

การควบคุมการร้าวของเคลือบเซรามิก

Control Crazing of Ceramic Glaze

สุธรรม ศรีหล่มสัก, รติญา เพ็ชรนิล, กานดา สารา, จันทร์เพ็ญ ชูคันหอม, จุติภา บุญวิเศษ และศิริลักษณ์ ผายพันธ์

Sutham Srilomsak, Ratiya Pethnin, Kanda Sara, Janpen Choocanhom, Jutipa Bunwiset and Sirilak Phaiphon

สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทร. 044-224459 โทรสาร 044-224612

E-mail: sutamsri@sut.ac.th and sriloms@hotmail.com

บทคัดย่อ

เคลือบร้าว (Crazing) เป็นลักษณะเฉพาะตัวอย่างหนึ่งของเคลือบเซรามิกที่อาจจะมองว่าเป็นตำหนิหรือลวดลายที่สวยงามก็ได้ วิศวกรเซรามิกที่ดีต้องรู้จักวิธีการทำให้การร้าวตัวของเคลือบของผลิตภัณฑ์ (ware) ของเขามากขึ้นหรือน้อยลงได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาหาวิธีการควบคุมการร้าวของเคลือบโดยปรับปรุงส่วนผสมของน้ำเคลือบ ผลการวิจัยพบว่า การร้าวของเคลือบลดลงเมื่อเติม ซิลิกา (silica) เข้าไปในส่วนผสมของน้ำเคลือบ ในทางตรงกันข้ามการเติม โซดาเฟลด์สปาร์ (soda feldspar หรือ Na-feldspar) เข้าไปในส่วนผสมของเคลือบจะทำให้การร้าวตัวของเคลือบเพิ่มขึ้น

Abstract

Crazing is a characteristic of ceramic glaze which can be considered as a defect or a beautiful texture. Good ceramic engineer must know how to increase or decrease crazing of his ceramic wares. The aim of this research is to study the method to control crazing of glaze by adjusting glaze compositions. Results indicate that crazing was decreased by adding silica into glaze composition. On the other hand by adding soda feldspar into glaze composition crazing was increased.

1. คำนำ

1.1 นิยามและข้อเสียของเคลือบร้าว

เคลือบร้าว (Crazing) เป็นปรากฏการณ์ที่เคลือบแตก กระจาย เป็นรอยเล็กๆ เหมือนรากฝอยดังรูปที่ 1 อาจจะเปรียบเทียบ

การร้าวเหมือนกับการเอาเคลือบของภาชนะใบเล็กๆ ไปเคลือบบนภาชนะใบใหญ่ หรืออาจจะเปรียบเทียบกับผู้ใหญ่วัยใส่วัยเด็ก การกระทำได้กล่าวจะทำให้เคลือบหรือเสื่อของความเค้นแบบดึง (tensile stress) กระทำ เมื่อความเค้นดึงมากพอจะทำให้เคลือบหรือเสื่อปริแตกเห็นเป็นรอยแตกเล็กๆ กระจายไปทั่ว จึงมองการร้าวว่าเป็นปรากฏการณ์การคลายความเค้นแบบดึงของเคลือบได้

เคลือบร้าวมีข้อเสียหลายประการ คือ 1) การร้าวทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงลดลง 2) รอยร้าวเป็นช่องทางให้น้ำหรือความชื้นซึมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ 3) รอยร้าวเป็นที่สะสมของคราบสกปรกหรือเชื้อโรค บางคนมองรอยร้าวเป็นฟาร์มของแบคทีเรีย อย่างไรก็ตามยังเป็นข้อถกเถียงที่ยังไม่มีข้อยุติว่าภาชนะที่มีเคลือบร้าวเหมาะสำหรับใส่อาหารหรือไม่ ผู้บางคนแนะนำว่าไม่ควรนำภาชนะที่มีเคลือบร้าวไปใส่อาหารที่ต้องทิ้งไว้บนภาชนะนานๆ ก่อนที่จะนำไปบริโภค แต่ปกติก็ไม่ค่อยมีใครทำเช่นนั้นอยู่แล้ว

