ล.114560

คำนำ

"ความงามที่ปรากฏแก่สายตาคือคุณค่าของผลิตภัณฑ์เซรามิก" คำกล่าวที่ว่านี้คงไม่ผิดไปจากความเป็นจริงมากนัก เนื่องจากปัจจัยหลักที่ผู้ซื้อใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เซรามิกได้แก่ รูปแบบ สีสัน ความคิดสร้างสรรค์ และความประณีตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้ผลิตต้องอาศัยทั้งศิลป์และศาสตร์ (เทคโนโลยี) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณค่าดังกล่าว หน้าที่ของผู้ที่รับผิดชอบในด้านการผลิตคือการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ควบคุมทุกขั้นตอนกระบวนการผลิต เพื่อแปรเปลี่ยนวัตถุดิบทั้งหลายให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์และสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับผู้พบเห็น

โดยทั่วไปการผลิตชิ้นงานเซรามิกให้มีความสมบูรณ์แบบ ผู้ผลิตจะต้องพยายามควบคุมตำหนิที่ไม่พึงประสงค์ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดหรือไม่ให้ปรากฏแก่สายตาผู้ซื้อ แต่ตำหนิบางชนิดอาจถูกมองว่าสร้างความสวยงามโดดเด่นเฉพาะตัวให้แก่ผลิตภัณฑ์ และถูกนำมาใช้เป็นจุดขายเพื่อเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ก็เป็นได้ การศึกษาที่มาและสาเหตุของการเกิดตำหนิประเภทต่างๆ จึงมีความสำคัญอันจะนำไปสู่การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

สำหรับงานวิจัยในหัวข้อ "การสำรวจปัญหาด้านการจัดการและการผลิตเซรามิกของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตภาคเหนือ" นี้ เป็นการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ระบุถึงปัญหาและวางแผนการทำงานสำหรับโครงการวิจัยต่อเนื่องในระดับลึกที่จะติดตามมาในปี พ.ศ. 2544 รวมทั้งเป็นสร้างฐานของงานวิจัยเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับหลักสูตรบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงในปี พ.ศ. 2546 ที่จะถึงนี้

ถึงแม้จะเป็นการเก็บข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตสินค้าเซรามิกจำนวนหนึ่งในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำปางเท่านั้น แต่โรงงานที่ทำการสำรวจครอบคลุมทั้งโรงงานขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก ผู้วิจัยเชื่อว่าข้อมูลที่ได้รับนั้นเพียงพอที่จะสะท้อนถึงปัญหาด้านตำหนิที่เกิดขึ้นกับโรงงานอื่น ๆ โดยรวมได้ ถ้าหากว่าข้อมูลที่เผยแพร่นี้ยังมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้วิจัยยินดีรับคำแนะนำ เพื่อแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้องต่อไป

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ประกอบด้วยสองส่วนหลักได้แก่ การสำรวจและรวบรวมข้อมูลด้านการจัดการกระบวนการผลิตของโรงงานเซรามิกทั้งขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก จำนวน 30 โรงงานในเขตจังหวัดลำปางและจังหวัดเชียงใหม่ และการจัดจำแนกตลอดจนการวิเคราะห์ตรวจสอบตำหนิประเภทต่าง ๆ ที่เกิดกับผลิตภัณฑ์เซรามิกจากโรงงานที่ทำการสำรวจ และใช้ข้อมูลทั้งสองส่วนนี้ประกอบกันในการพิจารณาถึงสาเหตุที่มาของการเกิดตำหนิในผลิตภัณฑ์

จากผลการสำรวจโดยใช้แบบสอบถาม พบว่าปัญหาหลักด้านการจัดการที่โรงงานขนาดเล็กและขนาดกลางมักจะประสบคือ การขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิต การออกแบบ และการตลาดอย่างแท้จริง ส่วนโรงงานขนาดใหญ่มักจะประสบปัญหาที่แตกต่างไป เช่น การขาดแคลนแรงงาน ฝีมือ เป็นต้น ส่วนผลการจัดจำแนกประเภทตำหนิพบว่า ตำหนิที่พบในผลิตภัณฑ์จากโรงงานขนาดเล็กมักจะเกิดกับเนื้อดินและค่อนข้างมีความรุนแรงสูง เช่น แตกร้าว บิดเบี้ยว แต่ตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์จากโรงงานขนาดกลางและขนาดใหญ่ มักจะเกิดกับชั้นเคลือบ เช่น รูเข็ม เคลือบพอง เป็นต้น

การศึกษาเบื้องต้นถึงสาเหตุของการเกิดตำหนิบางประเภทในผลิตภัณฑ์เซรามิกได้พิสูจน์ให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์เชิงจุลภาคโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์ ร่วมกับ SEM และ EDX นับเป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตที่มีศักยภาพสูง เพราะไม่เพียงแค่สามารถระบุธาตุแปลกปลอมที่อาจเป็นสาเหตุของตำหนิเท่านั้น แต่ยังเผยถึงลักษณะทางกายภาพระดับจุลภาคของตำหนิซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าสิ่งแปลกปลอมได้เข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนใด ข้อมูลที่สำคัญเหล่านี้สามารถนำไปสู่ต้นเหตุที่แท้จริงของตำหนิได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง และทำให้แก้ปัญหาตำหนิได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

This research is focused on the investigation of management and production processes as well as the identification and microstructural characterization of some specific faults found in the ceramic products received from 30 small, medium, and large-scale ceramic factories in Lampang and Chiangmai provinces. All data were then compared and analysed in order to identify the actual causes of such faults.

It was found that each group of ceramic factories experienced various problems. The small and medium-scale factories encountered with difficulties in production controls, product design, and marketing due to the lack of capable staff, whereas the large factories were occasionally short of skilled workers. Interestingly, minor faults such as pinholes, or blistering were observed in the products of the latter group, whereas more serious faults such as dunting or deforming were mainly found in the products of the small-scale producers.

The preliminary study for the actual causes of some faults has demonstrated that Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDX) were powerful tools for solving production problems. This microstructural charaterisation techniques provide not only a fast and accurate identification of the contaminants, but also the exact location of the fault origin, thus pointing to a processing step at which the impurity may enter the production line and enable an efficient elimination of the faults.

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะวิจัยขอขอบคุณคุณกาญจนา ประชาพิพัฒน์ และคุณประดิษฐ์ ฉัตรชัยสิทธิกุลเป็นอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลือในด้านข้อมูลโดยรวม ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยเซรามิกนี้ รวมทั้งความช่วยเหลือในด้านคำแนะนำเกี่ยวกับโรงงานเซรามิกและบุคคลต่างๆที่เกี่ยวข้อง ทางคณะวิจัยขอขอบคุณอุตสาหกรรมจังหวัดลำปาง และศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดลำปาง สำหรับข้อมูลของฐานข้อมูลของโรงงานเซรามิกในภาคเหนือ และที่ต้องขอขอบคุณเป็นอย่างสูงได้แก่ คุณโสภณ เจนรุ่งเรือง และคุณอนุรักษ์ นภาวรรณ ที่ช่วยให้คำแนะนำและแก้ไขแบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ทางคณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณเจ้าของกิจการหรือโรงงานเซรามิกทุกท่านที่ให้ความเอื้อเฟื้อในการเข้าชมโรงงาน และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างชิ้นงานที่มีปัญหารวมทั้งให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ด้านการวิเคราะห์ชิ้นงานที่มีปัญหานั้นต้องขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในการเตรียมชิ้นงาน และขอขอบคุณคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

อีกบุคคลหนึ่งซึ่งทางคณะวิจัยต้องขอขอบคุณไว้อย่างสูงคือ อาจารย์ ดร. ธรณินทร์ ไชยเรืองศรี ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับความช่วยเหลือในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

งานวิจัยนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลยถ้าไม่ได้การสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังเงิน กำลังคนและทรัพยากรที่จำเป็นจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ทางคณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

อ. ดร. สุธี วัฒนศิริเวช
อ. ดร. ดรุณี วัฒนศิริเวช
อ. ดร. ศรัณย์ โปษยะจินดา
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ธันวาคม 2544

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	i
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ii
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	iii
กิตติกรรมประกาศ	iv
สารบัญ	v
รายการภาพประกอบ	vi
รายการตารางประกอบ	viii
บทที่ 1: ความสำคัญ-ที่มาของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
บทที่ 2: ทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3: ระเบียบวิธีวิจัย	12
บทที่ 4:ผลการสำรวจข้อมูลด้านการจัดการทั่วไป – ขั้นตอนการผลิต การเกิดตำหนิของผลิตภัณฑ์เซรามิกและการจัดจำแนกประเภทของตำหนิ	16
บทที่ 5: การวิเคราะห์ตรวจสอบตำหนิในผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคทางจุลภาค	32
บทที่ 6: อภิปรายและสรุปผล	46
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก 1	49
ภาคผนวก 2	54

รายการภาพประกอบ

		หน้า
ภาพที่ 1(a)	ภาพแสดงการแตกร้าวที่ขอบของชิ้นงาน (edge cracks)	8
ภาพที่ 1(b)	ภาพแสดงการแตกร้าวที่ผิวของชิ้นงาน (surface cracks)	8
ภาพที่ 1(c)	ภาพแสดงการแตกร้าวบริเวณหูจับ	8
ภาพที่ 2(a)	ภาพแสดงการเกิดการระเบิดของชิ้นงาน	9
ภาพที่ 2(b)	ภาพแสดงการเกิดตำหนิที่มีลักษณะคล้ายผิวคางคก	9
ภาพที่ 3	ภาพแสดงตัวอย่างชิ้นงานที่มีปัญหาเคลือบไม่ติด	10
ภาพที่ 4 (a)	ภาพตัดขวางแสดงการเกิดรูเข็มในเซรามิก	11
ภาพที่ 4 (b)	ตัวอย่างชิ้นงานที่มีตำหนิแบบรูเข็ม	11
ภาพที่ 5	ภาพจำลองการเตรียมตัวอย่างแบบตัดขวาง (cross section) เพื่อการทดสอบทางจุลภาค	14
ภาพที่ 6 (a)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการแตกร้าวบริเวณรอยต่อของหูจับ	27
ภาพที่ 6 (b)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการแตกร้าวบริเวณคอขวด	27
ภาพที่ 6 (c)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการแตกร้าวบริเวณขอบ	27
ภาพที่ 6 (d)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการแตกร้าวบริเวณก้นภาชนะ	27
ภาพที่ 7 (a)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการเกิดผดที่ขอบ	28
ภาพที่ 7 (b)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการเกิดผดที่ขอบ	28
ภาพที่ 8	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการเกิดรูเข็ม	28
ภาพที่ 9	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการเกิดจุดสี	29
ภาพที่10 (a)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานแบบที่เคลือบเกิดการหลุดลอกออก	30
ภาพที่10 (b)	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานแบบที่เคลือบมีการพุพองแตกออก	30
ภาพที่ 11	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการเกิดคราบเหลือง	31
ภาพที่ 12	แสดงตัวอย่างชิ้นงานจากโรงงานที่มีการการกะเทาะ	31
ภาพที่ 13	ตำหนิประเภทจุดดำ และรอยการตัดเพื่อเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง	33
ภาพที่ 14	แสดงผิวด้านที่ตัดและขัดเพื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์	34
ภาพที่ 15	ภาพตัดขวางบริเวณตำหนิประเภทจุดดำ	34
ภาพที่ 16	ภาพขยายของตำหนิบริเวณที่ปรากฏผลึกของสารประกอบ	35
ภาพที่ 17	Chemical microanalysis ของผลิตภัณฑ์ ที่มีตำหนิประเภทจุดดำ โดยเทคนิค EDX	36

		หน้า
ภาพที่ 18 (a)	ภาพถ่ายชิ้นงานตัวอย่างที่มีการเคลือบไม่ติดที่ทำการตรวจสอบ	37
ภาพที่ 18 (b)	ภาพขยายบริเวณที่มีตำหนิที่มีการเคลือบไม่ติด	37
ภาพที่ 18 (c)	Optical Micrograph แสดงลักษณะของการเคลือบไม่ติด	37
ภาพที่ 19	Chemical microanalysis ของผลิตภัณฑ์ ที่มีตำหนิประเภทเคลือบไม่ติดโดยเทคนิค EDX	39
ภาพที่ 20 (a)	ภาพถ่ายชิ้นงานตัวอย่างที่มีคราบเหลืองที่ทำการตรวจสอบ	40
ภาพที่ 20 (b)	ภาพขยายบริเวณที่มีคราบเหลือง	40
ภาพที่ 20 (c)	Optical Micrograph แสดงลักษณะของคราบเหลือง	40
ภาพที่ 21	Chemical microanalysis ของผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิประเภทมีคราบเหลืองโดยเทคนิค EDX	42
ภาพที่ 22	ภาพตำหนิประเภทกะเทาะ	43
ภาพที่ 23	Chemical microanalysis ของผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิประเภทกะเทาะโดยเทคนิค EDX	45

รายการตารางประกอบ

		หน้า
ตารางที่ 1	ผลการสำรวจด้านการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบของโรงงาน	26
ตารางที่ 2	สรุปผลการสำรวจด้านตำหนิ	27

บทที่ 1
ความสำคัญ-ที่มาของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการวิจัย

อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ได้รับเลือกให้เป็นอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมในการพัฒนา เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่สำคัญและมีโอกาสเติบโตสูง โดยในปี 2542 มีมูลค่าการส่งออก 11,418 ล้านบาท และในปี 2543 มีมูลค่าการส่งออก 13,879 ล้านบาท และมีอัตราการส่งออกขยายตัวในอัตราร้อยละ 12 ต่อปี [1] แหล่งผลิตเซรามิกที่มีชื่อเสียงของประเทศไทยมีด้วยกันหลายแห่ง เช่น สมุทรสาคร ราชบุรี สระบุรี นครราชสีมา เชียงใหม่ รวมถึงจังหวัดลำปาง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญและสร้างยอดการส่งออกมากที่สุดแห่งหนึ่งของประเทศ มีการจ้างแรงงานรวมประมาณ 9000 คน มีมูลค่าการผลิตมากกว่า 2,000 ล้านบาทต่อปี [2] แต่จากการศึกษาเกี่ยวกับความสูญเสียในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก จังหวัดลำปาง [3] พบว่าในกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนมีผลิตภัณฑ์ที่เสียหายในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง (ระหว่าง 10 - 15 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นหากประมาณการสูญเสียเฉลี่ยของโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกทั้งประเทศเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ จะเทียบได้กับมูลค่าสินค้าที่สูญเสียไปนับพันล้านบาทต่อปี

การลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนั้นมีประโยชน์อย่างยิ่ง เพราะนอกจากเป็นการลดต้นทุนที่ช่วยให้ผู้ประกอบการมีความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศเพิ่มขึ้นแล้ว ในภาพรวมยังเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิงและทรัพยากรของประเทศอย่างคุ้มค่า ถึงแม้ว่าการนำระบบประกันคุณภาพมาใช้จะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถควบคุมอัตราการสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจที่ครบถ้วนเกี่ยวกับสาเหตุของการเกิดตำหนิ ก็นับว่าจำเป็นในการลดอัตราการสูญเสียให้อยู่ในระดับที่ต่ำที่สุด ในปัจจุบันยังไม่พบว่ามีเอกสารหรือตำราภาษาไทยที่รวบรวมข้อมูลความรู้เชิงวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสาเหตุของการเกิดตำหนิในผลิตภัณฑ์เซรามิกของไทย และแนวทางการแก้ไขปัญหาเหล่านี้

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ คือการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิและสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเซรามิกในเขตภาคเหนือเกี่ยวกับการจัดการด้านการผลิต เพื่อทำการจัดจำแนกประเภทของตำหนิที่พบเป็นกลุ่มๆ ให้ง่ายต่อการระบุปัญหาด้านตำหนิที่เป็นปัญหาร่วม และเพื่อนำปัญหามาดังกล่าวเป็นแนวทางในการทำการศึกษาวิจัยต่อเนื่องที่ตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมด้านการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และลดการสูญเสีย ซึ่งจะทำให้เกิดองค์ความรู้ที่จะมีผลสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกของภูมิภาคนี้ต่อไป

โครงการวิจัยเรื่องนี้จะเน้นด้านการสำรวจและการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดตำหนิในผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้ความรู้และเทคนิคการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก การดำเนินงานตลอดโครงการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

การดำเนินงานส่วนที่ 1 คือการสำรวจโดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์และการกรอกแบบสอบถามซึ่งแบ่งเป็นสองตอน ตอนแรกคือการสำรวจปัญหาด้านการจัดการทั่วไป และตอนที่สองเป็นการสำรวจปัญหาด้านการควบคุมกระบวนการผลิต ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะถูกนำมาวิเคราะห์ และสรุปเพื่อให้เห็นภาพปัญหาโดยรวม ข้อมูลที่สำคัญจะถูกสร้างเป็นฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ ติดตามผล และอ้างอิงต่อไปในอนาคต

การดำเนินงานในส่วนที่ 2 คือ การนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิที่รวบรวมได้จากโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจมาทำการจัดจำแนกออกตามประเภทของตำหนิ จากนั้นตัวอย่างบางชิ้นที่ถูกคัดเลือกเป็นตัวแทนของตำหนิแต่ละประเภทจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงจุลภาค เพื่อให้ได้ข้อมูลสาเหตุที่มาของตำหนิ และเห็นภาพโดยรวมของปัญหาที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนมากขึ้น

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของทฤษฎีและหลักการซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในการศึกษาวิจัย ได้แก่ ขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตชิ้นงานเซรามิก และครอบคลุมถึงหัวข้อประเภทและสาเหตุของตำหนิที่พบโดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์เซรามิก สำหรับส่วนที่สอง เป็นการสำรวจข้อมูลการวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ซึ่งสนับสนุนหรือเกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัยในครั้งนี้

<u>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</u>

2.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเซรามิก

กระบวนการผลิตเซรามิกในเชิงอุตสาหกรรม โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนต่างๆ โดยสรุปดังนี้

2.1.1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

การจะผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพต้องเริ่มต้นจากการรู้จักวัตถุดิบที่จะใช้เป็นอย่างดีเสียก่อน วัตถุดิบที่สำคัญสำหรับการทำเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิกไม่ว่าจะเป็นเนื้อประเภทเอิร์ทเทินแวร์ (Earthenware) สโตนแวร์ (Stoneware) หรือพอร์ซเลน (Porcelain) ล้วนแล้วแต่ใช้วัตถุดิบหลัก ๆ เป็นกลุ่มเดียวกันซึ่งได้แก่ ดินขาว (Kaolin หรือ China Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินดำ (Ball Clay) หินฟันม้า (Felspar) และหินควอตซ์ (Quartz) เป็นต้น ซึ่งสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้หรือแร่ธาตุองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในวัตถุดิบที่แตกต่างกัน จะเป็นตัวที่กำหนดประเภทของเนื้อผลิตภัณฑ์ เพราะฉะนั้น ในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการทดสอบและควบคุมองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบให้เป็นไปตามมาตรฐานสัดส่วนที่กำหนด สำหรับรายละเอียดอื่นๆ รวมถึงวิธีการคำนวณสัดส่วนการผสมวัตถุดิบต่างๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องนั้นจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้ แต่สามารถศึกษาค้นคว้าได้จากหนังสือเรื่อง “เนื้อดินเซรามิก” ที่เขียนโดยอาจารย์ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์ **[3]** ซึ่งให้รายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ไว้อย่างสมบูรณ์

ขั้นตอนต่อมาคือการผสมวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเป็นเนื้อดินเข้าด้วยกัน โดยวิธีที่นิยมคือการบดผสมภายในหม้อบด (Ball Mill) โดยการชั่งวัตถุดิบต่างๆ ให้ได้ตามสัดส่วนที่กำหนดแล้วบดรวมกันภายในหม้อบด ซึ่งต้องมีการควบคุมปริมาณของน้ำที่ใช้ ขนาดและปริมาณของลูกบด ชนิดของลูกบด จำนวนรอบของการหมุน และเวลา เพื่อให้วัตถุดิบเกิดการผสมอย่างทั่วถึงและได้ความละเอียดที่เหมาะสม น้ำดินที่ได้อาจนำไปใช้ในการขึ้นรูปโดยตรงด้วยวิธีการเทหล่อ หรืออาจนำไปผ่านกระบวน

การแยกน้ำออกให้ได้ลักษณะเป็นเนื้อชนิดเหนียว (Plastic) สำหรับการขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์ จอลลี่ หรือโรลเลอร์แมชชีน ซึ่งต้องมีการทดสอบสมบัติของเนื้อดิน เช่น ค่าความชื้น ค่าความละเอียดของอนุภาค ค่าความเหนียว ค่าความหดตัว และสีหลังเผาก่อนการนำไปใช้งานเสมอเพื่อควบคุมคุณภาพและความสม่ำเสมอของเนื้อดินก่อนที่จะไปสู่ขั้นตอนต่อไป

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะลดขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบและเนื้อดินลง โดยการสั่งซื้อเนื้อดินสำเร็จรูปจากบริษัทที่จำหน่ายเนื้อดินโดยเฉพาะ

2.1.2) ขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

นอกจากชนิดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์แล้ว ปริมาณที่ต้องการหรืออัตราการผลิตก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะกำหนดวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของแต่ละโรงงาน สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับการขึ้นรูปแต่ละวิธีคือการควบคุมความชื้นและความเหนียวของวัตถุดิบให้เหมาะสม ประกอบกับการใช้เครื่องมือเครื่องจักรที่ถูกต้อง วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่นิยมมากที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทยมีด้วยกัน 4 วิธี [4] ได้แก่

2.1.2a) การเทหล่อ (Slip Casting) เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีมานานกว่า 200 ปีแต่ยังเป็นที่นิยมกันมากวิธีหนึ่งเนื่องจากสามารถทำได้ไม่ยากและไม่ต้องการอุปกรณ์ที่ยุ่งยากซับซ้อน วิธีการนี้มักจะใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนไม่สามารถขึ้นรูปโดยเครื่องจักรกลได้หรือชิ้นงานที่ภายในกลวง เช่น ตุ๊กตาของชำร่วย แจกัน ถ้วยกาแฟ เป็นต้น การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการเทหล่อโดยไม่ใช้เครื่องจักรมีข้อด้อยคือเป็นวิธีการที่ใช้เวลานาน กำลังการผลิตเพียงแค่ 1-2 ชิ้นต่อพิมพ์ต่อวันเท่านั้น จึงมักใช้กันทั่วไปในโรงงานขนาดเล็ก แต่ในปัจจุบันการเทหล่อได้มีการพัฒนารุดหน้าไปมากขึ้นเช่น มีการนำระบบรางเลื่อนยกพิมพ์ขนาดใหญ่หรือการหล่อน้ำดินด้วยความเร็วสูงมาใช้ ทำให้การผลิตสามารถทำได้รวดเร็วขึ้น

องค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการขึ้นรูปโดยวิธีการเทหล่อมี 2 อย่างคือ น้ำดิน (slip) และแบบพิมพ์ (mould) แบบพิมพ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมเซรามิกภาคเหนือมักจะทำจากปูนปลาสเตอร์ ซึ่งเมื่อแห้งสนิทจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีเนื่องจากพื้นผิวมีรูพรุนสูง เมื่อแบบพิมพ์ดูดซับน้ำจากน้ำดินจนได้ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ต้องการแล้ว จึงเทน้ำดินออกทิ้งส่วนที่แข็งไว้ในแบบพิมพ์พื่อให้แบบพิมพ์ดูดซับน้ำต่อจนกระทั่งชิ้นผลิตภัณฑ์มีการแยกตัวออกจากแบบพิมพ์สามารถแกะออกได้ง่ายสำหรับน้ำดินมักจะเตรียมจากดินที่มีความละเอียดสูง และมีการเติมสารกันดินตกตะกอนลงไป น้ำดินที่ดีควรมีน้ำผสมอยู่น้อยเพื่อให้ถอดแบบได้เร็วและเพิ่มอายุการใช้งานของพิมพ์

2.1.2b) การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน (Wheel Throwing) เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีมาแต่โบราณและยังคงใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลาง เป็นวิธีการผลิตที่รวดเร็วและสามารถปั้นรูปทรงขนาดใหญ่ได้ เนื้อดินที่จะนำมาขึ้นรูปต้องมีการเตรียมดินโดยการนวดดินให้มีความชื้นประมาณ 22-25% และมีความเหนียวสูง มีลักษณะอ่อนนุ่ม ผลิตภัณฑ์หลังการเผาจะมีการหดตัวสูงเนื่องจากขณะขึ้นรูปมีการเติมน้ำเพื่อช่วยในการหล่อลื่น แป้นหมุนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 แบบคือแบบที่ใช้แรงคนหมุนและแบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งผู้ที่ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้แป้นหมุนต้องมีความชำนาญสูงใช้เวลาฝึกฝนนาน กำลังการผลิตอยู่ที่ประมาณ 200-300 ชิ้นต่อวัน

2.1.2c) การขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์และจอลลี่ (Jiggering and Jollying) เป็นอุปกรณ์การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับปรุงมาจากแป้นหมุน สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและง่าย ผู้ที่ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญ นิยมใช้ในการผลิตจานชามหรือถ้วยแก้ว มักใช้กันทั่วไปในโรงงานขนาดกลางและเล็ก เครื่องจิกเกอร์จะต่างจากเครื่องจอลลี่ตรงที่ผิวของแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์จะโค้งนูนเป็นรูปจานคว่ำและใบมีดของแผ่นโลหะเป็นรูปด้านนอกของก้นจาน ในขณะที่แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ของเครื่องจอลลี่เป็นรูปเว้าลงและใบมีดของแผ่นโลหะเป็นรูปตัดภายในของภาชนะ การขึ้นรูปจะใช้ดินที่กดเป็นแผ่นกลมๆ หรือดินที่ตัดจากหัวรีดวางบนแบบพิมพ์ปลาสเตอร์แล้วจึงเปิดให้เครื่องทำงานพร้อมกับกดใบมีดแผ่นโลหะลงมาตามแนวดิ่ง เพื่อกดและปาดดินที่วางอยู่บนแบบพิมพ์ ในระหว่างนี้จะมีการฉีดน้ำหรือใช้ฟองน้ำเช็ดที่ผิวดินเพื่อให้ผิวเนียนเรียบ เมื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วจึงนำไปตากแห้งหรืออบ ความเร็วในการหมุนของเครื่องนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ ถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่ความเร็วในการหมุนของเครื่องจะต่ำกว่าชิ้นงานขนาดเล็ก เนื้อดินที่นำมาขึ้นรูปก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเร็วในการขึ้นรูป เนื้อดินที่มีความเหนียวสูงเช่นเนื้อดินเอิร์ทเทินแวร์หรือสโตนแวร์สามารถขึ้นรูปได้เร็วกว่าเนื้อดินชนิดโบนไชน่าหรือปอร์ซเลน

2.1.2d) การขึ้นรูปด้วยเครื่องโรลเลอร์แมชชีน (Roller Machine) เป็นวิธีที่สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็ว กำลังการผลิตสูง การทำงานง่ายไม่จำเป็นต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ สามารถควบคุมได้ทั้งอาศัยคอมพิวเตอร์ควบคุมแบบอัตโนมัติคุมหรือใช้คนควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ตัวเครื่องประกอบด้วยแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์และใบมีดที่ดัดแปลงเป็นหัวหมุนโลหะซึ่งสามารถกดดินได้สม่ำเสมอ ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวหลังการเผา ขณะทำงานแม่พิมพ์จะหมุนด้วยความเร็วที่มากกว่าหัวหมุนโลหะ ทำให้เนื้อดินถูกเฉือนด้วยแรงกดแผ่กว้างไปบนผิวหน้าของแม่พิมพ์ ดินส่วนเกินจะถูกปาดออกและสามารถนำมาหมุนเวียนใช้ได้อีก สำหรับเนื้อดินที่ใช้กับเครื่องโรลเลอร์แมชชีนมักจะเป็นดินเนื้อละเอียดที่ผ่านการบดและนวดมาแล้ว หรือใช้ดินก้อนที่ตัดมาจากแท่งดินที่นวดด้วยเครื่องสูญญากาศ

2.1.3) การตกแต่งชิ้นงานก่อนเผา

การตกแต่งชิ้นงานก่อนเผาเป็นการแก้ไขให้ผลิตภัณฑ์มีความเรียบร้อยก่อนนำไปเผา มีขั้นตอนดังนี้

2.1.3a) การตัดขอบและแต่งรอยตะเข็บ ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยการเทหล่อต้องตัดเล็มส่วนเกินออกแล้วจึงถอดพิมพ์ออก เมื่อแห้งดีแล้วจึงทำการขูดแต่งรอยตะเข็บที่เกิดจากรอยต่อของพิมพ์ อย่างไรก็ตามบางครั้งรอยตะเข็บยังปรากฏให้เห็นหลังจากเผา เพราะฉะนั้นจะต้องขูดแต่งรอยตะเข็บหลังเผาดิบแล้วอีกครั้งหนึ่ง

2.1.3b) การติดส่วนประกอบของชิ้นงาน เช่นหูจับกาน้ำชา พวยกา หูถ้วยกาแฟ เป็นต้น สามารถทำได้โดยใช้ดินกาวติดในขณะที่ผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ และทั้งสองส่วนต้องมีความชื้นเท่า ๆ กัน

2.1.3c) การขัดแต่งผิวด้วยแปรงและฟองน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีการจิกเกอร์หรือโรลเลอร์แมชชีนจะต้องตัดส่วนเกินออกจากบริเวณขอบจานที่ติดกับแบบพิมพ์โดยใช้แปรง ส่วนบริเวณผิวหน้าใช้การตกแต่งให้เรียบด้วยฟองน้ำ

2.1.4) การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นขั้นตอนของการกำจัดความชื้นที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการที่สำคัญมากสามารถทำได้หลายแบบเช่นอบแห้งโดยธรรมชาติ ได้แก่การอบแห้งในที่ร่มและการอบแห้งกลางแจ้ง ซึ่งสองวิธีนี้มักจะใช้กับโรงงานขนาดเล็ก แต่ในปัจจุบันการอบแห้งได้มีการพัฒนาเพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว การอบแห้งในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จึงมีการใช้เครื่องจักรกลเข้าช่วย เช่น การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด การอบแห้งโดยใช้กระแสไฟฟ้าเป็นต้น สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับทั้งขนาด ความหนา วิธีการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งที่เร็วเกินไปสามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ได้

2.1.5) การเผา

จุดประสงค์ในการเผาคือเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดความแข็งแกร่ง ทนทาน และไม่เกิดการซึมผ่านของน้ำ การเผามีด้วยกัน 3 แบบคือ การเผาดิบ (Biscuit Firing) การเผาแกร่งหรือเผาเคลือบ (Glost Firing) และการเผาตกแต่ง (Decoration Firing) บรรยากาศที่ใช้ในการเผามีด้วยกัน 3 แบบ คือ การเผาแบบออกซิเดชัน การเผาแบบรีดักชัน การเผาแบบนิวทรอล หรือเผาธรรมดา

2.1.5a) การเผาดิบ (Biscuit Firing) จะเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน เพื่อไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเนื้อดิน อันจะทำให้เกิดความเครียดและการระเบิดในชิ้นงานได้ การเผาดิบจะทำก่อนการชุบเคลือบและทำในช่วงอุณหภูมิไม่สูงมากนัก (700 -800°C)

2.1.5b) การเผาเคลือบ (Glost Firing) เป็นการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เคลือบหลอมเป็นแก้วติดบนชิ้นงานและเพื่อให้ชิ้นงานเกิดความแข็งแกร่ง สำหรับบรรยากาศและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะขึ้นกับชนิดของเนื้อดิน เช่นเนื้อดินโบนไชน่าและพอร์ซเลนจะใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 1300 - 1400°C แต่ถ้าเป็นเนื้อดินอื่นจะใช้อุณหภูมิต่ำลงมา เป็นต้น

2.1.5c) การเผาตกแต่ง (Decoration Firing) ผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจมีการตกแต่งลวดลายลงบนเคลือบเพื่อให้เกิดความสวยงามโดยใช้สติกเกอร์ที่เรียกว่า Decal ซึ่งจะต้องเผาเพื่อให้สีตกแต่งนี้ติดทนบนเคลือบ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะอยู่ในช่วงประมาณ 700 - 900°C

2.2 ประเภทของตำหนิ

เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจ จะขอแบ่งประเภทของตำหนิแบบกว้าง ๆ ออกเป็น 2 ประเภท คือ ตำหนิที่เกิดในตัวเนื้อดินและตำหนิที่เกิดในชั้นเคลือบ

2.2.1) ตำหนิที่เกิดกับเนื้อดิน

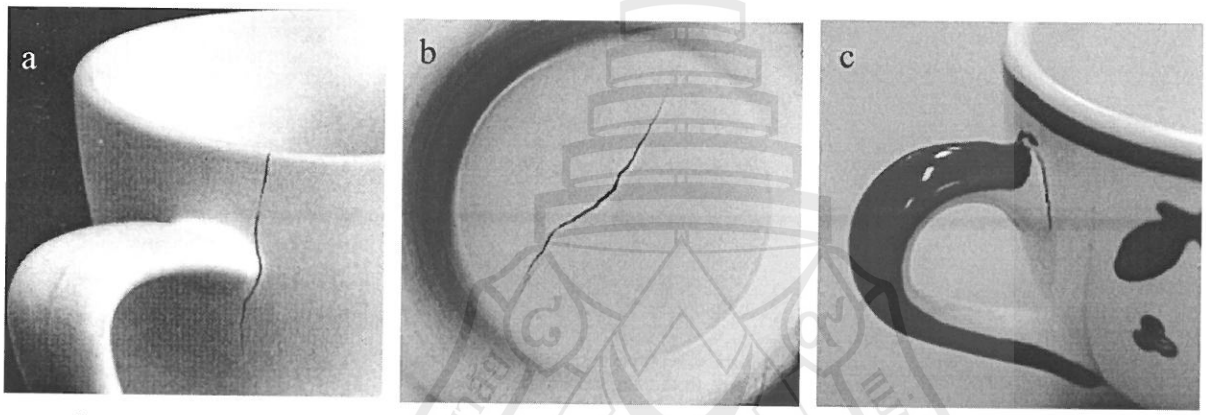
2.2.1a) การแตกร้าว โดยทั่วไปมีสาเหตุมาจากการมีความเครียด (stress) เกิดขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งตัวการที่ทำให้เกิดความเครียดนี้อาจมีได้หลายประการเช่นการออกแบบรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหมาะกับเนื้อดิน การการอบแห้งที่เร็วเกินไป หรือชิ้นงานมีความหนาไม่สม่ำเสมอเป็นต้น การแตกร้าวมีได้หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทนั้นก็อาจมีสาเหตุการเกิดได้มากมายหลายประการ ซึ่งการจะตรวจสอบว่าสาเหตุใดคือที่มาของการแตกร้าวของชิ้นงานนั้นๆ อาจจะต้องการขั้นตอนที่ซับซ้อน เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา จึงมีการจัดจำแนกลักษณะของการแตกร้าวออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้ [5]

- **การแตกร้าวที่ขอบของชิ้นงาน (edge cracks)** ตัวอย่างของลักษณะของการแตกร้าวแบบนี้แสดงอยู่ในรูป 1a สาเหตุของการแตกร้าวนี้สามารถมีได้หลายประการเช่น การทำให้แห้งเร็วเกินไป ส่วนขอบของชิ้นงานบางเกินไป หรือการขลิบและตกแต่งขอบที่ไม่ได้คุณภาพเป็นต้น

- **การแตกร้าวที่ผิวของชิ้นงาน (surface cracks)** มักจะมีลักษณะคล้ายตัวอักษร "s" ในภาษาอังกฤษ เพราะฉะนั้นจึงมักถูกเรียกว่า "S-crack" ดังแสดงในรูป 1b การเกิดการแตกร้าวแบบนี้เกิดจากขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นหลัก กล่าวคือในการขึ้นรูปชิ้นงานโดยวิธีต่างๆ นั้นปริมาณความชื้นที่หลงเหลืออยู่ในแต่ละผิวหน้าของชิ้นงานนั้นจะมีความแตกต่างกัน เช่นในชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยวิธีการเทหล่อ ที่ผิวด้านนอกจะมีความชื้นหลงเหลืออยู่มากกว่าผิวด้านในที่ติดกับแม่พิมพ์ ในทำนองเดียวกัน

ชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุนจะมีความชื้นหลงเหลืออยู่ที่ผิวด้านที่ติดกับแป้นหมุนมากกว่าในด้านตรงข้าม ถ้าหากว่าความชื้นที่ต่างกันของแต่ละผิวหน้าของชิ้นงานมีมากเกินไปและไม่ถูกกำจัดออกโดยเร็ว S-crack ก็มักจะเกิดขึ้นในส่วนฐานของชิ้นงานภายหลังการเผา วิธีการแก้ไขสามารถทำได้ง่ายๆ โดยการใช้ฟองน้ำเช็ดน้ำส่วนเกินนี้ออกไป นอกจากนี้ S-crack ยังสามารถเกิดจากการที่ขาดแรงกดที่ฐานของชิ้นงานขณะขึ้นรูป ทำให้อนุภาคของดินที่บริเวณฐาน ไม่เกิดการจัดเรียงตัวกันแน่นเท่าที่ควร เมื่อเผาจึงเกิดการหดตัวมากกว่าส่วนอื่นและเกิดการแตกร้าวขึ้น

- **การแตกร้าวบริเวณหูจับ** มักจะเกิดเนื่องจากตัวหูจับและตัวภาชนะมีระดับความชื้นไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการหดตัวไม่เท่ากันในขั้นตอนการตากแห้งและการเผาส่งผลให้เกิดการแตกร้าวขึ้น (รูป 1c) นอกจากนี้บางครั้งยังสามารถเกิดจากการที่กระบวนการในการติดหูไม่ได้มาตรฐาน หรือปริมาณดินกาวมากหรือน้อยเกินไปก็เป็นได้

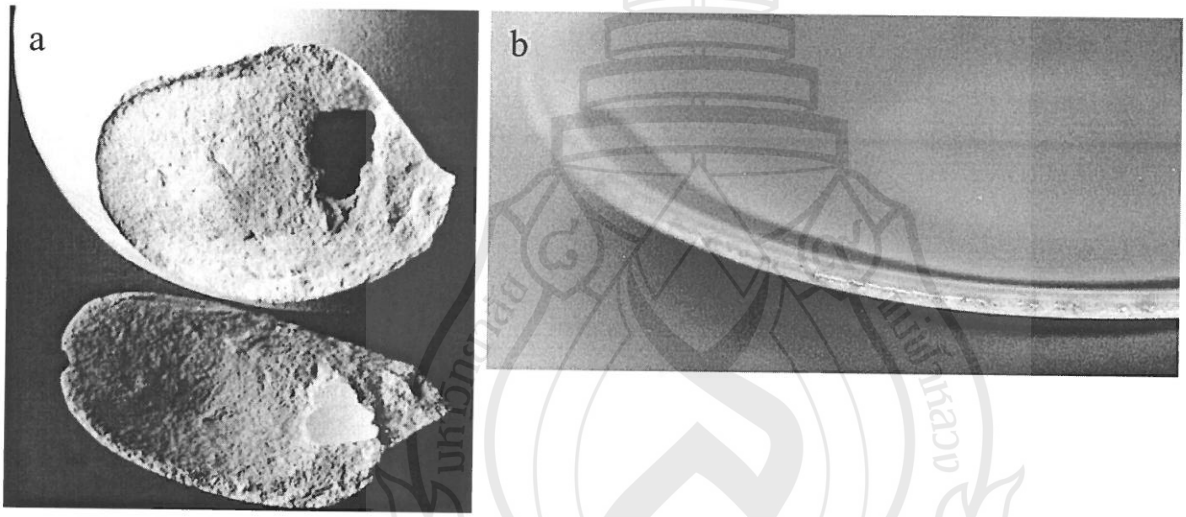


ภาพที่ 1 แสดงการแตกร้าวแบบต่างๆ (a) ที่ขอบของชิ้นงาน (edge cracks) (b) ที่ผิวของชิ้นงาน (surface cracks) (c) การแตกร้าวบริเวณหูจับจากตัวอย่างของโรงงานเซรามิกจังหวัดลำปาง

2.2.1b) การระเบิดแตกของชิ้นงาน (exploding) มักจะเกิดจากการที่ชิ้นงานมีความชื้นสูงเกินไปขณะนำเข้าเผาเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและดันให้ชิ้นงานระเบิดแตกออก หรือการใช้ความเร็วในการเผาสูงเกินไปโดยเฉพาะในช่วงแรกของการเผา (ไม่เกิน 250° C)

2.2.1c) ผิวคางคก (scummimg) เป็นตำหนิที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการอบแห้งแต่มักจะปรากฏให้เห็นภายหลังจากการเผา ตำหนิประเภทนี้เกิดจากการที่มีเกลือของโลหะบางชนิดเช่น Fe, Na, K, Mg, Ca หลงเหลืออยู่ในเนื้อดินและตกผลึกเกาะอยู่ตามขอบหรือผิวของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะเกลือ $CaSO_4$ ในระหว่างการทำให้แห้งหลังจากการขึ้นรูปส่วนที่เป็นขอบจะเป็นส่วนที่มีความชื้นน้อยที่สุด เพราะฉะนั้นจะมีความเข้มข้นของเกลือเหล่านี้สูงที่สุดและปรากฏให้เห็นหลังการเผา ยิ่งอัตราการระเหยน้ำสูงมากเท่าไรความเข้มข้นของเกลือเหล่านี้ก็ยิ่งสูงมากเท่านั้น วิธีหนึ่งที่จะลดความรุนแรงของปัญหานี้ก็คือการชลออัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์ลง

2.2.1d) กะเทาะ (Blow-out) คือการที่ชิ้นงานเพียงส่วนหนึ่งมีการหลุดแตกออกมาหลังจากการเผาดิบ ซึ่งสาเหตุสำคัญของการกะเทาะของชิ้นงานมักจะเกิดสิ่งปนเปื้อนในเนื้อดินจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต หรือสารประกอบของเหล็ก ซึ่งสามารถปนเปื้อนเข้ามาสู่เนื้อดินได้หลายวิธีการ การที่ชิ้นงานเกิดการกะเทาะเนื่องจากสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้เมื่อถูกเผามีการสลายตัวไปเป็นสารประกอบอีกตัวหนึ่งซึ่งสามารถดูดซับน้ำ ทำให้บริเวณนั้นเกิดการบวมและกะเทาะแตกออก หรือสารประกอบนั้นเองอาจเกิดการขยายตัวจากความร้อนและดันเนื้อดินบริเวณนั้นให้หลุดออกมา



ภาพที่ 2 (a) แสดงการเกิดการระเบิดของชิ้นงาน และ **(b)** การเกิดตำหนิที่มีลักษณะคล้ายผิวคางคกจากตัวอย่างจริงของโรงงานเซรามิก จังหวัดลำปาง

2.2.2) ตำหนิที่เกิดในชั้นเคลือบ

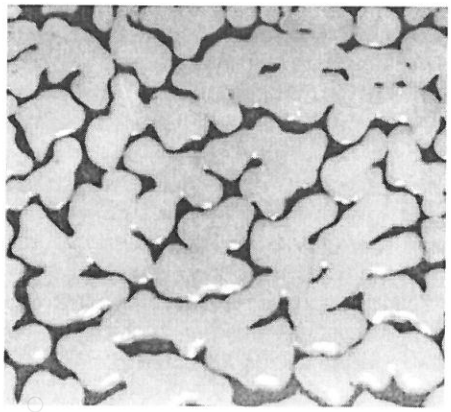
2.2.2a) เคลือบเดือด (Boiling) มีลักษณะคล้ายผิวเคลือบมีการเดือดแล้วทำให้เย็นตัวลง ทันที หรือมองดูคล้ายผิวดวงจันทร์ โดยปกติเกิดจากการใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงเกินไปทำให้เคลือบเกิดการเดือดปุดขึ้น

2.2.2b) เคลือบตกผลึก (Devitrification) เป็นลักษณะที่เกิดจากการที่เคลือบซึ่งควรจะมีลักษณะใสเกิดการตกผลึก ทำให้บริเวณนั้นมี ลักษณะขุ่น ผลึกดังกล่าวนี้มักจะเป็นผลึกของแคลเซียมซิงค์ซิลิเกต หรือแคลเซียมบอเรต

2.2.2c) ผิวเป็นหลุมเป็นบ่อ (Blistering) สาเหตุของตำหนิประเภทนี้มีได้มากมาย การตรวจสอบจึงต้องกระทำอย่างเป็นระบบด้วยความรอบคอบ ถ้าหากว่าลักษณะผิวเป็นหลุมเป็นบ่อเกิดขึ้นหลังการเคลือบแสดงว่าวิธีการเคลือบอาจเป็นสาเหตุของตำหนินี้ ซึ่งอาจเกิดจากการใช้ความดันในการพ่นเคลือบสูงเกินไปหรือตำแหน่งของผลิตภัณฑ์และปืนพ่นอยู่ใกล้กันมากเกินไปก็เป็นได้ แต่ถ้าหากว่าชิ้นงานหลังการเคลือบและก่อนเคลือบเรียบร้อยดีแสดงว่าหลุมบ่อนี้อาจเกิดจากการที่ฟองแกสขนาดใหญ่ถูกกักอยู่ในชั้นเคลือบในระหว่างการเผา เมื่อถูกทิ้งให้เย็นตัวลงเกิดการหดตัวทำให้เกิดลักษณะหลุมบ่อขึ้น นอกจากนี้การเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำเกินไปหรือขนาดอนุภาคของเคลือบไม่สม่ำเสมอก็อาจก่อเกิดตำหนิแบบนี้ได้เช่นกัน

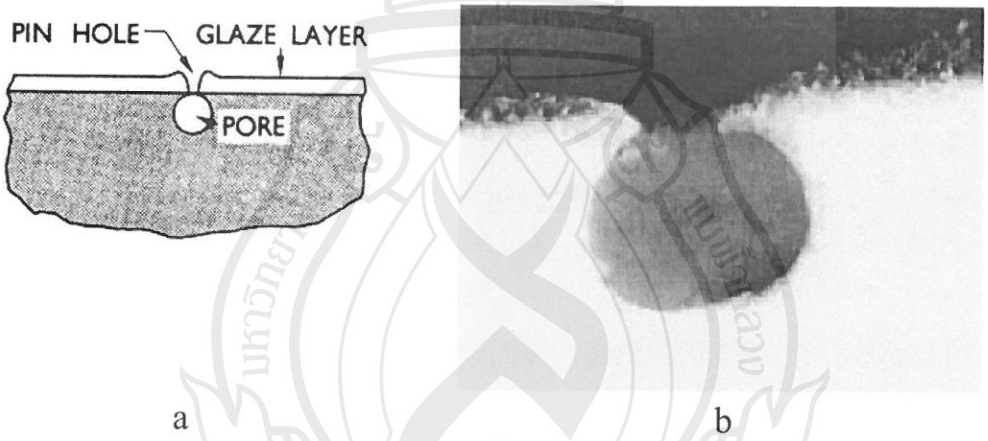
2.2.2d) ราน (Crazing) เนื่องจากเคลือบมีแก้วเป็นองค์ประกอบจึงมีความทนทานต่อการหดตัวได้ดีกว่าการขยายตัว ถ้าหากเคลือบมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน (thermal expansion coefficient) สูงกว่าเนื้อเซรามิก ชิ้นงานนี้เมื่อนำไปเผาแล้วปล่อยให้เย็นลงจะเกิดรอยแตกที่เชื่อมต่อกันเป็นร่างแหที่เรียกว่าการแตกราน และชิ้นงานนี้จะอยู่ภายใต้สภาวะที่มีความเค้นอัด ซึ่งมีโอกาสที่เคลือบจะหลุดร่อนออกจากเนื้อเซรามิก มักจะพบได้เสมอบริเวณขอบและมุมของชิ้นงานในบางครั้งถึงแม้ว่าเคลือบและเนื้อเซรามิกติดกันดีแล้วการแตกรานก็สามารถเกิดได้ถ้าชิ้นงานถูกทิ้งให้สัมผัสกับความชื้น เนื่องจากตัวชิ้นงานจะดูดซับน้ำเข้ามา และทำให้เคลือบอยู่ภายใต้แรงตึงการแตกรานเกิดได้ง่ายหากชิ้นงานนั้นมีความพรุนสูง

2.2.2e) เคลือบไม่ติด (Crawling) มีลักษณะดังภาพที่ 3 การเกิดรอยร้าวถ้าเป็นกรณีที่รุนแรงก็อาจทำให้เกิดการแตกของชั้นเคลือบเป็นรอยกว้างเรียกว่าเคลือบไม่ติดได้ ในกรณีที่รุนแรงมากๆ เคลือบทั้งหมดอาจจะแตกออกจากกันทำให้เห็นถึงเนื้อเซรามิก ปัจจัยที่ทำให้เกิดเคลือบไม่ติดได้แก่ ขนาดอนุภาคของเคลือบละเอียดเกินไป ความหนาของชั้นเคลือบบางเกินไป หรืออาจเกิดจากสิ่งสกปรกบนเนื้อดิน



ภาพที่ 3 ภาพแสดงตัวอย่างของการเคลือบไม่ติด

2.2.2f) รูเข็ม (Pinholes) ตำหนิประเภทนี้มีสาเหตุการเกิดได้หลายประการ สาเหตุหนึ่งที่พบบ่อยคือ การที่ฟองอากาศที่เกิดจากเนื้อเซรามิกหรือจากเคลือบเอง เคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวหน้าของชั้นเคลือบและขยายตัวใหญ่ขึ้นแต่ยังไม่สามารถหลุดออกจากชั้นเคลือบไปได้ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพตัดขวางแสดงการเกิดรูเข็มในเซรามิก (a) และตัวอย่างชิ้นงานที่มีปัญหา (b)

2.2.2g) จุดสี (specks) เกิดจากสิ่งปนเปื้อนที่ปรากฏอยู่หลังการเผา ซึ่งสามารถปะปนเข้ามาได้จากขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งในขบวนการผลิตชิ้นงานก็เป็นได้ เพราะฉะนั้นการตรวจสอบที่มาของจุดสีควรจะทำโดยการตรวจสอบว่าจุดสีนั้นคือสารประกอบอะไร และปรากฏอยู่ในส่วนใดของชิ้นงานบ้าง ซึ่งบางครั้งอาจจะปรากฏอยู่ทั้งในเนื้อดินและผิวเคลือบ หรืออาจจะปรากฏอยู่เพียงแค่ส่วนใดส่วนหนึ่ง ตัวอย่างจุดสีที่มักจะพบบ่อยคือสีน้ำตาลหรือสีดำที่เกิดจากเกลือซัลไฟด์หรือเกลือคาร์บอเนตของเหล็ก (FeS หรือ $FeCO_3$) ที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน หรืออาจเกิดจากสนิมเหล็กที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในขบวนการผลิต เป็นต้น

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

<u>การดำเนินงานส่วนที่ 1</u>: การสำรวจข้อมูลด้านการจัดการ – ขั้นตอนการผลิตและการจัดจำแนกประเภทของตำหนิที่พบในผลิตภัณฑ์เซรามิก

การสืบค้นข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก ในจังหวัดลำปาง เชียงราย เชียงใหม่ นั้นทางทีมงานวิจัยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยงานของรัฐสองแห่ง ได้แก่ อุตสาหกรรมจังหวัดลำปาง และศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาลำปาง สังกัดกระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลที่ปรับปรุงล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2542

ในขั้นต่อไปคือการเลือกโรงงาน/กิจการที่ต้องการสำรวจ ซึ่งในการศึกษาระยะแรกนี้จะจำกัดขอบเขตเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องถ้วยชามและเครื่องประดับซึ่งมีประมาณ 120 แห่ง โดยแยกเป็นโรงงานในจังหวัดลำปางจำนวน 80 แห่ง และโรงงานในจังหวัดเชียงใหม่อีกจำนวน 40 แห่ง จากนั้นจึงส่งจดหมายติดต่อโรงงานเหล่านี้เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการสำรวจข้อมูลและเก็บตัวอย่างชิ้นงานที่มีตำหนิในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม พ.ศ. 2543 ซึ่งปรากฏว่ามีโรงงานที่ตอบรับและยินดีให้ความร่วมมือจำนวน 30 แห่ง แบ่งเป็นโรงงานในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 5 แห่ง และโรงงาน/กิจการในจังหวัดลำปางอีกจำนวน 25 แห่ง ส่วนที่เหลือไม่สามารถให้ความร่วมมือด้วยเหตุผลดังนี้

1. ไม่สามารถติดต่อได้เนื่องจากการย้ายที่อยู่หรือที่อยู่ไม่ถูกต้อง จำนวน 8 โรงงาน
2. ปิดกิจการ จำนวน 6 โรงงาน
3. ที่เหลือไม่ตอบกลับหรือไม่ประสงค์จะให้ความร่วมมือเนื่องจากความไม่สะดวกของโรงงาน

สำหรับโรงงานที่ให้ความร่วมมือทั้ง 30 แห่ง ซึ่งคณะผู้วิจัยขอสงวนรายชื่อโรงงานที่ให้ข้อมูลและตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไว้เป็นความลับ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่มโรงงานขนาดเล็ก (S) ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) โดยใช้จำนวนคนงานเป็นตัวกำหนด โดยสรุปได้ดังตารางข้างล่างนี้

ขนาดของโรงงาน	เล็ก(S)	กลาง(M)	ใหญ่ (L)
(จำนวนคนงาน)	(น้อยกว่า 20 คน)	(20 –100 คน)	(มากกว่า 100 คน)
จำนวนโรงงานที่เข้าสำรวจ	10 โรงงาน	15 โรงงาน	5 โรงงาน

การสำรวจโรงงานนี้ทำโดยอาศัยแบบสอบถามเป็นสื่อ (ตามภาคผนวก 1) และโดยการสอบถามโดยตรงจากเจ้าของกิจการหรือจากหัวหน้าฝ่ายผลิต ในด้านที่สนใจทั้ง 3 ด้านได้แก่

1) ข้อมูลทั่วไป
2) ขั้นตอนการผลิต
3) ตำหนิและการสูญเสียที่เกิดกับผลิตภัณฑ์

สำหรับข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานเซรามิกในจังหวัดลำปางและจังหวัดอื่นๆ ในเขตภาคเหนือตอนบนซึ่งรวบรวมได้จากอุตสาหกรรมจังหวัดลำปางและศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา จังหวัดลำปางนั้น ทางคณะวิจัยได้จัดเก็บไว้ในรูปแบบของฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการสืบค้นข้อมูลต่อไป (ตัวอย่างในภาคผนวก 2)

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีตำหนิที่เก็บรวมรวมได้จากโรงงานต่าง ๆ นั้น ถูกนำมาจัดจำแนกออกเป็นกลุ่มตามลักษณะตำหนิที่ปรากฏ จากนั้นชิ้นงานแต่ละตัวอย่างจะถูกกำหนดรหัสและบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูป เพื่อบันทึกลักษณะโดยทั่วไปของชิ้นงาน ลักษณะและบริเวณที่เกิดตำหนิบนชิ้นงานสำหรับใช้อ้างอิงต่อไป

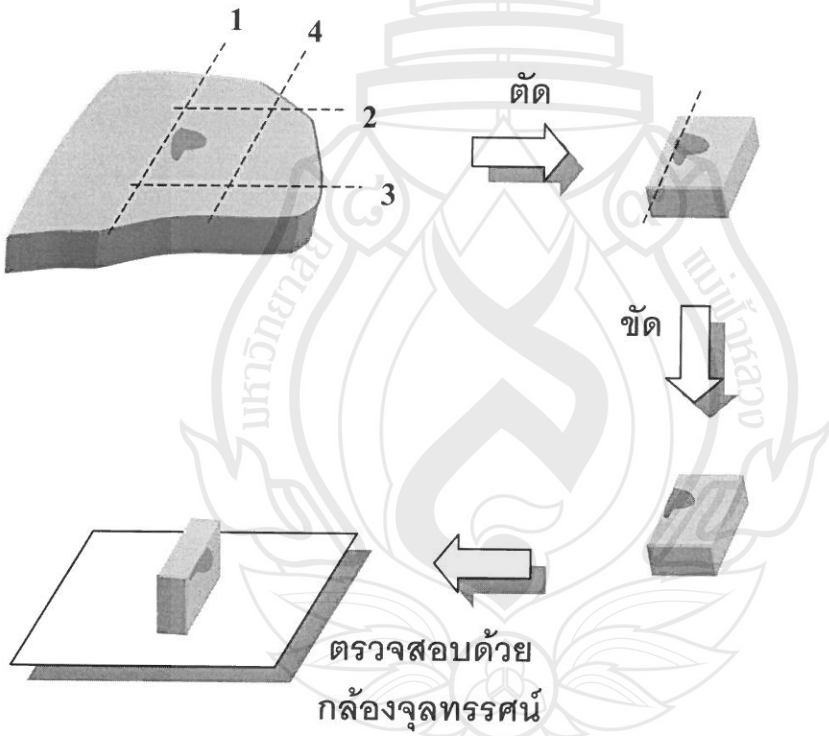
<u>การดำเนินงานส่วนที่ 2</u>: การวิเคราะห์ตัวอย่างชิ้นงานที่มีตำหนิ

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบลักษณะทางจุลภาคของตำหนินั้น ผลิตภัณฑ์เซรามิกจะถูกนำไปทุบให้แตกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ขนาดพื้นที่ประมาณ 2 cm x 2 cm ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะกับการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์เชิงแสง (Olympus BX60M) หรือกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (JEOL JSM-840A) และเพื่อให้มีขนาดเล็กพอที่จะนำเข้าเครื่องตัดชิ้นงานแบบอัตโนมัติได้การวิเคราะห์ตรวจสอบอาจมีทั้งการวิเคราะห์ตำหนิที่ปรากฏบนผิวเคลือบซึ่งในกรณีนี้สามารถตรวจสอบได้ทันที แต่ในบางกรณีอาจต้องทำการวิเคราะห์ตำหนิที่อยู่ใต้ชั้นผิวเคลือบลงไป ซึ่งการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างต้องมีขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น เรียกว่าการเตรียมชิ้นงานแบบตัดขวาง (cross section) ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ในขั้นสุดท้าย จะเป็นการเลือกชิ้นงานที่เป็นตัวแทนจากกลุ่มชิ้นงานที่มีตำหนิมาประเภทละหนึ่งตัวอย่างโดยให้ครอบคลุมตำหนิทุกประเภท ชิ้นงานดังกล่าวจะถูกเตรียมด้วยวิธีที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบเชิงจุลภาคแต่ละเทคนิค ซึ่งได้แก่การตรวจสอบลักษณะทางจุลภาคของตำหนิด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง หรือการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของบริเวณที่มีตำหนิโดยใช้เทคนิค EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) เปรียบเทียบกับบริเวณอื่นรอบๆ ตำหนิทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สาเหตุของตำหนิเพิ่มขึ้น

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างแบบตัดขวาง

การเตรียมชิ้นงานแบบตัดขวาง ชิ้นงานตัวอย่างส่วนที่มีตำหนิปรากฏอยู่ถูกนำไปตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานแบบอัตโนมัติ* โดยตัดเผื่อให้เหลือพื้นที่สำหรับการขัดเรียบและขัดผิวให้เงาอีกเล็กน้อย เช่น ตัดโดยให้รอยตัดห่างจากตำแหน่งของตำหนิประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และอาจตัดให้ชิ้นงานตัวอย่างมีขนาดความกว้างที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 5 จากนั้นขัดผิวชิ้นงานด้านใกล้ตำหนิด้วยจานขัดที่ใช้แผ่นขัดชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยเริ่มจากแบบหยาบก่อน เช่น #600 แล้วจึงค่อยเปลี่ยนไปเป็นแบบที่ละเอียด เช่น #800 และ #1200 ตามลำดับ ทำการขัดไปจนกระทั่งถึงบริเวณตำหนิ จากนั้นทำการขัดผิวให้เงาโดยใช้ผงขัดเพชรขนาดความละเอียด 6 ไมครอน ตามด้วยผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน เป็นอันดับสุดท้าย



ภาพที่ 5 : ภาพจำลองการเตรียมตัวอย่างแบบตัดขวาง (cross section) เพื่อการทดสอบทางจุลภาค

---

* **Accutom5 – Precision Cutting Machine , STRUERS, DENMARK**

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตำหนิด้วยเทคนิค EDX

ชิ้นงานเซรามิคที่ทำการศึกษาล้วนแต่ไม่นำไฟฟ้า ดังนั้นก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope – SEM) ต้องทำการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยคาร์บอนเพื่อให้นำไฟฟ้าและไม่เกิดการสะสมประจุ (non-charging) ระหว่างการตรวจสอบ

เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical microanalysis) ของตำหนิในชิ้นงานตัวอย่าง คือ Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) ที่ใช้งานร่วมกับ SEM ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตำหนิด้วยเทคนิค EDX ลำอิเลกตรอนจะถูกโฟกัสและควบคุมให้ตกกระทบกับชิ้นงานบริเวณตรงกับตำหนิพอดี จากนั้นรังสีเอกซ์ชนิด Characteristic X-rays ที่เกิดขึ้นจากบริเวณเนื้อชิ้นงานที่ถูกกราดยิงด้วยลำอิเลกตรอนก็จะถูกรวบรวมและแสดงผลเป็นสเปกตรัม จากผลการวิเคราะห์ที่ได้นี้ ทำให้สามารถระบุถึงธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อชิ้นงานบริเวณนั้นๆ รวมถึงสัดส่วนปริมาณของธาตุต่างๆ เปรียบเทียบกันได้ สเปคตรัมที่ได้จากบริเวณที่เป็นตำหนิจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสเปคตรัมของชิ้นงานตัวอย่างจากบริเวณอื่นที่ไม่มีตำหนิเพื่อระบุธาตุแปลกปลอมที่พบเฉพาะบริเวณตำหนิ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญอย่างหนึ่งในการเชื่อมโยงถึงสาเหตุของการเกิดตำหนิได้ในที่สุด

ในการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่าง ค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการเร่งอิเลกตรอน (acceleration voltage) ของ SEM เท่ากับ 20 kV และเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวม Characteristic X-rays ด้วย EDX เท่ากับ 100 วินาที เช่นเดียวกันสำหรับทุกตัวอย่าง

บทที่ 4
ผลการสำรวจข้อมูลด้านการจัดการ – ขั้นตอนการผลิต และการจัดจำแนกประเภทของตำหนิที่พบในผลิตภัณฑ์เซรามิก

จากการสำรวจข้อมูลการดำเนินงานของโรงงานเซรามิกโดยอาศัยแบบสอบถามเป็นสื่อและโดยการสัมภาษณ์โดยตรงจากเจ้าของกิจการหรือจากหัวหน้าฝ่ายผลิตจำนวนทั้งสิ้น 30 โรงงาน ได้ผลดังนี้

4.1) ผลการสำรวจข้อมูลการจัดการทั่วไป

4.1.1) โรงงานขนาดเล็ก

จากการสำรวจในอดีตพบว่ากว่าร้อยละ 90 ของโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกในภาคเหนือเป็นโรงงานขนาดเล็กเนื่องจากลงทุนน้อยและมีความคล่องตัวสูง [6] โรงงานขนาดเล็กมักจะเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนที่เกิดจากการลงทุนระหว่างญาติพี่น้อง เจ้าของกิจการเหล่านี้มักจะเคยเป็นพนักงานของโรงงานขนาดกลางหรือใหญ่มาก่อน จึงได้อาศัยความรู้ความชำนาญที่ได้รับการฝึกฝนเพื่อใช้ในการสร้างสรรผลิตภัณฑ์เซรามิกของตนเอง ถึงแม้จะมีทักษะและความชำนาญในด้านการผลิต แต่เจ้าของกิจการขนาดเล็กส่วนใหญ่จะขาดความชำนาญด้านอื่นๆ ได้แก่ด้านการตลาด ระบบคุณภาพ และด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการผลิต

เนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สูงนักดังนั้นตลาดที่รองรับสินค้าจากโรงงานเหล่านี้มักจะเป็นตลาดระดับล่างภายในประเทศ เนื่องจากโรงงานขนาดเล็กนี้มีจำนวนมาก ส่งผลให้อัตราการแข่งขันในตลาดสูง เมื่อประเทศไทยประสบปัญหาวิกฤติเศรษฐกิจตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 เป็นต้นมาโรงงานขนาดเล็กเหล่านี้จึงได้รับผลกระทบถึงขั้นต้องเลิกกิจการไปจำนวนหนึ่ง แต่เนื่องจากกิจการผลิตเซรามิกเป็นสิ่งที่สามารถทำได้ไม่ยากและอาศัยเงินลงทุนไม่สูงนัก โรงงานใหม่จึงเกิดขึ้นทดแทนอยู่เสมอ ทำให้จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกที่มีอยู่จริงไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

จากการสำรวจในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าลำปางมีโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดเล็กอีกหลายแห่งที่เปิดดำเนินการแต่ไม่ได้มีชื่อปรากฏในฐานข้อมูลของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโรงงานขนาดเล็กเหล่านี้มักจะมีสถานที่ตั้งอยู่ในบริเวณชุมชนที่ยากต่อการเดินทางไปสำรวจ และบางแห่งยังไม่ได้จดทะเบียนการค้า จากฐานข้อมูลของอุตสาหกรรมจังหวัดลำปางปีล่าสุด (พ.ศ. 2542) รายงานว่ามีโรงงานเซรามิกที่จดทะเบียนถูกต้องในจังหวัดลำปางจำนวน 175 โรงงาน แต่มีการรายงานว่าจำนวนโรงงานที่แท้จริงอาจจะมีสูงถึง 300 โรงงาน [2, 7]

ในด้านคุณภาพการผลิต โรงงานขนาดเล็กบางแห่งมีฝีมือในการผลิตชิ้นงานเซรามิกที่มีคุณภาพในระดับที่สามารถส่งออกต่างประเทศได้ ทั้งยังได้เปรียบในแง่ของความคล่องตัวในการปรับเปลี่ยน รูปแบบของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากโรงงานเหล่านี้ยังขาดการบริหารจัดการที่เป็นระบบและไม่มีบุคลากรด้านการตลาดและการค้าระหว่างประเทศ อีกทั้งผู้ประกอบการบางส่วนพอใจในลักษณะการดำเนินงานของโรงงานตนเองอยู่แล้วและเกรงว่าการขยายกิจการอาจจะนำมาซึ่งความเสี่ยง จึงมักจะไม่มีการขยายตลาดใหม่หรือเพิ่มกำลังการผลิต โรงงานขนาดเล็กหลายแห่งใช้วิธีรับงานจากโรงงานขนาดใหญ่ซึ่งรับงานมาจากต่างประเทศอีกทอดหนึ่ง ซึ่งในบางกรณีโรงงานขนาดเล็กจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายเองเมื่อผลิตภัณฑ์มีปัญหา กล่าวคือโรงงานขนาดใหญ่จะทำการคัดเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ไม่มีตำหนิเท่านั้น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิไม่ร้ายแรงเกินไปจะถูกขายไปยังตลาดภายในประเทศเป็นสินค้าราคาถูกหรือมีผู้มารับซื้อแบบเหมา และผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิรุนแรงก็จะถูกทิ้งไป

เมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์บางโรงงานอาจมีการขอความช่วยเหลือหรือการเข้ารับอบรมจากหน่วยงานราชการเช่นศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาจังหวัดลำปางบ้างแต่ยังจัดว่าเป็นส่วนน้อย เนื่องจากงานแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปจะต้องใช้เวลา ประกอบกับทางหน่วยงานราชการอาจมีจำนวนบุคลากรไม่เพียงพอในการให้ความช่วยเหลือ เจ้าของกิจการขนาดเล็กและกลางเหล่านี้จึงมักใช้วิธีแก้ปัญหาโดยวิธีลองผิดลองถูกด้วยตนเองหรือปรึกษาแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นกันในกลุ่มเพื่อนฝูง

4.1.2) โรงงานขนาดกลางและขนาดใหญ่

สำหรับโรงงานขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ในจังหวัดลำปาง มีการรวมตัวกันจัดตั้งเป็นสมาคม เซรามิกลำปางซึ่งในช่วงเวลาที่ทำการสำรวจมีสมาชิกประมาณ 63 โรงงาน พบว่ามีลักษณะการดำเนินงานที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือโรงงานในกลุ่มนี้ส่วนมากจะเน้นการผลิตสินค้าเพื่อการส่งออกเป็นหลักเนื่องจากความได้เปรียบด้านอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา เมื่อเปรียบเทียบกับโรงงานขนาดเล็กแล้ว โรงงานขนาดกลางและใหญ่จะมีความชำนาญด้านการตลาดและการติดต่อค้าขายระหว่างประเทศมากกว่า และมักจะมีระบบการบริหารจัดการที่ดีกว่า แต่เนื่องจากต้องใช้คนงานในการผลิตค่อนข้างมากจึงมักจะประสบปัญหาในเรื่องคุณภาพของแรงงานและการขาดแรงงานฝีมือ ด้วยเหตุที่โรงงานผลิตเซรามิกมีอยู่เป็นจำนวนค่อนข้างมาก จึงทำให้พนักงานที่ได้รับการฝึกฝนจนเกิดความชำนาญมักจะย้ายไปอยู่กับโรงงานอื่นที่มีข้อเสนอที่ดีกว่า หรือลาออกเพื่อเปิดกิจการเป็นของตัวเอง

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับที่ดีแต่ส่วนใหญ่ก็ยังเป็นการผลิตตามแบบที่กำหนดโดยผู้สั่งซื้อ ทำให้ได้ราคาต่อชิ้นที่ไม่สูงนัก การมุ่งสู่เข้าสู่ตลาดระดับบนโดยการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีรูปแบบเฉพาะของตนเองหรือผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติพิเศษที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทนี้ในปัจจุบัน

4.2) ผลการสำรวจด้านขั้นตอนการผลิต

การผลิตเซรามิกประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ หลายขั้นตอน เพราะฉะนั้นเพื่อให้เข้าใจง่ายจึงขอกล่าวถึงผลจากการสำรวจโดยเรียงลำดับตามขั้นตอนในการผลิต สำหรับข้อมูลด้านการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบและผลการจัดจำแนกประเภทของตำหนิที่พบในผลิตภัณฑ์จากโรงงานที่ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่าง ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

4.2.1) การเตรียมเนื้อดิน

การเตรียมเนื้อดินสำหรับการผลิตนั้นมีอยู่ 2 แบบคือเตรียมเนื้อดินขึ้นมาเองโดยการผสมดินชนิดต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่ต้องการ หรืออาจจะใช้ดินสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต เช่นคอมพาวด์เคลย์ เซอร์เคิลเซรามิกส์ บริษัทกิตติโรจน์ หรือไพศาลเซรามิก เป็นต้น จากการสำรวจพบว่าในปัจจุบันโรงงานเซรามิกส่วนใหญ่มักจะใช้ดินสำเร็จรูปซึ่งจะสามารถลดปัญหาด้านความไม่แน่นอนของคุณภาพของวัตถุดิบไปได้ระดับหนึ่ง เนื่องจากโรงงานผู้ผลิตวัตถุดิบมักจะมีระบบควบคุมคุณภาพที่ดีและมีระบบตรวจสอบที่เชื่อถือได้ เนื้อดินที่ซื้อมานั้นอาจจะอยู่ในรูปของน้ำดินหรือดินแผ่นขึ้นกับวิธีการขึ้นรูปของโรงงานนั้นๆ

สำหรับการเตรียมดินเองทางโรงงานมักจะซื้อดินชนิดต่างๆ มาผสมกันเช่น ดินขาวลำปาง ดินดำของบริษัทคอมพาวด์เคลย์ หรืออาจจะเป็นดินจากแหล่งต่างๆ ทั่วประเทศ เช่นดินจากสุราษฎร์ธานี ระยอง ราชบุรี เป็นต้น บางครั้งอาจจะมีการนำเศษดินที่เหลือจากการขึ้นรูปมาผสมลงไปใหม่ สำหรับการผสมดินเองมีปัญหาหลักคือความไม่แน่นอนของคุณภาพของเนื้อดินที่ได้ อย่างไรก็ตามบางโรงงานยังมีความต้องการที่จะใช้ดินผสมเองเพื่อลดต้นทุนการผลิต หรืออาจเพราะผลิตภัณฑ์บางชนิดจำเป็นต้องใช้ดินที่ผสมเอง เป็นต้น

ชนิดของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในแถบจังหวัดลำปางและเชียงใหม่มักจะเป็นเนื้อเทอราคอตตาซึ่งเป็นดินสีแดง โดยทั่วไปเมื่อเผาแล้วอาจมีสีน้ำตาล เหลือง ส้มหรือแดง สโตนแวร์ซึ่งมีสีออกครีมและมีน้ำหนักมาก พอร์ซเลนมีสีขาวมีความแกร่งสูงนิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเน้นสีขาวของเนื้อดินเช่นชุดอาหารเป็นต้น โดโลไมต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบามีสีขาว ทึบแสง นิยมทำตุ๊กตา และของชำร่วย ส่วนเนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เช่นโบนไชน่าซึ่งมีความโปร่งแสงและความแกร่งสูงไม่นิยมผลิตในแถบนี้

4.2.2) การเตรียมน้ำเคลือบ

เช่นเดียวกับการเตรียมเนื้อดิน การเตรียมน้ำเคลือบสามารถทำได้ 2 แบบคือการเตรียมน้ำเคลือบขึ้นมาเองโดยการผสมวัตถุดิบชนิดต่างๆ เช่นหินฟันม้าและหินควอทซ์ หรืออาจผสมขี้เถ้าด้วย ตามอัตราส่วนที่ต้องการ หรืออาจจะใช้น้ำเคลือบสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิตเช่นคอมพาวด์เคลย์ เซอร์เคิล

เซรามิกส์ ศิลปนครเป็นต้น สำหรับปัญหาของการเตรียมน้ำเคลือบใช้เองก็คล้ายกับการเตรียมเนื้อดินขึ้นเองคือความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพของน้ำเคลือบที่เตรียมได้อย่างไรก็ตามบางโรงงานยังมีความต้องการที่จะใช้น้ำเคลือบผสมเองเพื่อลดต้นทุนการผลิต หรืออาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์บางชนิดจำเป็นต้องใช้น้ำเคลือบสูตรเฉพาะตัวที่เตรียมขึ้นเอง เป็นต้น

4.2.3) การตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ

ก่อนการเผาสามารถตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบได้เป็นขั้นๆ ดังนี้ (สำหรับผลการสำรวจด้านการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบได้สรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 1)

4.2.3a) การชั่งน้ำหนักสาร พบว่าเฉพาะโรงงานขนาดกลางและใหญ่เท่านั้นที่มีการชั่งน้ำหนักสารเพื่อให้ได้ส่วนผสมตามที่ต้องการ ส่วนโรงงานขนาดเล็กมักจะอาศัยความชำนาญของช่างเช่น การตรวจสอบดูความหนืดอย่างคร่าวๆ หลังการผสม

4.2.3b) การตวงปริมาตร พบว่าเฉพาะโรงงานขนาดกลางและใหญ่เท่านั้นที่มีการตวงปริมาตร เช่น ในการเติมสารช่วยกระจาย (โซเดียมซิลิเกต) ในน้ำดินสำหรับการขึ้นรูปเทหล่อ

4.2.3c) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี จากการสำรวจ มีเพียงโรงงานขนาดใหญ่เพียงแห่งเดียวเท่านั้นที่มีการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ สำหรับโรงงานอื่นๆ อาจจะด้วยเหตุผลที่ว่าโรงงานเหล่านี้มักจะซื้อดินหรือน้ำเคลือบสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งทางโรงงานจะมีระบบตรวจสอบคุณภาพอยู่แล้ว ทางโรงงานจึงไม่ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพซ้ำ

4.2.3d) การวัดส่วนค้างบนตะแกรงร่อน อุปกรณ์ที่ใช้โดยทั่วไปคือตะแกรงร่อนที่มีขนาดช่องผ่านต่างๆกัน เช่น 80 เมช หรือ 120 เมช เป็นต้น ตัวเลขจำนวนเมชจะเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความละเอียดของตะแกรงร่อนกล่าวคือยิ่งตัวเลขสูงความละเอียดยิ่งสูง เพราะฉะนั้นตะแกรงร่อนขนาด 120 เมช จึงมีความความละเอียดกว่าตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช พบว่าเฉพาะโรงงานขนาดกลางและใหญ่เท่านั้นที่มีการวัดส่วนค้างบนตะแกรงร่อน

4.2.3e) การวัดความหนืด ความหนืดของน้ำดินที่เหมาะสมก็เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของงานเทหล่อ การวัดความหนืดสามารถทำได้หลายแบบ เช่นวัดการไหลตัวของของเหลวโดยผู้ชำนาญการ วิธีทำคืออาจจะใช้มือหรือวัสดุอื่นเช่นแท่งไม้จุ่มลงในของเหลวที่จะวัด แล้วดึงขึ้นมาดูการไหลตัวด้วยสายตาของผู้ทำการทดสอบ วิธีนี้ใช้กันทั่วไปในโรงงานขนาดเล็ก ข้อเสียคือความหนืดที่วัดได้ไม่แน่นอนขึ้นกับผู้ทำการทดสอบ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงผู้ทำการทดสอบ ความหนืดก็อาจเปลี่ยนไปด้วย หรืออาจดูการไหลตัวบนฝ่ามือซึ่งต้องใช้ผู้ชำนาญการเช่นกัน การวัดความหนืดอีกวิธีการหนึ่งคือใช้เครื่องวัดความหนืดที่เรียกว่า viscometer ซึ่งมักจะมีเพียงโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้นที่จะวัดความหนืดโดยวิธีนี้

4.2.3f) การวัดความหนาแน่น (ค่า ถ.พ.)* ความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของน้ำดินมีผลโดยตรงต่อคุณภาพและความสมบูรณ์ของชิ้นงานที่ได้จากการเทหล่อ การวัดความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของน้ำดินสามารถทำได้ง่ายๆโดยการวัดปริมาตรของวัตถุดิบ เมื่อทราบปริมาตรที่แน่นอนแล้วจึงนำไปชั่งหาน้ำหนัก ค่าความหนาแน่นสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล(กรัม)}}{\text{ปริมาตร(ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

หรืออาจวัดโดยใช้ขวด ถ.พ. ก็ได้

4.2.3g) ลักษณะหลังเผา การตรวจสอบคุณสมบัติหลังเผาของวัตถุดิบนับเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะเป็นตัวกำหนดขนาดของแบบในตอนเริ่มต้น และเป็นสิ่งที่ปรากฏแก่สายตาของผู้ซื้อ การตรวจสอบลักษณะวัตถุดิบหลังเผาที่สำคัญได้แก่

- **สีหลังการเผา** โดยปกติถ้าโรงงานรับงานมาจากต่างประเทศ ทางผู้สั่งงานมักจะส่งสินค้าต้นแบบเพื่อเป็นตัวอย่าง การทดสอบสีหลังการเผาจึงสามารถเปรียบเทียบสีของผลิตภัณฑ์กับสีของสินค้าต้นแบบ หรือถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ทางโรงงานออกแบบขึ้นเอง การทดสอบสีหลังการเผามักจะเทียบกับระบบสีที่ใช้เฉพาะในโรงงานนั้น ๆ หรือกำหนดตามความพึงพอใจของผู้ผลิตเป็นหลัก ยังไม่พบว่ามีโรงงานใดที่ใช้เครื่องวัดสีตามแบบมาตรฐานสากลในการทดสอบสีของผลิตภัณฑ์หลังการเผา
- **อัตราการหดตัว** สามารถทำการทดสอบอัตราการหดตัวโดยตรงกับตัวผลิตภัณฑ์หรือทดสอบโดยทำชิ้นทดสอบที่มีรูปทรงเรขาคณิตขึ้นมาแล้ววัดขนาดของชิ้นทดสอบก่อนและหลังเผา แล้วคำนวณออกมาเป็นร้อยละของการหดตัว การวัดอัตราการหดตัวมักจะทดสอบเฉพาะในโรงงานขนาดใหญ่ และโรงงานจะเลือกทำการทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหรือมีการสั่งซื้อวัตถุดิบงวดใหม่เป็นต้น

4.2.3h) ความแกร่ง การทดสอบความแกร่งของเนื้อผลิตภัณฑ์อาจทำโดยการขึ้นรูปชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นแท่งยาวโดยมีหน้าตัดเป็นรูปวงกลมหรือสี่เหลี่ยม ผ่านการเผาตามขั้นตอนการผลิต แล้วนำมาทดสอบหาความสามารถในการรับแรงกดสูงสุดด้วยเครื่องทดสอบความแกร่งเช่น การทดสอบแบบกดสามจุด (3-point-bend test) ซึ่งรายละเอียดมาตรฐานการทดสอบแบบอเมริกัน แสดงในเอกสารอ้างอิง **[8]**

4.2.3i) การดูดซึมน้ำ มักจะวัดอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของการดูดซึมน้ำ ซึ่งรายละเอียดวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกันสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง **[9]**

---

*__หมายเหตุ :__ หน่วยของความหนาแน่นที่นิยมใช้คือกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) เป็นต้น ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะ(ถ.พ.) คือตัวเลขที่บอกว่าสารนั้นมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 25 °C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.998 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือประมาณ 1.00 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะฉะนั้นจึงพอประมาณได้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำดินมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของน้ำดินเพียงแต่ไม่มีหน่วย

4.2.4) การขึ้นรูปชิ้นงาน

สามารถขึ้นรูปได้หลายวิธีเช่น ใช้แป้นหมุน (wheel throwing) หล่อน้ำดินแบบหล่อตัน (solid casting) และแบบเทออก (slip casting) จิกเกอร์และจอลลี (jiggering and jollying) โรลเลอร์แมชชีน (roller machine) อัดดินฝุ่น(dry powder pressing) หรืออัดดินเหนียว(Ram press or plastic pressing) เป็นต้น โดยปกติการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องจักรเช่นโรลเลอร์แมชชีน มักจะใช้เฉพาะโรงงานขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตสูง ส่วนโรงงานขนาดกลางและเล็กมักจะขึ้นรูปโดยใช้การหล่อน้ำดิน จิกเกอร์ หรือแป้นหมุน อย่างไรก็ตามการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของแต่ละโรงงานมักจะไม่ยึดติดกับวิธีการใดวิธีการหนึ่ง แต่อาจจะใช้หลาย ๆ วิธีประกอบกัน โดยขึ้นกับชนิดและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปเช่นแบบพิมพ์มักจะสั่งทำจากแหล่งผลิตในท้องถิ่น ส่วนเครื่องจักรนั้นมีทั้งสั่งทำจากบริษัทในจังหวัดลำปาง เช่นกิตติโรจน์เซรามิค หรือสมศักดิ์เซรามิค หรืออาจสั่งซื้อจากต่างประเทศเช่นประเทศอังกฤษ เยอรมัน ญี่ปุ่น หรือจีน และอาจจะเป็นเครื่องมือสอง วิธีการดูแลรักษาเครื่องจักรนั้นโรงงานขนาดใหญ่มักจะมีแผนกซ่อมบำรุงคอยตรวจสอบเครื่องจักรเป็นระยะๆ ในขณะที่โรงงานขนาดกลางมักจะใช้วิธีการสังเกตความผิดปกติในการทำงานของเครื่องจักรก่อนจะทำการซ่อมบำรุง

ส่วนวิธีการดูแลรักษาพิมพ์ปูนปลาสเตอร์นั้นบางโรงงานอาจจะใช้วิธีนับจำนวนครั้งที่ใช้เช่น 50-70 ครั้งจึงเลิกใช้พิมพ์นั้น ส่วนโรงงานขนาดเล็กมักจะใช้แบบพิมพ์ไปจนกระทั่งไม่สามารถพิมพ์ลายออกมาได้ชัดเจนจึงจะเลิกใช้

4.2.5) การอบแห้งชิ้นงาน

หลังจากขึ้นรูปแล้วผลิตภัณฑ์มักจะได้รับการผึ่งหรืออบแห้งเพื่อไล่ความชื้นได้ระดับหนึ่ง เพื่อเป็นการลดความรุนแรงของการหดตัวในขณะเผาและลดการแตกร้าวเสียหายของผลิตภัณฑ์ สำหรับโรงงานขนาดเล็กและกลางการทำชิ้นงานให้แห้งทำได้โดยการผึ่งแห้งในที่ร่มหรือกลางแดด เวลาในการผึ่งแห้งนั้นขึ้นกับความชื้นในอากาศเป็นหลัก กล่าวคือความชื้นในอากาศสูงเช่นวันที่ฝนตกการผึ่งแห้งอาจจะมากกว่า 1 วันแต่ถ้าในวันที่อากาศปรกติอาจใช้เวลาน้อยกว่า 12 ชั่วโมง แต่ถ้าเป็นการผึ่งแห้งกลางแดดอาจจะลดเวลาลงเหลือแค่ 2-3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการผึ่งแห้งจะต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะและขนาดของชิ้นงาน

ส่วนโรงงานขนาดกลางและขนาดใหญ่บางโรงงานอาจจะใช้วิธีการอบในเตาอบหรืออบแบบกระเช้าหมุน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบมักจะสัมพันธ์กันและสัมพันธ์กับขนาดของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือถ้าใช้อุณหภูมิสูงเวลาที่ใช้ในการอบมักจะสั้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเวลาที่ใช้ในการอบมักจะนานขึ้น แต่ทั้งนี้เวลายังขึ้นกับขนาดของชิ้นงาน ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ก็น้อยลงตามลำดับ

4.2.6) การตรวจสอบชิ้นงานหลังการอบแห้ง

การตรวจสอบชิ้นงานหลังการอบแห้ง ได้แก่ การวัดเปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนา เปอร์เซ็นต์ความชื้นหรือตรวจสอบตำหนิแบบต่าง ๆ เป็นต้น โดยทั่ว ๆ ไปโรงงานมักจะเพียงตรวจสอบตำหนิโดยการสังเกตด้วยตาเปล่า ส่วนการตรวจสอบอื่น ๆ นั้นแทบจะทุกโรงงานไม่มีการตรวจสอบเลย

4.2.7) การเผาชิ้นงาน

การเผาผลิตภัณฑ์ แบ่งได้เป็น 3 แบบ อย่างแรกคือ การเผาดิบหรือเผาบิสกิตที่อุณหภูมิต่ำ อย่างที่สองคือ การเผาที่อุณหภูมิสูงให้ผลิตภัณฑ์เกิดความแกร่งและเคลือบเกิดการหลอมตัว สำหรับผลิตภัณฑ์บางชนิดที่มีการใช้สีบนเคลือบจะต้องมีการเผาอย่างที่สาม คือการเผาสีบนเคลือบที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเผาแกร่งลงมาเพื่อให้สีมีติดอยู่บนเคลือบแน่น การเผาชิ้นงานนั้นบางโรงงานอาจจะไม่มีการเผาดิบแต่จะเผาแกร่งเลยก็เป็นได้ อุณหภูมิของการเผาดิบโดยทั่วๆไปจะอยู่ที่ประมาณ 700-850°C ส่วนอุณหภูมิของการเผาแกร่งจะขึ้นกับเนื้อดินเป็นหลัก แต่มักจะอยู่ในช่วงประมาณ 1200-1300°C ส่วนอุณหภูมิที่ใช้เผาสีบนเคลือบจะขึ้นกับสีที่ใช้เป็นหลักว่าเป็นสีอะไร ได้มาจากแหล่งใด อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้ทางโรงงานจะได้รับการแนะนำจากผู้จำหน่ายสี

4.2.8) การควบคุมการเผา

การควบคุมการเผา ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิในการเผาตลอดจนอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิเป็นต้น และการควบคุมบรรยากาศในการเผา เช่นการเผาแบบออกซิเดชั่นหรือแบบรีดักชั่น สำหรับการควบคุมบรรยากาศในเตาเผา บางโรงงานอาจจะใช้การสังเกตสีของเปลวไฟในกรณีที่เป็นเตาแกสหรือใช้การตั้งโปรแกรมที่เตาในกรณีที่เป็นเตาไฟฟ้า ส่วนอุณหภูมิในการเผาอาจจะมีการวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆของเตาโดยใช้การสังเกตสีเปลวไฟหรือการวัดด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิเช่น thermocouple แต่โดยทั่วไปโรงงานขนาดเล็กถึงขนาดกลางมักจะไม่มีการตรวจวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ภายในเตา แต่จะอาศัยเพียงการอ่านค่าจากชุดควบคุมของอุณหภูมิที่เตาโดยตรง ส่วนอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิก็มักจะใช้การสังเกตและควบคุมด้วยช่างควบคุมการเผาเป็นระยะ ๆ

4.2.9) การทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานหลังการเผา

สมบัติต่าง ๆ ที่อาจทดสอบได้แก่ ความแกร่ง ความแข็ง ความทนทานต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิ การดูดซึมน้ำ การทนต่อกรดด่างและสารเคมี การตรวจสอบตำหนิบนชิ้นงาน เป็นต้น ทั้งนี้จากการสำรวจพบว่าโรงงานเกือบทุกแห่งมักทำการตรวจสอบตำหนิบนชิ้นงานโดยทั่วๆไป ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ มักจะไม่ได้ทำการทดสอบนอกจากจะมีการกำหนดเป็นพิเศษจากผู้สั่งซื้อ เช่น ผู้ซื้อระบุว่าผลิตภัณฑ์นั้นสามารถใช้กับเครื่องไมโครเวฟหรือเตาอบได้ อาจจะต้องทำการทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นต้น

4.3) ผลการสำรวจและการจัดจำแนกประเภทของตำหนิที่เกิดกับผลิตภัณฑ์

สำหรับข้อมูลของการสำรวจด้านตำหนินั้นเป็นข้อมูลทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือข้อมูลส่วนหนึ่งได้จากการสำรวจโดยตรงทั้งจากการสอบถามเจ้าพนักงานที่ดูแลฝ่ายผลิตเอง และจากการเก็บตัวอย่างชิ้นงาน ส่วนข้อมูลอีกส่วนหนึ่งจะได้จากการตอบแบบสอบถามของผู้ดูแลกิจการหรือเจ้าพนักงานที่ดูแลฝ่ายผลิต แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้มีความหลากหลายมาก เพราะฉะนั้นเพื่อความเหมาะสมจึงขอสรุปผลการสำรวจในรูปแบบของตารางซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 2

จากผลการสำรวจจะเห็นค่อนข้างชัดเจนว่า โรงงานขนาดกลางและใหญ่มักจะมีปัญหาทางด้านตำหนิคล้ายคลึงกัน คือเป็นตำหนิที่เกิดขึ้นกับผิวเคลือบและมักจะพบเห็นหลังจากการเผาแกร่ง เช่น ตำหนิประเภทรูเข็ม เคลือบไม่ติด คราบเหลือง เคลือบเป็นฟอง (ตารางที่ 2 ในกรอบล่างขวา) เป็นต้น ในขณะที่ปัญหาหลักที่โรงงานขนาดเล็กมักจะพบคือตำหนิที่เกิดขึ้นกับตัวเนื้อดินหลังจากการเผาแกร่ง เช่นการบิดเบี้ยว ฉีก ร้าว (ตารางที่ 2 ในกรอบบนซ้าย) เป็นต้น อาจเป็นสาเหตุให้โรงงานขนาดเล็กมองว่าปัญหาตำหนิประเภทที่เกิดขึ้นบนเคลือบไม่ใช่ปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไข เพราะสินค้าที่มีตำหนิเหล่านั้นยังสามารถขายให้กับกลุ่มลูกค้าที่เป็นตลาดภายในประเทศได้ แต่สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวเนื้อดินคือปัญหาหลักเพราะทำให้ไม่สามารถขายสินค้าเหล่านั้นได้ ซึ่งต่างกับโรงงานขนาดกลางและใหญ่ที่มองว่าตำหนิที่เกิดบนเคลือบเหล่านี้คือปัญหาสำคัญ เนื่องจากความสวยงามสมบูรณ์แบบของผลิตภัณฑ์คือจุดขายที่สำคัญของสินค้า ตำหนิที่เกิดบนเคลือบเหล่านี้ทำให้สินค้าไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่ลูกค้าจากต่างประเทศเป็นผู้กำหนดและอาจต้องขายไปเป็นสินค้าเกรดรองที่ราคาต่ำลง ส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวเนื้อดินดังเช่นที่เกิดขึ้นกับโรงงานขนาดเล็กมักจะไม่พบในโรงงานขนาดกลางและใหญ่มากนัก ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการที่โรงงานขนาดใหญ่มักจะมีระบบการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบทุกขั้นตอนการผลิต มีการใช้เครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัย มีช่างผู้ชำนาญการมากกว่าจึงอาจจัดตำหนิที่เกิดกับเนื้อดินเป็นตำหนิขั้นพื้นฐานที่สามารถแก้ไขได้ไม่ยากนัก

จากการทดลองจัดจำแนกประเภทของตำหนิจากตัวอย่างชิ้นงานที่รวบรวมได้จากโรงงานต่างๆ สามารถจัดออกเป็น 7 ประเภท **(ภาพที่ 6-12)** ซึ่งตำหนิบางประเภทอาจจะมีการแยกย่อยลงไปอีกเพื่อความชัดเจน เช่นตำหนิประเภทการแตกร้าวจะแยกย่อยลงไปเป็นการแตกร้าวที่หูจับ การแตกร้าวที่ปาก หรือที่ก้นภาชนะ เป็นต้น อนึ่ง ตำหนิแต่ละประเภทมีมากกว่า 1 ตัวอย่างแต่มักจะมีลักษณะเดียวกัน คณะวิจัยจึงขอแสดงผลเฉพาะตัวอย่างที่เห็นชัดเจนเท่านั้น ได้แก่

ประเภทที่ 1 ชิ้นงานที่มีการแตกร้าว ได้แก่การแตกร้าวบริเวณรอยต่อของหูจับ **(ภาพที่ 6a)** การแตกร้าวบริเวณคอขวด **(ภาพที่ 6b)** การแตกร้าวบริเวณขอบ **(ภาพที่ 6c)** และการแตกร้าวบริเวณก้นภาชนะ **(ภาพที่ 6d)**

ประเภทที่ 2 การเกิดผด **(ภาพที่ 7a และ b)**

ประเภทที่ 3 การเกิดรูเข็ม **(ภาพที่ 8)**

ประเภทที่ 4 การเกิดจุดสี จากการปนเปื้อนจากสารประกอบของเหล็ก **(ภาพที่ 9)**

ประเภทที่ 5 การที่เคลือบไม่ติดซึ่งมีทั้งแบบที่เคลือบเกิดการหลุดลอกออก **(ภาพที่ 10a และ b)** และแบบที่เคลือบมีการพุพองแตกออก **(ภาพที่ 10c และ d)**

ประเภทที่ 6 การเกิดคราบเหลือง **(ภาพที่ 11)**

ประเภทที่ 7 การกะเทาะเนื่องจากสิ่งปนเปื้อนในเนื้อดินเกิดการขยายตัว **(ภาพที่ 12)**

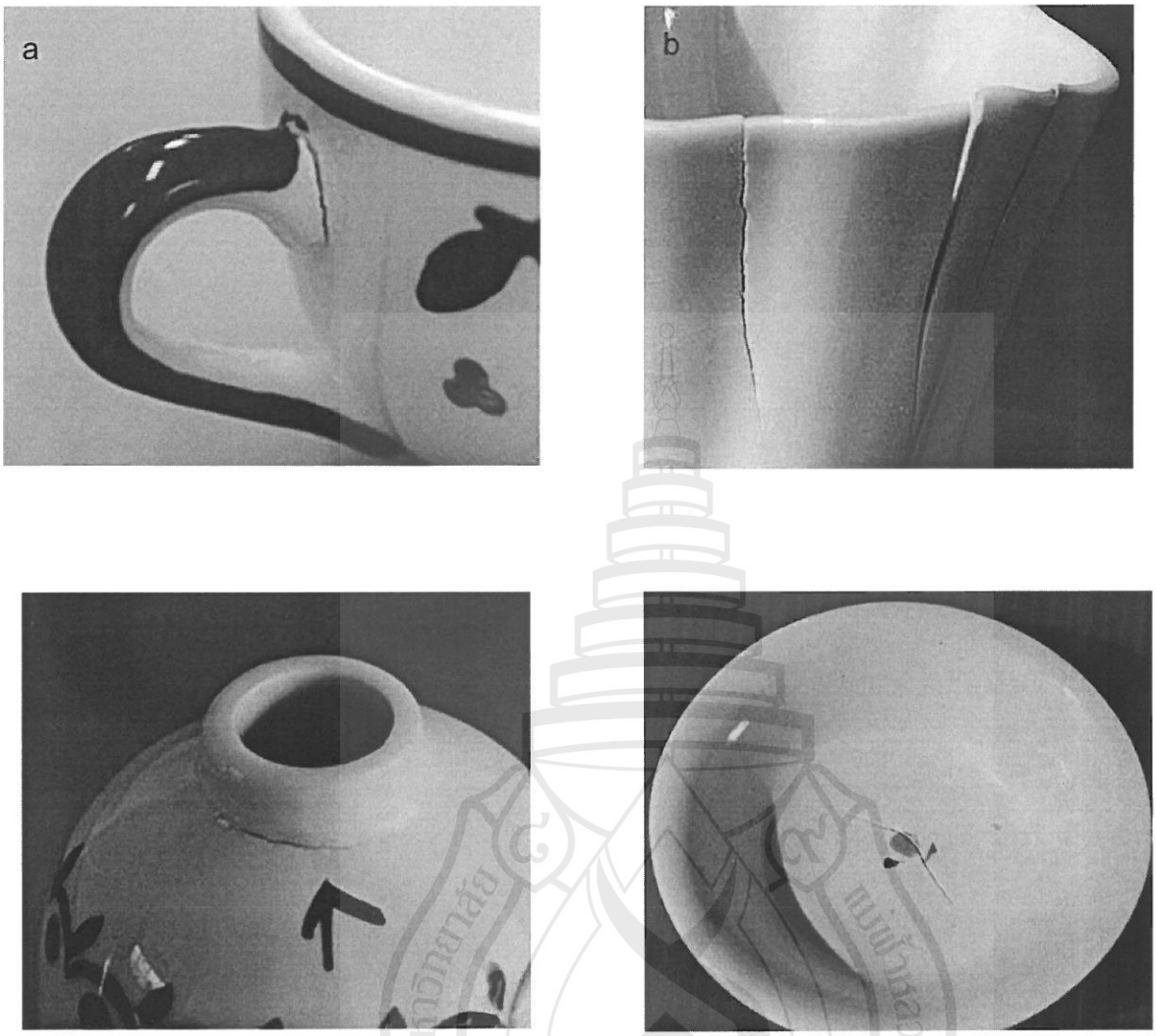
สำหรับผลการวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างตำหนิบางตัวอย่างจะกล่าวถึงต่อไปในบทที่ 5

ตารางที่ 1: ผลการสำรวจด้านการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบของโรงงาน

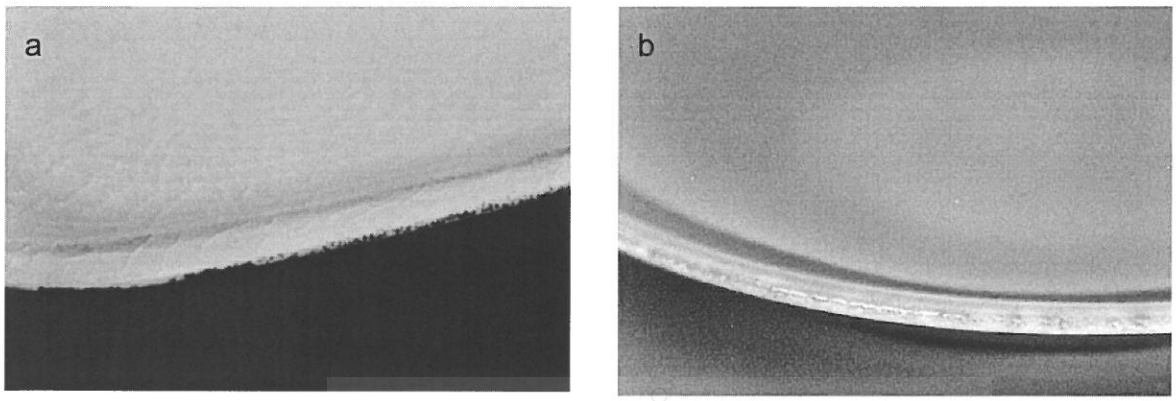
รหัสโรงงาน	มีการจดบันทึก	การชั่ง น.น.สาร	การตวงปริมาตร	องค์ประกอบทางเคมี	ส่วนค้างบนตะแกรง	ความหนาแน่นของน้ำดิน	ความหนืดของน้ำดิน	ตรวจสีหลังเผา	การหดตัวหลังเผา	ความแกร่ง	การดูดซึมน้ำ
เชียงใหม่ S01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เชียงใหม่ S02	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
เชียงใหม่ S03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
ลำปาง S01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลำปาง S02	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-
ลำปาง S03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลำปาง S04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลำปาง S05	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
ลำปาง S06	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-
เชียงใหม่ M01	✓	✓	✓	-	✓	-	-	✓	✓	-	-
ลำปาง M01	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	-	-
ลำปาง M02	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
ลำปาง M03	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลำปาง M04	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
ลำปาง M05	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลำปาง M06	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เชียงใหม่ L01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
ลำปาง L01	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	-	-	-
ลำปาง L02	✓	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-

ตารางที่ 2: สรุปผลการสำรวจด้านตำหนิ

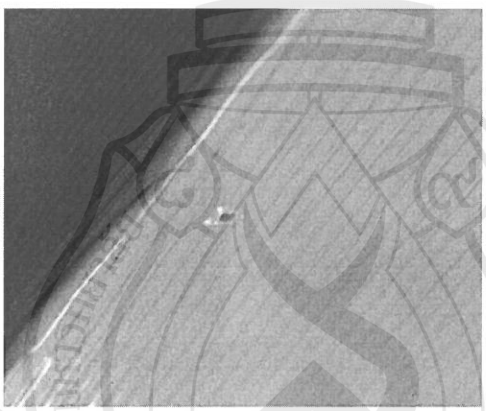
รหัสโรงงาน	วิธีการขึ้นรูป	ตำหนิที่พบก่อนเผาแกร่ง			ตำหนิที่พบหลังเผาแกร่ง									
		รูตามด	แตกร้าว	บิดเบี้ยว	ฉีก/ร้าว	รอยต่อไม่สนิท	บิดเบี้ยว	จุดดำจุดสี	รูเข็ม	เคลือบพองเป็นฟอง	เคลือบไม่ติด	คราบเหลือง	สีเพี้ยนสีด้าน	ลักษณะอื่นๆ
เชียงใหม่ S01	แป้นหมุน	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	จุดขาวในเนื้อ
เชียงใหม่ S02	เทหล่อ หล่อตัน	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-
เชียงใหม่ S03	แรมเพรส	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	
ลำปาง S01	จิกเกอร์ เทหล่อ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ร้าว
ลำปาง S02	จิกเกอร์	-	-	-	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	-	สีพอง
ลำปาง S03	เทหล่อ	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓	-
ลำปาง S04	เทหล่อ	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	บิ่น
ลำปาง S05	จิกเกอร์ เทหล่อ	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-
ลำปาง S06	จิกเกอร์ เทหล่อ	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-
เชียงใหม่ M01	จิกเกอร์ เทหล่อ	✓	-	-	✓	✓	-	✓	✓		-	✓	-	เคลือบไหล
ลำปาง M01	จิกเกอร์ เทหล่อ โรลเลอร์	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓		✓	✓	ราน
ลำปาง M02	จิกเกอร์ เทหล่อ	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	เคลือบเดือด
ลำปาง M03	จิกเกอร์	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
ลำปาง M04	แรมเพรส เทหล่อ แป้นหมุน	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	นูนเป็นแนว
ลำปาง M05	เทหล่อ หล่อตัน	-	-	-			✓		✓	✓	-	-	-	-
ลำปาง M06	จิกเกอร์ เทหล่อ	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
เชียงใหม่ L01	เทหล่อ โรลเลอร์	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	สีถลอก
ลำปาง L01	หล่อตัน เทหล่อ โรลเลอร์	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-	✓	ราน, เคลือบย้อย
ลำปาง L02	ไม่มีข้อมูล	✓	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-
ลำปาง L03	เทหล่อ ปั้น	-	-	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	แอ่น ยุบตัว



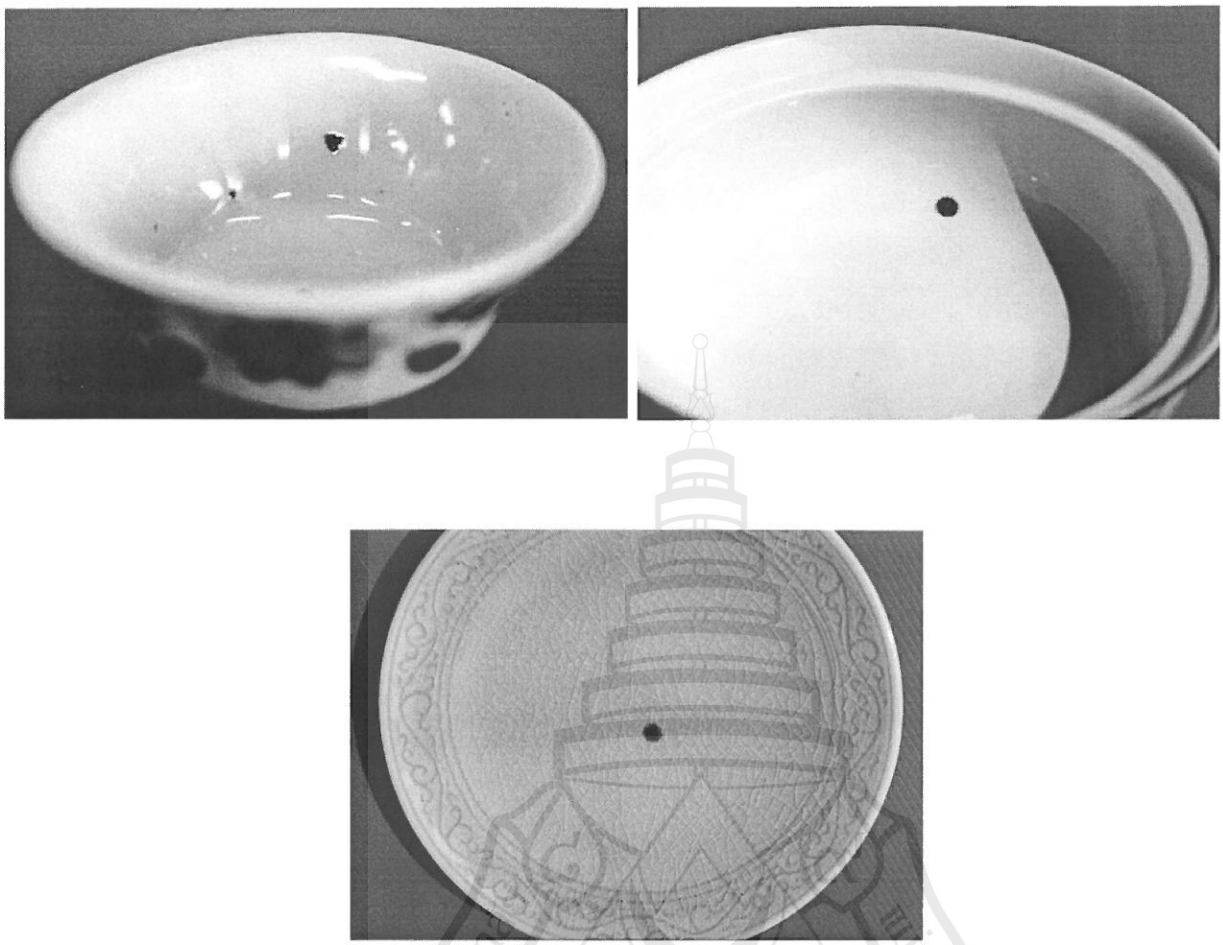
ภาพที่ 6: ภาพแสดงการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์บริเวณต่างๆ (a) ได้แก่การแตกร้าวบริเวณรอยต่อของหูจับ (b) การแตกร้าวบริเวณคอขวด (c) การแตกร้าวบริเวณขอบ และ (d) การแตกร้าวบริเวณก้นภาชนะ



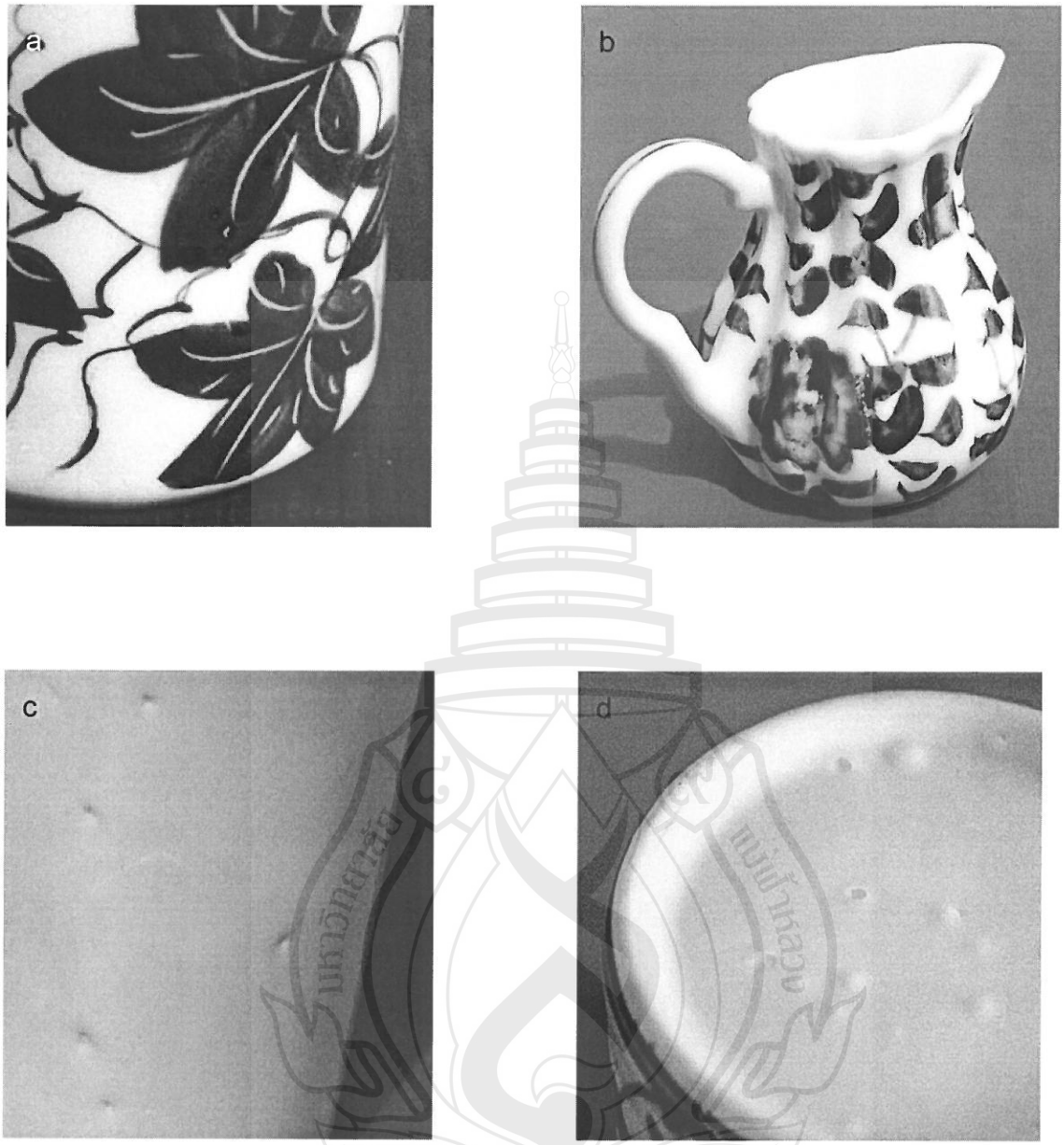
ภาพที่ 7(a) และ (b): แสดงการเกิดผดที่บริเวณขอบของผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจเกิดจากการตกผลึกของเกลือโลหะ



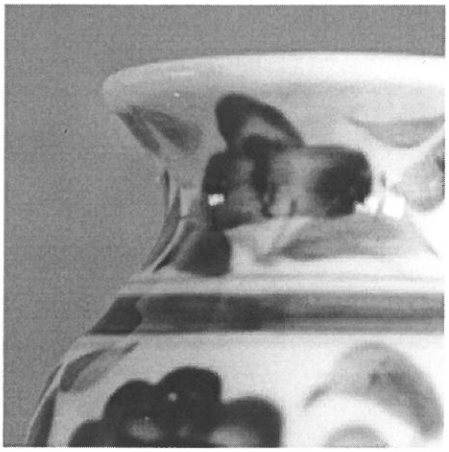
ภาพที่ 8: แสดงการเกิดตำหนิแบบรูตามดที่บริเวณผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์



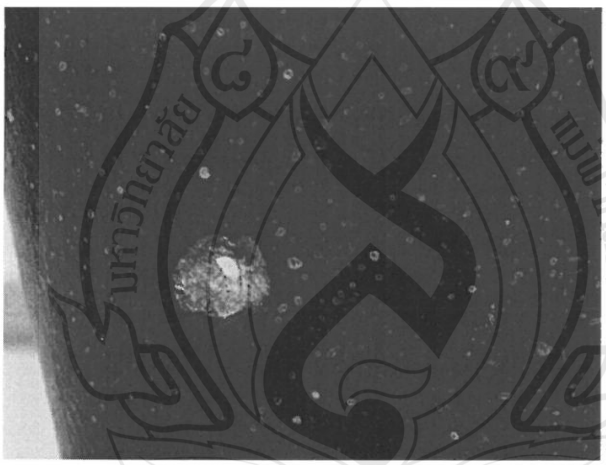
ภาพที่ 9: แสดงการเกิดจุดสีบนผิวของผลิตภัณฑ์ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์ โดยสังเกตจากสีของจุดสี



ภาพที่ 10: แสดงการที่เคลือบไม่ติดซึ่งมีทั้งแบบ (a), (b) ซึ่งเคลือบเกิดการหลุดลอกออก และ (c), (d) แบบที่เคลือบมีการพุพองแตกออก



ภาพที่ 11: แสดงการเกิดคราบเหลืองบนผิวเคลือบของผลิตภัณฑ์ซึ่งสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นสารประกอบของโลหะอัลคาไลน์ เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียม



ภาพที่ 12: แสดงการเกิดการกะเทาะของผลิตภัณฑ์ สังเกตว่าที่เนื้อดินมีสิ่งปนเปื้อนสีขาวปรากฏอยู่ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุของการกะเทาะนี้

บทที่ 5
การวิเคราะห์ตรวจสอบตำหนิในผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคทางจุลภาค

เทคนิคการการวิเคราะห์ตรวจสอบทางจุลภาค

เทคนิคการวิเคราะห์ทางจุลภาค เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับใช้ศึกษาตำหนิประเภทที่เกิดขึ้นเฉพาะจุดเช่น ตำหนิประเภทจุดสี คราบเหลือง เคลือบเป็นผด หรือ รูเข็ม ซึ่งอาจมีสาเหตุจากสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนเข้าไปกับวัตถุดิบในขั้นตอนต่าง ๆ ส่วนตำหนิบางประเภท อาจต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตรวจสอบหาสาเหตุด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น ตำหนิประเภทแตกร้าว เคลือบราน ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยว เป็นต้น

เทคนิคการวิเคราะห์ทางจุลภาคที่มีความสามารถสูง เช่น การใช้ EDX (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถให้ข้อมูลขององค์ประกอบทางเคมีจากตำแหน่งที่เกิดตำหนิได้ และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีจากบริเวณที่เกิดตำหนิกับบริเวณปกติที่อยู่ใกล้เคียงกัน ทำให้ทราบได้ทันทีว่าสารเคมี หรือธาตุที่แปลกปลอมเหล่านั้นได้แก่ธาตุอะไรบ้าง ส่วนรายละเอียดหลักการพื้นฐานของเทคนิคนี้ได้กล่าวถึงแล้วในบทที่ 3

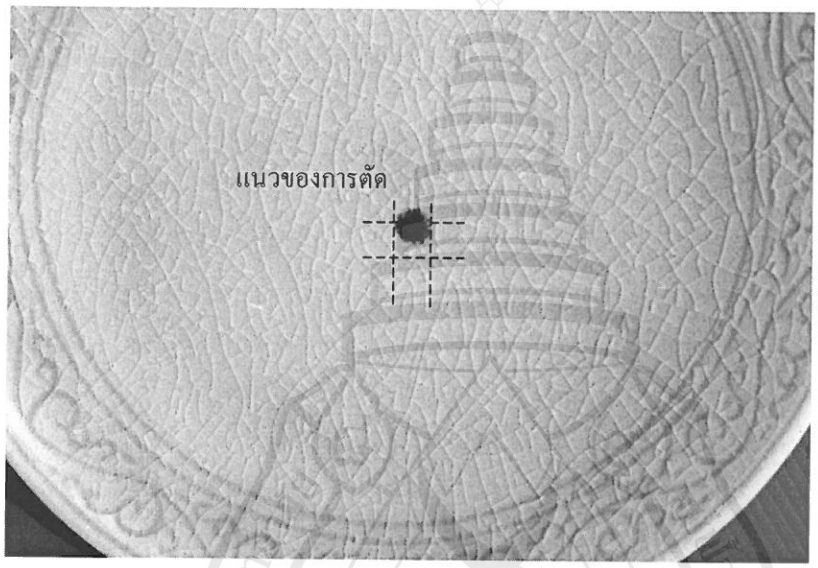
อย่างไรก็ตามกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดก็มีข้อจำกัดคือ สามารถใช้ศึกษาเฉพาะข้อมูลจากผิวของตัวอย่างเท่านั้น การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่แม้จะไม่ซับซ้อนแต่สามารถให้ข้อมูลของบริเวณที่อยู่ลึกลงไปในผิวของเคลือบได้ รวมทั้งให้ข้อมูลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ "สี" ที่ถูกต้อง เป็นเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ทั้งแบบอิเล็กตรอนและแบบแสง ร่วมกับข้อมูลด้านการผลิตจากฝ่ายการผลิต ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการแก้ปัญหาด้านตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์

สำหรับประเภทของตำหนิที่เลือกนำมาทำการวิเคราะห์เป็นกรณีศึกษา ได้แก่

1. **ตำหนิประเภทจุดดำ**
2. **ตำหนิประเภทเคลือบไม่เกาะ**
3. **ตำหนิประเภทคราบเหลือง**
4. **ตำหนิประเภทกะเทาะ**

<u>กรณีศึกษาที่ 1</u> **ตำหนิประเภทจุดดำ (specks)**

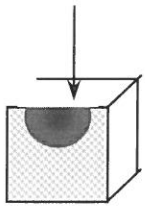
ตำหนิประเภทจุดดำที่นำมาศึกษานี้เป็นตำหนิที่พบในจานเคลือบเซลาดอน ตำหนิมีขนาดใหญ่ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ประมาณ 6 มิลลิเมตร (ภาพที่ 13) และมองเห็นได้ชัดเจนว่าเกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดของเคลือบ สมมุติฐานในเบื้องต้นคือ ตำหนิน่าจะเกิดจากการปนเปื้อนของผงโลหะเช่นเหล็ก หลังจากที่ผลิตภัณฑ์ผ่านขั้นตอนการชุบน้ำเคลือบแล้ว หรือเกิดขึ้นในระหว่างเผาเคลือบ



ภาพที่ 13 ตำหนิประเภทจุดดำ และรอยการตัดเพื่อเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

<u>การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์</u>

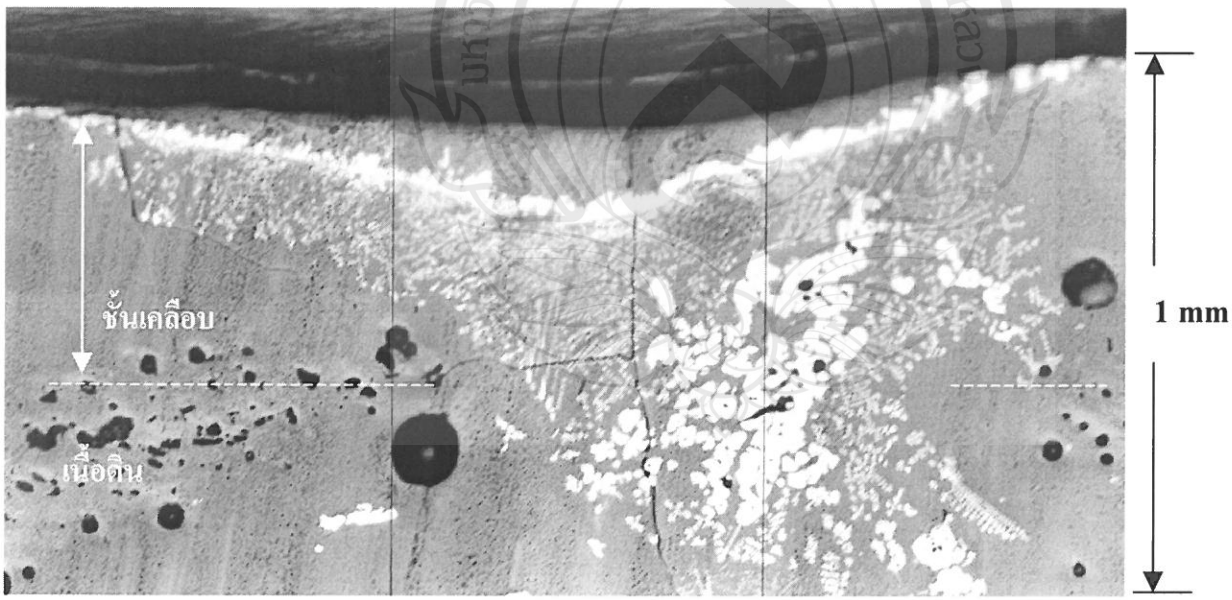
สำหรับตำหนิลักษณะเช่นนี้ การศึกษาภาพตัดขวางของตัวอย่างน่าจะให้รายละเอียดและลักษณะของตำหนิจุดดำได้ชัดเจนที่สุด ดังนั้นตัวอย่างจึงถูกนำมาตัดด้วยเครื่องตัดตัวอย่างอัตโนมัติที่ใช้ใบมีดตัดเพชรโดยให้รอยตัดผ่านบริเวณตำหนิดังแสดงในภาพที่ 13 จากนั้นทำการขัดผิวรอยตัดด้านที่แสดงในภาพที่ 14 ให้เรียบโดยใช้แผ่นขัดชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ ก่อนนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ต่อไป



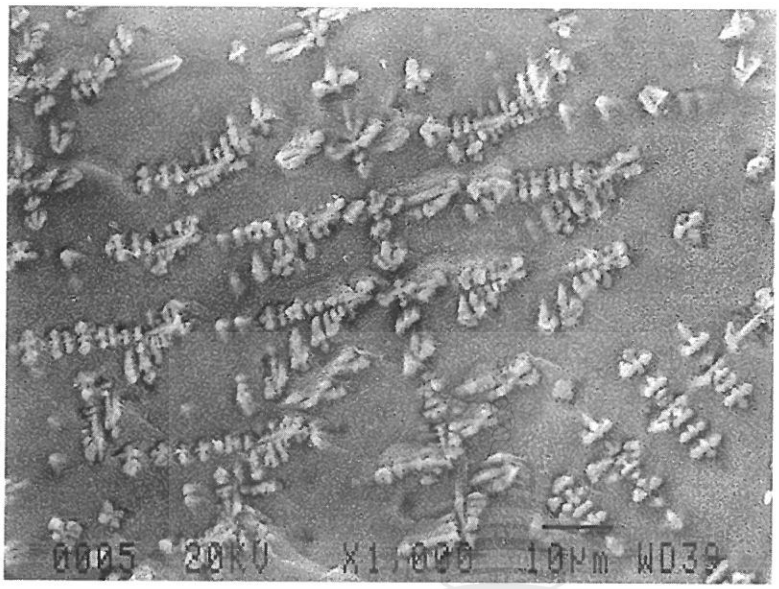
ภาพที่ 14 ผิวด้านที่ตัดและขัดเพื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

ผลการตรวจสอบ

จากภาพพื้นผิวของจุดดำบนผิวเคลือบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง พบว่าบริเวณกึ่งกลางของจุดดำซึ่งอยู่ลึกลงไปใต้ชั้นเคลือบนั้นมีสีเข้มที่สุด และบริเวณที่ห่างจากจุดกึ่งกลางมากขึ้น ความเข้มของสีจะลดลงเรื่อย ๆ จนเห็นได้ว่ามีสีน้ำตาลแดงคล้ายสีของสนิมเหล็ก ส่วนภาพตัดขวางของบริเวณที่มีตำหนิซึ่งแสดงไว้ดังภาพที่ 15 แสดงให้เห็นถึงการหลอมตัวของเนื้อดินซึ่งสังเกตได้จากรูพรุนที่ลดลงเมื่อเทียบกับเนื้อดินบริเวณอื่นรอบ ๆ บริเวณที่เนื้อดินมีการหลอมตัวจะปรากฏผลึกของสารประกอบลักษณะต่าง ๆ ที่กระจายอยู่บริเวณที่ปรากฏเป็นจุดตำหนิสีดำ ส่วนภาพขยายของผลึกบางส่วนได้แสดงไว้ในภาพที่ 16



ภาพที่ 15 ภาพตัดขวางบริเวณตำหนิประเภทจุดดำ

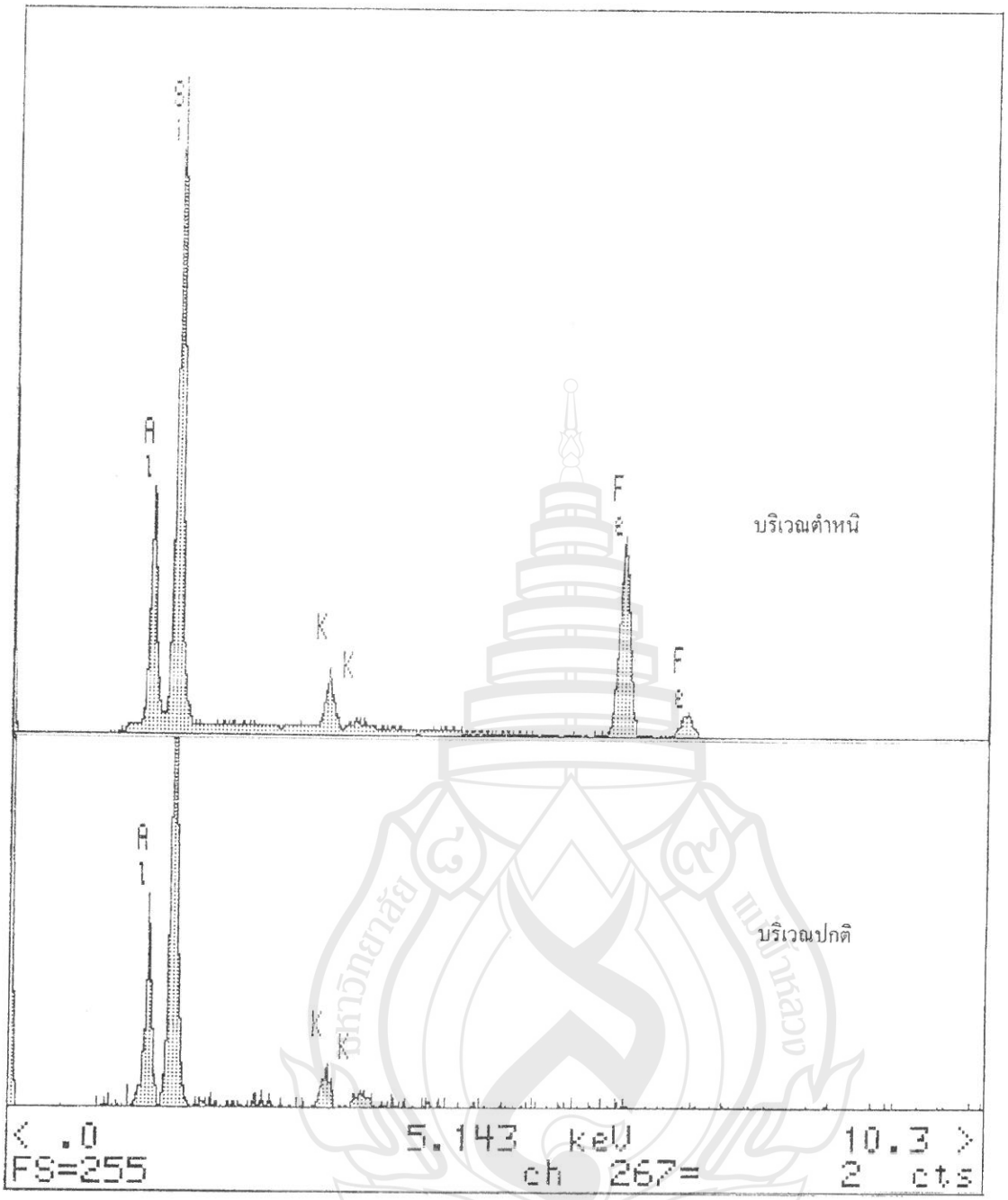


ภาพที่ 16 ภาพขยายของตำหนิบริเวณที่ปรากฏผลึกของสารประกอบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินบริเวณที่เกิดตำหนิเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นที่เป็นปกติโดยใช้เทคนิค EDX ดังภาพที่ 17 พบว่า บริเวณที่ปรากฏเป็นจุดสีดำนั้นมีเหล็ก (Fe) ปะปนอยู่อย่างชัดเจน แต่จากการวิเคราะห์เนื้อดินบริเวณอื่น ๆ กลับไม่พบว่ามีเหล็กปนอยู่เลย เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์นี้ร่วมกับภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง สรุปได้ว่าจุดดำที่ปรากฏในผิวเคลือบน่าจะเกิดจากสะเก็ดสิ่งแปลกปลอมขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก ปะปนมากับวัตถุดิบในขั้นตอนต่าง ๆ ก่อนที่จะผ่านการเคลือบด้วยน้ำเคลือบและฝังตัวอยู่บริเวณผิวหน้าของเนื้อผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นระหว่างการเผาเคลือบความร้อนภายในเตาเผาทำให้เกิดการแพร่ของเหล็กกระจายไปทั้งในชั้นเคลือบและเนื้อดินโดยแผ่ออกเป็นบริเวณกว้าง เมื่อมองด้วยตาเปล่าจึงเห็นเป็นจุดสีดำขนาดใหญ่ดังปรากฏในภาพที่ 13

หากพบว่าเกิดตำหนิประเภทนี้ขึ้นบ่อยครั้งกับผลิตภัณฑ์ อาจต้องใช้วิธีการกรองผ่านตะแกรงร่อนที่มีความละเอียดมากขึ้นหรือใช้เครื่องแยกอนุภาคเหล็กด้วยสนามแม่เหล็ก รวมถึงการสำรวจสถานที่ผลิตหรือสอบถามข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เพื่อระบุให้ได้ถึงต้นเหตุที่มาที่แท้จริงของเหล็กที่วิเคราะห์พบในตำหนินั้น ๆ

นอกจากนี้ ธาตุเหล็กที่ปะปนมายังทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อดินเกิดเป็นสารประกอบอื่นดังที่ปรากฏให้เห็นเป็นผลึกในภาพที่ 15 และ 16 ซึ่งสำหรับทางวัสดุศาสตร์แล้วเป็นสิ่งที่น่าสนใจทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงชนิด โครงสร้างและสมบัติของสารประกอบเหล่านี้

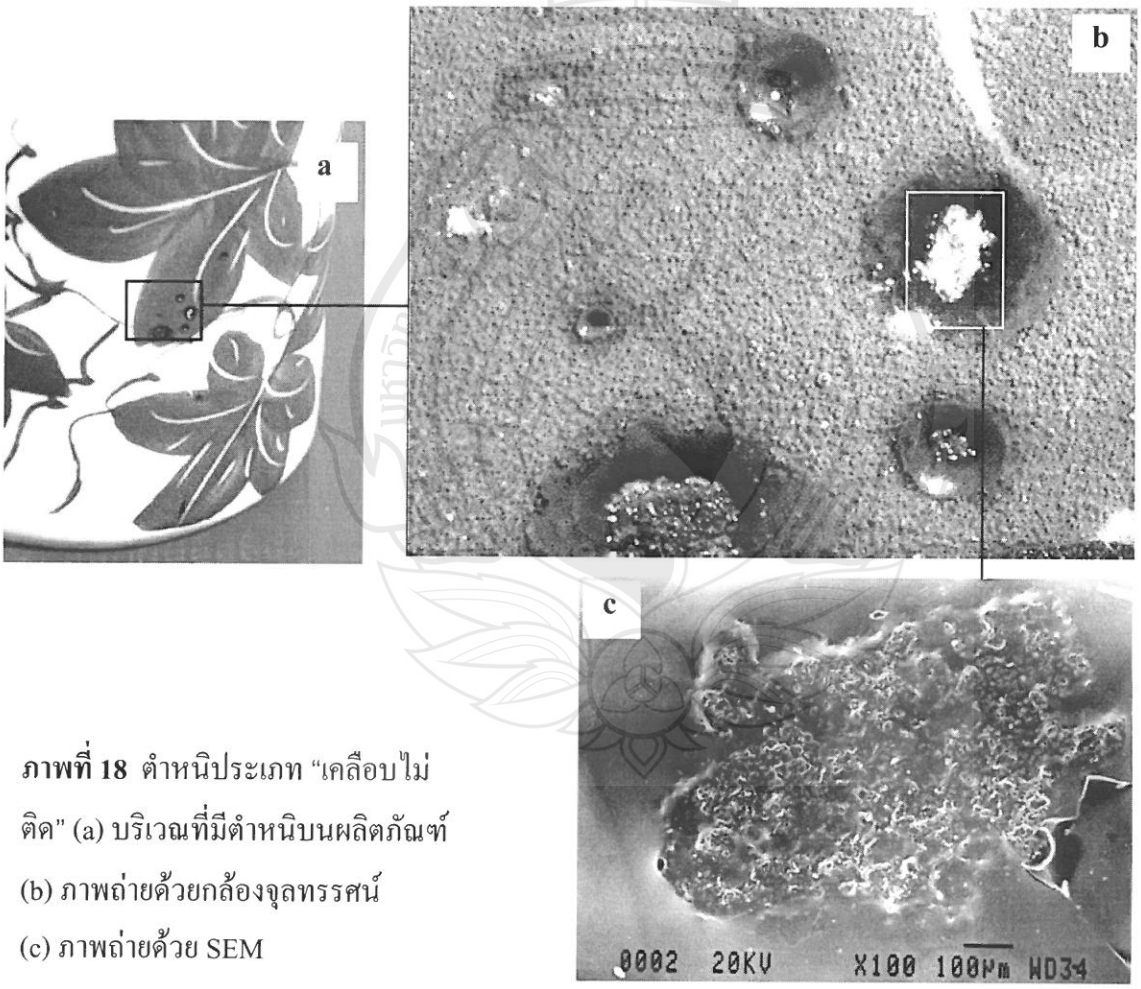


ภาพที่ 17 Chemical micro-analysis ของผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิประเภท "จุดดำ" โดยเทคนิค EDX

<u>กรณีศึกษาที่ 2</u> **ตำหนิประเภทเคลือบไม่ติด**

ตำหนิที่จัดเป็นประเภท "เคลือบไม่ติด" มีได้หลายลักษณะ เช่น การที่เคลือบบางจุดไม่เกิดการยึดเกาะกับเนื้อดิน (Crawling) หรืออาจเกิดการหลุดลอกออก (Peeling) หรือตำหนิลักษณะอื่นที่ใกล้เคียงกันนี้ ซึ่งตามที่เอกสารอ้างอิงได้กล่าวไว้อาจมีสาเหตุการเกิดได้หลายอย่าง เช่นความสกปรกของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะผ่านขั้นตอนการเคลือบ ขนาดอนุภาคของเคลือบหรือองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น

<u>ผลการตรวจสอบ</u>

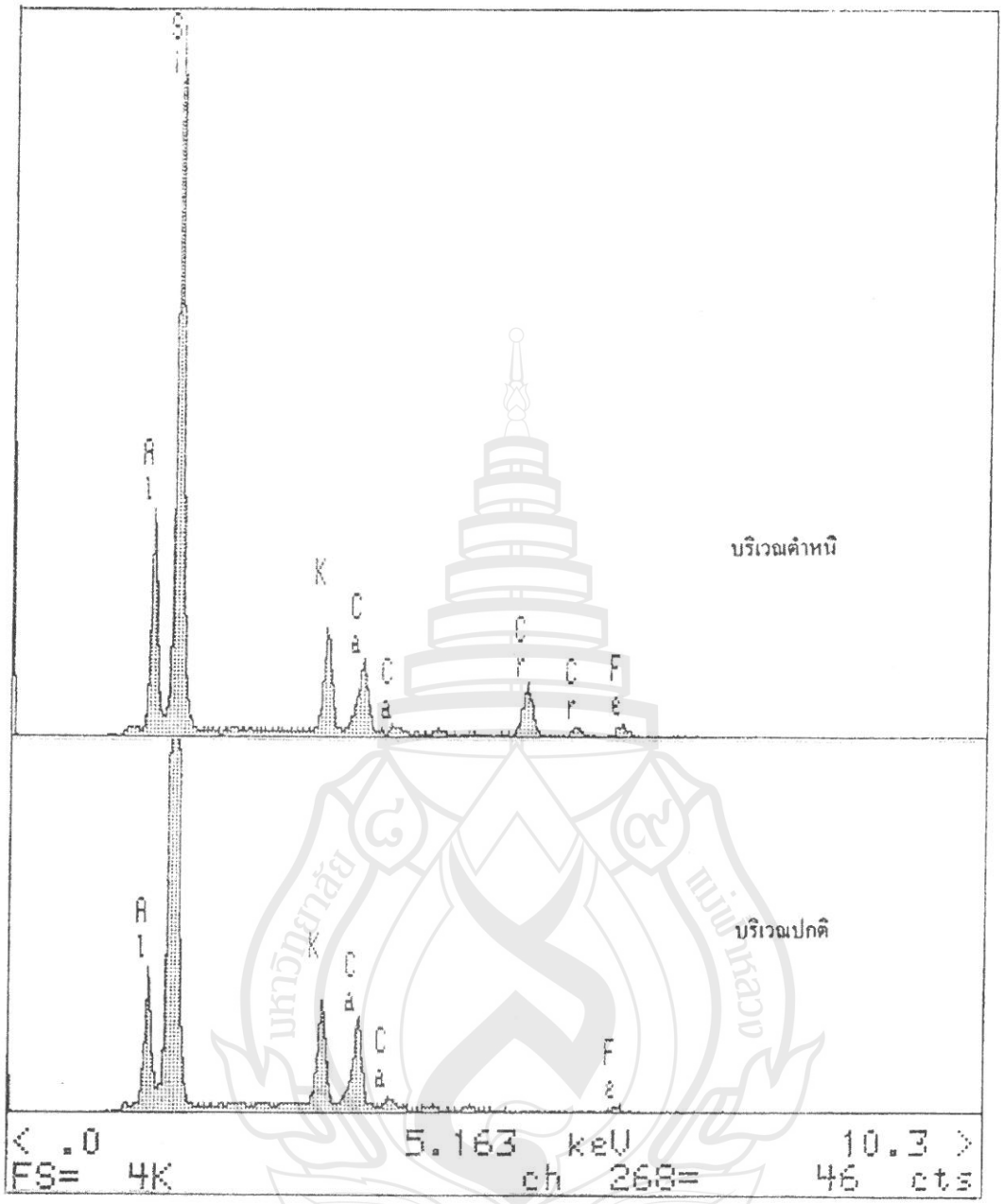


ภาพที่ 18 ตำหนิประเภท "เคลือบไม่ติด" (a) บริเวณที่มีตำหนิบนผลิตภัณฑ์ (b) ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ (c) ภาพถ่ายด้วย SEM

สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษานี้ เป็นกาน้ำชาเนื้อพอร์ซเลนพื้นสีขาวเขียนลายสีเขียวใต้เคลือบใส จากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและกล้องจุลทรรศน์แบบแสงพบว่าตำหนิเกิดขึ้นเพียงบริเวณเดียวบนผิวของผลิตภัณฑ์ ผิวเคลือบบริเวณที่เกิดตำหนิมีลักษณะยุบเป็นหลุมหลายจุดในบริเวณใกล้กัน บางหลุมที่มีขนาดใหญ่กว่าตำหนิจะลึกจนถึงเนื้อดินแต่หลุมที่มีขนาดเล็กกว่าตำหนิก็อาจจะเกิดไม่ลึกจากผิว ดังภาพที่ 18 แสดงให้เห็นว่าตำหนิน่าจะมีจุดเริ่มต้นจากผิวนอกสุดของชั้นเคลือบ ไม่ได้มีจุดกำเนิดจากใต้ผิวเคลือบหรือจากเนื้อดิน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย EDX ของตำแหน่งที่เกิดตำหนิเปรียบเทียบกับตำแหน่งใกล้เคียงที่มีลักษณะปกติ ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 19 ซึ่งพบว่าบริเวณตำหนิมีโครเมียม (Cr) เป็นสารแปลกปลอม ซึ่งไม่พบในเคลือบที่มีลักษณะปกติ ส่วน Fe หรือเหล็กนั้นพบในบริเวณที่เป็นปกติในปริมาณเล็กน้อยแต่บริเวณที่มีตำหนิพบเหล็กเป็นปริมาณที่สูงกว่า อีกทั้งสัดส่วนของ Al (อลูมิเนียม) ต่อ Si (ซิลิกอน)ในจุดที่เป็นตำหนิก็สูงขึ้น หากเตาที่ใช้ในการเผาเคลือบเป็นเตาไฟฟ้า ขดลวดความร้อนของเตาไฟฟ้าส่วนมากจะเป็นโลหะผสมระหว่าง Fe-Cr-Al (เหล็ก-โครเมียม-อลูมิเนียม) ดังนั้นข้อสันนิษฐานแรกจากหลักฐานการวิเคราะห์ทางจุลภาค ประกอบกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีโดย EDX ก็คือ ระหว่างการเผาเคลือบนั้น ขดลวดความร้อนส่วนที่มีการสึกหรอจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอื่นจนอาจเกิดการประทุและสะเก็ดเล็ก ๆ นั้นอาจตกลงบนผิวของผลิตภัณฑ์ และเมื่อทำปฏิกิริยากับเคลือบที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้เกิดเป็นตำหนิดังที่ปรากฏ ทำให้ตรวจพบแคดเมียม เหล็ก และ อลูมิเนียมในสเปกตรัมจากตำแหน่งที่มีตำหนิมากกว่าจากบริเวณอื่น ๆ ของผิวเคลือบ

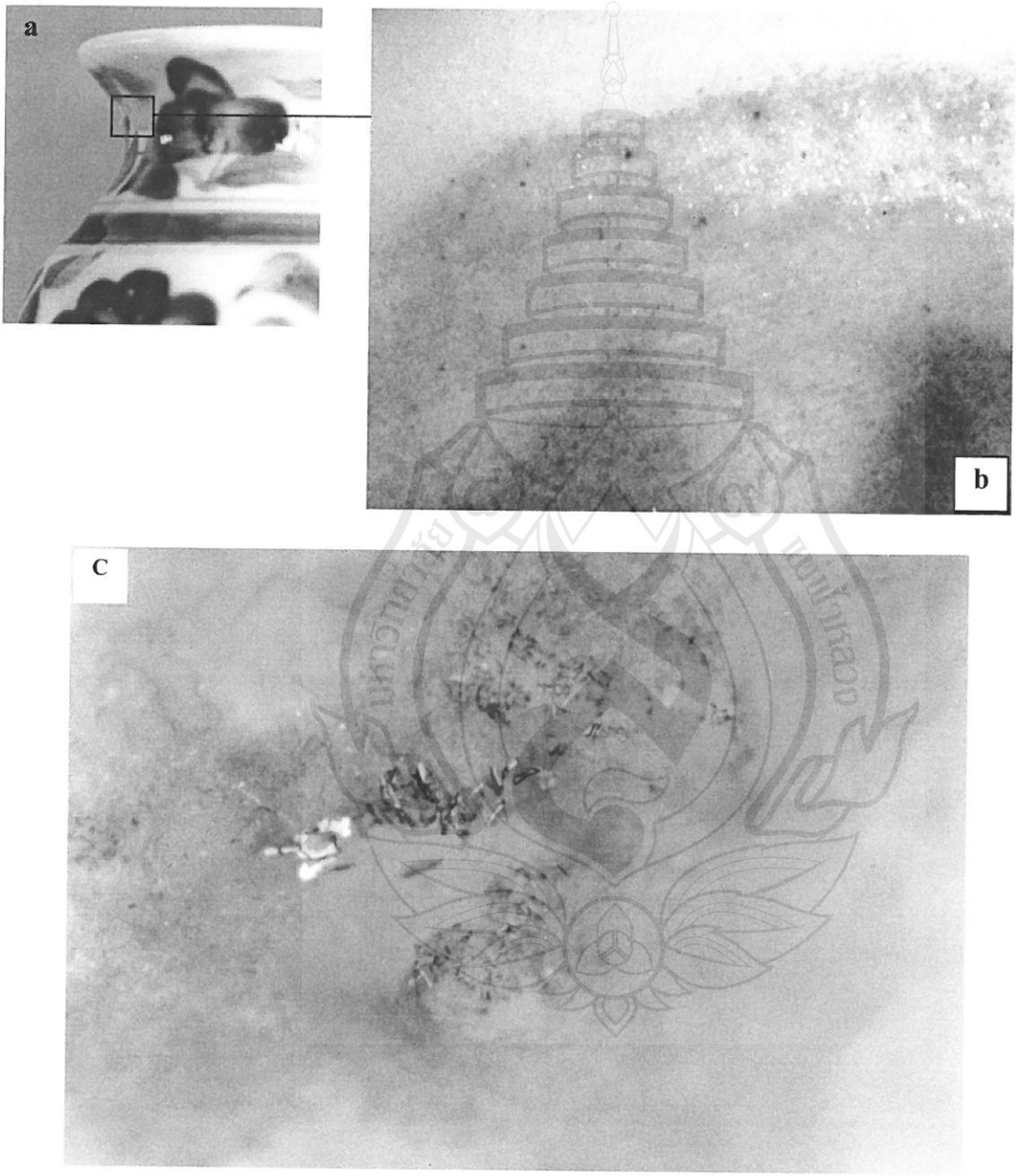
ข้อสันนิษฐานอื่นๆ สำหรับแหล่งที่มาของ เหล็ก(Fe) โครเมียม(Cr) และ อลูมิเนียม(Al) ก็คือจากเครื่องมืออื่นที่ใช้ในโรงงานผลิตนั้น ที่อาจทำมาจากเหล็กที่ชุบหรือเคลือบผิวด้วยโครเมียม และชั้นผิวโครเมียมที่เคลือบนั้นอาจเกิดการหลุดร่อนและตกลงบนผิวของผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าคิดถึงขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ รวมทั้งตำแหน่งของตำหนิบนผลิตภัณฑ์ซึ่งพบว่าเกิดขึ้นหลังจากการเคลือบแล้ว โอกาสที่สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะมาติดบนผลิตภัณฑ์มีค่อนข้างต่ำ เพราะฉะนั้นข้อสันนิษฐานแรกจึงน่าจะเป็นข้อที่เป็นไปได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามหากจะให้มั่นใจอาจต้องทำการสำรวจและสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากทางโรงงานผู้ผลิตอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 19 Chemical micro-analysis ของผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิประเภท "เคลือบไม่ติด" โดยเทคนิค EDX

<u>กรณีศึกษาที่ 3</u> ตำหนิประเภทคราบเหลือง

คราบเหลือง เป็นตำหนิประเภทที่พบได้จากหลายแหล่งผลิต มักจะเกิดขึ้นเพียงบางตำแหน่ง หรือบางส่วนของผลิตภัณฑ์เช่นบริเวณขอบของผลิตภัณฑ์และอาจปรากฏเป็นคราบสีเหลืองหรือสีส้ม (ดังภาพที่ 20a-b) เป็นต้น สำหรับสาเหตุของการเกิดตำหนิประเภทนี้ทางคณะผู้วิจัยยังไม่พบเอกสารอ้างอิงที่ได้ศึกษาวิจัยหรือกล่าวถึงสาเหตุที่มาที่ชัดเจนของตำหนิประเภทนี้เลย

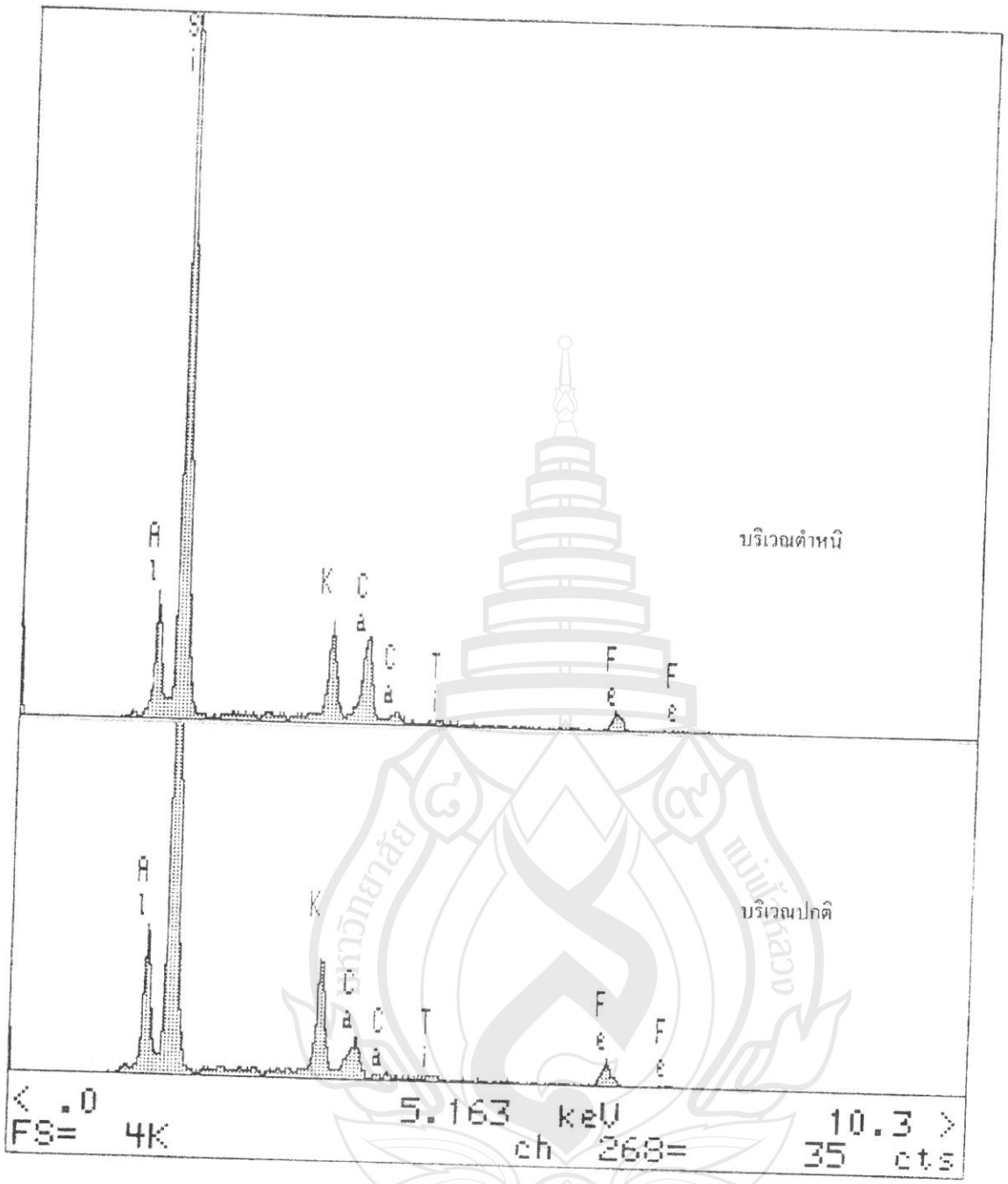


ภาพที่ 20 (a) ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์บริเวณที่เกิดคราบเหลือง และ (b)-(c) ภาพขยายของบริเวณที่เป็นคราบสีเหลืองภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงชนิด Compound Microscope ที่กำลังขยายประมาณ 400 เท่า โดยโฟกัสให้ลึกจากผิวเข้าไปในเนื้อของชั้นเคลือบ พบว่าคราบสีเหลืองประกอบไปด้วยกระจุกของสารสีเหลืองแกมส้มที่อยู่รวมกับกลุ่มอนุภาคสีแดงรูปร่างคล้ายเข็ม กระจายอยู่เป็นกลุ่มๆ ในเนื้อของเคลือบ ดังแสดงในภาพที่ 20c

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเคลือบตำแหน่งที่เกิดคราบสีเหลืองด้วย EDX ดังภาพที่ 21 พบว่ามีเฉพาะธาตุแคลเซียม (Ca) เท่านั้นที่มีปริมาณสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ที่ไม่เกิดคราบสีเหลือง ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้นี้ยังไม่เพียงพอที่จะสรุปถึงข้อสันนิษฐานของการเกิดตำหนิประเภทนี้ เนื่องจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย EDX กับตัวอย่างนี้เป็นการตรวจสอบจากด้านผิวชั้นนอกสุดของเคลือบ (Surface Analysis) ซึ่งสามารถตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเคลือบเพียงระดับความลึกจากผิวประมาณ 1-3 ไมโครเมตรเท่านั้น **[10]** อิเลกตรอนที่ตกกระทบตัวอย่างอาจมีพลังงานไม่สูงพอที่จะให้ได้ข้อมูลจากบริเวณที่มีกลุ่มอนุภาคสีเหลืองหรือสีแดงที่อาจเป็นที่มาของตำหนิซึ่งอยู่ลึกลงไปในชั้นเคลือบมากกว่านั้น

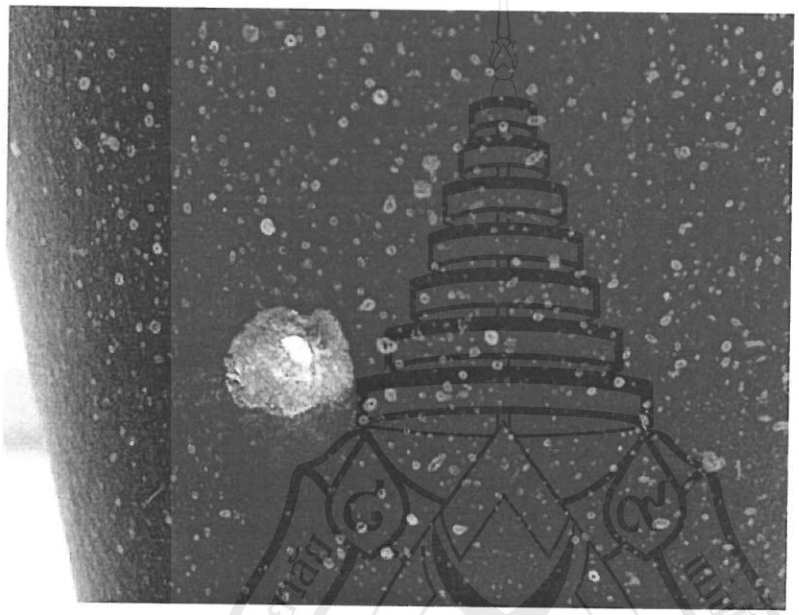
ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการพิจารณาเพิ่มเติม จะต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจากภาพตัดขวางของตัวอย่างเช่นเดียวกับในกรณีศึกษาที่ 1 เพื่อให้ได้ข้อมูลทางเคมีจากคราบสีเหลืองและเป็นการยืนยันถึงธาตุที่เป็นสาเหตุของคราบสีเหลืองว่าใช่ธาตุแคลเซียมตามที่พบหรือไม่ จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบข้อมูลในการผลิตกับทางโรงงานเพื่อวิเคราะห์หาสมมุติฐานสำหรับต้นเหตุที่มาของตำหนิต่อไป



ภาพที่ 21 Chemical micro-analysis ของผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิประเภท "คราบเหลือง" โดยเทคนิค EDX

<u>กรณีศึกษาที่ 4</u> **ตำหนิประเภทกะเทาะ**

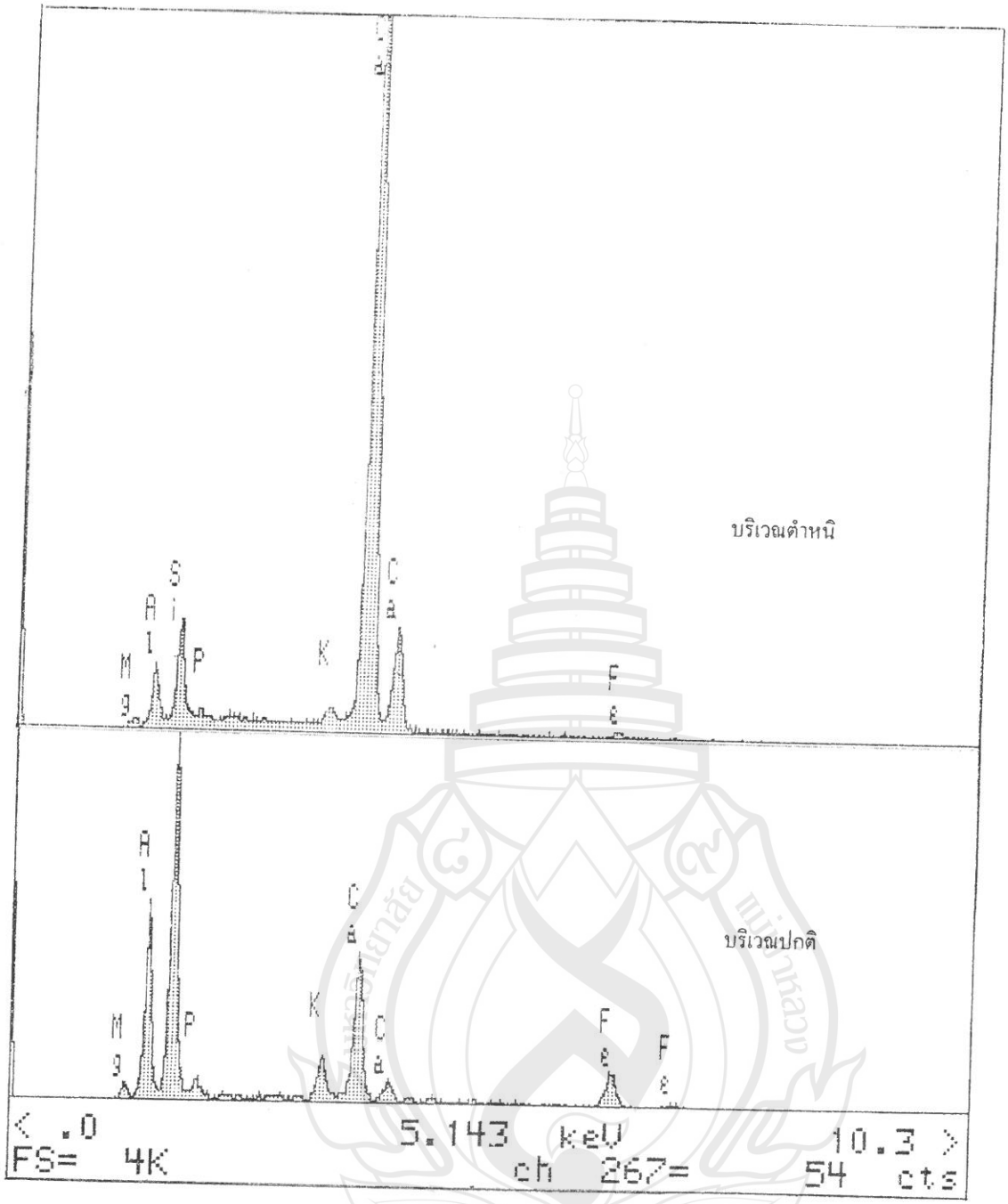
ตำหนิประเภทกะเทาะนี้ค่อนข้างจะมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับตำหนิอื่นๆ ที่ได้กล่าวถึงแล้ว กล่าวคือ สิ่งแปลกปลอมที่เป็นสาเหตุของตำหนิมีลักษณะเป็นก้อนเล็ก ๆ สีขาวขนาดประมาณ 1-3 มิลลิเมตรปนอยู่กับเนื้อดิน สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน และเป็นสาเหตุที่ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เกิดการกะเทาะเป็นตำหนิขนาดค่อนข้างใหญ่ ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ภาพตำหนิประเภทกะเทาะ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย EDX ดังภาพที่ 23 ระบุว่าสารสีขาวที่เป็นสาเหตุของตำหนินั้นมีธาตุแคลเซียม (Ca) เป็นองค์ประกอบหลัก และจากการสัมภาษณ์เจ้าของโรงงานที่ผลิตทำให้ทราบว่าการกะเทาะจะไม่เกิดขึ้นทันทีหลังการนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผา แต่มักจะเกิดขึ้นภายหลังจากนั้นเป็นเวลาหลายวันหรือแม้แต่หลายสัปดาห์

เมื่อพิจารณาประกอบกับข้อมูลการผลิต เช่นขั้นตอนในการเตรียมเนื้อดินและอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ ตำหนิในกรณีนี้มีลักษณะที่ตรงกับตำหนิประเภท Blow-out ตามเอกสารอ้างอิง **[5]** ซึ่งกล่าวถึงสาเหตุการเกิดตำหนิในกรณีนี้ไว้ค่อนข้างละเอียด กล่าวคือ สาเหตุของตำหนิชนิดนี้ มักจะเกิดจากสารประกอบจำพวกหินปูนหรือชอล์กที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก อาจเกิดจากปูนปลาสเตอร์หรือยิปซัมที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ หรือแม้แต่เศษปูนซีเมนต์หรือคอนกรีตที่ปะปนอยู่ในเนื้อดินที่นำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 23 Chemical micro-analysis ของผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิประเภท “กะเทาะ” โดยเทคนิค EDX

สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนระหว่างการเผาบิสกิตจะถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ (lime-CaO) หลังจากนั้นเมื่อดูดซับความชื้นจากอากาศเพิ่มมากขึ้น แคลเซียมออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาตามสมการ $CaO + H_2O = Ca(OH)_2$ และเกิดการ "บวม" ดันผลิตภัณฑ์จากภายในจนเนื้อผลิตภัณฑ์บริเวณใกล้กับผิวเกิดการกะเทาะหลุด นอกจากนี้เศษของสิ่งแปลกปลอมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกับเนื้อดินนี้ แม้จะมีขนาดเล็กเพียงครึ่งมิลลิเมตรก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดตำหนิแบบกะเทาะได้ การกำจัดปัญหาเหล่านี้อาจต้องตรวจสอบบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่เก็บวัตถุดิบเพื่อหาแหล่งที่มาของสารแปลกปลอมดังกล่าวข้างต้น การใช้ตะแกรงร่อนอาจเป็นวิธีในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมอันเป็นสาเหตุของตำหนิประเภทนี้อย่างได้ผล

บทที่ 6
อภิปรายและสรุปผล

การสำรวจด้านการจัดการโรงงาน และด้านการผลิตรวมถึงการศึกษาประเภทและการเกิดตำหนิของผลิตภัณฑ์เซรามิก ของโรงงานเซรามิกทั้งขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก จำนวน 30 โรงงานในเขตจังหวัดลำปาง และเชียงใหม่ พบว่ากลุ่มโรงงานขนาดเดียวกันมักจะประสบปัญหาในด้านต่างๆ คล้ายคลึงกัน แต่มีความแตกต่างของลักษณะปัญหาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโรงงานขนาดต่างกัน กล่าวคือ

ในด้านการผลิต สำหรับกลุ่มโรงงานขนาดใหญ่และขนาดกลางซึ่งมุ่งการส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ปัญหาหลักของโรงงานเหล่านี้คือปัญหาด้านแรงงานฝีมือ และการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดต่างประเทศ ส่วนกลุ่มโรงงานขนาดกลางและเล็กมักประสบปัญหาการขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิต ออกแบบ และการตลาด และอาศัยตลาดภายในประเทศหรือผลิตเพื่อป้อนให้กับโรงงานขนาดใหญ่ที่จะส่งไปยังต่างประเทศอีกต่อหนึ่ง

สอดคล้องกับผลการจัดประเภทตำหนิที่พบในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกลุ่มโรงงานขนาดต่างกัน ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มที่พบตำหนิต่างประเภทกัน กลุ่มโรงงานขนาดใหญ่และขนาดกลางถึงแม้ว่าจะซื้อวัตถุดิบสำเร็จรูปแต่มักจะมีการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบก่อนนำไปใช้รวมถึงมีการจดบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตซึ่งมักจะไม่พบในโรงงานขนาดเล็ก นอกจากนี้ ผลการสำรวจชี้ให้เห็นว่าตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์จากโรงงานขนาดเล็กมักจะเกิดในระดับเนื้อผลิตภัณฑ์ซึ่งจัดว่ามีความเสียหายสูง เช่น แตกร้าว ฉีกขาด เป็นต้น สำหรับตำหนิชนิดอื่นๆ เช่นจุดสี รูเข็ม ก็พบเช่นกัน แต่มักจะไม่ได้รับความสนใจเพราะถือว่าเป็นตำหนิที่เล็กน้อยไม่สำคัญ ในทางตรงกันข้ามโรงงานขนาดใหญ่ที่เน้นการส่งออกมักจะมองว่าตำหนิเล็กน้อยเหล่านี้คือปัญหาที่ต้องแก้ไขให้ตรงตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด ส่วนปัญหาที่เกิดในระดับเนื้อดินมักไม่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์จากโรงงานในกลุ่มนี้

การศึกษาเบื้องต้นถึงสาเหตุของการเกิดตำหนิบางประเภทในผลิตภัณฑ์เซรามิกได้พิสูจน์ให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์เชิงจุลภาคเป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตที่มีศักยภาพสูง เพราะไม่เพียงแค่สามารถระบุธาตุแปลกปลอมที่อาจเป็นสาเหตุของตำหนิเท่านั้น แต่ยังเผยถึงลักษณะทางกายภาพระดับจุลภาคของตำหนิซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าสิ่งแปลกปลอมได้เริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนใด ข้อมูลที่สำคัญเหล่านี้ช่วยให้การระบุถึงต้นเหตุที่แท้จริงของตำหนิเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

อย่างไรก็ดี ในแง่ของการศึกษาวิจัยเชิงลึกเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุการเกิดตำหนิแต่ละประเภท ซึ่งเป็นแนวทางของวิจัยในอนาคต จำเป็นที่จะต้องเก็บรวบรวมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิประเภทนั้น ๆ จากโรงงานที่ผลิตแหล่งต่าง ๆ ให้มากและหลากหลายเท่าที่เป็นไปได้ ไม่เฉพาะแต่จากโรงงานในภาคเหนือเท่านั้น เพื่อทำการวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยวิธีตามที่ปรากฏในรายงานฉบับนี้ และนำผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลด้านการผลิตจากโรงงานที่เป็นแหล่งที่มาของผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่าง จึงจะสามารถสรุปถึงข้อสันนิษฐานของการเกิดตำหนิประเภทนั้น ๆ ได้ สำหรับในอนาคตการเลือกประเภทของตำหนิที่จะนำมาศึกษา อาจเลือกประเภทที่พบมากจากโรงงานหลายแห่งและยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด หรืออาจเป็นปัญหาที่ทางผู้ผลิตต้องการทราบคำตอบ

ผลของการวิจัยในแนวทางเช่นนี้จะเกิดประโยชน์สูงสุดก็ต่อเมื่อความรู้ที่ได้นั้นถูกนำไปใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในขั้นตอนการผลิต การสร้างองค์ความรู้และความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านเป็นสิ่งจำเป็นที่ทางมหาวิทยาลัยจักต้องเร่งดำเนินการควบคู่ไปพร้อมกับการสร้างความร่วมมือด้านวิชาการกับกลุ่มโรงงานผู้ผลิต เพื่อมุ่งศึกษาวิจัยภายใต้หัวข้อปัญหาจริงในกระบวนการผลิต ที่อยู่ในความสนใจของโรงงานอย่างแท้จริง อันจะนำไปสู่จุดเริ่มของการพัฒนาความรู้ความสามารถร่วมกันระหว่างภาคอุตสาหกรรมการผลิตและสถาบันอุดมศึกษาของประเทศต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. "SME เซรามิกไทยก้าวไกลในตลาดโลก" **วารสารเซรามิกส์** ฉบับที่ 13 ปีที่ 5(2544), 23-29
2. "เซรามิกลำปาง" **วารสารเซรามิกส์** ฉบับที่ 13 ปีที่ 5 (2544), 43-50
3. กาญจนา ประชาพิพัฒน์ "ความต้องการและความพร้อมของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกส์ จังหวัดลำปางในการเข้าสู่กระบวนการตามมาตรฐาน ISO 9000" วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2542)
4. ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์ เนื้อดินเซรามิก สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2541
5. Fraser, H., Ceramic Faults and Their Remedies, A&C Black (1986).
6. บวร คติวัฒน์ "โครงสร้างพฤติกรรมและผลการดำเนินการทางด้านตลาดของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในจังหวัดลำปาง" วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
7. นักปราชญ์ ไชยานันท์ "ความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในประเทศไทย" วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
8. ASTM C373-88(1999) Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products
9. Watt, I. M., The Principles and Practice of Electron Microscopy-2nd ed., Cambridge University Press, U.K.(1977).

ภาคผนวก 1

<u>แบบสอบถาม</u>

ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อสถานประกอบการ.....
2. สถานที่ตั้ง.....
3. ประเภทสินค้าที่ผลิต (ตามลักษณะการใช้งาน) .....
4. ขนาดของการลงทุน.....ล้านบาท ส่วนของเจ้าของ..... ล้านบาท
   ส่วนของเงินกู้..... ล้านบาท
   แหล่งเงินกู้.....
5. อายุรวมของกิจการนับตั้งแต่เริ่มทำการ.....ปี.....เดือน
6. กำลังการผลิตของโรงงานคิดจากปริมาตรรวมของเตาเผา.....คิวบิคเมตร (m^3)/ เดือน
7. ชนิดของเตาเผา ☐ ชัตเทิล (Shuttle) ☐ อุโมงค์(Tunnel)
   ☐ อื่นๆ โปรดระบุ..... เชื้อเพลิงที่ใช้ .....
8. จำนวนพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต..... คน
   วุฒิการศึกษา ป. 6..... คน หน้าที่.....
   วุฒิการศึกษา ม. 3..... คน หน้าที่.....
   วุฒิการศึกษา ป.ว.ช., ม. 6 หรือเทียบเท่า.....คน หน้าที่.....
   วุฒิการศึกษาปริญญาตรีหรือเทียบเท่า.....คน หน้าที่.....
   วุฒิการศึกษาปริญญาโทหรือเทียบเท่า.....คน หน้าที่.....
9. แหล่งจำหน่ายสินค้า ☐ ในประเทศ (ระบุจังหวัด)..... คิดเป็นสัดส่วน.....%
   ☐ ต่างประเทศ (ระบุประเทศ)..... คิดเป็นสัดส่วน.....%
10. มูลค่าการขายต่อปี.....บาท

ข้อมูลด้านการผลิต

1. การเตรียมวัตถุดิบ/น้ำเคลือบ

1.1 ชนิดของเนื้อผลิตภัณฑ์ ☐ เทอราคอตตา ☐ สโตนแวร์ ☐ พอร์ซเลน ☐ โดโลไมต์
☐ อื่นๆ (ระบุ).....

1.2 ลักษณะการเตรียมเนื้อดิน (body)

☐ ซื้อดินสำเร็จรูป (ระบุผู้ผลิต).....

☐ เตรียมเนื้อดินเอง (ระบุชนิด/แหล่งวัตถุดิบ).....

1.3 ลักษณะของการเตรียมน้ำเคลือบ

☐ ซื้อเคลือบสำเร็จรูปใช้ (ระบุชื่อผู้ผลิต).....

☐ เตรียมน้ำเคลือบเอง (ระบุชนิด/แหล่งวัตถุดิบ).....

1.4 คุณสมบัติหรือคุณภาพของวัตถุดิบที่ควบคุมหรือตรวจสอบ

การทดสอบคุณสมบัติก่อนเผา

☐ การชั่งน้ำหนัก อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ การตวงปริมาตร อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ องค์ประกอบทางเคมี อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ส่วนค้างบนตะแกรงร่อน อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ความชื้น อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ความเหนียว อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ความหนาแน่น (ค่า ถ.พ.) อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ความหนืด (การไหลตัว) อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ความเป็นวุ้น (ทิกโซโทรปี) อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

การทดสอบคุณสมบัติหลังเผา

☐ สีหลังการเผา อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ %การหดตัว อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ %การตกตัว อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ความแกร่ง อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ การดูดซึมน้ำ อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ ความหนาแน่น อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ การหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ องค์ประกอบทางแร่ อุปกรณ์/วิธีที่ใช้.....

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

2. การขึ้นรูปชิ้นงาน

2.1 วิธีการขึ้นรูป

☐ แป้นหมุน คิดเป็น.....%

☐ หล่อน้ำดิน แบบ ☐ หล่อตัน ☐ เทออก คิดเป็น.....%

☐ จิกเกอร์ และจอลลี คิดเป็น.....%

☐ โรลเลอร์แมชชีน คิดเป็น.....%

☐ อัดดินฝุ่น คิดเป็น.....%

☐ อัดดินเหนียว (แรมเพรส) คิดเป็น.....%

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ) ..... คิดเป็น.....%

2.2 อุปกรณ์หลักสำหรับการขึ้นรูป

☐ ซื้อเครื่องมือสำเร็จรูป(ระบุประเทศผู้ผลิต) .....

☐ เป็นเครื่องใหม่ ☐ เป็นเครื่องมือสอง

☐ สร้างหรือประกอบเอง ได้แก่ .....

2.3 ความถี่ในการดูแลรักษา/ตรวจสอบสภาพ อุปกรณ์ขึ้นรูป

☐ วันละครั้ง ได้แก่อุปกรณ์.....

☐ สัปดาห์ละครั้ง ได้แก่.....

☐ เดือนละ .....ครั้ง ได้แก่.....

☐ ปีละ..... ครั้ง ได้แก่.....

☐ เมื่อเกิดปัญหา ได้แก่.....

☐ อื่นๆ.....

3. การอบแห้งชิ้นงาน

3.1 วิธีการอบชิ้นงาน

☐ ผึ่งในร่ม อุณหภูมิ.....องศาเซลเซียส ระยะเวลา..... .....ชั่วโมง

☐ อบแบบกระเช้าหมุน อุณหภูมิ..... องศาเซลเซียส ระยะเวลา.....ชั่วโมง

☐ อบในเตา อุณหภูมิ .....องศาเซลเซียส ระยะเวลา..... ชั่วโมง

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

3.2 การตรวจสอบคุณสมบัติ/คุณภาพของชิ้นงานในขั้นตอนการอบแห้ง

☐ %การหดตัว วิธีตรวจสอบ.....

☐ ความหนา วิธีตรวจสอบ.....

%ความชื้น วิธีตรวจสอบ.....

☐ ตำหนิต่างๆที่เกิด วิธีตรวจสอบ.....

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

4. การเผาชิ้นงาน

4.1 วิธีการเผาชิ้นงาน

จำนวนครั้งที่เผาชิ้นงาน.....ครั้ง ได้แก่

☐ เผาดิบ(บิสกิต) ที่..... องศาเซลเซียส ใช้เวลาทั้งสิ้น.....ชั่วโมง

☐ เผาเคลือบที่..... องศาเซลเซียส ใช้เวลาทั้งสิ้น.....ชั่วโมง

☐ เผาสีบนเคลือบที่..... องศาเซลเซียส ใช้เวลาทั้งสิ้น.....ชั่วโมง

4.2 การควบคุมการเผา

☐ มีการควบคุมอุณหภูมิภายในเตา ณ จุดต่างๆ โดย.....

☐ มีการควบคุมอัตราการเพิ่ม/ลดอุณหภูมิโดย.....

☐ มีการตรวจสอบสภาพ และบำรุงรักษาเตาเผา ทุกๆ .....

4.3 การควบคุมบรรยากาศการเผา

☐ บรรยากาศแบบรีดักชัน วิธีควบคุม .....

☐ บรรยากาศแบบออกซิเดชัน วิธีควบคุม.....

☐ ไม่มีการควบคุม

5. การทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานหลังเผา

☐ ความแกร่ง วิธีทดสอบ.....

☐ ความแข็ง วิธีทดสอบ.....

☐ ความทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิ วิธีทดสอบ.....

☐ การดูดซึมน้ำ วิธีทดสอบ.....

☐ สีหลังการเผา วิธีทดสอบ.....

☐ การทนต่อกรดด่างและสารเคมี วิธีทดสอบ.....

☐ ตำหนิบนชิ้นงาน วิธีทดสอบ.....

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ) .....

ข้อมูลด้านตำหนิและการสูญเสียที่เกิดกับผลิตภัณฑ์

1. การจดบันทึกรายละเอียดทุกขั้นตอนการผลิต

☐ มี ☐ ไม่มี

2. อัตราการสูญเสียโดยเฉลี่ย

2.1 อัตราการสูญเสียโดยเฉลี่ยก่อนเผาแกร่ง.....%

2.2 อัตราการสูญเสียโดยเฉลี่ยหลังเผาแกร่ง.....%

3. ปัญหาหรือตำหนิที่พบบ่อยในชิ้นงาน

3.1 ปัญหาหรือตำหนิที่พบก่อนเผาแกร่ง

☐ ไม่ได้ขนาดตามต้องการ ☐ ความหนาของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ

☐ รูตามด ☐ บิดเบี้ยว

☐ แตกร้าว ☐ อื่นๆ.....

3.2 ปัญหาหรือตำหนิที่พบหลังการเผาแกร่ง

☐ ฉีก
☐ ผิวโป่ง
☐ สีเพี้ยน
☐ เคลือบเป็นฟอง
☐ จุดดำหรือจุดสี
☐ รูเข็ม
☐ ร้าว
☐ นูนเป็นแนว
☐ เคลือบไม่ติด
☐ ราน
☐ เป็นผด
☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

4. เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ท่านมีขั้นตอนการแก้ปัญหาโดย

.....

.....

.....

5. ท่านมีการนำผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหากลับมาใช้ใหม่คิดเป็น.....% โดยวิธี

.....

.....

6. เมื่อผลิตภัณฑ์มีปัญหา ท่านเคยปรึกษาหรือขอคำแนะนำจากหน่วยงานใดหรือใครบ้าง.....

.....

.....

<u>ข้อมูลด้านวิชาการและบุคลากร</u>

1. ท่านคิดว่าอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในท้องถิ่นของท่านยังขาดบุคคลากรทางด้านใดบ้าง

1.....

2.....

3.....

2. ท่านคิดว่าสาขาวิชาใดที่มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงควรเปิดให้มีการเรียนการสอนเพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกบ้าง

1.....

2.....

3.....

ผู้ตอบแบบสอบถาม ชื่อ.....ตำแหน่ง.....

ชื่อสถานประกอบการ .....

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ .....โทรสาร.....

ภาคผนวก 2

Search

22 ส.ค. 45 11:49 น.

ชื่อเจ้าของ: นาง ศรีคำ คำต่อ

เบอร์โทร:

ชื่อโรงงาน: แม่ศรีเซรามิก

สินค้าที่ผลิต: ถ้วยชาม

จังหวัด: ลำปาง

ที่อยู่: 123 ม.3 ต.ปงแสนทอง อ.เมือง

ชื่อโรงงาน	จังหวัด	ชื่อเจ้าของ	ชนิดผลิตภัณฑ์

Search

22 ส.ค. 45 11:49 น.

ชื่อเจ้าของ: นางสาว ยุพิน ธนบดีสกุล

เบอร์โทร: (054)221103

ชื่อโรงงาน: ยุพิน

สินค้าที่ผลิต: ถ้วยชาม

จังหวัด: ลำปาง

ที่อยู่: 227 ถ.ป่าขาม ม.1 ต.พระบาท อ.เมือง

ชื่อโรงงาน	จังหวัด	ชื่อเจ้าของ	ชนิดผลิตภัณฑ์

Search

22 ส.ค. 45 11:49 น.

ชื่อเจ้าของ: นางสาว ยุพิน ธนบดีสกุล

เบอร์โทร: (054)221103

ชื่อโรงงาน: ยุพิน

สินค้าที่ผลิต: ถ้วยชาม

จังหวัด: ลำปาง

ที่อยู่: 227 ถ.ป่าขาม ม.1 ต.พระบาท อ.เมือง