บทที่ 5
สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุป

การศึกษาและงานวิจัยของวิทยานิพนธ์เรื่อง ผลของสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์ในเคลือบของทองแดงสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ทั้งนี้โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ เกี่ยวกับการหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์ในเคลือบทองแดง เพื่อให้เกิดสีแดงเด่นชัดมากที่สุด และวัตถุประสงค์ต้องการทราบถึงกลไกดีบุกออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีแดงของเคลือบทองแดง เมื่อการศึกษาและงานวิจัยได้กระทำในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เวลาค่อนข้างยาวนานนี้มุ่งมั่นถึงการทดลองหลากหลายวิธี เพื่อต้องการให้ทราบแนวทางของการเกิดสีแดงนำมาเป็นภาคปฏิบัติเพื่อหาแนวทางคำอธิบายเป็นทฤษฎี ด้วยเหตุนี้การทดลองมาหลายปีนั้นระยะแรก ๆ ได้พบการทำเคลือบสีแดงของทองแดงแรกเริ่มต้น ประสบผลสำเร็จบ้างและไม่สำเร็จบ้าง สีแดงปรากฏจากชิ้นทดสอบหรือชิ้นงานยังไม่ให้ความเข้มของสีแดงเป็นที่น่าพอใจ ความไม่สำเร็จคือการพบสีเคลือบหลังเผาเป็นสีเทาทึบ น้ำตาล สีม่วง และการเกิดสีแดงจาง นอกจากนี้ยังพบการปรากฏของเกล็ดในเคลือบที่มีสีออกดำและน้ำตาลแก่ อื่น ๆ อีกมากมาย (รูปภาคผนวก ก) อย่างไรก็ตามผู้วิจัยเริ่มจับแนวทางได้ถึงการเกิดสีแดงจากเคลือบทองแดง เมื่อนำผลงานต่าง ๆ มาพิจารณาทำให้การเริ่มต้นของงานวิจัยได้จัดเรียงเป็นระบบถึงการกำหนดขั้นตอนที่เริ่มต้นจากการหาสูตรเคลือบให้เหมาะสม จากนั้นเตรียมเคลือบโดยให้มีขนาดอนุภาคของเคลือบที่สามารถหลอมตัวได้ดี ณ อุณหภูมิกำหนด ซึ่งเห็นว่าการเผาอุณหภูมิประมาณ 1250 °C มีความสะดวกกับผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรม จากนั้นเป็นการหาเทคนิคการเผาที่ต้องคำนึงถึงบรรยากาศทั้งกรณีระยะช่วงขึ้นอุณหภูมิ และระยะลดอุณหภูมิลง พบว่าการเกิดสีแดงของเคลือบทองแดงมาจากการปรับบรรยากาศได้ถูกต้อง เมื่อการปฏิบัติงานเชิงวิจัยให้มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ในทุกขั้นตอน สามารถช่วยให้เกิดการตัดสินใจถึงปัจจัยที่เหมาะสมในเรื่องนั้น ๆ ได้ เมื่อพบความเหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ปฏิบัติงานในช่วงสุดท้าย ถึงการเลือกใช้ปริมาณที่เหมาะสมของดีบุกออกไซด์ สารตัวเติมชนิดที่สามารถให้เกิดสีแดงเด่นชัดของเคลือบทองแดงมากที่สุด เพื่อเข้าสู่คำตอบในวัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ จากนั้นผู้วิจัยจึงได้นำผลของเคลือบที่ได้ประสบผลสำเร็จไปตรวจสอบและวิเคราะห์เคลือบที่ให้สีแดง ด้วยเครื่องมือตรวจสอบ ของ และ ESR, XRD และ XRF เพื่อนำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูลของการตรวจสอบไปพิจารณา ให้สามารถอธิบายกลไกของการเกิดสีแดงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลไกของคีบุกออกไซด์ที่ให้บทบาทสำคัญในเคลือบทองแดง เป็นความมุ่งหมายในวัตถุประสงค์ ของงานวิจัยเรื่องนี้ เคลือบสีแดงของทองแดง สูตรเคลือบที่เหมาะสม (Copper red glazes) นำเสนอจากผลการทดลองคือ

1	เฟลด์สปาร์	33.7	%
2	ดินขาวลำปาง	6.8	%
3	ควอตซ์	22.8	%
4	แคลเซี่ยมคาร์บอเนต	16.5	%
5	แบเรียมคาร์บอเนต	14.1	%
6	ซิงค์ออกไซด์	6.7	%
7	ทัลคัม	4.8	%
8	คีบุกออกไซด์	3.5	%
9	ทองแดงคาร์บอเนต	1.2	%

เขียนเป็นสูตรเซเกอร์ได้ดังนี้

0.157	Na_2O					
0.155	BaO					
0.381	CaO	}	0.22	Al_2O_3	2.17	SiO_2
0.097	MgO		เติม	$CuCO_3$ 1.2 %		
0.210	ZnO			SnO_2 3.5 %		

สูตรเคลือบนี้มีความเป็นมาตั้งต้นจากการรวบรวมผลงานของผู้ศึกษาสูตรเคลือบ จากผลงานทดลองของนักศึกษาระดับปริญญาโท [16] รวมทั้งจากหนังสือ เอกสารและวารสารของผู้ที่ทำมาแล้ว [17,18,19,20,21] รวบรวมได้ 15 สูตรผสม สูตรผสมเหล่านั้นได้ทำการทดลองเริ่มงานครั้งแรก พบว่าส่วนผสมของสูตรเคลือบมีความแตกต่างกันบ้างเกี่ยวกับส่วนประกอบที่เป็นเคลือบพื้นฐานที่ใช้ทดลองแตกต่างกันไปได้แก่ Lime glazes , Lime – zinc, Lime-magnesium, Lime-barium และส่วนผสมพื้นฐาน เช่น Lime barium - zinc - magnesium glazes เป็นต้น พร้อมการใช้ปริมาณคอปเปอร์คาร์บอเนต หรือ คอปเปอร์ออกไซด์ สารเติมที่เป็นคีบุกออกไซด์ แคลเซียมฟอสเฟต รวมทั้งให้มีการเติมเหล็กออกไซด์ด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน (ดูตารางที่ 3.1 บทที่ 2) สูตรเคลือบต่าง ๆ เหล่านี้ได้พบจากการทดลองจากผู้วิจัยที่เห็นว่าสมควรทำการปรับปรุงด้วยชนิดของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เคลือบพื้นฐานและตัวเติมต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสม ของการให้สีแดงที่เข้ากันดีกับเนื้อดินปั้นคอมพาวด์เคลย์ จนในที่สุดของการปรับเปลี่ยนสูตรเคลือบกระทำจนถึงเคลือบสุดท้าย (หมายเลข 22) ดังกล่าว และผลการทดลองทราบปริมาณสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์ ที่ทำให้เคลือบสีแดงของทองแดงมีสีแดงเด่นชัด นั้นคือปริมาณดีบุกออกไซด์สมควรอยู่ในช่วง 2.5 - 3.5 % โดยน้ำหนักของเคลือบดิบ และได้เลือกใช้ปริมาณดีบุกออกไซด์ 3.5 % เนื่องจากให้สีแดงและความสวยงามของเคลือบได้ดีกว่า ซึ่งได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเติมแต่งชนิดนี้ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณการใช้ดีบุกออกไซด์ 2.0 - 7.0 % ช่วยให้สามารถติดตามผลที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปใช้สนับสนุนคำอธิบายที่เป็นกลไกของดีบุกออกไซด์ทำให้เกิดสีแดงได้อย่างไรอีกด้วย

ขั้นตอนต่อมาต้องคำนึงถึงขนาดอนุภาคของวัตถุในสูตรเคลือบที่สามารถหลอมและสุกตัวได้ดีอุณหภูมิกำหนด 1250˚C ทั้งนี้ได้ผ่านการทดสอบบดเคลือบเป็นระยะเวลาต่าง ๆ พร้อมการติดตามดูการกระจายขนาดอนุภาคให้สอดคล้องกับอุณหภูมิเผา พบว่าขนาดอนุภาคที่เหมาะสมเมื่อทำการบดในหม้อบดเป็นระยะเวลา 3 - 5 ชั่วโมง ทำให้ได้ขนาดอนุภาคโดยหลักอยู่ในระหว่าง 9.2 - 9.7 ไมครอน ดังแสดงการกระจายตัวขนาดอนุภาคที่เหมาะสม (ในรูป 4.3 และ ตาราง 4.2 บทที่ 3) และครั้นเมื่อทำการเตรียมเป็นน้ำเคลือบได้เหมาะสมกับการชุบเคลือบ (Dipping) จะปรับความเข้มข้นของน้ำเคลือบมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.55 – 1.57

ความหนาของการชุบเคลือบด้วยวิธีจุ่มให้เหมาะสม

ผลจากการทดลองเกี่ยวกับความหนาการชุบเคลือบ เมื่อมีการปรับความหนาขนาดต่าง ๆ ประกอบด้วยความหนา 0.2 - 2.5 มิลลิเมตร โดยติดตามปริมาณเนื้อแก้ว และการไหลตัวของเคลือบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250 ˚C ผลการเลือกใช้ความหนาที่ 1.8 มิลลิเมตร เหมาะสมสำหรับเคลือบสีแดงของทองแดงจากสูตรเคลือบ 22 โดยเห็นว่าการชุบเคลือบบางเกินไป จะให้เนื้อแก้วปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการเกิดสีแดงได้ดี นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลของชั้นผิวดินปั้นที่ทำให้เคลือบดูไม่สุกตัว ส่วนการชุบการเคลือบที่หนามากกว่า 2 มิลลิเมตร จะได้เนื้อแก้วมากแต่เกิดการไหลตัว

เทคนิคการเผาเคลือบสีแดงของทองแดงด้วยอุณหภูมิ บรรยากาศ และอัตราเร็วการขึ้น-ลดอุณหภูมิ

ผลจากการทดลองในด้านการเผาจากหลายวิธี ทำให้ทราบว่าปัจจัยสำคัญประการแรกจะต้องยึดถืออุณหภูมิเผาเป็นหลักสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิสูงสุดจะต้องทำให้เคลือบหลอมได้เนื้อแก้วสมบูรณ์โดยไม่เกิดการไหลมากเกินไป หรือเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ถึงจุดสุกตัวพอดี ผลการทดลองใช้อุณหภูมิเผาแตกต่างกันประกอบด้วย 1230˚, 1250 ˚, 1280 ˚ และ1300 ˚C พบว่าการเผาที่

