4

วิจารณ์และสรุปผลการวิเคราะห์

งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกส์โบราณภาคเหนือจากเตาเวียงกาหลงและเตาสันกำแพง จำนวน 7 ตัวอย่าง ได้แก่ ชนิดเคลือบไม่เขียนลาย, KK_6, KC_2, KC_1, C_2, C_7 และชนิดเคลือบเขียนลาย สารประกอบที่วิเคราะห์ได้แก่ SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, CaO, MgO, Na_2O และ K_2O นอกจากนั้นยังได้ทำ thin section เศษชิ้นส่วน KK_6, Kg_2, KC_1, C_1, C_2, ชนิดเคลือบเขียนลายและเซรามิกส์ปัจจุบันเพื่อศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กจากกล้องจุลทรรศน์แบบ polarizing อีกด้วย ซึ่งผลการศึกษาทั้งหมดได้รายงานไว้ข้างต้นแล้ว จากนี้จะได้วิจารณ์และสรุปผลการศึกษาเป็นลำดับขั้นต่อไป

4.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

การเตรียมเนื้อดินปั้น

ใช้วิธีการเจียรเคลือบออกด้วยเครื่องเจียรหิน เมื่อเคลือบออกหมดแล้วนำไปล้างน้ำเพื่อกำจัดเศษซิลิกอนคาร์ไบด์ซึ่งอาจติดมาจากแผ่นเจียร จากนั้นอบให้แห้งนำไปบดด้วยเครื่อง Disc grinder siebtechnik ดังนั้น นับว่าเป็นการเตรียมเนื้อดินปั้นที่สมบูรณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

การเตรียมเคลือบ

วิธีการแยกเคลือบจากเนื้อดินปั้นตามเอกสาร (8-10) ทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การเจียรออกด้วยหินเจียร ซึ่งสามารถแยกเคลือบได้อย่างดี แต่มีข้อเสียอย่างมากคือ เศษของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ใช้ทำแผ่นเจียรจะหลุดออกมาผสมกับเคลือบด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้การหาองค์ประกอบต่าง ๆ โดยเฉพาะซิลิกา (SiO_2) จะผิดพลาดอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นวิธีนี้ก็ไม่เหมาะสม

2. การใช้ตะไบเหล็ก ซึ่งวิธีนี้ไม่น่าจะใช้ได้เลยเพราะเศษผงเหล็กต้องหลุดลงไปผสมแน่นอน ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดโดยเฉพาะการหาเหล็กออกไซด์

3. การใช้ผ้าห่อแล้วทุบให้แตก ซึ่งวิธีนี้ทำให้เคลือบแตกแยกจากเนื้อดินปั้นได้จริงสำหรับเคลือบที่หนา แต่เคลือบก็จะแตกละเอียดยากต่อการใช้คีมคีบออก และถ้าเป็นเคลือบที่บางเนื้อดินปั้นมักจะติดกับเคลือบด้วยซึ่งทำให้การวิเคราะห์โดยเฉพาะ SiO_2 และ CaO คลาดเคลื่อน อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้

4. การใช้ไขควงแคะ สำหรับเคลือบเวียงกาหลงซึ่งเป็นเคลือบที่หนา การใช้ไขควงแคะจะง่ายและได้เคลือบที่ดี ส่วนเคลือบของสันกำแพงซึ่งบางใช้การเซาะจากบริเวณริมหรือรอยหักเข้าไป โดยรอบชิ้นผลิตภัณฑ์แล้วทำให้เกิดรอยหักใหม่ทำการเซาะต่อซึ่งจะได้เคลือบที่ดีพอสมควร แต่ก็ยังทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนเช่นกัน จะได้วิจารณ์ต่อไป

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ใช้ทั้ง 2 วิธีคือ วิธีที่ 3 และ 4 ร่วมกัน จากนั้นนำไปบดด้วยครกหินอ่อน (Mortars agate) ให้ละเอียด

