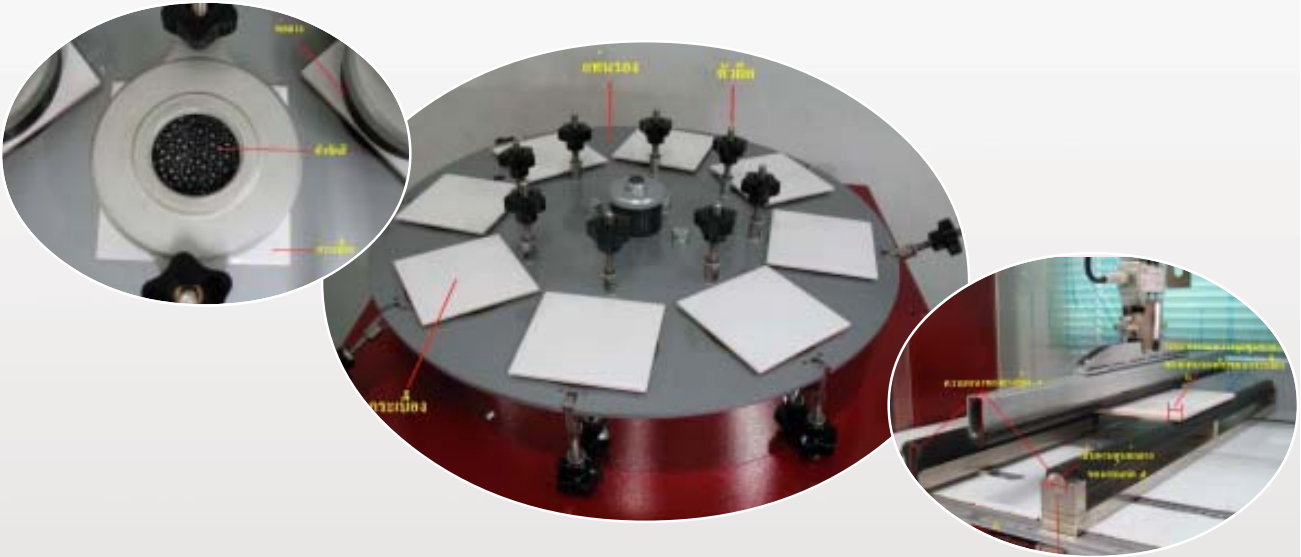


การทดสอบกระเบื้องเซรามิก

ตามมาตรฐาน ISO 10545



อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกของไทยมีการขยายตัวด้านการผลิตและมูลค่าเพิ่มอย่างรวดเร็ว โดยมีมูลค่าการส่งออกมากกว่าสองพันล้านบาทต่อปี ตลาดส่งออกที่สำคัญของไทย คือ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เยอรมันนี เนเธอร์แลนด์ สิงคโปร์ และฮ่องกง แต่อย่างไรก็ตามในสถานการณ์การค้าแบบเสรีที่มีการแข่งขันกันสูง โดยเฉพาะกับประเทศที่มีขีดความสามารถในการผลิตที่สูง เช่น จีน หรือเวียดนาม ที่อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกของไทยไม่สามารถแข่งขันในด้านราคาได้ เนื่องจากประเทศไทยมีต้นทุนด้านแรงงานที่สูงกว่า ดังนั้นผู้ประกอบการจำเป็นต้องพัฒนาและควบคุมคุณภาพของสินค้าที่ผลิตให้ได้มาตรฐานอย่างสม่ำเสมอจนเป็นที่ยอมรับของลูกค้า เพื่อเสริมสร้างศักยภาพในการแข่งขัน สินค้ากระเบื้องเซรามิกที่ผลิตในไทยต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพให้ได้มาตรฐานก่อนหน้าส่งไปขาย ด้วยเหตุนี้กรมวิทยาศาสตร์บริการที่มีบทบาทในการให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ เพื่อสนับสนุนภาคการผลิต การค้า การวิจัยและพัฒนา ได้จัดตั้งห้องปฏิบัติการทดสอบ กระเบื้องเซรามิกขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในการทดสอบคุณภาพของสินค้าก่อนการส่งออก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10545 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลสำหรับที่ใช้ทดสอบสมบัติของกระเบื้องเซรามิก

มาตรฐาน ISO 10545 นั้นประกอบไปด้วย 17 ส่วน ดังต่อไปนี้

- ส่วนที่ 1. การสุ่มตัวอย่างทดสอบ (sampling) (ISO 10545-1)
 - ส่วนที่ 2. การวัดมิติ (dimension) และคุณภาพของผิวหน้า (surface quality) กระเบื้อง (ISO 10545-2)
 - ส่วนที่ 3. การวัดค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption), สภาพพรุนปรากฏ (apparent porosity), ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (apparent relative density) และความหนาแน่นบัลค์ (bulk density) (ISO10545-3)
 - ส่วนที่ 4. การวัดค่าโมดูลัสของการแตกร้าว (modulus of rupture) และความแข็งแรงต้านการแตกหัก (breaking strength) (ISO10545-4)
 - ส่วนที่ 5. การวัดค่าความต้านทานการกระแทก (impact resistance) โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระดอนกลับ (coefficient of restitution) (ISO10545-5)
 - ส่วนที่ 6. การวัดค่าความต้านทานการขีดสีรอยลึก (resistance to deep abrasion) สำหรับกระเบื้องไม่เคลือบ (ISO10545-6)
 - ส่วนที่ 7. การวัดค่าความต้านทานการขีดสีบนผิวหน้า (resistance to surface abrasion) สำหรับกระเบื้องเคลือบ (ISO10545-7)
 - ส่วนที่ 8. การวัดค่าการขยายตัวของความร้อนเชิงเส้น (linear thermal expansion) (ISO 10545-8)
 - ส่วนที่ 9. การวัดค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (resistance to thermal shock) (ISO10545-9)
 - ส่วนที่ 10. การวัดค่าการขยายตัวเนื่องจากความชื้น (moisture expansion) (ISO10545-10)
 - ส่วนที่ 11. การวัดค่าการทนต่อการร้าว (crazing resistance) ของกระเบื้องเคลือบ (ISO 10545-11)
 - ส่วนที่ 12. การวัดค่าการทนทานต่อการปกคลุมด้วยน้ำแข็ง (frost resistance) (ISO10545-12)
 - ส่วนที่ 13. การวัดความทนทานต่อสารเคมี (chemical resistance) (ISO10545-13)
 - ส่วนที่ 14. การวัดความทนทานต่อการติดสี (stain resistance) (ISO10545-14)
 - ส่วนที่ 15. การวัดค่าตะกั่ว (lead) และแคดเมียม (cadmium) ที่หลุดออกมาของกระเบื้องเคลือบ (ISO10545-15)
 - ส่วนที่ 16. การวัดความแตกต่างของจุดสี (small colour differences) (ISO10545-16)
 - ส่วนที่ 17. การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (coefficient of friction) (ISO10545-17)
- ในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการทดสอบในส่วนต่าง ๆ โดยสรุป โดยในฉบับนี้จะกล่าวถึงส่วนที่ 1 (ISO-10545-1) ถึง ส่วนที่ 7 (ISO-10545-7)

ส่วนที่ 1. การสุ่มตัวอย่างทดสอบ (sampling) (ISO 10545-1)

ISO 10545-1 นี้เป็นข้อกำหนดที่ใช้สำหรับการสุ่มตัวอย่างและหลักเกณฑ์การยอมรับกระเบื้องที่ทดสอบ โดยตัวอย่าง ที่สุ่มมานั้นต้องมาจากผู้ผลิตรายเดียวกัน ภายใต้กระบวนการผลิตเดียวกัน แต่ก็นับอยู่กับวิธีการทดสอบที่ต้องการทดสอบด้วย เช่น กระเบื้องชนิดเดียวกันแต่มีเคลือบต่างกัน ก็ถือว่าเป็นกระเบื้องในกลุ่มเดียวกัน ถ้าหากต้องการแคทดสอบหามิติของกระเบื้องหรือการ ดูดซึมน้ำ เป็นต้น ส่วนจำนวนของกระเบื้องจะขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบ ผู้จำหน่ายและลูกค้าจะต้อง ตกลงกันเกี่ยวกับสถานที่ของการสุ่มตัวอย่าง และรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยขณะที่สุ่มตัวอย่างต้องมีตัวแทนจากทั้งสองฝ่ายสังเกตการณ์อยู่ด้วย และต้องสุ่มกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มในแต่ละการทดสอบ

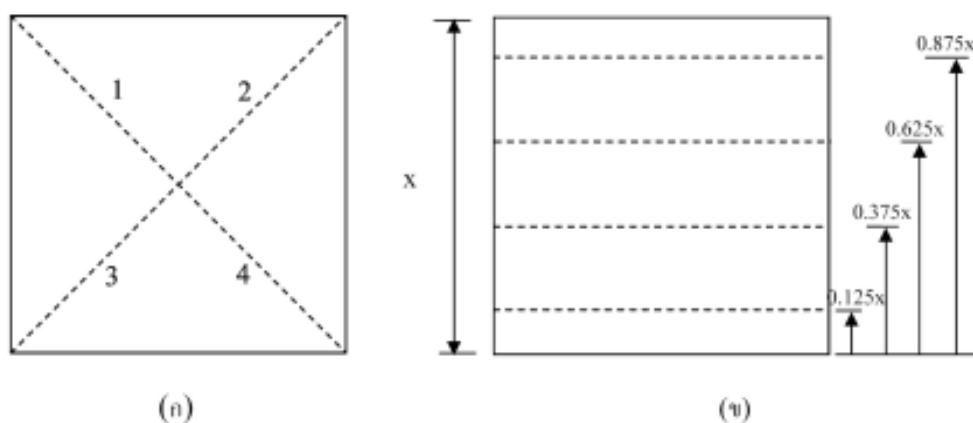
สำหรับการเกณฑ์ยอมรับในแต่ละวิธีทดสอบ แบ่งเป็นเกณฑ์ที่พิจารณาผลการทดสอบของกระเบื้องแต่ละแผ่น (inspection by attributes) โดยในแต่ละวิธีทดสอบจะระบุจำนวนขั้นต่ำของการยอมรับและปฏิเสธไว้ และเกณฑ์ใช้ค่าเฉลี่ย (inspection by the average value) โดยในแต่ละวิธีทดสอบจะระบุค่าการยอมรับและปฏิเสธไว้เช่นกัน

ส่วนที่ 2. การวัดมิติ (dimension) และคุณภาพของผิวหน้า (surface quality) กระเบื้อง (ISO 10545-2)

ISO 10545-2 เป็นมาตรฐานการวัดค่า ความยาว ความกว้าง ความหนา ความตรงของขอบด้านข้าง ความเป็นมุมฉาก ความเรียบของผิวหน้า และตรวจสอบสภาพพื้นผิวของกระเบื้องเซรามิก โดยจะทำการวัดตัวอย่างกระเบื้องทดสอบจำนวน 10 แผ่น

การวัดความยาวและความกว้างของกระเบื้องจะใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier caliper) วัดความยาวและกว้าง ในแต่ละข้างของกระเบื้อง โดยการวัดแต่ละด้านจะห่างจากมุมกระเบื้อง 5 มม. และคำนวณหาค่าเฉลี่ยความกว้างและยาว ทั้งสองด้านของกระเบื้องแต่ละแผ่น (ถ้าเป็นกระเบื้องจตุรัส ใช้ค่าเฉลี่ยทั้ง 4 ด้าน) และหาค่าเฉลี่ยของความกว้าง (20 ค่า) และความยาว (20 ค่า) ของกระเบื้องที่ทดสอบ (ถ้าเป็นกระเบื้องจตุรัส ต้องเฉลี่ย 40 ค่า) พร้อมระบุเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน (deviation) ของความกว้างและความยาวเฉลี่ยของกระเบื้องแต่ละแผ่นที่เบี่ยงเบนไปจากจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกระเบื้องทั้งหมด และที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ระบุจากผู้ผลิต

สำหรับการวัดความหนาของกระเบื้องจะใช้ไมโครสกรูเกจ (micrometer screw gauge) เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 มิลลิเมตร หรืออุปกรณ์อื่นที่เหมาะสมในการวัด สำหรับกระเบื้องที่มีผิวเรียบให้ลากเส้นทแยงมุมระหว่างมุมแต่ละมุม ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นวัดความหนาจุดที่หนาที่สุดบนเส้นทั้ง 4 (ดูรูปที่ 1) สำหรับกระเบื้องที่มีผิวไม่เรียบให้ลากเส้นตรงขนานกัน 4 เส้นตัด

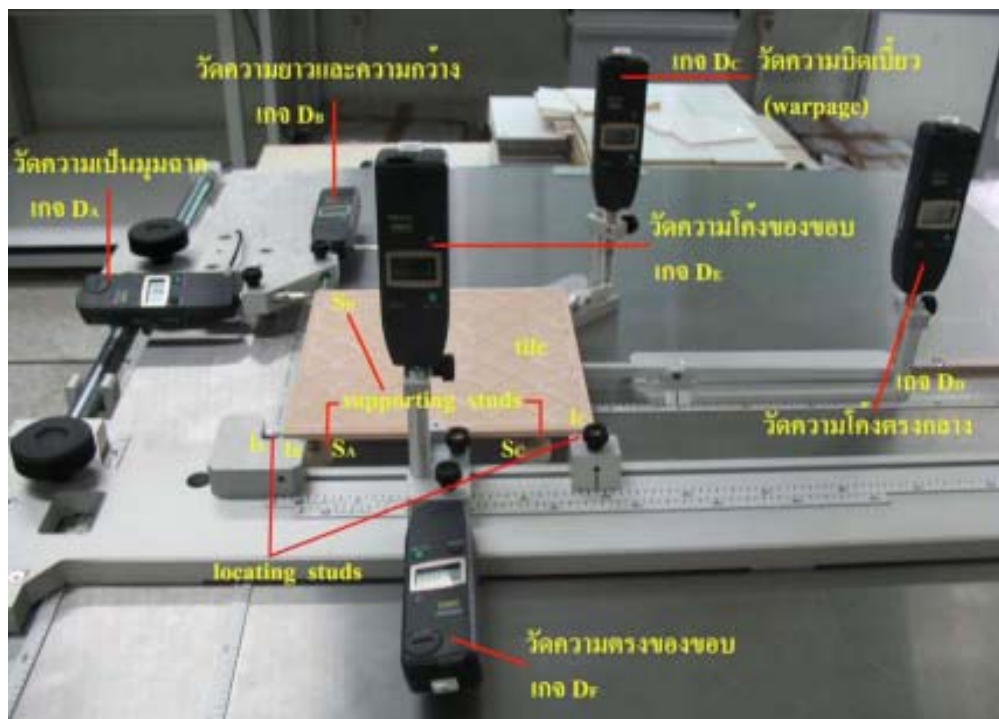


รูปที่ 1 แนวเส้นการวัดความหนากระเบื้อง (ก) ผิวเรียบ (ข) ผิวไม่เรียบ

ตามขวางบนผิวกระเบื้องที่ระยะจากขอบกระเบื้องเท่ากับ 0.125 , 0.375 , 0.625 และ 0.875 เท่าของความยาวด้านที่ตั้งฉากกับเส้นที่ลาก (ดูรูปที่ 1) แล้ววัดความหนาจุดที่หนาที่สุดบนเส้นแต่ละเส้น แล้วหาค่าความหนาเฉลี่ย (4 ค่า) ของกระเบื้องแต่ละแผ่น พร้อมระบุเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนหรือในหน่วยมิลลิเมตร (ขึ้นอยู่กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์) ของความหนาเฉลี่ยของกระเบื้องทดสอบแต่ละแผ่นที่เบี่ยงเบนไปจากขนาดความหนาที่ผู้ผลิตระบุมา

สำหรับการวัดความตรงของขอบกระเบื้อง ความเป็นมุมฉากของมุมกระเบื้องและความเรียบ (ความโค้งและความบิดเบี้ยว) ของกระเบื้อง เป็นการวัดกระเบื้องทดสอบเทียบกับแผ่นสอบเทียบ (calibrating plate) โดยใช้เครื่องวัดมิติกระเบื้อง (ดูรูปที่ 2) ที่มีเกจวัด (dial gauge) 6 ตัว ซึ่งประกอบด้วย เกจ D_A ที่อยู่ขอบข้างกระเบื้องและห่างจากมุมกระเบื้อง 5 มม. สำหรับวัดความเป็นมุมฉากของมุมกระเบื้อง เกจ D_B ที่อยู่ขอบข้างกระเบื้องและห่างจากมุมกระเบื้อง 5 มม. สำหรับวัดความกว้างและความยาวของกระเบื้อง เกจ D_D ที่อยู่จุดกึ่งกลางใต้กระเบื้อง สำหรับวัดความโค้งสูงสุดที่จุดตรงกลางกระเบื้อง เกจ D_E ที่อยู่ใต้กระเบื้อง ตรงจุดกึ่งกลางของขอบข้างกระเบื้อง และห่างจากขอบกระเบื้อง 10 มม. สำหรับวัดค่าความโค้งไกลขอบกระเบื้อง เกจ D_C ที่อยู่ใต้กระเบื้องและห่างจากมุมกระเบื้องด้านละ 10 มม. สำหรับวัดค่าการบิดเบี้ยวไกลมุมกระเบื้อง (warpage) และเกจ D_F ที่อยู่จุดกึ่งกลางของขอบข้างกระเบื้องสำหรับวัดความตรงของขอบกระเบื้อง ดังแสดงในรูปที่ 2

การวัดทำโดยวางแผ่นสอบเทียบ (calibrating plate) ลงบนสตั๊ดรองรับ (supporting studs) S_A, S_B, S_C บนเครื่องวัดมิติกระเบื้อง ให้จุดศูนย์กลางของทุกสตั๊ดรองรับอยู่ห่างจากด้านข้างของแผ่นทดสอบ 10 มิลลิเมตร และให้ตำแหน่งของสตั๊ด (locating studs) I_A, I_B, I_C อยู่ห่างจากมุมแต่ละมุมด้านละ 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูป 2 แล้วปรับหน้าปัดเกจวัด (Dial gauge) ให้เป็นศูนย์



รูปที่ 2 เครื่องวัดมิติกระเบื้อง

ยกแผ่นสอบเทียบออก แล้วนำกระเบื้องทดสอบมาวางบน Supporting Studs (S_A, S_B, S_C) แทนบันทึกค่าเบี่ยงเบนจากศูนย์ที่อ่านได้จากหน้าปัดเครื่องวัดทั้ง 6 ตัว ถ้าเป็นกระเบื้องทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้หมุนกระเบื้องเพื่อทำการวัดทั้ง 4 ครั้ง

การวัดค่าความตรงของขอบด้านข้างของกระเบื้องคือ การวัดค่าความแตกต่างหรือค่าเบี่ยงเบน(deviation) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของขอบกระเบื้องทดสอบเทียบกับตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นสอบเทียบ (C) ซึ่งวัดจากเกจ D_F เทียบกับความยาวของด้านที่วัด (L) ค่าความตรงของขอบกระเบื้อง (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) เท่ากับ $(C/L) \times 100$ ต้องหาค่าความตรงของขอบกระเบื้องทั้ง 10 แผ่น และระบุค่าเบี่ยงเบนสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับความยาวของด้านที่วัดที่ผู้ผลิตระบุมา

การวัดความเป็นมุมฉากของมุมกระเบื้องคือ การวัดค่าของค่าเบี่ยงเบน (deviation) ไปจากมุมฉาก (d) ซึ่งวัดจากเกจ D_A เทียบกับความยาวของด้านของมุมที่วัด (L) ค่าความเป็นมุมฉาก (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) เท่ากับ $(d/L) \times 100$ ต้องหาค่าความเป็นมุมฉากของกระเบื้องทั้ง 10 แผ่น และระบุค่าเบี่ยงเบนสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับความยาวของด้านที่วัดที่ผู้ผลิตระบุมา

ในการวัดความเรียบ (ความโค้ง) ของกระเบื้อง สำหรับกระเบื้องที่มีขนาดใหญ่กว่า 40×40 มม. ให้วางกระเบื้อง ทดสอบโดยวางด้านหลังของกระเบื้องขึ้น บนที่กค่าความโค้งสูงสุดที่จุดตรงกลาง (เกจ D_D) ค่าความโค้งใกล้เคียงขอบกระเบื้อง (เกจ D_E) และค่าการบิดเบี้ยวใกล้เคียงมุมกระเบื้อง (เกจ D_C) ของกระเบื้อง

สำหรับกระเบื้องที่มีขนาดเท่ากับ 40×40 มม. หรือน้อยกว่า ให้วัดค่าความโค้งที่ขอบโดยวางวัตถุที่มีขอบตรง (straightedge) ที่ขอบกระเบื้องและใช้ feeler gauges วัดช่องว่างใต้ straightedge ส่วนการหาค่าความโค้ง ตรงกลางใช้วิธีการเดียวกันแต่ให้วาง straightedge บนเส้นทแยงมุมของกระเบื้องและในกรณีนี้จะไม่วัดค่าการบิดเบี้ยวใกล้เคียงมุมกระเบื้อง (warpage)

สำหรับค่าความโค้งที่ตรงกลางและความบิดเบี้ยวของกระเบื้อง ให้ระบุค่าเบี่ยงเบนสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์หรือมิลลิเมตร (ขึ้นอยู่กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์) เทียบกับความยาวของเส้นทแยงมุมที่คำนวณจากขนาดที่ผู้ผลิตระบุมา และสำหรับค่า ความโค้งที่ขอบกระเบื้อง ให้ระบุค่าเบี่ยงเบนสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์หรือมิลลิเมตร (ขึ้นอยู่กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์) เทียบกับค่าความยาวของขอบด้านที่วัดที่ผู้ผลิตระบุมา

สำหรับการตรวจสอบสภาพผิวหน้ากระเบื้องนั้นใช้การตรวจสอบด้วยตาเปล่าของคนมากกว่าหนึ่งคน โดยให้วางแผ่นกระเบื้องในสถานที่ที่สามารถดูผิวหน้ากระเบื้องในแนวตั้งฉากในระยะ 1 ม. และให้มีแสงที่มีความเข้มแสง 300 ลักส์ ส่งไปตรงบริเวณผิวหน้าของกระเบื้อง และระบุรอยบกพร่องที่ปรากฏอยู่บนผิวหน้าของกระเบื้อง

ส่วนที่ 3. การวัดค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) สภาพพรุนปรากฏ (apparent porosity) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (apparent relative density) และความหนาแน่นบัลค์ (bulk density) (ISO10545-3)

ISO10545-3 เป็นมาตรฐานการวัดค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) สภาพพรุนปรากฏ (apparent porosity) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (apparent relative density) และความหนาแน่นบัลค์ (bulk density) โดยการให้น้ำเข้าไปในรูเปิด (open pores) ในเนื้อเซรามิกซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ การต้มในน้ำ (boiling) และการแช่น้ำภายใต้สุญญากาศ (immersion under vacuum) วิธีการต้มนั้นจะง่ายกว่า แต่ไม่สามารถทำให้น้ำเข้าไปอยู่ในรูเปิดทั้งหมดได้เหมือนวิธีสุญญากาศ สมบัติต่างๆ จะหาได้จากความสัมพันธ์ของมวลของกระเบื้องแห้งและเปียกน้ำ วิธีการต้มจะใช้สำหรับแบ่งประเภทของกระเบื้องและระบุลักษณะของผลิตภัณฑ์ ส่วนวิธีสุญญากาศจะใช้สำหรับหาสภาพพรุนปรากฏ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และการดูดซึมน้ำ

ก่อนทำการทดสอบทั้งสองวิธีต้องทำการชั่งน้ำหนักแขวนลอยของกระเบื้องในน้ำ (suspended weight) ก่อน (m_3) และนำกระเบื้องทดสอบไปอบไล่ความชื้นในเตาที่อุณหภูมิ 110 ± 3 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมวลคงที่ บันทึกผลเป็นค่าน้ำหนักของกระเบื้องแห้ง (ในอากาศ) (m_1)

สำหรับการทดสอบด้วยวิธีการต้ม ทำโดยวางกระเบื้องทดสอบในแนวตั้ง ลึกลงไป 50 มม. จากระดับผิวน้ำในหม้อน้ำโดยไม่ให้กระเบื้องสัมผัสกัน ในหม้อต้ม น้ำ ลึกลงไป 50 มม. จากระดับผิวน้ำ จากนั้นต้มน้ำให้เดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง เช็กระเบียงทดสอบไว้ 4 ชม. ± 15 นาที และนำกระเบื้องออกมา ชั่งด้วยผ้าแห้งสามารที่เปียกหมาดๆ แล้วนำกระเบื้องไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นค่า น้ำหนักของกระเบื้องเปียก (m_{2b})

สำหรับการทดสอบด้วยวิธีสุญญากาศ ทำโดยวางกระเบื้องทดสอบในแนวตั้ง ลึกลงไป 50 มม. จากระดับผิวน้ำในเครื่องทดสอบสุญญากาศโดยไม่ให้กระเบื้องสัมผัสกัน ลึกลงไป 50 มม. จากระดับผิวน้ำและให้ความดันในเครื่องทดสอบสุญญากาศที่ 100 ± 1 กิโลปาสคาลเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับความดัน เป็นปกติและเช็กระเบียงอยู่ในน้ำในเครื่องทดสอบอีก 15 นาที และนำกระเบื้องออกมาชั่งด้วยผ้าแห้งสามารที่เปียกหมาดๆ แล้วนำกระเบื้องไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นค่า น้ำหนักของกระเบื้องเปียก (m_{2v})

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ($\%E_{(b,v)}$) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$E_{(b,v)} = \frac{m_{2(b,v)} - m_1}{m_1} \times 100$$

ให้ m_1 คือ น้ำหนักของกระเบื้องแห้ง (กรัม)

m_{2b} คือ น้ำหนักของกระเบื้องเปียกที่ทดสอบด้วยวิธีการต้มหรือวิธีการสุญญากาศ (ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์) (กรัม)

ค่าสภาพพรุนที่ปรากฏ (P) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$P = \frac{m_{2v} - m_1}{V} \times 100$$

$$V = m_{2v} - m_3$$

$$V_0 = m_{2v} - m_1$$

$$V_i = m_1 - m_3$$

ให้ m_{2v} คือ น้ำหนักของกระเบื้องเปียกที่ทดสอบด้วยวิธีสุญญากาศ (กรัม)

m_3 คือ น้ำหนักของกระเบื้องที่แขวนลอยในน้ำ (กรัม)

V คือ ปริมาตรภายนอก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_0 คือ ปริมาตรของรูเปิด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_i คือ ปริมาตรของส่วนที่ทึบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (T) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$T = \frac{m_1}{m_1 - m_3}$$

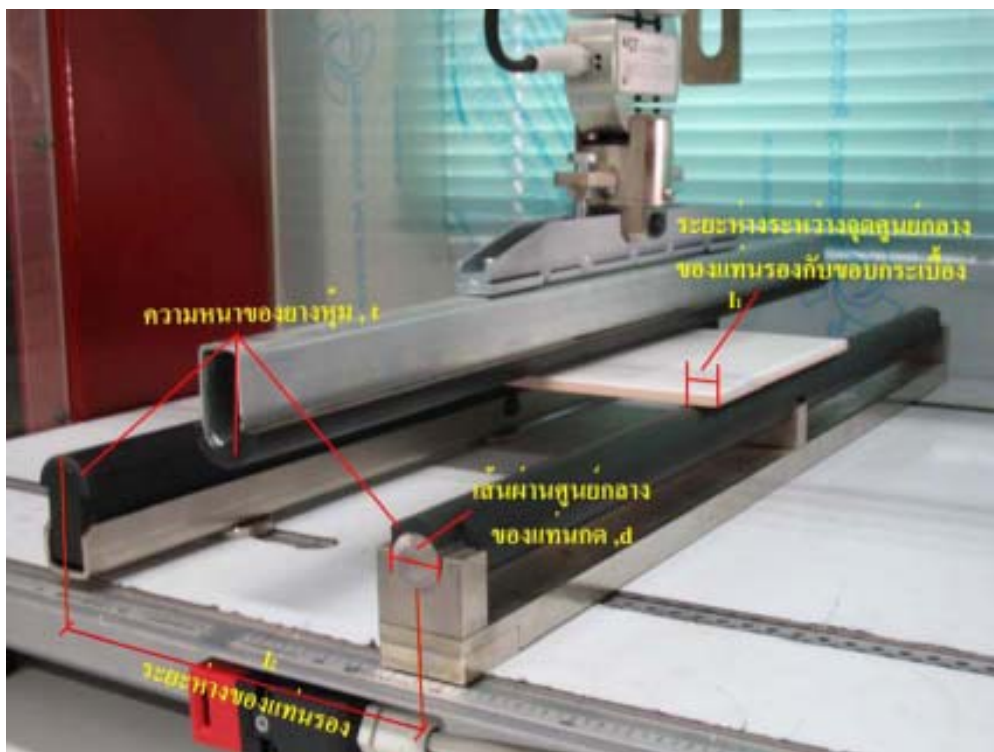
และค่าความหนาแน่นบัลค์ (B) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$B = \frac{m_1}{V}$$

ส่วนที่ 4. การวัดค่าโมดูลัสของการแตกร้าวและค่าความแข็งแรงต้านการแตกหัก (ISO 10545-4)

ISO 10545-4 เป็นมาตรฐานการทดสอบสำหรับวัดค่าโมดูลัสของการแตกร้าว (modulus of rupture - MOR) และค่าความแข็งแรงต้านการแตกหัก (breaking strength) ของกระเบื้อง โดยให้แรงกดที่แนวกึ่งกลางของกระเบื้อง

ก่อนการทดสอบต้องทำความสะอาดกระเบื้องแล้วนำไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นภายในกระเบื้อง จากนั้นนำกระเบื้องทดสอบไปวางบนแท่งรอง (cylindrical support rods) ทั้งสองแท่ง ถ้าเป็นกระเบื้องเคลือบให้เอาด้านที่เคลือบไว้ด้านบน โดยให้แท่งกด (central cylindrical rod) อยู่ในแนวกึ่งกลางด้านบนของกระเบื้อง ดังแสดงในรูปที่ 3 แท่งรองและแท่งกดทั้งสามนี้ต้องหุ้มด้วยยางที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 50 ± 5 IRHD (The International Rubber Hardness Degrees) (ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 48) โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของชั้นยางที่หุ้มแท่งรองและแท่งกดจะขึ้นอยู่กับความกว้างของกระเบื้องที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบค่าโมดูลัสของการแตกร้าวและค่าความแข็งแรงต้านการแตกหัก

จากนั้นใส่แรงกดลงบนแรงกดลงบนกระเบื้องด้วยอัตราเร็วที่ทำให้ความเค้นของกระเบื้องเพิ่มขึ้นในอัตรา 1 ± 0.2 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที จนกระเบื้องหัก ค่าความแข็งแรงต้านการแตกหัก (breaking strength) (F_{bs}) และค่าโมดูลัสของการแตกร้าว (modulus of rupture - MOR) (σF_{bl}) สามารถคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$F_{bs} = \frac{F_{bl} l_2}{b}$$

$$\sigma F_{bl} = \frac{3F_{bl} l_2}{2bh^2}$$

$$= \frac{3F_{bs}}{2h^2}$$

โดยให้ F_{bs} คือ ค่าความแข็งแรงต้านการแตกหัก (breaking strength) (นิวตัน)

l_2 คือ ระยะห่างของแท่งรอง (มิลลิเมตร) (ดูรูปที่ 3)

b คือ ความกว้างของกระเบื้องทดสอบ (มิลลิเมตร)

σF_{bl} คือ ค่าโมดูลัสของการแตกร้าว (modulus of rupture - MOR) (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

h คือ ความหนาตรงแนวหักของกระเบื้องทดสอบ (มิลลิเมตร)

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ถ้ากระเบื้องที่มีความยาวขนาด (L) $18 \leq L < 48$ มม. ใช้กระเบื้องจำนวน 10 ชิ้น ถ้าขนาด $L \geq 48$ มม. ใช้ 7 ชิ้น

ส่วนที่ 5. การวัดค่าความต้านทานการกระแทกโดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระดอนกลับ (ISO10545-5)

ISO10545-5 เป็นมาตรฐานการทดสอบค่าความต้านทานการกระแทกของกระเบื้องเซรามิกในรูปของ coefficient of restitution (e) โดยการปล่อยลูกเหล็กตกกระทบกระเบื้องทดสอบและวัดความสูงของลูกเหล็กที่กระเด็นกลับขึ้นไปหลังการตกกระทบครั้งแรก

การทดสอบทำโดยนำกระเบื้องทดสอบขนาด 75x75 มม. ติดกับบล็อกคอนกรีตที่มีส่วนผสมตามที่มาตรฐานนี้กำหนดด้วยอีพอกซีเรซิน และนำมาวางบนแท่นวางของเครื่องทดสอบ (ดูรูปที่ 4) ที่มีตัวรับสัญญาณเสียงหรือไมโครโฟนติดตั้งอยู่เพื่อบันทึกเสียงสะท้อน โดยขึ้นทดสอบจะอยู่ใต้ท่อพลาสติกใสที่มีความสูง 1 ม. ดังแสดงรูปที่ 4 เนื้อท่อพลาสติกใสมีแม่เหล็ก ไฟฟ้า (electromagnet) สำหรับดูดลูกบอลเหล็กชุบโครเมียม (chrome steel ball) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 ± 0.05 มม.



รูปที่ 4
เครื่องทดสอบความต้านทานการกระแทก
และตัวอย่างกระเบื้องบนบล็อกคอนกรีต

จากนั้นปล่อยลูกบอลเหล็ก (steel ball) จากความสูง 1 ม. วัดความสูงจากการกระเด็นกลับของลูกบอลเหล็ก (h_2) และเวลาระหว่างที่ลูกบอลเหล็กกระทบกระเบื้องครั้งแรกและครั้งที่สอง (T) โดยใช้ตัวรับสัญญาณเสียง จากนั้นนำ h_2 และ T มาหาค่าสัมประสิทธิ์ e โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$e = \frac{v}{u} \dots\dots\dots(1)$$

โดย v คือ ความเร็วของลูกเหล็กที่กระเด็นกลับ

u คือ ความเร็วของลูกเหล็กก่อนตกกระทบกระเบื้อง

สามารถหา v จาก

$$\frac{mv^2}{2} = mgh_2$$

$$v = \sqrt{2gh_2} \dots\dots\dots(2)$$

ให้ m คือ น้ำหนักของลูกบอล (กรัม)

h_2 คือ ความสูงของการกระเด็นกลับ (เซนติเมตร)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 981 เซนติเมตรต่อวินาทีกำลังสอง

และหา u จาก

$$\frac{mu^2}{2} = mgh_1$$

$$u = \sqrt{2gh_1} ; h_1 \text{ เท่ากับ } 100 \text{ เซนติเมตร} \dots\dots\dots(3)$$

นำ (2) และ (3) แทนใน (1) จะได้ $e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$

โดยที่
$$h_2 = u_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

u_0 คือ ความเร็วที่จุดสูงสุดของการกระเด็นกลับของลูกบอลเหล็ก (เท่ากับศูนย์)

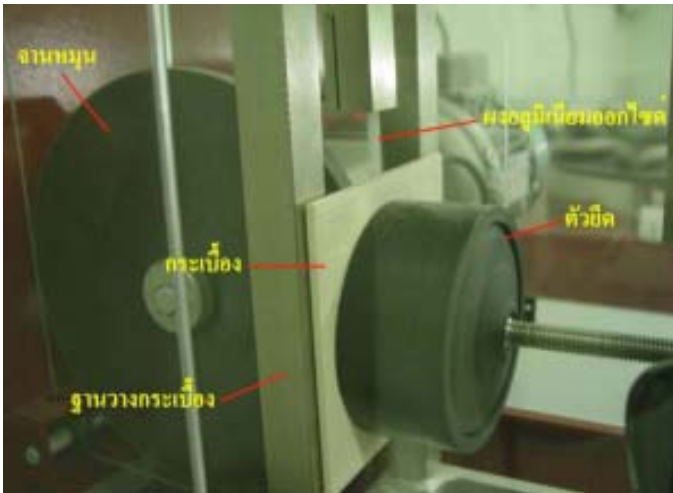
t คือ $\frac{T}{2}$ เมื่อ T เท่ากับเวลาระหว่างการตกกระทบครั้งแรกและครั้งที่สอง (วินาที)

ดังนั้น
$$h_2 = 122.6T^2$$

สังเกตผิวหน้าของกระเบื้องหลังการกระแทก ทำสัญลักษณ์ตรงที่พบรอยร้าว รอยขรุขระ หรือรอยแตกและบันทึกผลการทดสอบที่ได้

ส่วนที่ 6. การวัดค่าความต้านทานการขัดสีสำหรับกระเบื้องไม่เคลือบ (ISO 10545-6)

ISO10545-6 เป็นมาตรฐานการทดสอบค่าความต้านทานการขัดสีที่เกิดรอยลึกของกระเบื้องเซรามิกชนิดไม่เคลือบ โดยวัดความยาวของร่องที่เกิดขึ้นจากการขัดสีบนผิวหน้าของกระเบื้อง การขัดสีทำโดยการบดผงขัดสี (abrasive material) กับกระเบื้องด้วยจานหมุน (rotating disc) ที่ทำจากวัสดุชนิด E 235A (Fe 360 A) (ตามมาตรฐาน ISO 630-1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ± 0.2 มม. หนา 10 ± 0.1 มม. และหมุนด้วยความเร็ว 75 รอบต่อนาที



รูปที่ 5 ความต้านทานการขัดสีสำหรับกระเบื้องไม่เคลือบ

การทดสอบทำโดยนำกระเบื้องทดสอบขนาด 100×100 มม. (จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้น) มาไว้ที่ฐานวางตั้งฉากกับจานหมุนแล้วยึดด้วยสกรู ดังแสดงในรูปที่ 5

จากนั้นปล่อยผงขัดสีที่เป็นผงลูมิเนียมออกไซด์ด้วยอัตราการไหล 100 ± 10 กรัมต่อการหมุนของจานหมุน 100 รอบ ลงมาตรงกลางระหว่างกระเบื้องกับจานหมุน ให้ผงขัดสีบดกับผิวกระเบื้องทดสอบ และให้จานหมุนหมุนครบ 150 รอบ จากนั้นวัดความยาวของร่องที่เกิดขึ้นจากการขัดสีแล้วนำมาคำนวณหาค่าปริมาตรที่หายไปจากสูตร

$$V = \left(\frac{\pi \alpha}{180} - \sin \alpha \right) \frac{hd^2}{8}$$

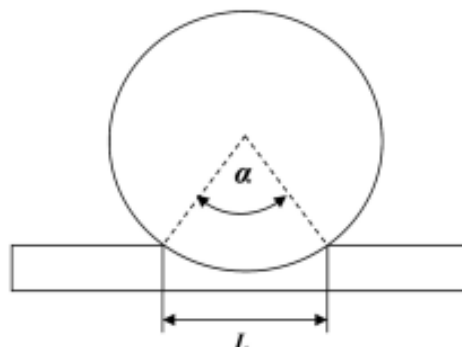
$$\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \frac{L}{d}$$

ให้ α คือ มุมองศา ดังรูปที่ 6

h คือ ความหนาของจานขัด (มิลลิเมตร)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของจานขัด (มิลลิเมตร)

L คือ ความยาวของร่องที่เกิดขึ้นจากการขัด (มิลลิเมตร)

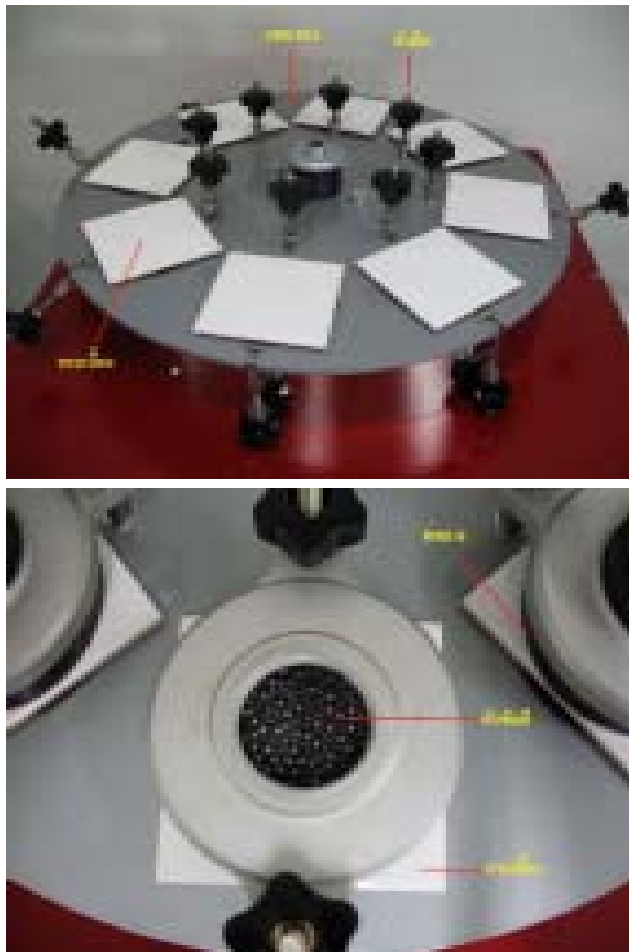


รูปที่ 6 ภาพจำลองการลักษณะของกระเบื้องและจานหมุนในขณะขัดสี

ส่วนที่ 7. การวัดค่าความต้านทานการขัดสีที่ผิวหน้าสำหรับกระเบื้องเคลือบ (ISO 10545-7)

ISO10545-7 เป็นมาตรฐานการทดสอบค่าความต้านทานการขัดสีของกระเบื้องเซรามิกชนิดเคลือบ โดยการขัดสีผิวหน้ากระเบื้องด้วยตัวขัดสี (abrasive load) และประเินด้วยสายตา โดยเปรียบเทียบกันระหว่างกระเบื้องที่ถูกขัดสีกับกระเบื้องชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ถูกขัดสี

การทดสอบทำโดยตัดกระเบื้องเคลือบที่ต้องการทดสอบให้มีขนาดอย่างน้อย 100 x 100 มม. จำนวน 8 ชิ้น และนำไปวางบนแนวเส้นรอบวงของแท่นรอง (support plate) บนเครื่องทดสอบโดยให้ระยะห่างของแต่ละชิ้นเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 7 และให้จุดกึ่งกลางของกระเบื้องแต่ละชิ้นห่างจากจุดศูนย์กลางของแท่นรองรูปวงกลมเป็นระยะ 195 มม. ยึดขึ้นกระเบื้องแต่ละชิ้นกับแท่นรองโดยมีซีลยาง (rubber seal) ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่ผนังหนา 9 มม. สูง 22.5 มม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 83 มม.สำหรับใส่ตัวขัดสี (abrasive load) อยู่บนขึ้นกระเบื้อง



รูปที่ 7 เครื่องทดสอบความต้านทานการขัดสีที่ผิวหน้าสำหรับกระเบื้องเคลือบและตัวขัดสี

ตัวขัดสี (abrasive load) ประกอบด้วย

- ลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ปริมาณ 70 ก.
- ลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. ปริมาณ 52.5 ก.
- ลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. ปริมาณ 43.75 ก.
- ลูกบอลเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. ปริมาณ 8.75 ก.
- อนุภาคน้ำแข็งขนาดเกรน F80 ตามมาตรฐาน ISO 8486 ปริมาณ 3 ก.
- น้ำกลั่น 20 มล.

เมื่อใส่ตัวขัดสีลงบนผิวกระเบื้องในซีลยางและปิดฝาด้านบนของห้องทดสอบจากนั้นให้เครื่องทดสอบ เหวี่ยงแท่นรองในลักษณะเบี่ยงจุดศูนย์กลาง (eccentricity) ในระยะ 22.5 มม. ด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที ตัวขัดสีจะถูกเหวี่ยงและขัดสีผิวของชิ้นกระเบื้องทดสอบ หลังจากเหวี่ยงครบ 100 รอบ ถอดกระเบื้องชิ้นแรกออกมา และเพิ่มจำนวนรอบการเหวี่ยงอีก 50 รอบ ให้ครบ 150 รอบ แล้วนำกระเบื้องชิ้นที่ 2 ออก และเพิ่มจำนวนรอบการเหวี่ยงอีก 450 รอบ ให้ครบ 600 รอบ แล้วนำกระเบื้องชิ้นที่ 3 ออก ทำอย่างนี้ทำกับชิ้นที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยให้จำนวนรอบการเหวี่ยงครบ 750, 1500, 2100, 6000 และ 12000 รอบ ตามลำดับ หลังจากนั้นนำกระเบื้องทดสอบที่ผ่าน การขัดสีแล้วมาล้างทำความสะอาดแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้น

เปรียบเทียบกระเบื้องทดสอบที่ถูกขัดสีกับกระเบื้องชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ถูกขัดสี (ดูรูปที่ 8) โดยการประเมินด้วยสายตาภายใต้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงบนผิวกระเบื้อง 300 ลักส์ ในห้องมืด โดยให้ผู้สังเกตอยู่ห่างจากกระเบื้องทดสอบ 2 ม. และระดับสายตาอยู่ที่ความสูง 1.65 ม. จากกระเบื้อง ใช้ผู้สังเกตมากกว่า 1 คน บันทึกกระดับขึ้นการขัดสีของกระเบื้องทดสอบที่พบการเปลี่ยนแปลง โดยจัดเป็น Class ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบกระเบื้องทดสอบที่ถูกขัดสีกับกระเบื้องชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ถูกขัดสี

ตารางที่ 1 การจัดประเภทของกระเบื้องเซรามิกชนิดเคลือบ

Abasion stage ; Failure visible at revolutions	Class
100	0
150	1
600	2
750, 1500	3
2100, 6000, 12000	4
> 12000*	5

* ต้องผ่านการทดสอบในมาตรฐาน ISO10545-14 สำหรับความต้านทานการติดสี

ถ้าผู้ทำการตรวจสอบมีความเห็นไม่ตรงกันให้ทำการทดสอบซ้ำอีกครั้ง แต่ถ้าผลการทดสอบที่ได้ในครั้งนี้อย่างน้อยหนึ่งครั้งแรกให้เลือกระดับขึ้นการขัดสีที่ต่ำสุดที่พบการเปลี่ยนแปลง

ทั้งหมดนี้ส่วนหนึ่งของวิธีการทดสอบกระเบื้องตามมาตรฐาน ISO 10545 ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์บริการมีให้บริการทดสอบ สามารถติดต่อศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิก เบอร์โทรศัพท์ 02-2017368