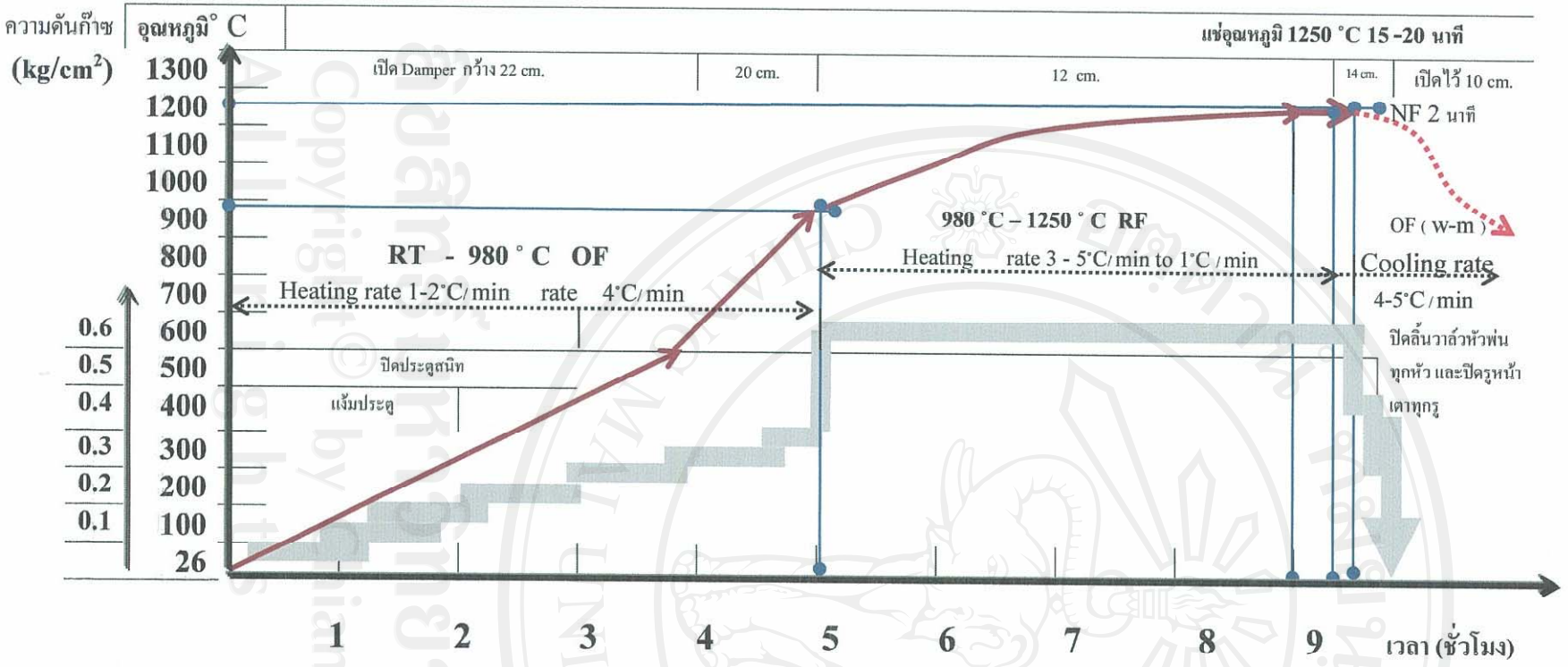
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1250 °C จะเป็นอุณหภูมิที่ดีกว่า เนื่องจากสะดวกกับการใช้เผาผลิตภัณฑ์โดยใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิงและเป็นอุณหภูมิที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก จากการทดลองเห็นว่า การเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1250° C จะได้เคลือบผิวมันและใส แต่ไหลตัวติดพื้นแผ่นรอง ยากต่อการนำออกจากเตาและยังทำให้เนื้อแก้วเหลืออยู่จำนวนน้อยบนผิวชิ้นงานและผลิตภัณฑ์ทำให้เคลือบมีสีแดงจางหรือซีดไม่สวยงาม สำหรับการเผาที่ต่ำกว่า 1250°C จะเห็นได้ว่าเคลือบสุกตัวไม่เพียงพอ ทำให้เนื้อแก้วที่เกิดมีสีแดงขุ่น ไม่มีความมันวาว ผลการทดลองจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 1250°C เป็นการเผาโดยตลอดสำหรับเคลือบทดลองในงานวิจัย

ปัจจัยการเผาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการเลือกใช้บรรยากาศให้เหมาะสม ทำให้พบว่าจะต้องมี 2 บรรยากาศ ประกอบด้วยบรรยากาศที่ใช้สำหรับการขึ้นอุณหภูมิ และบรรยากาศช่วงการลดอุณหภูมิลง นอกจากนี้ความเข้ม (อ่อน-กลาง-แก่) ของบรรยากาศได้นำมาพิจารณารวมอยู่ในการทดลองอีกด้วย ตลอดจนการเผาชิ้นงานยังต้องคำนึงถึงอัตราการเผาของการขึ้นอุณหภูมิ และอัตราการลดอุณหภูมิ ก็จะเป็นปัจจัยเกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ปฏิกิริยาทางเคมีของวัตถุในเคลือบมีระยะเวลาเพียงจะดำเนินไปอย่างสมบูรณ์ ผลการทดลองในปัจจัยที่กล่าวมานี้ พบว่าความสำเร็จของการเผาที่อาจถือเป็นเทคนิคการเผาได้ดังต่อไปนี้ จากช่วงระยะการเผาขึ้นอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 980 °C ใช้บรรยากาศเป็นออกซิเดชัน แต่หลังจากอุณหภูมิ 980 °C เป็นต้นไป การปรับบรรยากาศเข้าสู่การเป็นรีดักชัน ในระดับความเข้มของรีดักชันกลาง ๆ ใช้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากเชื้อเพลิงวัดค่าได้ 4-5 ppm ครั้นเมื่อการเผามาถึงอุณหภูมิสูงสุด1250°C และให้ยืนไฟ (Soaking) บรรยากาศรีดักชันจะยังคงดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อทำให้เกิด ปฏิกิริยาเคมีแตกตัวของธาตุเป็นไอออนเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เห็นว่าระยะยืนไฟจะอยู่ระหว่าง 15- 20 นาที จะเหมาะสมในทางปฏิบัติ และจากนั้นถึงจะเข้าขั้นตอนลดอุณหภูมิลงด้วยบรรยากาศเป็นออกซิเดชัน ที่มีปริมาณความเข้มของออกซิเดชันวัดค่าออกซิเจนในบรรยากาศอยู่ประมาณ 5.8 % ซึ่งเป็นบรรยากาศออกซิเดชันในระดับกลาง ๆ ส่วนอัตราความเร็วในการเผาทั้งช่วงการขึ้นและลดอุณหภูมิลง อัตรานี้ได้กำหนดให้อยู่ในระดับกลาง ๆ คือในช่วง 4-5 °C/นาที

ทั้งหมดที่กล่าวมาจะรวบรวมจัดเป็นเทคนิคการเผา (Firing technique) สามารถให้ผลดีกับการเผาชิ้นทดสอบชิ้นงานและผลิตภัณฑ์ให้สีแดงของเคลือบทองแดงเป็นที่น่าพอใจ ในที่สุดได้ใช้เทคนิคการเผาเป็นแนวทางการปฏิบัติดังแสดงในกราฟการเผารูปที่ 5.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 5.1 กราฟแสดงการเผาเคลือบสีแดงของทองแดง ที่ปรากฏสีแดงได้เด่นชัด 1250 °C R-O

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผู้เผาผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องบันทึกเส้นกราฟการเผาทุกครั้ง โดยแสดงให้เห็นการขึ้นและลงของอุณหภูมิการเผา จากอุณหภูมิตั้งต้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด และช่วงอุณหภูมิยืนไฟด้วยระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นเป็นช่วงลดอุณหภูมิลง จนถึงการสิ้นสุดปิดแก๊สและดับไฟ บนแผ่นกราฟจะระบุช่วงของบรรยากาศในเตามีจุดเริ่มต้นและจุดปลายของบรรยากาศนั้น ๆ ทำให้ทราบความยาวนานของบรรยากาศเผาในขณะนั้น โดยมีเหตุผลสร้างความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาเคมีที่คาดว่าจะเหมาะสม ส่วนสำหรับความอ่อน–แก่ ของบรรยากาศสมควรบันทึกไว้กับแผ่นกราฟก็ยิ่งดี นอกจากนี้อัตราเร็วของการเผาด้วยจำนวนองศาอุณหภูมิต่อหนึ่งนาที จะดูได้จากเส้นกราฟอีกด้วย ทำให้ทราบระยะเวลาเผาจากช่วงขึ้นอุณหภูมิและช่วงระยะเวลาลดอุณหภูมิลง มีผลให้ทราบเวลาทั้งหมดของการเผาก่อนดับไฟ และอาจทราบได้ถึงระยะเวลาทั้งหมดในหนึ่งรอบ (Cycle) ของการเผาผลิตภัณฑ์ต่อครั้งเป็นข้อมูลของการปฏิบัติงานได้อย่างครบถ้วน

ผู้วิจัยใคร่ของเสนอเป็นความคิดให้พิจารณาในเทคนิคการเผาผลิตภัณฑ์เคลือบทองแดง ถือว่าเป็นสิ่งเสริมสร้างหรือเพิ่มเติมเทคนิคการปฏิบัติงานที่อาจช่วยให้การเผาผลิตภัณฑ์เคลือบชนิดนี้ประสบผลสำเร็จได้ดีขึ้น ทั้งนี้เกิดจากผลของการกระทำที่ผ่านการทดลองมาหลายครั้ง จึงหยิบยกสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวมาให้ข้อเสนอแนะไว้ในที่นี้เป็นข้อมูลเพิ่มเติม กล่าวคือ

ผู้สนใจทำผลิตภัณฑ์เคลือบสีแดงของทองแดง จะต้องมีสูตรเคลือบเลียนแบบจากผลงานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หรือมาจากที่อื่น ๆ ใด หรือคิดขึ้นมาใหม่เพื่อสร้างเอกลักษณ์ให้กับตนเอง โดยตั้งต้นจากใช้สูตรเคลือบพื้นฐาน (Basic glaze) ชนิดหนึ่งชนิดใดตามแนวทางของสูตรเคลือบเซเกอร์ จากนั้นใช้สารให้สีแดงด้วย คอปเปอร์คาร์บอเนต ($CuCO_3$) ดีกว่าการใช้คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เพราะจะช่วยการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีกว่า ด้วยปริมาณที่ใช้กันทั่วไป 1.2-1.3 % โดยน้ำหนักเคลือบ พร้อมให้มีสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์ (SnO_2) จำนวน 2.5 - 3.5 % โดยน้ำหนัก จากนั้นสมควรทำการการบดเคลือบเพียงเล็กน้อยก็พอโดยไม่จำเป็นต้องบดให้ละเอียดมาก การบดเคลือบเท่ากับการปฏิบัติลดขนาดอนุภาคของเคลือบ และยังทำให้เกิดการผสมผสานของเนื้อเคลือบดิบปริมาณน้ำเติมในหม้อบดเคลือบจนทำให้ได้น้ำเคลือบ (Glaze slip หรือ Glaze solution) พอเหมาะกับการชุบผลิตภัณฑ์ด้วยใช้น้ำประมาณ 80 % ของน้ำหนักเคลือบ นอกจากตัวเติมดีบุกออกไซด์แล้วอาจพิจารณาให้มีตัวเติมอื่น ๆ เข้าไปผสมสูตรเคลือบก็เพื่อสร้างเอกลักษณ์ของเคลือบที่จะให้สีแดงตามความประสงค์แล้ว ยังอาจช่วยให้สีแดงปรับเปลี่ยนมีความขุ่นมัวเล็กน้อย เช่น ดูคล้ายสีแดงหยกด้วยการเติมแคลเซียมฟอสเฟส (Ca_3 $(PO_4)_2$) หรือขี้เถ้ากระดูก (Bone ash) ซึ่งเชื่อว่าสารนี้ไม่น่าจะมีส่วนทำให้เกิดสีแดง แต่เป็นตัวช่วยปรับปรุงเฉดของสีหรือสร้างความขุ่นให้เนื้อสี และบ้างให้มีการเติมเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เข้าไปเพื่อทำให้เกิดสีแดงในเคลือบ (Iron-red glaze) แต่สีแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากเหล็กอาจไปลดความเข้มสีแดงของทองแดง เพียงแต่ทำให้เกิดเอกลักษณ์ดูแปลกใหม่ขึ้นมา ดังนั้นมีสารตัวเติมต่าง ๆ จึงมีผู้สนใจนำมาใช้ เพื่อสร้างความหลากหลายของสีแดงให้ดูแปลกแตกต่างกันไป

ประการที่สองเป็นประเด็นสำคัญเกี่ยวกับเทคนิคการเผา (Firing technique) ผู้วิจัยได้ให้ความเอาใจใส่มามาก จนลงความเห็นเสนอเทคนิคการเผาเสริมเป็นแนวทางปฏิบัติมาเพื่อพิจารณาดังต่อไปนี้

(1) ก่อนอื่นผู้เผาจะต้องเรียงผลิตภัณฑ์ให้เป็นระเบียบที่ทำให้มีทางเดินลมร้อนในเตาและการสร้างบรรยากาศในเตาได้อย่างสม่ำเสมอ ควรมีความชำนาญงานในด้านนี้

(2) เริ่มทำการเผาขึ้นอุณหภูมิช่วงต้น ๆ จากอุณหภูมิห้องถึง 500 °C ต่อนาที ด้วยแรงดันแก๊สต่ำ ๆ มีบรรยากาศเป็นออกซิเดชันอย่างอ่อน ต่อจากนั้นจาก 500 °C ถึง 980 °C จึงจะเพิ่มอัตราเร็วขึ้นเป็นระดับกลางด้วยอัตราเร็ว 4-5 °C ต่อนาที และยังคงเป็นบรรยากาศออกซิเดชันแต่มีความเข้มข้นปานกลาง ทั้งนี้ก็เพื่อปรับสภาพวัตถุดิบให้อยู่ในรูปออกไซด์ด้วยการไล่สารระเหยและจัดความพร้อมให้เข้าสู่การหลอมตัวและปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างวัตถุดิบ หากให้ยืนไฟ (Soaking) อุณหภูมินี้ประมาณ 5-10 นาที พร้อมการปรับบรรยากาศเข้าสู่การเป็นบรรยากาศรีดักชัน พร้อมการปรับบรรยากาศในเตาด้วยการเลื่อนแผ่นกั้น (Damper) ที่ปล่องเตา จนทำให้บรรยากาศรีดักชันมีความเข้มข้นปานกลาง หรือวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อยู่ระหว่าง 4.2 % เมื่อปรับเรียบร้อยแล้วจะหยุดการปรับ ปล่อยให้อุณหภูมิสูงขึ้น

สูงขึ้นไปเองภายใต้บรรยากาศรีดักชัน จะพบว่า ช่วงอุณหภูมิ 950 –1100 ° C จะมีอัตราเร็วของอุณหภูมิเร็วขึ้น 6 – 7°C /นาที ต่อจากนั้นจะเห็นว่าอัตราเร็วจะค่อย ๆ ลดลง จนเข้าสู่ 1200 °C และในที่สุดถึง 1250 °C ด้วยความเร็วปานกลาง 4 – 5 °C /นาที และลดลงอีกตอนยิ่งเข้าใกล้ 1250 ° Cเป็นเพียง 1-2 °C /นาที โดยผู้ปฏิบัติงานจะไม่พยายามปรับแต่งส่วนหนึ่งส่วนใด ทั้งนี้ก็เพื่อให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นด้วยธรรมชาติของวัตถุดิบในเคลือบ โดยไม่สร้างให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากบรรยากาศ (Atmosphere) และความดัน (Pressure) ภายในเตาให้ไปเกิดมีผลไปกระทบกระเทือนโดยเฉพะอย่างยิ่ง ความเชื่อว่าทองแดงในสภาพถูกรีดิวส์จนเป็นโลหะทองแดง (Cu-metal) อาจระเหย (Evaporation) ไปได้ เพราะโลหะทองแดงมีจุดหลอมตัวที่ 1083 ° C และอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้เคลือบสีแดงซีดจางไป เพราะปริมาณทองแดงได้ระเหยออกไปก็อาจเป็นไปได้

ครั้นเมื่ออุณหภูมิถึง 1250°C และเห็นว่ามีระยะเวลาการยืนไฟ (Soaking) น่าจะเพียงพอที่เคลือบหลอมตัวได้อย่างสมบูรณ์ ต่อจากนั้นเข้าสู่การปรับบรรยากาศเปลี่ยนไปเป็นออกซิเดชัน ขอเสนอวิธีปฏิบัติทำการลดความดันแก๊สลงทีละน้อย แล้วค่อย ๆ ปรับบรรยากาศจนเข้ามาสู่ความเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กลาง (Neutral atmosphere) การกระทำในขณะนี้มักจะอยู่ในช่วงของการยืนไฟซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 15 - 20 นาที ต่อจากนั้นทำการปรับบรรยากาศเป็นออกซิเดชันประมาณความเข้มข้นปานกลางพร้อมลดแก๊สลง และปรับแผ่น Damper ให้เปิดลมร้อนออกสู่ปล่องคงที่ไว้ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงมาได้ประมาณ 1200 °C จึงดับไฟ ปิดแก๊สเพื่อลดความดันภายในเตาที่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยออกไปของโลหะทองแดงขณะอุณหภูมิสูง ทำการทิ้งบรรยากาศในเตาด้วยการปรับ Damper คงที่ค้างไว้ ซึ่งเป็นบรรยากาศออกซิเดชันอย่างอ่อนหรือปานกลางที่จะช่วยให้ปฏิกิริยาเคมีรีดอกซ์ ระหว่างทองแดงและดีบุกในเคลือบหลอม หรือเนื้อแก้วของเคลือบเกิด Coupling reaction ได้ดีมีผลทำให้เกิดสีแดงของเคลือบทองแดงตามที่คาดหมายเป็นความเข้าใจของผู้วิจัย ภายใต้ระยะเวลาการเผาประมาณ 10 -12 ชั่วโมง

ผู้วิจัยมีความเห็นว่าการเผาผลิตภัณฑ์ผู้เผาจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขต่าง ๆ ในเทคนิคการเผาดังที่กล่าวมา หากการปฏิบัติงานไม่สามารถควบคุมปัจจัยในเทคนิคการเผาได้ดี จะมีผลทำให้การปรากฏของสีแดงไม่ชัดเจน ถ้าไม่จางลงก็มีสีอื่นเช่น สีเทา สีม่วง หรือน้ำตาลดำเกิดขึ้นได้ ซึ่งผลของสีเปลี่ยนแปลงนี้ได้พบจากการทดลองเมื่อครั้งเริ่มต้นงานใหม่ ๆ เพราะผู้วิจัยยังขาดความรู้และมีเทคนิคการเผาที่ยังไม่แน่นอน นอกจากนี้ยังมีความเห็นอีกว่าการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในเทคนิควิธีการเผาเกี่ยวข้องอย่างสำคัญกับตัวเตา (Kiln) ซึ่งเตาเผาเคลือบจะต้องเป็นชนิดที่สามารถควบคุมความคงที่ของปัจจัยต่าง ๆ ได้ดีประกอบด้วย อุณหภูมิ บรรยากาศ ความเข้มของบรรยากาศที่สามารถปรับให้ได้ในระดับกลาง ๆ ของการเผารีดักชันและออกซิเดชัน ตลอดจนอัตราความเร็วทั้งช่วงอุณหภูมิขึ้นและอุณหภูมิลงได้คงที่และแน่นอน

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการศึกษา ผลของสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์ในเคลือบสีแดงของทองแดงถึงปริมาณที่เหมาะสมนั้น ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับตัวเคลือบ และเทคนิคการเผาดังกล่าวมาแล้วสอดคล้องกับปริมาณดีบุกออกไซด์ในสูตรเคลือบ ให้ทราบว่าเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งกันและกันจำเป็นต้องได้ความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันอย่างชัดเจน ทั้งสูตรเคลือบที่เหมาะสมควรจะมีปริมาณสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์อยู่ระหว่าง 2.5 - 3.5 % โดยน้ำหนัก พร้อมการลงความเห็นอย่างแน่ชัดถึงปริมาณดีบุกออกไซด์ในสูตรเคลือบจะเป็นผลดีเมื่อใช้ปริมาณ 3.5 % โดยน้ำหนักของเคลือบดิบ จะให้สีแดงเด่นชัดของเคลือบทองแดงมากที่สุดตามความวัตถุประสงค์ข้อแรกของการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้

วัตถุประสงค์ในข้อที่สอง ต้องการทราบถึงกลไกของดีบุกออกไซด์สารเติมแต่งที่ทำให้เกิดสีแดงของเคลือบทองแดง อธิบายด้วยเหตุผลใดนั้นผู้วิจัยนั้นขอการอ้างอิงจากผู้ศึกษาเรื่องนี้มาก่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาทิ เช่น Wakamatsu [4,6,7] และ Tichane [3,18] มาผสมผสานกับผลงานการทดลองในครั้งนี้ ทำให้มีความเห็นเกี่ยวกับบทบาทหรือกลไกของดีบุกออกไซด์ สารตัวเติมจะเป็นสารช่วยทำให้เกิดสีแดงในเคลือบทองแดง ด้วยเหตุผลดังนี้

ประการแรกเมื่อติดตามผลการทดลองของการใช้ปริมาณดีบุกออกไซด์ในสูตรทองแดงด้วยจำนวนหลากหลายตั้งแต่ 2.0 % จนถึง 7.0 % โดยน้ำหนัก จะพบบทบาทของดีบุกออกไซด์สามารถช่วยให้การเกิดสีแดงในเคลือบทองแดงหลังเผาได้ทุกอัตราส่วนผสม เพียงแต่การปรากฏของสีแดงได้ผลแตกต่างกันกล่าวคือ ปริมาณสีแดงจะจางจนกระทั่งปริมาณในช่วง 2.5 – 3.5 % ให้ความเข้มสีแดงที่ดี ทำให้ผู้วิจัยมีความพอใจสีแดงเคลือบที่ปริมาณ 3.5 % โดยน้ำหนัก และต่อจากนั้นไปยิ่งปริมาณดีบุกออกไซด์สูงขึ้นจะเห็นสีแดงลดลง เพราะเกิดความกระด้างของสีแดงที่ปนกับความขุ่นขาวของดีบุกออกไซด์เมื่อเติมมากเกินไป ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าดีบุกออกไซด์สารเติมแต่งจะมีบทบาทกับการให้สีแดงในเคลือบทองแดง เนื่องด้วยปริมาณที่มีอยู่ในสูตรเคลือบน้อยเกินไป หรือมากเกินไป และความเหมาะสมด้วยปริมาณดีบุกออกไซด์จึงจะให้สีแดงสดและสวยตามต้องการในช่วง 2.5 – 3.5 % SnO_2 โดยน้ำหนัก

ประการที่สอง บทบาทและกลไกของดีบุกออกไซด์จะอธิบายด้วยปฏิกิริยาเคมีเมื่อดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ร่วมปฏิกิริยากับทองแดงออกไซด์ (CuO, Cu_2O) ภายใต้อุณหภูมิเผาถึง 1250 C ด้วยบรรยากาศรีดักชัน (RF) จนกระทั่งถึงจุดหลอมตัวของเคลือบเป็นน้ำแก้วเหลว สภาพของออกไซด์ทั้งสองขณะหลอมเหลว จะเป็นโลหะไอออนของดีบุก (Sn^{4+} , Sn^{2+}) และทองแดง (Cu^{2+} Cu^{+} และอาจเป็น Cu^{0}) ต่อจากนั้นเมื่อปฏิกิริยาเคมีเข้าสู่การลดอุณหภูมิลงด้วยบรรยากาศเป็นออกซิเดชัน (OF) ย่อมจะมีการเกิดความสมดุลของปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction equilibrium) ด้วยบรรยากาศระหว่างรีดักชันและออกซิเดชันเป็น Reduction- oxidation reaction เขียนเป็นปฏิกิริยาทางเคมีของโลหะไอออนทั้งสองชนิดในสภาพสมดุลได้ดังนี้

ดีบุก-ไอออน : $Sn^{4+} \underset{OF}{\overset{RF}{\rightleftharpoons}} Sn^{4+} + 2e^{-}$

ทองแดง-ไอออน : $Cu^{+} \underset{OF}{\overset{RF}{\rightleftharpoons}} Cu^{0} + e$

แต่ละสมการของความสมดุลด้วยมันเองอาจเขียนเป็นครึ่งสมการ (Ion electron half equation) ด้วย Sn^{4+}/ Sn^{2+} และ Cu^{+} / Cu^{0} ตามลำดับ ครั้นปฏิกิริยารวม (Net reaction) เกิดขึ้นและยังอยู่ในสภาพสมดุล เขียนเป็นสมการปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดังนี้

$$Sn^{2+} + 2Cu^{+} \rightleftharpoons 2Cu^{0} + Sn^{4+}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

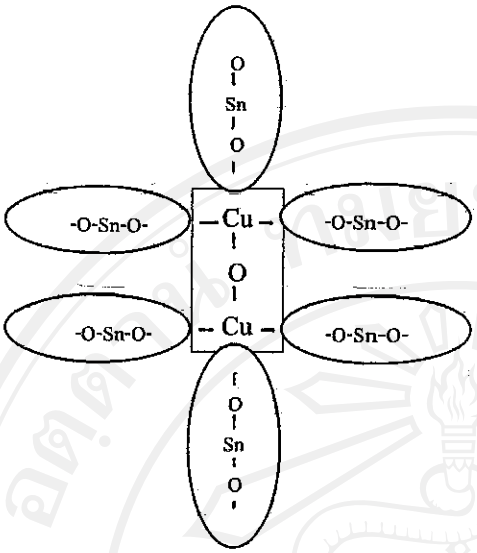
จึงเห็นได้ว่าดีบุก-ไอออน จะมีบทบาทไปร่วมกับทองแดง-ไอออนในเนื้อแก้วของน้ำเคลือบหลอมเหลว เกิดอยู่ในสภาพสมดุลตลอดเวลา และแล้วเมื่อเข้าสู่การลดอุณหภูมิเย็นลง และยังอยู่ในบรรยากาศออกซิเดชันที่มีความเข้มข้นอย่างปานกลางตลอดมาเป็นลำดับ จะทำให้ปฏิกิริยารีดอกซ์จะเริ่มเสียความสมดุลจากปฏิกิริยาไปกลับ (Reversible reaction) ที่มีอย่างสม่ำเสมอมาก่อน และเปลี่ยนแปลงทิศทางในด้านใดด้านหนึ่ง เนื่องด้วยบรรยากาศออกซิเดชันจะช่วยให้ปฏิกิริยาเดินทางจากซ้ายไปขวาได้มากขึ้นหรือนานขึ้น จนในที่สุดปฏิกิริยาจะช้าและหยุดลงที่คาดว่าเมื่อน้ำแก้วหรือเคลือบหลอมเข้าสู่จุดอ่อนตัว (Softening point) หรืออาจก่อนหน้านี้ที่อุณหภูมิลดลงประมาณจาก 1100 C ถึง 700 C เป็นความคาดคะเนของผู้วิจัยเอง ดังนั้นหากปฏิกิริยาในที่สุดเกิดเดินทางจากซ้ายไปขวาได้มากกว่า หรือจะทั้งหมดได้จะยิ่งดีดังแสดงแนวโน้มของปฏิกิริยาสิ้นสุดลงดังนี้

$$Sn^{2+} + 2Cu^{+} \rightleftharpoons 2Cu^{0} + Sn^{4+}$$

นั่นคือการปรากฏของ Cu^{+} และ Sn^{2+} น่าจะเป็นสารในเนื้อแก้วที่ทำให้เกิดสีแดง ยิ่งปริมาณธาตุไอออนทั้งสองมีมากเท่าใด นั้นหมายถึงเกิดปฏิกิริยาซ้ายไปขวาทั้งหมด ก็น่าจะทำให้เกิดปริมาณสีแดงและความเข้มของสีแดงได้เด่นชัดจนเป็นสีแดงเลือดวัวหรือสีแดงเพลิงตามที่เรียกกัน แต่ถ้าปฏิกิริยายังคงเกิดไป–กลับอย่างต่อเนื่องย่อมทำให้เคลือบสีแดง จะมีดีบุก-ไอออน (Sn^{4+}) และโลหะทองแดง (Cu^{0}) ปะปน อาจทำให้สีแดงคล้ำและลดความเข้มลงไป คำอธิบายเป็นบทบาทและกลไกของดีบุก -ไอออน ที่ร่วมปฏิกิริยากับทองแดง–ไอออน ในแก้วด้วยเหตุผลของปฏิกิริยาเคมี. รีดอกซ์ นั้นน่าจะเป็นเหตุผลสำคัญที่ผู้วิจัยได้ติดตามการเกิดไอออนของธาตุเหล่านี้จากการวิเคราะห์ด้วย ESR จากเครื่องมือตรวจวัดในประเทศ ได้พบการปรากฏของธาตุไอออน Cu^{+} และ Sn^{2+} วางอยู่ในตำแหน่งใกล้กันตรวจวัดจากความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic resonance) อ่านค่า g ได้ปริมาณ 4.2 จึงทำให้เชื่อว่าการปรากฏของสีแดง น่าเกิดจากการร่วมกัน (Combination) ระหว่าง Cu^{+} และ Sn^{2+} และอาจเข้ามาเกาะติดกันหรือจับคู่กัน หรือเกาะต่อเนื่องกันในแก้วของเคลือบ โดยเรียกการเกาะกันเช่นนี้เป็น Chemical coupling of tin and copper ions in the glass

ความพยายามที่จะให้มีคำอธิบายเพิ่มเติมถึงความคิดที่แสดงเป็นมโนภาพของการเกาะร่วมกันระหว่างดีบุก -ไอออน และทองแดง - ไอออน ภายในเนื้อแก้วของเคลือบนั้นคือความเป็นไปได้ของการจัดเรียงตัวอะตอมของธาตุทั้งสองโดยมีอะตอมของออกซิเจนวางขั้นอยู่ตรงกลางในหลักการทั่วไปของโครงสร้างแก้ว (Glass structure) ดังแสดงเป็นความคิดดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 5.1 บทบาทดีบุกออกไซด์สารตัวเติมเข้าร่วมล้อมรอบทองแดงทำให้เกิดสีแดงของทองแดงในความคาดหมาย

จากรูปในความคิดเป็นมโนภาพของการเกาะกลุ่มที่มีดีบุก-ไอออน - O^{2-}- Sn^{2+}- O^{2-} หุ้มรอบทองแดงไอออน (- O - Cu^{+}- O^{2-}- Cu^{+} - O -) ในโครงสร้างแก้ว ซึ่งถ้าหากเป็นเช่นนี้ก็เสมือนว่า ดีบุก-ไอออนทำการปกป้องทองแดงไอออนให้ได้รับปริมาณออกซิเจนเพียงอะตอมเดียวเกาะตัวระหว่างทองแดงไอออนทั้งสอง นั้นคือสามารถทำให้อยู่ในสภาพของ คิวปรัส-ไอออน (Cu^{+}) ส่วนลำพังตัวของดีบุก –ไอออน ก็อาจยังคงอยู่ในสภาพสแตนนัสไอออน (Sn^{2+}) หรือในที่สุดอาจกลับกลายเป็นสแตนนิค-ไอออน (Sn^{4+}) ก็อาจเป็นไปได้ แต่คาดว่าน่าจะยังคงเป็น Sn^{2+} เนื่องด้วยดีบุกในสภาวะ Sn^{2+} หรือ Sn^{4+} จะมีความทนไฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ยาก และนี่ก็เป็นข้อเสนอเชิงความคิดถึงบทบาทหรือกลไกของดีบุก-ไอออนที่มีต่อทองแดงเป็นสารไอออนประกบคู่ (Coupling ions) ตัวทำให้เกิดสีแดงในเคลือบทองแดง

อนึ่งการเกิดสีแดงในเคลือบทองแดง ตามที่มีผู้ให้ความคิดเห็นอีกแนวทางหนึ่ง หรืออาจมีส่วนร่วมกับการเกิดสีแดงในเคลือบ นั้นคือตัวโลหะทองแดง (Cu) อาจเกิดมีโลหะดีบุก (Sn) จนเกิดเป็นโลหะผสม (Cu-Sn alloy) ในเรื่องนี้ ผู้วิจัยมีความเห็นเป็นการส่วนตัวว่าอาจมีความเป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะได้ตรวจพบลักษณะปรากฏของเกล็ดคล้ายผลึก (Crystalline) หรือสารตกตะกอน (Precipitate) วางตัวที่ชั้นพื้นของผิวดินปั้น โดยมีเนื้อแก้วสีแดงครอบคลุมเป็นผิวอยู่ชั้นบน ทำให้การปรากฏด้วยตาเปล่า มองเห็นเกล็ดผลึกหรือสารตะกอนเป็นสีแดงซึ่งคาดว่าน่าจะถูกย้อมสี ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น่าจะเป็นตัวทำให้เกิดสีแดง ทั้งนี้เพราะโลหะผสมทั้งสองเป็นตัวไม่มีสีแดงแต่อาจเป็นสีเทามากกว่าและก็ยังไม่สามารถละลายในเนื้อแก้วได้จึงต้องอยู่ในเนื้อแก้วอย่างอิสระจึงไม่น่าจะให้สีแดงได้ อย่างไรก็ตามในปฏิกิริยารีดอกซ์ที่กล่าวมาการปรากฏของโลหะทองแดง (Cu) ในเนื้อแก้วก็จำต้องเกิดมีขึ้นไม่มากก็น้อยภายใต้ปฏิกิริยาและการสิ้นสุดของปฏิกิริยาในขั้นตอนสุดท้าย ที่ทำให้โลหะทองแดงจะมองเห็นเป็นเกล็ดหรือผลึกบนในชั้นพื้นผิวเคลือบทองแดง ถึงแม้จะมีเพียงโลหะทองแดงก็เชื่อว่าโลหะชนิดนี้จะมีสีแดง แต่อาจย้อมสีเมื่อมองด้วยตาเปล่า

และในท้ายที่สุดของคำชี้แจงถึงบทบาทและกลไกของการเกิดสีแดงจากดีบุกร่วมปฏิกิริยาทางเคมีกับทองแดง ด้วยเหตุผลว่าเป็นปฏิกิริยามาจากออกไซด์ของดีบุกและทองแดงที่สามารถเขียนเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ได้อีก เช่น ดังนี้

$$SnO + Cu_2O \rightleftharpoons 2Cu + SnO_2$$

ตามความเป็นจริงไม่น่าจะเป็นไปได้ในเนื้อแก้วหรือน้ำเคลือบหลอมตัวจนเป็นแก้วจะปรากฏมีสารประกอบออกไซด์ใด ๆ เกิดขึ้น ยกเว้นโลหะทองแดง (Cu-metal)ที่มีอยู่อย่างเป็นอิสระในเนื้อแก้ว ผลการตรวจสอบสารประกอบในเนื้อเคลือบหลังเผาด้วย XRD จะไม่พบออกไซด์ของ SnO Cu_2O และ SnO_2 ปกติออกไซด์ต่าง ๆ เหล่านี้จะอยู่ในสภาพเป็นของแข็ง (Solid) ที่มีรูปร่างและโครงสร้างแน่นอน เมื่อผลการตรวจสอบไม่พบออกไซด์ต่าง ๆ ดังกล่าว จึงของลงความเห็นว่าเคลือบสีแดงของทองแดงไม่ใช่เป็นการร่วมกันของออกไซด์คู่ SnO และ Cu_2O และแม้แต่ไม่ปรากฏมี SnO_2 สำหรับโลหะ Cu อาจพบได้จาก XRD แต่ก็ไม่ใช่เป็นตัวให้สีแดงดังเหตุผลที่กล่าวมา ดังนั้นการเขียนปฏิกิริยาเคมีโดยเขียนเป็นรูปแบบของออกไซด์ก็คงเป็นเพียงแสดงให้เข้าใจถึง Valence – State ของดีบุกและทองแดงเพียงเท่านั้นที่มีความหมายของ SnO คือ Sn^{2+} , SnO คือ Sn^{4+} และ Cu_2O คือ Cu นั้นคือการเกิดมีขึ้นเป็นไอออนของธาตุต่าง ๆ เหล่านั้นในเนื้อแก้วหรือน้ำเคลือบหลอมมีสภาพเป็นแก้วที่ให้สีแดง

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทดลองทำผลิตภัณฑ์เคลือบสีแดงของทองแดงจากดินปั้นคอมพาวด์เคลย์ซึ่งเป็นดินเนื้อสโตนแวร์ ผู้วิจัยได้ปั้นผลิตภัณฑ์จำนวนมากและมีรูปทรงหลากหลายรูปแบบ ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่จำนวน 90 ชิ้น ทั้งหมดของการปฏิบัติงานเพื่อสร้างความมั่นใจให้เกิดขึ้น พร้อมติดตามผลงานของการเกิดสีแดงของเคลือบทองแดง และยังให้มีการปฏิบัติงานแตกต่างจากปัจจัยสำคัญดังที่รวบรวมไว้ในเทคนิคการเผา ทำให้ผลของผลิตภัณฑ์เคลือบทองแดงสีเปลี่ยนไปดังที่เคย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดลองมาตั้งแต่ต้น ๆ ของงานการทดลองหาข้อมูลจากชิ้นทดสอบและชิ้นงาน ทำให้เชื่อมั่นว่า การทำผลิตภัณฑ์เคลือบสีแดงของทองแดงจะต้องยึดถือปัจจัยสำคัญให้คงที่ ประกอบด้วย

(1) สูตรเคลือบที่ดี (Copper red composition)

มีความละเอียดของอนุภาคเหมาะสม และมีความเข้มข้นของน้ำเคลือบได้พอเหมาะเพื่อการชุบเคลือบได้ความหนาเพียงพอ

(2) เทคนิคการเผา (Firing technique)

โดยมีการกำหนดอุณหภูมิสูงสุดให้เกิดการหลอมตัวของเคลือบได้พอดี บรรยากาศทั้งรีดักชันและออกซิเดชัน สมควรให้เป็นสภาพกลาง ๆ ไม่แก่หรืออ่อนเกินไป และอัตราความเร็วของการเผาทั้งช่วงอุณหภูมิขึ้นและลดอุณหภูมิลง ก็ควรอยู่อย่างกลาง ๆ ที่ไม่ช้าหรือเร็วเกินไป

(3) การเรียงผลิตภัณฑ์ในเตา (Loading)

การเรียงผลิตภัณฑ์ในเตาควรจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบที่ไม่แน่น (Heavy loading) หรือหลวมมีช่องว่างมากเกินไป (Loosely loading) เพราะจะทำให้ยากต่อการควบคุมบรรยากาศในเตา

(4) เตาเผา (Kiln)

เตาเผาต้องมีคุณภาพสามารถขึ้นและลงอุณหภูมิโดยควบคุมได้ง่าย พร้อมการควบคุมปรับบรรยากาศในเตาได้ต้องการทั้งในสภาพบรรยากาศอย่างอ่อนหรือแก่ และตัวเตาไม่มีรอยรั่ว สามารถปิดเตาได้สนิทเมื่อเลิกงาน ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าเตาเผา (Kiln) ก็เป็นปัจจัยสำคัญเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างสำคัญอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved