร็จรูปที่มีค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 1.43 คือ เป็นค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 3.35 5.61 6.13 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส จากค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 0.63 เป็นค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 3.25 3.39 และ 4.20 ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิการเผาทำให้การดูดซึมน้ำของตัวอย่างหลังเผาลดลง แสดงดังภาพที่ 2 ผลการทดสอบการหดตัวของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมอะลูมินาร้อยละ 2 4 และ 6 มีผลให้การหดตัวของตัวอย่างหลังเผาลดลง กล่าวคือที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส จากค่าการหดตัวร้อยละ 12.36 เป็นค่าการหดตัวร้อยละ 12.22 11.88 9.92 และที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลซียส จากค่าการหดตัวร้อยละ 14.44 เป็นค่าการหดตัวร้อยละ 12.84 12.36 และ 11.50 การเพิ่มอุณหภูมิการเผาทำให้การหดตัวของตัวอย่างหลังเผาเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 2

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดตัวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิการเผาของเนื้อดินสำเร็จรูป โดยปกติมีผลให้ตัวอย่างมีรูพรุนแบบเปิดลดลงหรือความสุกตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างมีสมบัติการดูดซึมน้ำลดลงและการหดตัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมอะลูมินาซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีความทนไฟลงในเนื้อดินสำเร็จรูป ทำให้ตัวอย่างมีความทนไฟเพิ่มขึ้น ส่งผลในทางตรงข้ามให้ตัวอย่างหลังเผามีสมบัติการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นและการหดตัวลดลง

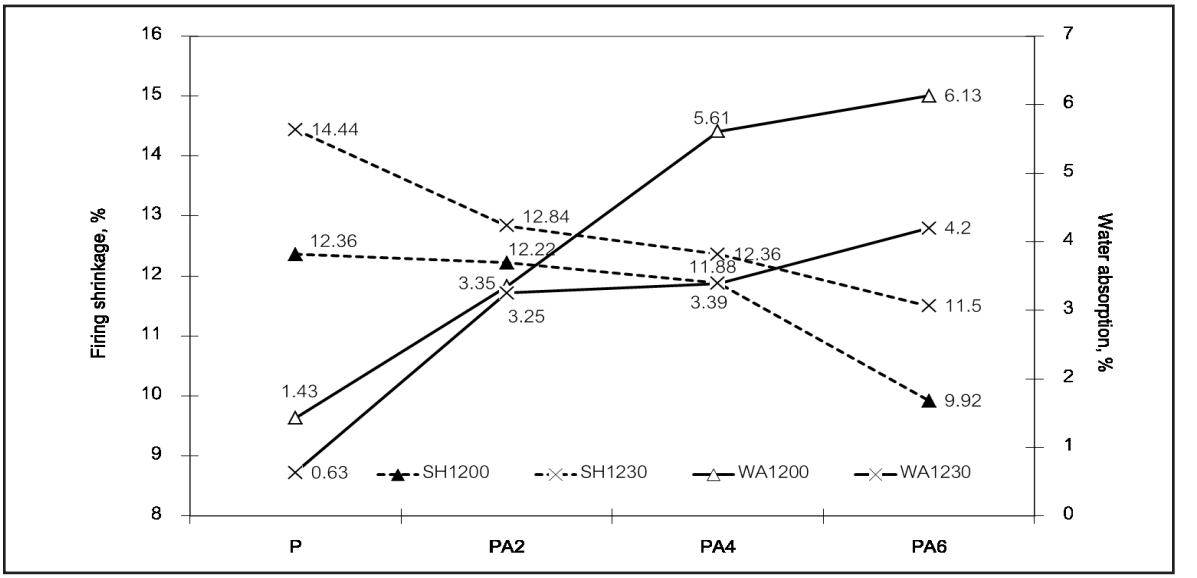

Figure 2 Firing shrinkages (SH) and water absorptions (WA) of P, PA2, PA4, and PA6 fired at 1200 ˚C and 1230 ˚C