1.2 สาเหตุของการร้าวของเคลือบ

ได้กล่าวมาแล้วว่าเคลือบร้าวเกิดจากแรงดึงในชั้นเคลือบ คราวนี้มาดูกันต่อไปว่าแรงดึงเกิดมาจากอะไร? ขอเริ่มต้นจากชั้นเคลือบและตัวเนื้อของผลิตภัณฑ์เซรามิก (body) ที่อุณหภูมิสูงในระหว่างที่เผา (sintering) ซึ่งอาจจะแทนด้วยรูปที่ 2a ณ จุดนี้ทั้งเคลือบและ body อยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงๆ เช่น 1000°C ดังนั้นทั้งเคลือบและ body จึงอ่อนตัว และมีความยืดหยุ่นสูงไม่มีปัญหาการแตก ต่อมาเมื่อเผา

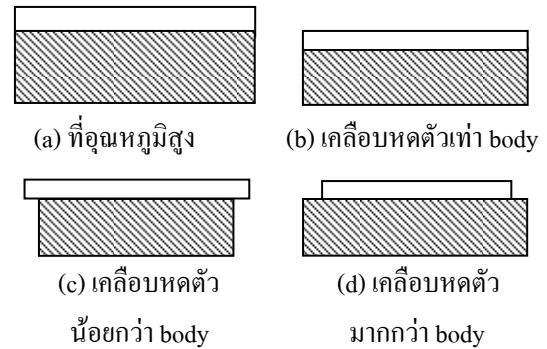


รูปที่ 1 ลักษณะของเคลือบราน [1]

ผลิตภัณฑ์ถึงจุดสูงสุดแล้วก็ลดอุณหภูมิการเผาผลาญมาทั้งเคลือบและ body ก็จะหดตัวตามลงมาเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิห้อง ที่จุดนี้ถ้าทั้งเคลือบและ body หดตัวลงมาเท่ากันจะได้ผลดังรูปที่ 2b กรณีนี้จะไม่เกิดความเค้นใดๆ ในเคลือบและ body แต่ถ้าเคลือบและ body หดตัวต่างกันจะได้ผลดังรูปที่ 2c หรือ 2d สำหรับรูปที่ 2c เป็นกรณีที่เคลือบหดตัวน้อยกว่า body จะทำให้มีความเค้นแบบอัด (compressive stress) ในเคลือบและมีความเค้นแบบดึงใน body ในทางตรงกันข้ามรูปที่ 2d เป็นกรณีที่เคลือบหดตัวมากกว่า body จะทำให้มีความเค้นแบบดึงในเคลือบและมีความเค้นแบบอัดใน body

เคลือบเป็นชั้นของแก้วดังนั้นเคลือบจึงมีสมบัติเหมือนกับเซรามิกทั่วไปคือทนความเค้นแบบอัดได้มากกว่าความเค้นแบบดึง ดังนั้นความเค้นแบบดึงขนาดเล็กน้อยในเคลือบจะทำให้เคลือบแตกรานได้ ในทางตรงกันข้ามความเค้นแบบอัดขนาดเล็กๆ ในเคลือบจะไม่ทำให้เคลือบเป็นอะไรเลย แต่ถ้าความเค้นแบบอัดในเคลือบมากพอถึงระดับหนึ่งจะทำให้เคลือบร่อน (shivering หรือ peeling) หลุดออกจากผิวผลิตภัณฑ์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเคลือบบริเวณขอบๆ ของผลิตภัณฑ์

ถึงตอนนี้คงทราบแล้วว่าเคลือบรานเกิดจากการที่มีความเค้นแบบดึงในเคลือบและความเค้นแบบดึงในเคลือบเกิดจากเคลือบหดตัวมากกว่า body คราวนี้มาดูกันต่อไปอีกว่าเหตุใดเคลือบจึงหดตัวมากกว่า body? คำตอบก็คือ “เพราะเคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากกว่า body หรือกล่าวอีกอย่างว่าเพราะ body มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อยกว่าเคลือบ” ที่อุณหภูมิสูงๆ (รูป 2a) ทั้งเคลือบและ body มีการยืดตัวให้มีขนาดเท่าๆ กันได้จึงไม่มีปัญหาอะไร แต่เมื่อลด



รูปที่ 2 ขนาดของเคลือบ (สีขาว) และ body (ลาย) ของผลิตภัณฑ์ (a) ที่อุณหภูมิสูงและ (b-d) ที่อุณหภูมิห้อง

อุณหภูมิลงมาเคลือบที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากกว่า body จะหดตัวมากกว่า body ทำให้เคลือบมีขนาดเล็กกว่า body และเกิดความเค้นแบบดึงในเคลือบดังรูปที่ 2d

การรานของเคลือบที่กล่าวมาข้างต้นมักจะเกิดขึ้นหลังจากเผาผลิตภัณฑ์ประมาณไม่เกินหนึ่งสัปดาห์ อย่างไรก็ตามมีการรานอีกประเภทหนึ่งที่จะยังไม่เกิดขึ้นจนกระทั่งเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน สาเหตุของการรานแบบหลังนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานส่วน body ของผลิตภัณฑ์จะดูดซึมความชื้นเข้าไปมากกว่าส่วนเคลือบ (เนื่องจาก body มีการดูดตัวเป็นแก้ว (vitrify) น้อยกว่าเคลือบ) ทำให้ body มีการขยายตัวมากกว่าเคลือบและเกิดความเค้นแบบดึงในเคลือบส่งผลให้เคลือบราน เรียกการรานแบบนี้ว่า delay crazing

1.3 วิธีแก้การรานของเคลือบ

เราอาจจะลดการรานของเคลือบได้หลายๆ วิธีดังต่อไปนี้

1) ปรับปรุงส่วนผสมของสูตรเคลือบ

1a) สำหรับเคลือบใสมักจะปรับปรุงโดยการเติมซิลิกาเข้าไปในส่วนผสมของเคลือบ [1-5] ซิลิกาที่เติมเข้าไปในเคลือบจะไปจับกับสารช่วยหลอม (flux) ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากๆ เช่น Na^+ , K^+ ได้แก้ว (glass) ที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำๆ ออกมา การเติมซิลิกาเข้าไปในเคลือบจึงทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเคลือบลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ความเค้นแบบดึงในเคลือบลดลงไปด้วย อย่างไรก็ตามต้องระวังไม่เติมซิลิกาลงไปมากเกินไป เพราะซิลิกาที่เติมลงไปจะทำให้สีของเคลือบจางลง [2] ซิลิกายังทำให้ความมันวาวของเคลือบเปลี่ยนไปอีกด้วย ที่สำคัญคือการเติม

ซิลิกามากเกินไปอาจจะทำให้จุดหลอมตัวของเคลือบสูงขึ้นจนไม่สุกตัวเลยก็ได้

1b) สำหรับเคลือบที่ช่วยลดการร้าวของเคลือบโดยการใส่ ZrO_2 ไปแทนที่ SnO_2 หรือ TiO_2 ในสูตรเคลือบ [3] การแทนที่ดังกล่าวจะทำให้เคลือบมีสมบัติการขยายตัวลดลง

1c) นอกจากนี้ยังอาจจะใช้ฟลิต (frit) ที่มี boric oxide เป็นองค์ประกอบเป็นส่วนผสมของเคลือบแทนฟลิตอื่นๆ ที่ใช้อยู่เดิม เพราะ boric oxide จะทำให้เคลือบมีความยืดหยุ่นตัว (elasticity) มากขึ้น [2, 3]

2) ปรับปรุงส่วนผสมของสูตร body

2a) โดยเติมซิลิกาลงไปในส่วนผสมของ body มากขึ้น เพราะซิลิกาที่เติมเข้าไปมักอยู่ในรูปของ quartz และ quartz เป็นแร่ที่มีสมบัติการขยายตัวค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแร่ทั่วไป [2] การเติมซิลิกาเข้าไปใน body จึงทำให้ body มีสมบัติการขยายตัวมากขึ้นและจึงทำให้ความเค้นแบบดึงในเคลือบลดลง อนึ่งการเติมซิลิกาเข้าไปใน body มักจะทำให้ body ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบฉับพลัน (thermal shock) ได้น้อยลงเพราะซิลิกาที่เติมลงไปบางส่วนจะเปลี่ยนเป็น cristobalite เมื่อเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงๆ และ cristobalite ที่เกิดสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลง (transformation) จากฟอร์มที่อุณหภูมิสูง (high temperature form) เป็นฟอร์มที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature form) ได้ที่อุณหภูมิ $273^{\circ}C$ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรถึง 3% ทำให้ body แตกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน จึงไม่ควรเติมซิลิกาเข้าไปใน body มากเกินไป ปกติจะเติมไม่เกิน 5%

2b) โดยลดส่วนผสมที่เป็นเฟลด์สปาร์ใน body เพราะเฟลด์สปาร์ใน body จะไปจับเอาซิลิกาที่ถูกปล่อยออกมาจากแร่ดิน (kaolin) ขณะที่ kaolin เปลี่ยนเป็น spinel และ mullite [2] เมื่อซิลิกาถูกจับไปสมบัติการขยายตัวของ body จะลดลงทำให้ความเค้นแบบดึงในเคลือบเพิ่มขึ้น อนึ่งวิธีการลดส่วนผสมที่เป็นเฟลด์สปาร์ใน body ลงนี้อาจจะนำไปใช้ไม่ได้กับผลิตภัณฑ์จำพวก earthenware เพราะผลิตภัณฑ์พวกนี้มักจะถูกเผาไม่สูงพอที่จะทำให้ kaolin เปลี่ยนไปเป็น spinel และ mullite

2c) โดยการเติมทัลคัม (talcum หรือ talc) เข้าไปในส่วนผสมของ body [1] วิธีนี้ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ทั้งจำพวก stoneware และ earthenware เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิที่ลดลงไปจะสูญเสียน้ำแล้วเปลี่ยนเป็นแร่ enstatite ซึ่งมีสมบัติการขยายตัวสูงทำให้ body มีสมบัติการขยายตัวสูงขึ้น จึงทำให้เคลือบร้าวตัวน้อยลง นอกจากนี้แร่ enstatite ยังมีโครงสร้างผลึกเป็นรูปเข็มสานกันทำให้ body มีความแข็งแรงมากขึ้น โอกาสที่จะเกิด delay crazing จึงน้อยลงไปด้วย ดังนั้นผู้ผลิตกระเบื้องจึงมักจะเติมทัลคัมลงไปในส่วนผสมของกระเบื้องปูพื้นของเขาเพราะกระเบื้องปูพื้นจะดูดซึมน้ำจากพื้นดินเมื่อปูใช้งาน

3) ลดอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเคลือบเป็นชั้นของแก้วอย่างหนึ่งการลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เร็วเกินไปทำให้เกิด thermal shock ฉับใดก็ทำให้เคลือบเกิด thermal shock ได้ฉับนั้น ดังนั้นการลดอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์จึงช่วยให้เคลือบเกิดการร้าวตัวน้อยลง

4) ไม่เปิดเอาของออกจากเตาจนกระทั่งอุณหภูมิในเตาลดลงต่ำกว่า $100^{\circ}C$ เพราะการเปิดเอาของออกจากเตาขณะที่อุณหภูมิในเตายังสูงเกินไปทำให้เกิด thermal shock ที่ชั้นเคลือบทำให้เคลือบเกิดการร้าวได้

5) ลดความหนาของชั้นเคลือบของผลิตภัณฑ์ วิธีนี้จะช่วยลดการร้าวของเคลือบได้ [2] เพราะเคลือบบางๆ จะยืดหยุ่นไปตามการขยายตัวของ body ได้ดีกว่าเคลือบหนาๆ

1.4 ข้อดีของเคลือบราน

ถึงแม้เคลือบรานจะมีข้อเสียหลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว แต่เคลือบรานก็มีข้อดีเพราะการรานทำให้เคลือบมีลวดลายและสวยงาม ผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่ผู้ผลิตตั้งใจทำให้มีรอยรานในชั้นเคลือบ เพื่อให้เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ศิลาดลซึ่งเป็นเครื่องปั้นดินเผาที่มีชื่อเสียงทางภาคเหนือของประเทศไทยที่ทำมาจากเคลือบจี๋เถ้าไม้จากธรรมชาติปราศจากสารเคมีที่เป็นอันตรายเป็นองค์ประกอบเคลือบศิลาดลมีลักษณะเฉพาะตัวคือ สีเขียว ใส และมีรอยราน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการควบคุมการร้าวตัวของเคลือบโดยการปรับปรุงส่วนผสมของเคลือบ โดยทดลองเติมซิลิกาและเฟลด์สปาร์เข้าไปในน้ำเคลือบของเครื่องปั้น

ดินเผาที่คลาดเพื่อดูว่าทั้งซิลิกาและเฟลด์สปาร์มีผลต่อการ
รานตัวของเคลือบอย่างไร ผลที่ได้จะเป็นแนวทางที่ใช้ในการ
ควบคุมการรานตัวของเคลือบให้เข้าไปในทางที่ต้องการคือ
รานน้อยลงหรือรานมากขึ้น

2. วิธีการวิจัย

1. เตรียมกระเบื้องทดสอบเคลือบโดยนำเนื้อดินปั้นสำเร็จรูป
จากบริษัทคอมพาวด์เคลย์ จำกัด มารีด (extrude) แล้วตัดเป็น
แผ่นเล็ก ๆ ขนาด $\frac{1}{4} \times 1 \times 2$ นิ้ว แล้วอบแห้งและนำไปเผา
biscuit ที่อุณหภูมิ 800°C ได้กระเบื้องทดสอบเคลือบ
2. นำน้ำเคลือบที่คลาดสำเร็จรูปจากโรงงานมาผสมให้
เข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วแบ่งออกเป็น 5 ส่วนเท่าๆ กัน
3. ชั่งน้ำหนักและเติมซิลิกาบดและโซดาเฟลด์สปาร์ ลงไปใน
น้ำเคลือบในข้อ 2 ตามส่วนผสมในตารางที่ 1 ให้เคลือบสูตร
จากโรงงานเป็น blank หรือสูตร 0 ส่วนสูตรที่เติมซิลิกาเป็น
สูตร 1 และ 2 สูตรที่เติมเฟลด์สปาร์เป็นสูตร 3 และ 4
4. นำกระเบื้องทดสอบเคลือบในข้อ 1 ไปชุบเคลือบในข้อ 3
โดยชุบให้มีความหนาเท่าๆ กัน แล้วตากให้แห้ง
5. นำกระเบื้องที่ชุบเคลือบแล้วไปเผาในเตาไฟฟ้าที่ 1260°C
ในบรรยากาศปกติ ใช้อัตราเร็วการเพิ่มอุณหภูมิ $3^{\circ}\text{C}/\text{นาท}$
และขึ้นไฟ 2 ชั่วโมงที่ 1260°C แล้วปล่อยให้เย็นในเตา
6. เพื่อให้เห็นการรานตัวชัดเจนจึงนำชิ้นตัวอย่างไปต้มใน
สารละลาย methylene blue ให้เดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้ว
ปล่อยให้เย็นและนำกระเบื้องทดสอบเคลือบไปทำสะอาดผิว
แล้วเช็ดให้แห้งและนำไปวิเคราะห์

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเคลือบที่ใช้ในการทดลองนี้

สูตร	เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมโดยน้ำหนัก (%)		
	เคลือบสำเร็จรูป	SiO_2	Na-feldspar
สูตร 0	100	0	0
สูตร 1	97	3	0
สูตร 2	95	5	0
สูตร 3	97	0	3
สูตร 4	95	0	5

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

- 1) รูปที่ 3a, 3b และ 3c แสดงกระเบื้องทดสอบเคลือบสูตร
0, 1 และ 2 ตามลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่าการเติมซิลิกา



(a) สูตร 0 เคลือบสำเร็จรูป



(b) สูตร 1 เคลือบสำเร็จรูป + silica 3wt%



(c) สูตร 2 เคลือบสำเร็จรูป + silica 5wt%



(d) สูตร 3 เคลือบสำเร็จรูป + Na-feldspar 3wt%



(e) สูตร 4 เคลือบสำเร็จรูป + Na-feldspar 5wt%

รูปที่ 3 การรานตัวของเคลือบสูตรต่างๆ

3% มีผลทำให้เคลือบมีการรานลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มซิลิกาเป็น 5% จะเห็นว่าเคลือบรานน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ผลการทดลองส่วนนี้เป็นไปตามหลักการการแก้ไขการรานของเคลือบซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 1a

2) รูปที่ 3d และ 3e แสดงกระเบื้องทดสอบเคลือบสูตร 3 และ 4 ซึ่งเติมโซดาเฟลด์สปาร์ ลงไป 3% และ 5% ตามลำดับจะเห็นได้ว่ากระเบื้องในรูปที่ 3a และ 3d มีการรานตัวต่างกันไม่มาก แสดงว่าการเติมโซดาเฟลด์สปาร์ 3% ไม่มีผลทำให้เคลือบรานเปลี่ยนไปแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามกระเบื้องในรูปที่ 3e มีการรานตัวมากกว่ากระเบื้องในรูปที่ 3a อย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าการใส่โซดาเฟลด์สปาร์ 5% เข้าไปในเคลือบมีส่วนทำให้เคลือบมีการรานตัวมากขึ้นอย่างมาก ทั้งนี้อาจจะเพราะโซดาเฟลด์สปาร์ที่เติมลงไปมี Na^+ ซึ่งเป็น flux ที่มีสมบัติการขยายตัวสูงเป็นองค์ประกอบ การเติมโซดาเฟลด์สปาร์เข้าไปในเคลือบจึงทำให้เคลือบมีสมบัติการขยายตัวมากขึ้นและส่งผลให้เคลือบหดตัวมากยิ่งขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิลงมา เหตุการณ์ดังกล่าวจะทำให้มีความเค้นแบบดึงในชั้นเคลือบมากขึ้นและส่งผลให้เคลือบรานมากขึ้น

4. สรุป

เราอาจจะควบคุมการรานตัวของเคลือบโดยการปรับปรุงส่วนผสมของเคลือบ การเติมซิลิกาลงไปทำให้เคลือบมีการรานตัวน้อยลงแต่การเติมโซดาเฟลด์สปาร์เข้าไปในเคลือบในปริมาณที่มากพอจะทำให้เคลือบมีการรานตัวมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทสยามศิลาดลที่เอื้อเฟื้อน้ำเคลือบศิลาดลสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Grimmer, "Glaze/Clay Body Fit " <http://www.umanitoba.ca/student/groups/CC/Clay%20Class%20Web%20Site/ClayClass%20Pages/glazefit.html>, access on Aug 18, 2008.
- [2] T. Hasen, "Crazing in Stoneware Glazes: Treating the Causes, Not the Symptoms" <http://ceramic-materials.com/ceramat/education/190.html>, access on Aug 18, 2008.

<http://ceramic-materials.com/ceramat/education/190.html>, access on Aug 18, 2008.

- [3] T. Hasen, "Troubleshooting Glaze Crazing" <http://ceramic-materials.com/ceramat/education/116.html>, access on Aug 18, 2008.

- [4] T. Hasen, "Demonstrating Glaze Fit Issues to Students" <http://ceramic-materials.com/ceramat/education/32.html>, access on Aug 18, 2008.

- [5] F. Singer and W. German, "Ceramic Glazes" Borax Consolidated Ltd., pp. 60-63, 1978.