4.2 <u>การวิเคราะห์ทางเคมี</u>

ได้นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งเวียงกาหลงและสันกำแพง ทำการวิเคราะห์แยกระหว่างเนื้อดินปั้นและเคลือบ หาปริมาณ SiO_2 และ Al_2O_3 โดยวิธีการตกตะกอน หา Fe_2O_3 โดยการไทเทรตกับสารละลายด่างทับทิม หา TiO_2 โดยการเทียบสี หา CaO, MgO, Na_2O และ K_2O โดยวิธี atomic absorption spectrophotometry และ flame photometry เปรียบเทียบกัน สำหรับ MgO เนื่องจากเครื่อง flame

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

photometry ไม่มี Mg filter จึงหาเฉพาะวิธี AAS เท่านั้น อย่างไรก็ตามทั้ง 2 วิธีนี้ถึงสะดวกและรวดเร็ว แต่ก็มีปัญหาพอสมควร โดยเฉพาะการหาปริมาณของ CaO จะต้องกำจัด interference จากฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เสียก่อนโดยการเติม $La(NO_3)_3$ เข้มข้น 0.35 โมลาร์ สำหรับวิธี AAS และใน flame photometry เติม $LaCl_3$ เข้มข้นเท่ากันลงไปแทน ซึ่งเติมลงไปในอัตราส่วน 1:50 โดยปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง สาเหตุที่ใช้ต่างกันเพราะใน flame photometry เราต้องการให้ sample ระเหยได้ดี ซึ่ง $LaCl_3$ มีสมบัติเด่นด้านนี้ อย่างไรก็ตามได้เคยลองใช้ $La(NO_3)_3$ เช่นกัน ซึ่งให้ค่า emission intensity น้อยกว่า 5 เท่าเศษ นอกจากนั้นแล้วเพื่อป้องกัน Ca อยู่ในรูปของ CaF_2 ขณะหลอมตัวอย่างจึงต้องเติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นประมาณ 0.5 มล. อีกด้วย

4.3 <u>การหา Percentage recovery ของอัลคาไลและอัลคาไลน์เอิร์ทออกไซด์</u>

การหา percentage recovery ของทั้ง 2 วิธี (ยกเว้นแมกนีเซียมซึ่งหาเฉพาะ AAS เท่านั้น) โดยการเตรียมสารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จากสารละลายมาตรฐานของโลหะไอออนแต่ละตัวที่ใช้เตรียม calibration curve นำไปหาความเข้มข้นเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งวิธีนี้สามารถตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ และความน่าเชื่อถือของการเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างแต่ละครั้ง และที่สำคัญยังเป็นการทดสอบการอ่านค่า absorbance และค่า emission intensity ของทั้งสองวิธีอีกด้วยโดยดูว่ามีความมาตรฐานแค่ไหน กล่าวคือ ถ้าการเตรียมสารละลายที่ดี เครื่องมือมีมาตรฐานสูง ควรจะได้ค่า percentage recovery เท่ากับ 100 % สำหรับการหาครั้งนี้ดังตาราง 3.27-3.33 อยู่ในช่วง 99.39-100.67 % ยกเว้นการหาแคลเซียมของ flame photometry ที่ได้ 98.82 % ทั้งนี้เพราะเป็นขีดจำกัดของวิธีนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งไม่เป็นที่นิยมจะเห็นว่าการที่จะหาได้ต้องมีความเข้มข้นสูง เมื่อพิจารณากราฟมาตรฐานความเข้มข้นสูงถึง 100 ppm ทำให้โอกาสของการเบี่ยงเบนของเส้นกราฟมีมาก ดังนั้น percentage recovery จึงคลาดเคลื่อนได้ แต่ทั้งนี้ก็อยู่ในเกณฑ์ ±2 % ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้

ผลการวิเคราะห์ออกไซด์ดังกล่าวจากทั้ง 2 วิธี เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ดังตาราง 3.34 และ 3.35 จะเห็นได้ว่าวิธี flame photometry จะให้ค่าที่มากกว่าเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นการหาแคลเซียมในเคลือบ ดังนั้นก็เป็นไปตามหลักการที่ว่าผลระหว่างโซเดียมและโพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายเดียวกันจะช่วยเสริมให้ค่า emission intensity ของแต่ละตัวอาจมากกว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์รวมทั้ง 2 เทคนิคก็ไม่แตกต่างกันนัก ดังตาราง 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ดังนั้น ด้วยขีดจำกัดของวิธี flame photometry แม้ว่าราคาเครื่องจะไม่แพง หลักการไม่สลับซับซ้อนก็ตาม ในการวิจารณ์ครั้งนี้จึงขอใช้ข้อมูลจากวิธี AAS เพราะเป็นเทคนิคที่นิยมแพร่หลาย สะดวกรวดเร็ว วิเคราะห์ธาตุได้มากชนิดกว่า

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากทั้งสองแหล่งของเนื้อดินปั้นและเคลือบได้ผลดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้น

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	ความชื้น (%)	L.O.I (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	รวม (%)
ชนิดเคลือบไม่เชียนลาย	0.23	0.30	78.78	15.77	2.00	0.44	0.22	0.21	0.21	1.14	99.30
KK_e	0.24	0.32	80.00	16.87	1.08	0.69	0.05	0.35	0.22	1.73	101.55
KC_2	0.20	0.49	80.54	15.79	1.08	0.59	0.28	0.33	0.20	1.44	100.94
KC_1	0.25	0.45	72.56	21.92	1.08	0.69	0.14	0.58	0.27	2.58	100.52
C_2	0.13	0.35	75.26	17.92	3.03	0.06	0.26	0.59	0.28	2.81	100.69
C_7	0.13	0.23	75.48	16.89	2.76	0.47	0.64	0.68	0.31	3.01	100.60
ชนิดเคลือบเชียนลาย	0.14	0.41	78.77	14.82	2.27	0.48	0.54	0.68	0.30	2.31	100.72

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเนื้อดินปั้น

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	ความชื้น (%)	L.O.I (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	CaO (%)	MgO* (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	รวม (%)
ชนิดเคลือบไม่เขียนลาย	0.23	0.30	78.78	15.77	2.00	0.44	0.27	0.21	0.17	1.16	99.33
KK_3	0.24	0.32	80.00	16.87	1.08	0.69	-	0.35	0.31	1.90	101.76
KC_2	0.20	0.49	80.54	15.79	1.08	0.59	0.33	0.33	0.20	1.18	100.73
KC_1	0.25	0.45	72.56	21.92	1.08	0.69	0.15	0.58	0.23	2.52	100.43
C_2	0.13	0.35	75.26	17.92	3.03	0.06	0.33	0.59	0.31	2.88	100.86
C_7	0.13	0.23	75.48	16.89	2.76	0.47	0.59	0.68	0.30	3.07	100.60
ชนิดเคลือบเขียนลาย	0.14	0.41	78.77	14.82	2.27	0.48	0.55	0.68	0.31	2.43	100.86

*จากวิธี AAS

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเคลือบ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	รวม (%)
ชนิดเคลือบไม่เชียนลาย	55.62	15.35	1.69	0.51	20.66	1.63	0.82	3.18	99.46
KK_e	59.89	14.40	1.34	0.52	19.67	1.94	0.51	1.63	99.90
KC_2	59.12	16.50	1.51	0.40	18.90	1.37	1.15	1.84	100.79
KC_1	61.56	15.97	1.85	0.45	13.77	1.36	1.48	2.42	98.86
C_2	67.48	17.57	3.19	0.72	5.20	1.12	0.23	3.00	98.51
C_7	68.68	16.81	2.69	0.60	5.13	1.49	0.27	2.94	98.61
ชนิดเคลือบเชียนลาย	66.34	16.50	3.17	0.60	8.63	1.06	0.27	3.09	99.66

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเคลือบ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	CaO (%)	MgO* (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	รวม (%)
ชนิดเคลือบไม่เชียนลาย	55.62	15.35	1.69	0.51	19.44	1.63	0.79	3.08	98.11
KK_6	59.89	14.40	1.34	0.52	18.23	1.94	0.49	2.10	98.91
KC_2	59.12	16.50	1.51	0.40	18.31	1.37	1.26	2.10	100.57
KC_1	61.56	15.97	1.85	0.45	13.20	1.36	1.51	2.44	98.34
C_2	67.48	17.57	3.19	0.72	6.32	1.12	0.25	3.51	100.16
C_7	68.68	16.81	2.69	0.60	6.18	1.49	0.29	3.25	99.99
ชนิดเคลือบเชียนลาย	66.34	16.50	3.17	0.60	8.43	1.06	0.27	3.13	99.50

*จากวิธี AAS

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเนื้อดินปั้น กับงานวิจัยต่าง ๆ

แหล่งผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบเคมี %	Day (7)	นันทวัน (9)	เริงนภรณ์ (8)	เลิศณรงค์ (10)	งานวิจัยนี้
เวียงกาหลง	SiO_2	72.60-81.70	70.96-78.96	-	70.72-78.92	72.56-80.54
	Al_2O_3	13.00-21.30	15.84-22.59	-	15.84-20.78	15.77-21.92
	Fe_2O_3	1.00-1.40	1.14-1.47	-	0.85-1.41	1.08-2.00
	TiO_2	0.89-1.26	0.53-0.89	-	0.44-0.78	0.44-0.69
	CaO	0.04-0.50	0.002-0.02	-	0.11-0.55	0.05-0.28
	MgO	0.28-0.35	0.07-0.48	-	0.01-0.29	0.21-0.58
	Na_2O	0.05-0.32	0.17-0.85	-	0.22-1.76	0.20-0.27
	K_2O	1.06-2.00	2.59-4.40	-	1.14-4.81	1.14-2.58
สันกำแพง	SiO_2	72.90-74.70	-	69.80-77.10	70.24-73.54	75.26-78.77
	Al_2O_3	18.20-19.80	-	15.74-21.34	20.06-21.57	14.82-17.92
	Fe_2O_3	1.30-1.69	-	1.40-2.75	1.38-1.65	2.27-3.03
	TiO_2	0.48-0.64	-	0.03-0.57	0.40-0.46	0.06-0.48
	CaO	0.28-0.41	-	0.01-0.06	0.17-0.36	0.26-0.64
	MgO	0.28-0.54	-	0.25-0.67	0.29-0.30	0.59-0.68
	Na_2O	0.95-1.59	-	0.30-0.71	0.28-2.31	0.28-0.31
	K_2O	2.42-3.28	-	3.50-6.59	2.91-3.34	2.31-3.01

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเคลือบ กับงานวิจัยต่าง ๆ

แหล่งผลิตภัณฑ์	ส่วนประกอบเคมี %	Day (7)	นันทวัน (9)	เริงนภรณ์ (8)	เลิศณรงค์ (10)	งานวิจัยนี้
เวียงกาหลง	SiO_2	56.87-62.80	54.75-60.17	-	58.60-59.68	55.62-61.56
	Al_2O_3	12.16-15.19	16.90-21.22	-	15.13-17.81	14.40-16.50
	Fe_2O_3	0.44-1.98	0.60-2.13	-	0.65-1.82	1.34-1.85
	TiO_2	0.00-1.23	0.18-0.64	-	0.23-0.77	0.40-0.52
	CaO	18.26-22.45	7.30-17.54	-	14.71-18.04	13.77-20.66
	MgO	1.37-2.63	1.08-2.14	-	1.17-2.33	1.36-1.94
	Na_2O	0.00-1.86	0.34-3.81	-	0.36-1.81	0.51-1.48
	K_2O	1.30-2.49	2.50-4.43	-	2.33-3.08	1.63-3.18
สันกำแพง	SiO_2	56.11-62.43	-	55.44-65.27	50.20-60.51	66.34-68.68
	Al_2O_3	14.60-16.29	-	16.43-18.71	18.56-18.91	16.50-17.57
	Fe_2O_3	1.23-1.99	-	1.00-1.46	1.24-2.55	2.69-3.19
	TiO_2	-	-	0.35-0.59	0.23-0.35	0.60-0.72
	CaO	13.65-16.24	-	5.95-13.76	9.43-19.58	5.13-8.63
	MgO	1.15-1.27	-	1.18-2.30	1.59-2.67	1.06-1.49
	Na_2O	1.16-2.38	-	0.17-1.84	0.32-1.48	0.23-0.27
	K_2O	2.23-2.91	-	3.20-6.66	4.05-5.84	2.94-3.09

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เวียงกาหลง จากตาราง 4.1 ได้ปริมาณ SiO_2 72.56-80.54 %, Al_2O_3 15.77-21.92 %, Fe_2O_3 1.08-2.00 %, TiO_2 0.44-0.69 %, CaO 0.05-0.28 %, MgO 0.21-0.58 %, Na_2O 0.20-0.27 % และ K_2O 1.14-2.58 % ยกเว้น KC_1 ที่มีปริมาณ SiO_2 72.56 % ซึ่งเมื่อพิจารณาเนื้อผลิตภัณฑ์จะละเอียดและขาวมากกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ซึ่งมีปริมาณ SiO_2 ค่อนข้างสูงจึงสอดคล้องกับลักษณะของเนื้อที่หยาบ เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์รวมเทียบกับงานวิจัย (7, 9, 10) จากตาราง 4.5 พบว่าอยู่ในช่วงเดียวกับ Day (7) และเลิศณรงค์ ศรีพนม (10) เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นปริมาณ TiO_2 ที่ได้น้อยแต่ก็ใกล้กับของเลิศณรงค์ ศรีพนม ซึ่งได้ 0.44-0.78 % และนันทวัน สุขแสงดาว (9) ซึ่งได้ 0.53-0.89 % ส่วน Fe_2O_3 งานวิจัยนี้มีเพียงชนิดเคลือบไม่เขียนลายเท่านั้นที่ได้ถึง 2.00 % ซึ่งมากกว่างานวิจัยทั้ง 3 ท่าน ทั้งนี้เพราะเนื้อผลิตภัณฑ์ที่นำมาวิเคราะห์สีค่อนข้างเป็นน้ำตาลมากกว่าชนิดอื่น อีกองค์ประกอบหนึ่งที่แตกต่างคือ K_2O ซึ่ง Day ได้ 1.06-2.00 % นันทวัน สุขแสงดาว ได้ 2.59-4.40 % เลิศณรงค์ ศรีพนม ได้ 1.14-4.81 % ซึ่งจากงานวิจัยจะอยู่ในช่วงเดียวกับ Day ยกเว้น KC_1 โดยไปอยู่ช่วงเดียวกับนันทวัน สุขแสงดาว และเลิศณรงค์ ศรีพนม อย่างไรก็ตามจะพบว่าองค์ประกอบต่าง ๆ จะอยู่ในช่วงเดียวกันเกือบ ทั้งหมด ดังนั้นคาดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์จากแหล่งเดียวกัน

2. ผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นของผลิตภัณฑ์สันกำแพง ตามตาราง 4.1 ได้ปริมาณ SiO_2 72.26-78.77 %, Al_2O_3 14.82-17.92 %, Fe_2O_3 2.27-3.03 %, TiO_2 0.06-0.48 %, CaO 0.26-0.64 %, MgO 0.59-0.68 %, Na_2O 0.28-0.31 % และ K_2O 2.31-3.01 % เมื่อพิจารณาจากลักษณะผลิตภัณฑ์ที่นำมาวิเคราะห์จะมีเนื้อหยาบ มีเม็ดทรายมาก สีค่อนข้างน้ำตาลเข้ม แสดงว่าต้องมี SiO_2 และ Fe_2O_3 สูง ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย (7, 8, 10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.5 องค์ประกอบทุกตัวจะแตกต่างกับ Day (7) และเลิศณรงค์ ศรีพนม (10) ยกเว้นปริมาณ K_2O ที่ Day ได้ 2.42-3.28 % เลิศณรงค์ ศรีพนม (10) ได้ 2.91-3.34 % และปริมาณ CaO ที่ Day ได้ 0.28-0.41 % นอกจากนั้นก็จะอยู่ในช่วงเดียวกับของเริงนภรณ์ ประทุมโทน (8) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงจำนวนตัวอย่างที่เลิศณรงค์ ศรีพนม (10) ใช้จะแค่ 2 ตัวอย่าง และพอดีได้ช่วงที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่เริงนภรณ์ ประทุมโทน (8) ใช้ถึง 5 ตัวอย่าง ช่วงเลยกว้างแต่ก็ยังอยู่ช่วงเดียวกับงานวิจัยนี้ที่ใช้ 3 ตัวอย่าง ดังนั้นแสดงว่าน่าจะเป็นผลิตภัณฑ์สันกำแพงเหมือนกัน แต่อาจเนื่องจากมีแหล่งเตามากและแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกันมากจึงให้ผลการวิเคราะห์ได้ช่วงที่กว้าง

3. ผลการวิเคราะห์เคลือบของผลิตภัณฑ์เวียงกาหลง ตามตาราง 4.3 ได้ปริมาณ SiO_2 55.62-61.56 %, Al_2O_3 14.40-16.50 %, Fe_2O_3 1.34-1.85 %, TiO_2 0.40-0.52 %, CaO 13.77-20.66 %, MgO 1.36-1.94 %, Na_2O 0.51-1.48 % และ K_2O 1.63-3.18 % แสดงว่าเคลือบนี้มีซิลิกาไม่มาก แต่มี CaO มาก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของเคลือบซิลาดลที่เตรียมจากขี้เถ้าไม้ ยกเว้น KC_1 ซึ่งมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ทั้งนี้ลักษณะผลิตภัณฑ์ KC_1 จะแตกต่างจากชนิดอื่นคือ มีการเขียนลายใต้เคลือบ เนื้อละเอียด เคลือบค่อนข้างใส เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัย (7, 9, 10) จะพบว่าในทำนองเดียวกับเนื้อดินปั้นโดยที่มีเฉพาะของ KC_1 เท่านั้นที่ต่างจาก Day (7) แต่ไปสอดคล้องกับเลิศณรงค์ ศรีพนม (10) และนันทวัน สุขแสงดาว (9) โดยที่พิจารณาเฉพาะ KC_1 ซึ่งนันทวัน สุขแสงดาว นำมาวิเคราะห์ด้วยจะสอดคล้องกันโดยเฉพาะ CaO ที่แตกต่างจาก Day อย่างชัดเจน โดยนันทวัน สุขแสงดาว ได้ 11.89 % งานวิจัยนี้ได้ 13.77 % แสดงว่าถ้าเป็นผลิตภัณฑ์จากแหล่งเดียวกัน หรือใกล้เคียงกันจะให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้กัน

4. ผลการวิเคราะห์เคลือบของผลิตภัณฑ์สันกำแพง ได้ปริมาณ SiO_2 66.34-68.68 %, Al_2O_3 16.50-17.57 %, Fe_2O_3 2.69-3.19 %, TiO_2 0.60-0.72,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

CaO 5.13-8.63 %, MgO 1.06-1.49 %, Na_2O 0.23-0.27, K_2O 2.94-3.09 % จะเห็นว่าปริมาณ SiO_2 ค่อนข้างมากในขณะที่ปริมาณ CaO กลับน้อย ยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Day (7) แล้วจะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง แต่มีเหมือนกันกับของเริงนภรณ์ ประทุมโทน (8) บางองค์ประกอบได้แก่ ปริมาณ Al_2O_3 เริงนภรณ์ ประทุมโทน ได้ 16.43-18.71 %, CaO 5.95-13.76 %, Na_2O 0.17-1.84 %, MgO 1.18-2.30 % ส่วนกับของเลิศณรงค์ ศรีพนม (10) ก็แตกต่างเช่นกัน ซึ่งสาเหตุก็มาจากเคลือบที่นำมาวิเคราะห์นั่นมีเนื้อดินปั้นปนมานั่นเอง โดยปัญหาในการแยกเคลือบของสันกำแพงได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วในเรื่องการเตรียมเคลือบ ดังนั้นในการวิเคราะห์เคลือบครั้งนี้จึงไม่สามารถที่จะบ่งชี้ได้อย่างเด่นชัดถึงมีบางองค์ประกอบที่สอดคล้องกับเริงนภรณ์ ประทุมโทน ก็ตาม

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางเคมีทั้งหมดจากงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบกับ Day (7) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้วิธี ICP (Indutively coupled plasma atomic emission spectrometry) และงานวิจัย (8-10) น่าจะเชื่อได้ว่าวิธีการไม่มีส่วนทำให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกันมากนัก แต่บางส่วนที่เกิดการแตกต่างกันน่าจะมีสาเหตุจากวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ของแต่ละเตาแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันมากกว่า

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพด้วย X-ray fluorescence

จากผลการทำคุณภาพวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence พบว่าทั้งเนื้อดินปั้นและเคลือบของผลิตภัณฑ์เวียงกาหลงและสันกำแพงมีองค์ประกอบที่เหมือนกันได้แก่ Si Al Fe K Ti Ca Mg Rb Zr Sr Mn และ Zn ดังนั้นจึงไม่สามารถนำวิธีการนี้มาแยกผลิตภัณฑ์ทั้งสองแหล่งได้ อย่างไรก็ตามในการเปรียบเทียบกับเซรามิกส์ปัจจุบันอาจเห็นผลชัดเจนโดยเฉพาะเหล็กออกไซด์ จากข้อมูลของการทำ thin section ซึ่งพบว่าเซรามิกส์ปัจจุบันมีน้อยจนเกือบไม่พบเลย ถ้าสามารถนำวิธีนี้ไปใช้ได้จริงจะสะดวกและรวดเร็วมาก และข้อสำคัญตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม่ต้องถูกทำลายด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 <u>การศึกษาโครงสร้างขนาดเล็ก</u>

การศึกษาเพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างขนาดเล็กในเนื้อดินปั้นและเคลือบของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โบราณและปัจจุบันเปรียบเทียบกันนั้น ได้อาศัยสมบัติทางแสงของแร่มาใช้ เช่น แร่เหล็กจะทึบแสงทุกลักษณะไม่ว่าจะเป็น plane polarize หรือ cross polar แร่ควอร์ตซ์บางชนิดให้แสงผ่านได้บางระนาบ เป็นต้น จากคุณลักษณะต่าง ๆ จึงนำมาศึกษาปริมาณควอร์ตซ์ ปริมาณ Fe_2O_3 และความพรุนได้ ในการศึกษาดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าในส่วนของการเตรียมเคลือบมีปัญหาจึงไม่มีข้อมูลที่จะวิจารณ์ได้ ดังนั้นจึงใคร่วิจารณ์เฉพาะส่วนของเนื้อดินปั้น ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์เวียงกาหลง ขนาดควอร์ตซ์ KC_1 และ Kg_2 ใกล้เคียงกัน โดยที่ KK_6 จะมีขนาดควอร์ตซ์ที่แตกต่างกัน ปริมาณอยู่ในช่วง 20-30 % แร่ทึบแสง (Fe_2O_3) มีพอประมาณน้อยกว่าของสันกำแพงแต่มากกว่าเซรามิกส์ปัจจุบัน ความพรุนพอสมควร แสดงว่าผลิตภัณฑ์เวียงกาหลงขนาดอนุภาควอร์ตซ์จะแตกต่างกันมาก เมื่อเทียบกับเซรามิกส์ปัจจุบันถึงเป็น KC_1 และ Kg_2 ก็ตาม เนื้อผลิตภัณฑ์จะละเอียดกว่าสันกำแพง ยกเว้น KK_6 สีจะขาวกว่าเพราะมี Fe_2O_3 น้อยกว่า รูพรุนน้อยทำให้เนื้อแน่น ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีและจากลักษณะภายนอกที่สังเกตได้

2. ผลิตภัณฑ์สันกำแพง ขนาดควอร์ตซ์ใกล้เคียงกันมีประมาณ 15-20 % มี Fe_2O_3 มาก เนื้อค่อนข้างหยาบ และไม่แน่นเพราะรูพรุนมาก นอกจากนั้นสีเนื้อจะสีน้ำตาลเพราะ Fe_2O_3 มาก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางเคมีและลักษณะภายนอกที่สังเกตได้จะให้ผลทำนองเดียวกัน

3. ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ปัจจุบัน ขนาดควอร์ตซ์เล็กมากและสม่ำเสมอมีปริมาณ 20 % Fe_2O_3 น้อยมาก ความพรุนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเวียงกาหลงและสันกำแพง แสดงให้เห็นว่าเนื้อดินปั้นจะต้องละเอียดมาก เนื้อแน่นสีขาว และมีความแกร่งมาก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบทั้ง 3 แหล่งแล้ว เชื่อว่าวิธีการศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์แบบ polarizing นี้น่าจะช่วยบอกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์แต่ละแหล่งได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพราะเป็นการดูถึงโครงสร้างที่ละเอียดลงไป จากงานวิจัยนี้จะพบว่าระหว่างเซรามิกส์ปัจจุบันกับเซรามิกส์โบราณจากทั้งสองแหล่ง มีความแตกต่างอย่างชัดเจน สำหรับในส่วนของเซรามิสก์โบราณจากเตาเวียงกาหลงและสันกำแพง ในการวิเคราะห์ทางเคมีช่วงของ ส่วนประกอบทางเคมีต่าง ๆ จากทั้งสองแหล่งจะคาบเกี่ยวกันเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ลักษณะและขนาดของ Fe_2O_3 จากการศึกษาโดย polarizing microscope มีความแตกต่าง อย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ตัวอย่างเพียงแหล่งละ 3 ตัวอย่างซึ่งถ้าได้ศึกษาตัวอย่างจำนวน 10-20 ตัวอย่างขึ้นไป แล้วได้ผลทำนองเดียวกัน จะเป็นข้อสรุปที่น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น สำหรับแนวทางการศึกษาทำนองนี้ นับว่าน่าสนใจสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาวัตถุโบราณต่าง ๆ ต่อไป

จากงานวิจัยและการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. <u>การวิเคราะห์ทางเคมี</u>

1.1 เนื้อดินปั้นเวียงกาหลง ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณ SiO_2 72.56-80.54 %, Al_2O_3 15.77-21.92 %, Fe_2O_3 1.08-2.00 %, TiO_2 0.44-0.69 %, CaO 0.05-0.28 %, MgO 0.21-0.58, Na_2O 0.20-0.27 % และ K_2O 1.14-2.58 %

1.2 เคลือบเวียงกาหลง ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณ SiO_2 55.62-61.56 %, Al_2O_3 14.40-16.50 %, Fe_2O_3 1.34-1.85 %, TiO_2 0.40-0.52 %, CaO 13.77-20.66 %, MgO 1.36-1.94 %, Na_2O 0.51-1.48 % และ K_2O 1.63-3.18 %

1.3 เนื้อดินปั้นสันกำแพง ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณ SiO_2 75.26-78.77 %, Al_2O_3 14.82-17.92 %, Fe_2O_3 2.27-3.30 %, TiO_2 0.06-0.48 %,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

CaO 0.26-0.64 %, MgO 0.59-0.68 %, Na_2O 0.28-0.31 % และ K_2O 2.31-3.01 %

1.4 เคลือบสันกำแพง ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณ SiO_2 66.34-68.68 %, Al_2O_3 16.50-17.57 %, Fe_2O_3 2.69-3.19 %, TiO_2 0.60-0.72 %, CaO 5.13-8.63 %, MgO 1.06-1.49 %, Na_2O 0.23-0.27 % และ K_2O 2.94-3.09 %

2. <u>การศึกษาโครงสร้างขนาดเล็ก</u>

2.1 ผลิตภัณฑ์เวียงกาหลง มีทั้งชนิดเนื้อหยาบและละเอียด ขนาดควอร์ตซ์มีทั้งแตกต่างกันมากและใกล้เคียงกัน เหล็กออกไซด์น้อย

2.2 ผลิตภัณฑ์สันกำแพง เนื้อค่อนข้างหยาบ ขนาดควอร์ตซ์ใกล้เคียงกัน มีเหล็กออกไซด์มาก

2.3 ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ปัจจุบัน เนื้อละเอียด แกร่ง ขนาดควอร์ตซ์เล็กและสม่ำเสมอ มีเหล็กออกไซด์น้อยมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved