จุดวิกฤตของการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน

สุธรรม ศรีหล่มสัก*, วีระ เหลืองศิริธัญญะ, เอกชัย ดังโพนทอง, สุระชัย ไชยศรีฮาด, วีระยุทธ์ บุณยรัตน์, พุทธพงศ์ สุขเพิ่ม, นิติพนธ์ พระเดชกิ่ง

Sutham Srilomsak, Weera Luangsiritunya, Ekkachai Dungphontong, Surachai Chaisrihad, Puthapong Sukphoem, Werayut Boonyarut and Nitipon Pradadking. (2006).* **Critical Drying Point of Dan Kwian Pottery.** *Suranaree J. Sci. Technol. 13(4):363-371.*

Received: Jun 12, 2006; Revised: Aug 23, 2006; Accepted: Aug 25, 2006

Abstract

Dan Kwian pottery is a beautiful and unique pottery which brings both reputation and large amount of income to Nakhon Ratchasima province. However, most of the factories in Dan Kwian district are still using basic production techniques which have been inherited for many decades especially drying technique. At present most factories in Dan Kwian are drying their greenwares in grass-walled huts. This causes not only longer drying time but also the drying period to depend upon the seasons. Critical moisture content of Dan Kwian pottery was studied in this work in order to be used as the data to improve the drying technique of Dan Kwian pottery. It was found that the critical moisture content of Dan Kwian pottery is about 10 - 15%. Therefore we should be able to decrease the drying time of Dan Kwian pottery by increase its drying rate after its moisture content was reduced to below 10%.

Keywords: Critical moisture content, Dan Kwian pottery, drying

บทคัดย่อ

เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นผลิตภัณฑ์ที่สวยงาม มีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งทำชื่อเสียงและรายได้แก่จังหวัดนครราชสีมาอย่างมาก อย่างไรก็ตามผู้ผลิตส่วนใหญ่ยังใช้เทคโนโลยีพื้นบ้านที่สืบทอดกันมาหลายทศวรรษอยู่โดยเฉพาะเทคโนโลยีการอบ ปัจจุบันโรงงานที่ด่านเกวียนส่วนใหญ่ยังอบชิ้นงานโดยผึ่งชิ้นงานในโรงเรือนเล็ก ๆ ที่ผนังมุงด้วยหญ้า ซึ่งนอกจากจะต้องใช้เวลาในการอบนานแล้วระยะเวลาในการอบก็ไม่แน่นอนขึ้นกับฤดูกาลอีกด้วย การทดลองนี้ได้ศึกษาหาจุดวิกฤตการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการปรับปรุงการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน จากการทดลองพบว่าจุดวิกฤต

สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 0-4422-4471, โทรสาร 0-4422-4612, E-mail: sutamsri@sut.ac.th และ sriloms@hotmail.com

* *ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ*

เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนอยู่ที่ความชื้น ประมาณ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเราอาจจะลดเวลาในการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนได้โดยเพิ่มอัตราเร็วในการอบเมื่อชิ้นงานมีความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์แล้ว

บทนำ

คนส่วนใหญ่มักไม่ค่อยให้ความสนใจเรื่องการอบผลิตภัณฑ์เซรามิกเพราะว่า (สุธรรม ศรีหล่มสัก, 2543)

1. เห็นว่ากลไกต่าง ๆ ในการอบผลิตภัณฑ์เซรามิกเป็นเรื่องง่าย ๆ ไม่มีอะไรซับซ้อน

2. รอยแตกบนผลิตภัณฑ์เซรามิกมักจะไม่ค่อยปรากฏให้เห็นเมื่ออบเสร็จ แต่มักจะปรากฏให้เห็นต่อเมื่อเผาแล้ว เลยทำให้เข้าใจผิดคิดว่าเป็นการแตกเนื่องจากการเผา (firing)

3. เมื่อเห็นผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้วแตกมักคิดว่าการแตกเกิดจากสาเหตุอื่นที่ไม่เกี่ยวกับการอบ เช่น คิดว่าแตกเนื่องจากการขึ้นรูป (fabrication) ไม่ดี หรือแตกเนื่องจากการการลำเลียง

4. ส่วนใหญ่แล้วเตาอบ (drier) มักจะเป็นตู้ปิดทึบมองไม่เห็นข้างใน และมีเตาอบจำนวนมากที่มีแต่อุปกรณ์ให้ความร้อนและพัดลมหมุนเวียนอากาศ แต่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องมือวัดข้อมูลของการอบ บางเตาอาจจะมีเครื่องมือวัดแต่ก็ไม่ได้รับการสนใจวัดค่า เก็บบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างจริงจัง ปล่อยให้พนักงานอบผลิตภัณฑ์ตามความเคยชิน ไม่มีการตรวจสอบความชื้นผลิตภัณฑ์ก่อนนำเข้าและออกจากเตาอบเลย แต่นักเซรามิกที่มีประสบการณ์ทราบเป็นอย่างดีว่าการอบเป็นขั้นตอนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ที่สำคัญที่สุด การอบที่ไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตก

เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์และมีชื่อเสียงของจังหวัดนครราชสีมา ผลิตขึ้นที่ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนที่เผาแล้วมักจะมีสีน้ำตาลแดงหรือดำแดงเนื่องมีธาตุเหล็กมากในเนื้อดินปั้น ดินที่นำมาใช้ปั้นเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นดินจากริมแม่น้ำมูลซึ่งมีข้อดีคือ มีเนื้อละเอียดและมีความเหนียวมากทำให้ปั้นขึ้นรูปได้ง่าย (Chimnakom, 1999) อย่างไรก็ตามข้อเสียของดินชนิดนี้คือเมื่อปั้นเสร็จแล้วจะอบแห้งได้ช้ามาก ปัจจุบันโรงงานในท้องถิ่นแทบไม่อบเลยแต่จะผึ่งผลิตภัณฑ์แทน โดยจะนำภาชนะที่ปั้นเสร็จแล้วแต่ยังไม่เผาซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า greenware ไปผึ่งไว้ในโรงผึ่งตามรูปที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นโรงหญ้าหลังคาคลุมถึงพื้น ป้องกันลม แดด และฝน พื้นเป็นทราย ใช้เวลาในการผึ่งตามฤดูกาลคือ ฤดูแล้ง 7 - 15 วัน ฤดูฝนอาจจะนานถึง 20 วัน ถึงแม้ว่าการผึ่งแบบที่โรงงานท้องถิ่นใช้กันจะสามารถอบ greenware ให้แห้งได้ดีในระดับหนึ่งแต่ก็มีข้อเสียคือ greenware แห้งช้ามากและต้องอาศัยธรรมชาติช่วย จึงกำหนดเวลาการผลิตไม่ได้แน่นอน

การทดลองในนี้เป็นการศึกษาหาจุดวิกฤตของการอบ (critical drying point) ของเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อที่จะนำไปสู่การพัฒนาวิธีการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนให้เร็วขึ้นโดยที่มีจำนวนผลิตภัณฑ์แตกขณะที่แห้งตัวแล้วเท่าเดิมหรือน้อยลง โดยตั้งอยู่บนหลักวิชาการที่ว่า เราสามารถเร่งความเร็วในการอบเมื่อ greenware มีความชื้นต่ำกว่าจุดวิกฤตแล้วเท่านั้น (West, 1972)

ทฤษฎี

น้ำในดิน

น้ำที่อยู่ในดินแบ่งออกเป็น 3 ชนิด (Lawrence, 1972) คือ

1. Adsorbed water film คือน้ำที่เป็นฟิล์มบาง ๆ ซึ่งเคลือบเกาะอยู่รอบ ๆ อนุภาคดิน

2. Pore water คือน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน โดยที่ไม่ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคดินขยายตัวใหญ่ขึ้น

3. Free water คือน้ำที่อยู่ระหว่างอนุภาคดิน

เพื่อให้เห็นภาพพจน์ของน้ำทั้ง 3 ชนิด ชัดเจนยิ่งขึ้นรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมน้ำลงไปในดินที่แห้งสนิทซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เริ่มจากรูปที่ 3(a) ให้ก้อนลาย ๆ ในภาพแทนอนุภาคดินที่แห้งสนิท เมื่อเติมน้ำลงไป น้ำส่วนแรกจะถูกอนุภาคดินดูดซับไปเคลือบรอบ ๆ ผิวของดินเป็นฟิล์มบาง ๆ เนื่องจากตามธรรมชาติแล้วโครงสร้างของดินจะมีประจุที่ผิว ดังนั้น อนุภาคดินจึงสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำให้เป็น

Figure 1. Dan Kwian drying hut

Figure 2. Dan Kwian greenwares in drying hut

ฟิล์มหนาประมาณ 8 - 100 อาร์มสตรอง เคลือบอยู่รอบ ๆ จึงเรียกน้ำส่วนนี้ว่า "adsorbed water film" ซึ่งแสดงด้วยเส้นสีดำที่อยู่รอบ ๆ ก้อนลาย ๆ ในรูปที่ 3(b) ในสภาพนี้จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของดิน (cohesive forces) ดังนั้นเม็ดดินจึงยังคงเกาะติดกันแน่นดี

เมื่อน้ำที่เติมลงไปเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาคดินครบทุกอนุภาคแล้ว ถ้าเติมน้ำลงไปอีกน้ำส่วนที่สองจะไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน ดังแสดงด้วยส่วนที่ระบายเป็นแถบสีดำในรูปที่ 3(c) เรียกน้ำส่วนนี้ว่า "pore water" น้ำชนิดนี้จะทำให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นก้อน ๆ (balling up หรือ clump) เนื่องจากแรงยึดระหว่างอนุภาคดินที่มีน้ำชนิดนี้อยู่จะสูงกว่าแรงยึดระหว่างอนุภาคดินที่ไม่มีน้ำชนิดนี้แทรกตัวอยู่ เมื่อเติมน้ำต่อไปอีกน้ำจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินช่องอื่นอีกจนกระทั่งช่องว่างระหว่างอนุภาคดินทุกช่องมีน้ำอยู่เต็มดังรูปที่ 3(d) สังเกตว่าน้ำชนิดนี้จะไม่ได้ทำให้อนุภาคดินแยกตัวออกจากกันเลย อนุภาคดินยังคงอยู่เกือบจะชิดกันเท่าเดิม แสดงว่าน้ำชนิดนี้ไม่ได้ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคดินขยายตัวขึ้น ที่จุดที่มีน้ำอยู่เต็มช่องว่างระหว่างอนุภาคทุกช่องดังรูปที่ 3(d) เป็นจุดที่เนื้อดินปั้นมีความเหนียว (plasticity) มากที่สุดและมีสมบัติในการไหลตัวเหมาะกับการขึ้นรูป (consistency) สูงสุดด้วย

ต่อจากนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกน้ำส่วนใหม่ที่เติมเข้าไปจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดินลดลง อนุภาคดินจึงแยกออกจากกันความเหนียวจึงลดลงไปด้วย ยิ่งเติมน้ำเข้าไปอีกมากเท่าใดก็จะทำให้อนุภาคดินแยกจากกันมากขึ้นไปเท่านั้น จนในที่สุด

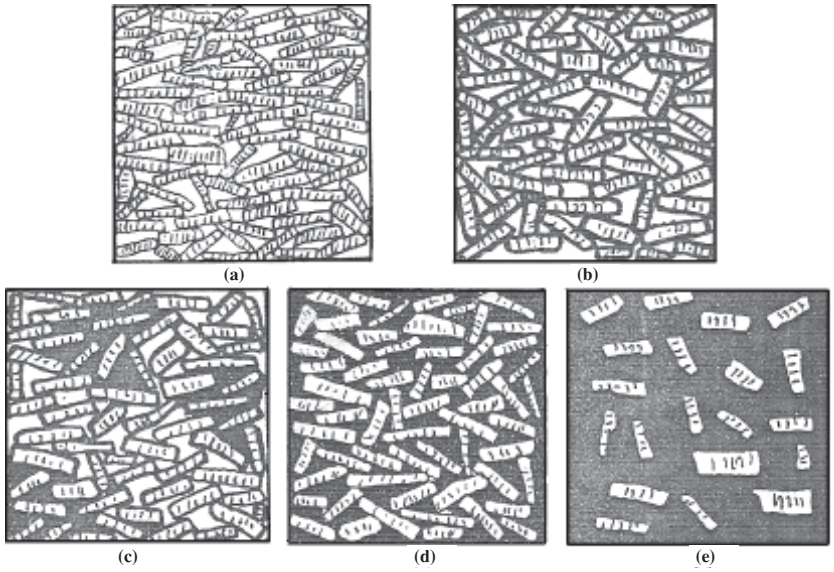

Figure 3. The sequence of water addition to completely dry clay
(a) dry particles
(b) water film around each particle
(c) water films with isolated areas containing pore water
(d) pores filled with water with particles still contact
(e) free water with particles separated (Adapted form Lawrence, 1972)

ก็เปลี่ยนสภาพไปเป็นน้ำดินหรือน้ำสลิป (slip) ดังรูปที่ 3(e) เรียกน้ำที่เติมลงไปแล้วทำให้อนุภาคดินแยกจากกันนี้ว่า "free water"

การอบ

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ greenware มาอบแห้งไล่น้ำ น้ำส่วนแรกที่ถูกขับออกไปคือ free water ซึ่งบางทีเรียกว่า "unbound water" เพราะเป็นน้ำที่ไม่ถูกยึดเกาะในโครงสร้างจึงหลุดออกได้ง่ายที่สุด เมื่อน้ำชนิดนี้หลุดออกไปอนุภาคของดินก็จะขยับเข้ามาหากันทำให้ greenware หดตัว ปริมาณการหดตัวจะแปรตามปริมาณ free water ที่หลุดออกไป เมื่อ free water หลุดออกไปหมดอนุภาคของดินก็จะขยับมาเกือบจะชิดกันพอดี ดังนั้นเมื่ออบต่อไปถึงแม้น้ำที่เหลือจะหลุดออกไปอีกแต่ชิ้นงานก็จะหดตัวต่อไปน้อยมากเรียกจุดนี้ว่า "จุดวิกฤตการอบ" (Tuttle and Funk, 1972) ในสภาวะนี้ greenware จะมีความแข็งแรงพอที่จะจับต้องเคลื่อนย้ายได้โดยไม่ต้องกลัวว่าจะเสียรูปหรือยุบตัว (warp) เรียกสภาวะนี้ว่า leather hard ที่จุดนี้เป็นจุดที่มีความสำคัญอย่างมากในการอบซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

จากนั้นเมื่ออบต่อไป pore water ก็จะหลุดตามออกไป จนกระทั่ง pore water หลุดออกไปจนหมดแล้ว น้ำส่วนสุดท้ายคือ adsorbed water film ก็จะหลุดตามออกไป อนึ่งช่วงที่ pore และ adsorbed water film หลุดออกไปนี้ greenware จะหดตัวน้อยมาก

ผู้เชี่ยวชาญการอบ (Brosnan and Robinson, 2003) แบ่งการอบออกเป็นสองช่วงคือ การอบช่วงต้น (early stage of drying) และการอบช่วงที่สอง (second stage of drying) การอบช่วงต้นเป็นการอบช่วงที่ต้องระมัดระวังมากที่สุดเพราะเป็นช่วงที่ free water ออกไปจาก greenware ผลิตภัณฑ์จึงหดตัวมาก ส่วนการอบช่วงที่สองเป็นช่วงที่ pore water และ adsorbed water film ออกไปจาก greenware ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงหดตัวในช่วงนี้น้อยมาก จุดที่แบ่งระหว่างการอบช่วงต้นกับการอบช่วงที่สองคือจุดวิกฤตการอบ หากอบในช่วงต้นเร็วเกินไปจะทำให้ free water ที่ผิวของ greenware ระเหยออกไปอย่างรวดเร็วจน free water ที่อยู่ภายใน greenware ซึมตามออกมาไม่ทัน จึงทำให้ free water ที่ผิวของ greenware แห้งไปหมดและเป็นผลให้อนุภาคดินที่ผิวของ greenware ขยับมาชิดกัน ช่องเปิดที่ผิว greenware จึงปิดลงทำให้ free water และน้ำชนิดอื่นถูกกักเอาไว้ภายใน greenware เหตุการณ์นี้จะทำให้ greenware แตกได้เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ 1) ผิวและภายใน greenware หดตัวไม่เท่ากันเนื่องจากมีความชื้นไม่เท่ากัน 2) เมื่ออบต่อไป free water ซึ่งออกไปไม่ทันในตอนแรกและถูกกักเอาไว้ภายใน greenware จะกลายเป็นไอพร้อม ๆ กับขยายตัวหลายพันเท่าส่งผลให้เกิดแรงดันมหาศาลจากข้างในออกไปข้างนอกจึงทำให้ greenware แตกได้ (Ford, 1986)

ผู้ควบคุมเตาอบที่ชำนาญจึงต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ภายในเตาอบให้น้ำออกไปจาก greenware ในช่วงต้นของการอบอย่างช้า ๆ เนื่องจากจุดแบ่งระหว่างการอบช่วงต้นกับการอบช่วงที่สองคือจุดวิกฤตการอบ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ควบคุมเตาอบจะต้องรู้ว่าจุดวิกฤตการอบของ greenware อยู่ ณ ที่ใด การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะหาจุดวิกฤตการอบของเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงวิธีการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนให้เร็วขึ้นโดยที่มีผลิตภัณฑ์ที่เสียหายจากการอบเท่าเดิมหรือน้อยลง

วิธีการทดลอง

1. นำเนื้อดินปั้นของเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนมารีดในเครื่องรีด (extruder) ให้เป็นแท่งดินยาว ๆ

2. นำแท่งดินยาว ๆ จากข้อ 1 มาตัดให้เป็นชิ้นตัวอย่างท่อนสั้น ๆ ซึ่งมีความยาวประมาณ 20 - 40 มิลลิเมตร นำชิ้นตัวอย่างไปวัดความยาวและชั่งน้ำหนักเอาไว้

3. นำชิ้นตัวอย่างจากข้อ 2 เข้าไปอบในเตาอบไฟฟ้าซึ่งตั้งอุณหภูมิคงที่ต่าง ๆ กันคือ 60, 70,

80 และ 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละประมาณ 20 ชิ้น

4. นำชิ้นตัวอย่างในข้อ 3 มาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเป็นระยะ ๆ (ประมาณ 2 ชั่วโมงต่อครั้ง) หลังจากวัดขนาดและชั่งน้ำหนักแล้วนำกลับเข้าไปอบต่อไปจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างแห้งสนิท

5. นำข้อมูลทั้งหมดไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (% moisture content) และเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นหลังแห้ง (% linear drying shrinkage) ขณะเวลา t ใด ๆ จากสูตร

$$\%\ moisture\ content = \frac{wet\ weigh - dry\ weight}{dry\ weight} \times 100$$

$$\%\ linear\ drying\ shrinkage = \frac{L_0 - L_t}{L_0} \times 100$$

เมื่อ wet weight = คือน้ำหนักชิ้นตัวอย่างขณะเวลา t ใด ๆ

dry weight = คือน้ำหนักชิ้นตัวอย่างเมื่อแห้งสุทธิ (ความชื้นเท่ากับศูนย์เปอร์เซ็นต์)

L_0 = ความยาวขณะที่เริ่มต้นอบ (t = 0)

L_t = ความยาวขณะเวลา t ใด ๆ

6. เขียนกราฟระหว่างเวลาในการอบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น น้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างทั้ง 20 ชิ้น ซึ่งอบที่อุณหภูมิต่างกัน

ผลการทดลอง

1. รูปที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างต่อเวลาที่อบที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากภาพจะเห็นได้ว่า

1.1 เมื่อเวลาผ่านไปชิ้นตัวอย่างจะมีความชื้นลดลงและการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ชิ้นตัวอย่างมีความชื้นลดลงเร็วกว่าการอบที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่ามาก

1.2 ความชันของกราฟแสดงอัตราเร็วของการแห้งตัว (rate of drying) จากภาพจะเห็นได้ว่าการอบทุก ๆ อุณหภูมิจะมี rate of drying ในช่วงแรก ๆ ของการอบมากกว่า rate of drying ในช่วงท้าย ๆ ของการอบ

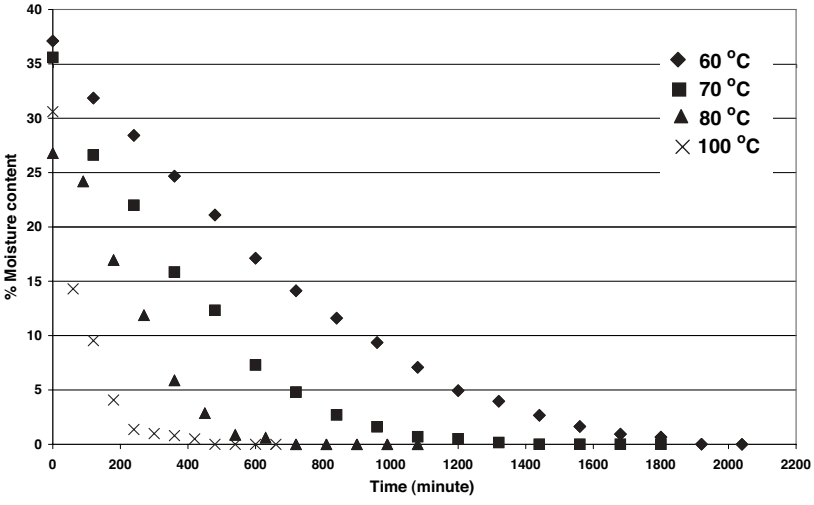

Figure 4. Change in % moisture content of Dan Kwian specimen during drying at different temperatures

2. รูปที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นเฉลี่ยต่อเวลาของชิ้นตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากภาพจะเห็นได้ว่า

2.1 ชิ้นตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิสูงจะหยุดหดตัว (เปอร์เซ็นต์การหดตัวคงที่) ได้เร็วกว่าชิ้นตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิต่ำ ตัวอย่างเช่น ชิ้นตัวอย่างที่อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะหยุดหดตัวหลังจากที่อบไปแล้ว 300 นาที ส่วนชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะหยุดหดตัวหลังจากอบไปแล้ว 1,200 นาที

2.2 เมื่ออบจนชิ้นตัวอย่างแห้งสนิท (ความชื้นเท่ากับศูนย์เปอร์เซ็นต์) ชิ้นตัวอย่างซึ่งอบที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 100 องศาเซลเซียส จะหดตัว 17.1, 18.7, 9.5 และ 10.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.3 เส้นกราฟเปอร์เซ็นต์การหดตัวของการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่ได้เป็นเส้นโค้งขึ้นไปอย่างต่อเนื่องแต่จะมีลักษณะเป็นขยักที่ประมาณ 300 - 600 นาที ในทำนองเดียวกันของเส้นกราฟการอบที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส แต่ที่ 80 องศาเซลเซียสจะเห็นได้ชัดกว่า

3. รูปที่ 6 แสดงน้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างต่อเวลาการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นซึ่งแสดงน้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นโค้งลงเหมือนกับเส้นกราฟที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในรูปที่ 4 ดังนั้นความชันของเส้นกราฟทั้งสองจึงแสดง rate of drying ด้วย

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การอบที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้ความชื้นของชิ้นตัวอย่างลดลงได้เร็วกว่า เพราะว่าที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำจะระเหยได้เร็วกว่าและที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำจะมีความหนืดต่ำกว่าดังนั้นน้ำภายใน greenware จึงซึมออกมาที่ผิวแล้วระเหยกลายเป็นไอได้เร็วกว่า

2. การที่ rate of drying ในช่วงแรก ๆ ของการอบสูงกว่าในช่วงท้าย ๆ ของการอบเพราะว่าน้ำที่ออกไปในช่วงแรก ๆ ของการอบเป็นน้ำประเภท free water ซึ่งเป็นน้ำที่ไม่ถูกยึดเกาะในโครงสร้างจึงหลุดออกได้ง่าย

3. สาเหตุที่ชิ้นงานซึ่งอบที่อุณหภูมิสูง (80

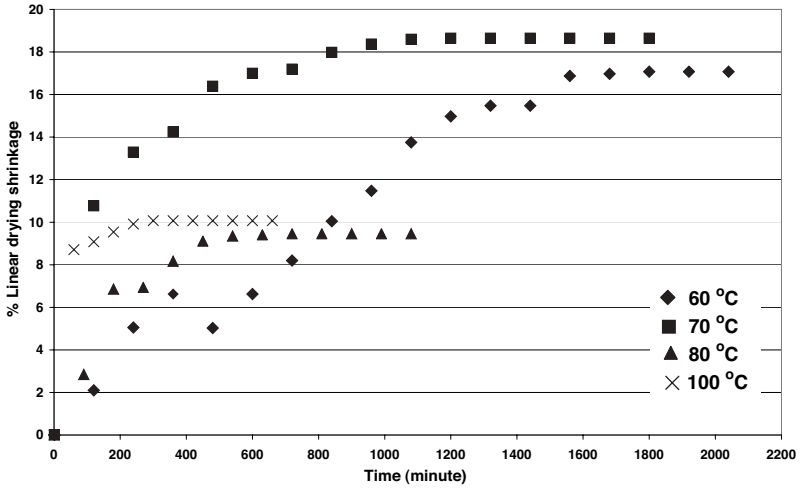

Figure 5. Change in % linear drying shrinkage of Dan Kwian specimen during drying at different temperatures

และ 100 องศาเซลเซียส) มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเมื่อแห้งสนิทน้อยกว่าชิ้นงานซึ่งอบที่อุณหภูมิต่ำ (60 และ 70 องศาเซลเซียส) อาจจะเป็นเพราะชิ้นงานซึ่งอบที่อุณหภูมิสูงมีความชื้นตั้งต้นต่ำกว่าชิ้นงานซึ่งอบที่อุณหภูมิต่ำ กล่าวคือ ชิ้นงานซึ่งอบที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียสมีความชื้นตั้งต้นประมาณ 27 - 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชิ้นงานซึ่งอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสมีความชื้นตั้งต้นที่ 36 - 37 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 4 เหตุที่ชิ้นงานเหล่านี้มีความชื้นไม่เท่ากันเป็นเพราะชิ้นงานถูกเตรียมขึ้นมาไม่พร้อมกันแต่ทั้งหมดถูกเตรียมขึ้นจากดินห่อเดียวกัน

4. เส้นกราฟแสดงน้ำหนักต่อเวลาในการอบในรูปที่ 6 มีลักษณะตรงกันกับรูปในหนังสือของ Brosnan and Robinson (2003) ซึ่งเขาได้อธิบายว่าการอบในช่วงต้นจะมี rate of drying คงที่เรียกว่า constant rate period ในช่วงนี้กราฟเกือบจะเป็นเส้นตรงมีความชันคงที่ ดังแสดงในช่วง A ถึง B ของรูปที่ 6 ส่วนการอบในช่วงที่สองจะเป็นช่วงที่ rate of drying ลดลงดังนั้นกราฟจึงมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีความชันลดลงไปตามเวลา ดังแสดงในช่วง B ถึง C ในรูปที่ 6 ต่อจากนั้นชิ้นตัวอย่างจะมีน้ำหนักลดลงเรื่อย ๆ อย่างช้ามาก ๆ และน้ำหนักจะคงที่ที่จุด D แสดงว่าความชื้นเป็นศูนย์แล้ว อนึ่งจุด B เป็นจุดสำคัญซึ่งแบ่งระหว่างการอบช่วงต้นกับการอบช่วงที่สอง เรียกจุด B ว่าจุดวิกฤตของการอบ จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าจุด B อยู่ที่ t ประมาณ 500 นาที และจะเห็นว่าหลัง t นี้ชิ้นงานจะมีความยาวเกือบจะคงที่แล้ว นำ t ค่านี้ไปพิจารณาต่อที่รูปที่ 4 โดยพิจารณาเส้นกราฟของการอบที่ 70 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าที่ t เท่ากับ 500 นาที ชิ้นตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ในทำนองเดียวกันเมื่อนำข้อมูลของการอบที่อุณหภูมิอื่น ๆ มาเขียนกราฟและวิเคราะห์ดูจะพบว่าจุด B ของการอบที่อุณหภูมิอื่น ๆ อยู่ที่ประมาณ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ จึงอาจจะสรุปได้ว่าจุดวิกฤตของการอบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนอยู่ที่ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์

5. ยังไม่มีคำอธิบายว่าทำไมเส้นกราฟเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำ ๆ จึงแบ่งเป็นขยักแทนที่จะเป็นเส้นโค้งอย่างต่อเนื่องเป็นไปได้ว่าในช่วงนั้นน้ำในชิ้นตัวอย่างกลายเป็นไอซึ่งมีความดันทำให้ชิ้นงานขยายตัวจึงทำให้การหดตัวไม่ต่อเนื่อง

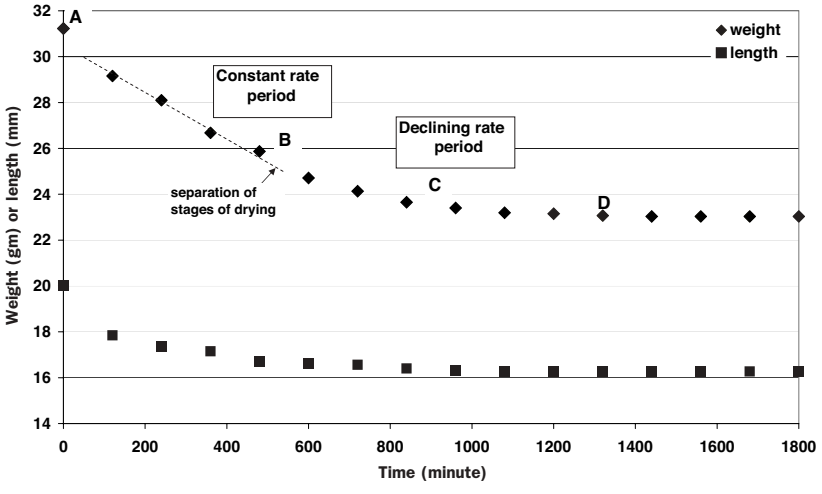

Figure 6. Change in weight and length of Dan Kwian specimen during drying at 70°C

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่าเป็นไปตามทฤษฎีเรื่องน้ำในดินและการอบ และจะเห็นว่าเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนมีจุดวิกฤตของการอบที่ความชื้นประมาณ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ การทดลองนี้เป็นเพียงการทดลองขั้นต้น ข้อมูลที่ได้ยังไม่เพียงพอที่จะบอกว่าควรใช้อุณหภูมิและตั้งตารางในการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนอย่างไร แต่ก็ได้ข้อมูลเพียงพอที่จะทำให้ทราบได้ว่าควรอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนอย่างช้า ๆ จน greenware มีความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเพิ่มอัตราเร็วในการอบได้

อนึ่งเป็นที่ทราบในหมู่นักเซรามิกว่า เราอาจจะเพิ่มอัตราเร็วในการอบผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาโดยใส่ทรายลงไปในเนื้อดินปั้นของเครื่องปั้นดินเผาเพื่อให้เนื้อดินปั้นมีความพรุนตัวมากขึ้น ผู้เขียนจึงคิดว่าในอนาคตหากจะทำการศึกษาเรื่องนี้ต่อไปน่าจะทดลองเพิ่มทรายเข้าไปในเนื้อดินปั้นและน่าจะทดลองควบคุมทั้งอุณหภูมิกับความชื้นในเตาอบไปพร้อม ๆ กันด้วย และหากเป็นไปได้อาจจะทดลองตั้งตารางการอบให้อบช้า ๆ ในตอนต้นและอบเร็ว ๆ ในตอนท้าย เพื่อหาตารางที่เหมาะที่สุดในการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน สุดท้ายน่าจะนำชิ้นตัวอย่างที่ทดลองอบที่สภาวะต่าง ๆ ไปทดสอบความแข็งแรงด้วย เพราะความแข็งแรงหลังอบอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีตัวหนึ่งที่ช่วยบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบเสร็จแล้วน่าจะมีรอยร้าวหรือแตกหรือไม่ เพราะปกติแล้วเราไม่สามารถมองไม่เห็นรอยร้าวจากการอบได้ด้วยตาเปล่าเพราะรอยร้าวอยู่ภายในชิ้นงาน เราจะเห็นรอยร้าวหรือการแตกจากการอบเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปเผาและผลิตภัณฑ์แตกแล้วเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์พิศ ป้อมสินทรัพย์ ร้านดินเผา ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลการอบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนและมอบเนื้อดินปั้นที่ใช้ปั้นเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเพื่อการทดลองนี้

เอกสารอ้างอิง

สุธรรม ศรีหล่มสัก. (2543). เอกสารประกอบการสอนวิชา 526303 Drying of Ceramics. สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, หน้า 16-26.

Brosnan, D.A., and Robinson, G.C. (2003). Introduction to Drying of Ceramics With Laboratory Exercises. 1st ed. The American Ceramic Society, Ohio, p. 57-76.

Chimnakom, E. (1999). Inside Dan Kwean Pottery Village. 1st ed. Benja International LTD Part, Bangkok, p. 1-30.

Ford, R.W. (1986). Ceramics Drying. 1st ed. Pergamon Press, Oxford, p. 1-60.

Lawrence, W.G. (1972). The nature of clays. In: Drying Claywares. Kirkendale, G.A. (ed). New York State College of Ceramic at Alfred University, NY, p. 1-42.

Tuttle, M.A., and Funk, J. (1972). Water removal from clay. In: Drying Claywares. Kirkendale, G.A. (ed). New York State College of Ceramic at Alfred University, NY, p. 55-71.

West, R. (1972). Drying clay ware. In: Drying Claywares. Kirkendale, G.A. (ed). New York State College of Ceramic at Alfred University, NY, p. 43-54.