ผลการทดสอบระยะดูดน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียสกับเวลาแสดงดังภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าการเติมอะลูมินาร้อยละ 2 4 และ 6 ทำให้ตัวอย่างมีความสามารถในการดูดน้ำเป็นระยะทางที่สูงเพิ่มขึ้นกว่าตัวอย่างเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลน ส่วนการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความชันของกราฟใน 8 ชั่วโมงแรกหรืออัตราการดูดน้ำใน 8 ชั่วโมงแรกต่ำลง ระยะดูดน้ำนี้เกิดจากแรงแคปิลลารีที่เกิดขึ้นกับของเหลวในท่อ แรงนี้จะขึ้นกับรัศมีของท่อและพลังงานจากผิวสัมผัส (interfacial surface energies of the solid-liquid-gas interface) เนื้อเซรามิกที่มีความพรุนแบบรูเปิดแบบต่อเนื่อง โดยขนาดของรูที่เหมาะสมมีความสามารถในการดูดของเหลวให้มีความสูง (4) ระยะดูดน้ำของตัวอย่างในการทดลองนี้เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 90 และ 80 มิลลิเมตร ตามลำดับ

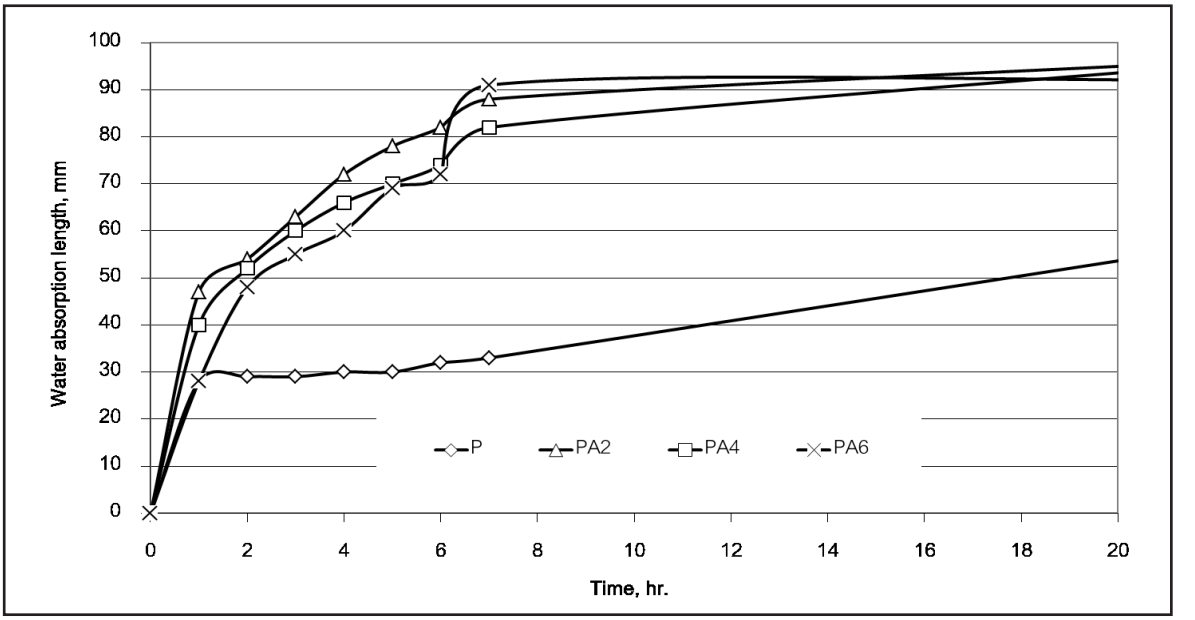

Figure 3 Water absorption lengths with times of P, PA2, PA4, and PA6 fired at 1200 ˚C

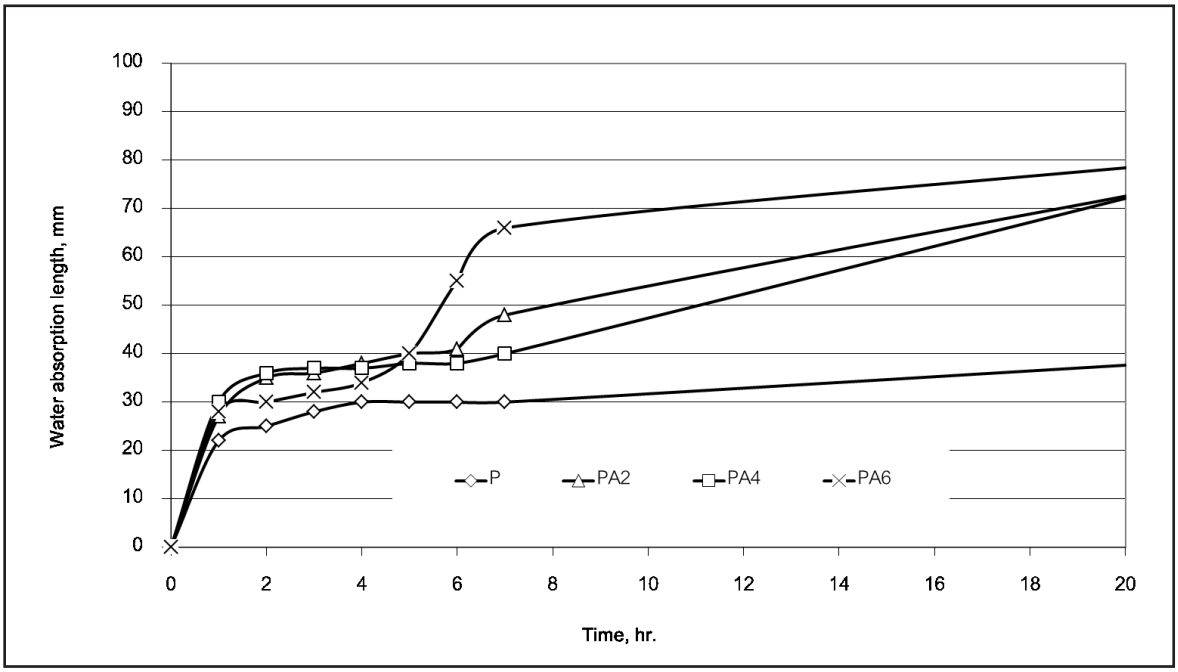

Figure 4 Water absorption lengths with varying times of P, PA2, PA4, and PA6 fired at 1230 ˚C

ผลการทดสอบอัตราการระเหยน้ำ แสดงดังภาพที่ 5 พบว่าตัวอย่างที่ความหนา 1 มิลลิเมตร การเติมอะลูมินาจากร้อยละ 2 เป็น 6 ทำให้เนื้อดินมีสมบัติอัตราการระเหยน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0.46 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.62 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที แต่ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร พบว่าการเติม อะลูมินาจากร้อยละ 2 เป็น 6 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติอัตราการระเหยน้ำเพียงเล็กน้อยคือจาก 0.31-0.32 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.36 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิการเผาจาก 1200 องศาเซลเซียส เป็น 1230 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างมีอัตราการระเหยน้ำลดลงมากคือ ตัวอย่างที่ความหนา 1 มิลลิเมตร มีสมบัติอัตราการระเหยน้ำลดลงจาก 0.46-0.62 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เหลือ 0.12-0.26 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที และที่ความหนา 2 มิลลิเมตร อัตราการระเหยน้ำลดลงจาก 0.31-0.36 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.07-0.11 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที

ผลการทดสอบอัตราการระเหยน้ำสอดคล้องกับผลการทดลองการดูดซึมน้ำกล่าวคือ สมบัติการดูดซึมน้ำเป็นค่าที่แสดงความพรุนตัวของรูเปิดแบบต่อเนื่องในตัวอย่างหลังเผา ที่ส่งผลถึงอัตราการระเหยที่ต้องอาศัยความพรุนตัวของรูเปิดแบบต่อเนื่องในการลำเลียงของเหลว การเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความพรุนตัวของรูเปิดแบบต่อเนื่องลดลงเป็นผลให้การดูดซึมน้ำลดลงและอัตราการระเหยน้ำลดลง สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีอัตราการระเหยลดลงนั้นสามารถใช้สมการของ D'Arcy's law (5) ในการอธิบายกล่าวคือ ของเหลวต้องไหลผ่านรูพรุนมาที่ผิวแล้วจึงระเหยออกไป อัตราการไหลเป็นสมบัติที่ผกผันกับระยะทางที่ของเหลวไหลผ่าน เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการไหลของของเหลวมาที่ผิวลดลง เป็นผลให้อัตราการระเหยลดลง

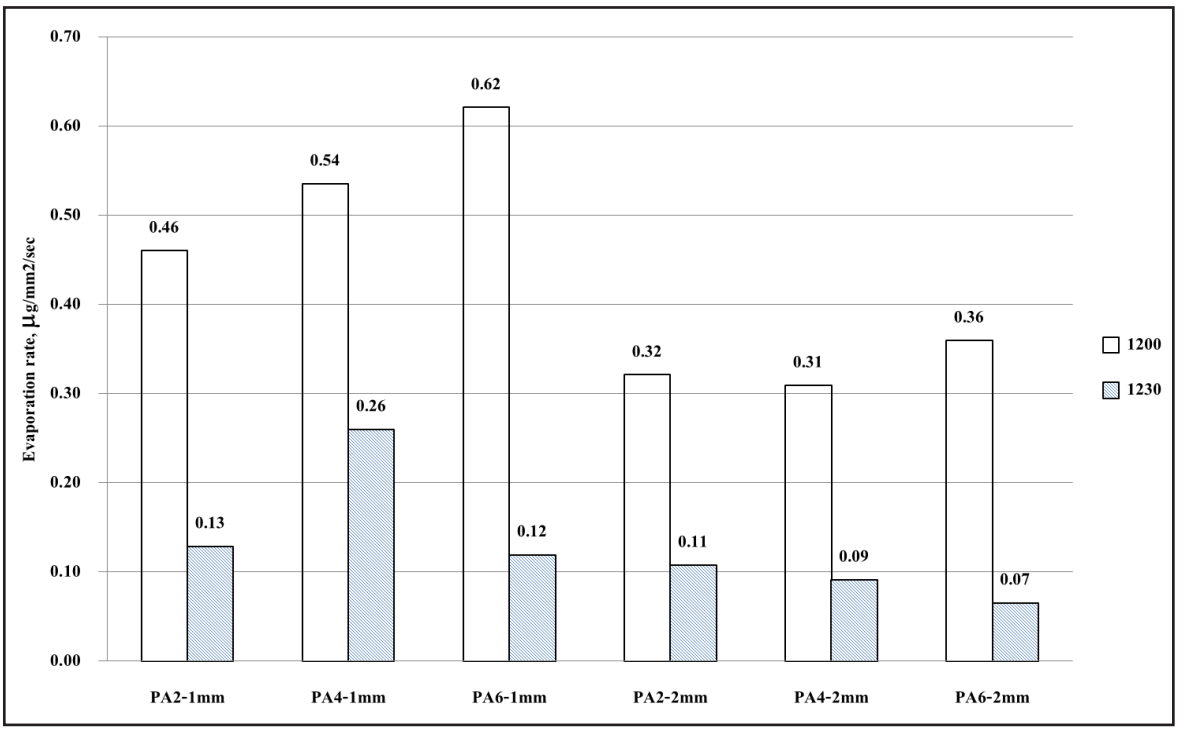

Figure 5 Water evaporation rates of PA2, PA4, and PA6 fired at 1200 ˚C and 1230 ˚C with 1 mm or 2 mm thick

ผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเติมอะลูมินาในเนื้อดินสำเร็จรูป สามารถทำให้เนื้อดินมีสมบัติดูดน้ำและน้ำสามารถระเหยออกจากเนื้อดินได้ และได้แสดงให้เห็นข้อจำกัดของขนาดที่เหมาะสมในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ประสงค์ใช้สมบัติดูดน้ำนี้ ได้ทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีกลิ่นหอมจากตัวอย่าง PA2 เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส ที่เลือกใช้อุณหภูมินี้เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่มักใช้ในการผลิตเซรามิกทั่วไป ผลการทดลองโดยวิธีตรวจพินิจระยะเวลาที่น้ำหอมถูกดูดจนเต็มพื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์พบว่าระยะเวลาที่น้ำหอมถูกดูดจนเต็มพื้นที่ผิวใช้เวลา 5 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 6 และผลการทดสอบความพอใจของกลิ่นน้ำหอมในห้องทดลอง พบว่าการเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับขนาดของห้องจาก 2 ตำแหน่ง เป็น 4 ตำแหน่ง และในสภาวะที่เปิดเครื่องปรับอากาศสามารถเพิ่มความพอใจของผู้ใช้ขึ้นมาในระดับที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 แสดงในภาพที่ 7

การเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์และการเปิดเครื่องปรับอากาศมีผลต่อความพอใจ เนื่องจากสมบัติการระเหยของของเหลวขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของโมเลกุลของของเหลวหรือสารอื่นในอากาศ พื้นที่ผิว อุณหภูมิ แรงระหว่างโมเลกุลของของเหลว และการถ่ายเทอากาศ (6,7) ในการทดลองนี้การเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว และการเปิดเครื่องปรับอากาศสามารถเพิ่มการถ่ายเทอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ อีกทั้งลดความเข้มข้นของโมเลกุลน้ำหอมบริเวณผิวหน้าของน้ำหอมเป็นผลให้โมเลกุลของน้ำหอมบริเวณผิวหน้ากลายเป็นไอได้มากขึ้นหรือระเหยได้เร็วขึ้นจึงเพิ่มระดับความพอใจ

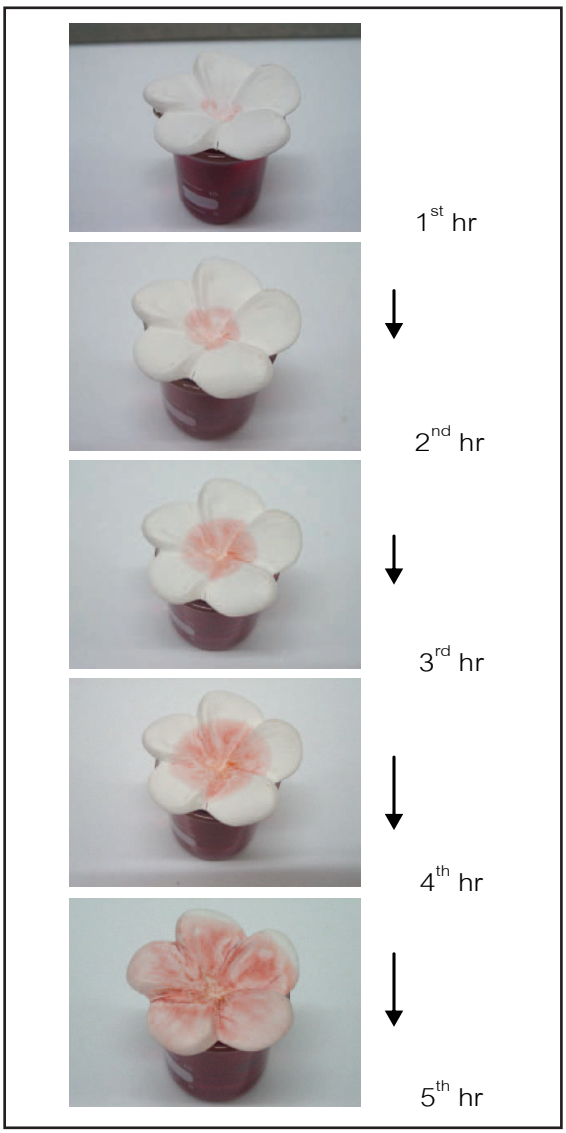

Figure 6 Appearance of the water absorption of the product

4. สรุป(Conclusion)

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเติมอะลูมินาในเนื้อดินสำเร็จรูปพอร์ซเลนเพียงร้อยละ2 ทำให้เซรามิกมีความพรุนมากขึ้น การเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อดินมีสมบัติการดูดซึมน้ำร้อยละ 3.25-3.35 มีสมบัติระยะดูดน้ำประมาณ 90 และ 80 มิลลิเมตร และสมบัติการระเหยน้ำ แปรผกผันกับอุณหภูมิที่เผาและขึ้นกับความหนาของตัวอย่าง คือ การเพิ่มอุณหภูมิการเผาจาก 1200 องศาเซลเซียส เป็น 1230 องศาเซลเซียส มีผลทำให้อัตราการระเหยน้ำ

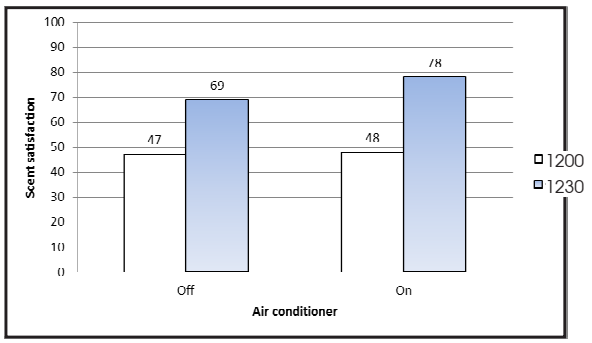

Figure 7 Scent satisfaction study of the product varied with the number of products placed in the room and the condition of the air conditioner

ที่ความหนา 1 มม. ลดลงจาก 0.46 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที เป็น 0.32 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที แต่ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร อัตราการระเหยน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมากนักคืออยู่ในช่วง 0.11-0.13 ไมโครกรัม/ตารางมิลลิเมตร/วินาที การทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ เซรามิกโดยใช้เนื้อดินนี้พบว่ามีความสามารถในการดูดของเหลวให้มีความสูงในระยะที่ต้องการ และสามารถปลดปล่อยน้ำหอมได้ โดยการใช้งานต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์และขนาดของห้องให้เหมาะสม และควรใช้ในห้องที่มีอากาศถ่ายเทเพื่อเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำหอม

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการที่สนับสนุนงบประมาณ สถานที่ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมวิทยาศาสตร์บริการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานสำเร็จลุล่วง

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) ScHeffer M. and Colombo P. Cellular Ceramics Structure, Manufacturing, Properties and Applications ,WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim. 2005, p 33

(2) Duncan J. Shaw. Introduction to Colloid and Surface Chemistry, Butterworth-Heineman

Ltd., 1992, p 70

(3) Raimondo M et al., Prediction the initial rate of water absorption in clay bricks, Construction and Building Materials, 2009, 23, p 2623-2630

(4) Capillarity and Gravity (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 3 สิงหาคม 2552). เข้าถึงได้จาก http://web.mit.edu/nnf/education/wettability/gravity.html

(5) Darcy's law (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 8 เมษายน 2552). เข้าถึงได้จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Darcy's_law

(6) Evaporation (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 15 เมษายน 2556). เข้าถึงได้จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporation

(7) การระเหย (ออนไลน์). (อ้างถึงวันที่ 15 เมษายน 2556). เข้าถึงได้จาก http://www.promma.ac.th/main/chemistry/solid_liquid_gas/vapourization.htm