วิ38.1
ส182ก
ร.3

การพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยการใช้สนิมโลหะตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค

23 ก.ย. 2535

ปริญญานิพนธ์

ของ

สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกศิลปศึกษา
มีนาคม 2535

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

180575

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกศิลปศึกษาของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

..... ประธาน

(รศ.อารี สุทธิพันธุ์)

..... กรรมการ

(รศ.ดร.เชิดศักดิ์ โฆวาสินธุ์)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน

(รศ.อารี สุทธิพันธุ์)

..... กรรมการ

(รศ.ดร.เชิดศักดิ์ โฆวาสินธุ์)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผศ.โกมล รักษ์วงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกศิลปศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศ.ดร.สมพร บัวทอง)

วันที่ ...6... เดือน ....มีนาคม..... พ.ศ. 2535

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์อารี สุทธิพันธุ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. เชิดศักดิ์ โฆวาสินธุ์ ให้คำแนะนำเรื่องการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกมล รักษ์วงศ์ ให้ข้อเสนอแนะในด้านเนื้อหาทางด้านเซรามิกส์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิฉัตร เอื้ออานันท์ ให้ความรู้ทางด้านทฤษฎีสี รองศาสตราจารย์เสาวนีย์ อินทรภักดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ กรรณิการ์ ยุกติรัตน กรุณาตรวจสอบบทคัดย่อภาษาอังกฤษทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน และภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ ในการดำเนินการวิจัย ทำให้การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินไปได้โดยราบรื่นและสำเร็จตามกระบวนการ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือ

สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์

มีนาคม 2535

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	7
	ความสำคัญของการวิจัย	7
	ขอบเขตของการวิจัย	8
	นิยามศัพท์เฉพาะ	12
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
	ความหมายของเซรามิกส์ (Ceramic's) และจำแนกผลิตภัณฑ์ เครื่องปั้นดินเผา	18
	วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์	21
	กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์	32
	เตาและการเผา	39
	วัตถุดิบที่ให้สีทางผลิตภัณฑ์เซรามิกส์	47
	การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินก่อนและหลังเผา	50
	สูตรแผนภาพไตรดุลยภาค	56
	การแบ่งระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low VAlue)	58
	ชื่อสีมาตรฐานของ Cotman	58
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์	59
3	วิธีดำเนินการวิจัย	60
	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	60

ตัวแปร 62
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 63
สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 64
การดำเนินการวิจัย 65
การวิเคราะห์ข้อมูล 68

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 70
ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกัน ผสมในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันและผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมกับสนิมโลหะเดียวกัน (เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และบรรยากาศรีดักชั่น)..... 71
ผลการวิเคราะห์การเผาในบรรยากาศที่แตกต่างกัน ในเนื้อดินปั้นเดียวกันอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน 89
ผลการวิเคราะห์สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 96
ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ 119

5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 126
ความมุ่งหมายของการวิจัย 126
กลุ่มตัวอย่าง 126

การดำเนินการวิจัย 127
สรุปผลการวิจัย 128
อภิปรายผล 131
ข้อเสนอแนะ 135

บรรณานุกรม 136

ภาคผนวก 140

ประวัติย่อของผู้วิจัย 142

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 เครื่องชี้ที่สำคัญบางตัวของอุตสาหกรรมเซรามิกส์	14
2 ค่าดัชนีความได้เปรียบสัมพันธ์ที่ปรากฏ (Revealed Comparative Advantage Index) ของบางประเทศสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์	15
3 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกัน ผสมในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน และผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นต่างชนิดกัน ผสมสนิมโลหะเดียวกัน (เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น)	71
4 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกัน ผสมในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน และผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมสนิมโลหะเดียวกัน (เผาในบรรยากาศรีดักชั่น)	80
5 ผลการวิเคราะห์การเผาในบรรยากาศที่แตกต่างกัน ในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน อัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน	90
6 ผลการวิเคราะห์สูตรส่วนผสมของสนิมโลหะ 3 ชนิด ผสมกับเนื้อดินปั้น เอิทเธนแวร์ชนิดหล่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและรีดักชั่นเทียบกับ ตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727.....	97
7 ผลการวิเคราะห์สูตรส่วนผสมของสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด ผสมกับเนื้อดินปั้น สโตนแวร์ชนิดหล่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และรีดักชั่นเทียบกับ ตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	104
8 ผลการวิเคราะห์สูตรส่วนผสมสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด ผสมกับเนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและรีดักชั่น เทียบกับ ตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, Ceramic's Fresno, CA 93727	112
9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหลัง จากการเผาของเนื้อดินปั้น เอิทเธนแวร์ชนิดหล่อที่อุณหภูมิ 1,190° เซลเซียส, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อเผาที่อุณหภูมิ 1.225° เซลเซียส	120

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 ตารางสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคแสดงสัดส่วนสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด 56

2 ชื่อสีมาตรฐานของ Cotman 58

3 ตารางสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคแสดงสัดส่วนสนิมโลหะทั้ง 36 จุด (36 สูตรส่วนผสม) 61

4 ตัวต้นแบบและพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ 66

5 ตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 141

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

หลักสูตรการเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์ ในภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ได้มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงจากการศึกษาแผนเก่ามามาสู่แผนใหม่โดยเน้นกระบวนการ และการสร้างสรรค์ ให้เข้ากับสภาพความเป็นอยู่ของสังคมปัจจุบัน การเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ดังนั้น การเรียนการสอน วิชาเซรามิกส์มุ่งเน้นตอบสนองความต้องการของสังคม ในการช่วยกัน พัฒนาประเทศ เพื่อให้การศึกษาดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพบรรลุจุดมุ่งหมายที่วางไว้โดย วิธีการที่เหมาะสมโดยให้ความสำคัญตามแนวนโยบายของรัฐบาลในการจัดการศึกษาเพื่อชีวิต และสังคม โดยสอดคล้องกับแผนพัฒนาประเทศที่รัฐบาลวางแผน และกำหนดนโยบายอย่าง ชัดเจนตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติฉบับที่ 6 รัฐบาลได้เน้นความสำคัญของ การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 สาขา คือสาขาพันธุวิศวกรรม และเทคโนโลยี ชีวภาพ สาขาอิเลคโทรนิคส์และคอมพิวเตอร์ และสาขาโลหะวัสดุ โดยให้ความสำคัญด้าน พัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกมากขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นอุตสาหกรรม สาขาย่อยสาขาหนึ่งของการผลิต และพัฒนาวัสดุที่ได้รับความสำคัญสูง สามารถใช้วัตถุดิบแร่ ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในประเทศเพื่อผลิตสินค้ามีมูลค่าเพิ่มเพื่อการส่งออกได้ (เจริญ วัชระรังษี. 2531 : 3) เมื่อรัฐบาลเริ่มมีนโยบายขยายกิจการอุตสาหกรรมของประเทศให้กว้างขึ้นในปี พ.ศ. 2497 ได้มีพระราชบัญญัติส่งเสริมอุตสาหกรรมโดยทั่วไป จนถึง ปี พ.ศ. 2503 รัฐบาล ได้กำหนดนโยบายแน่ชัดขึ้นโดยตรงพระราชบัญญัติส่งเสริม การลงทุน เพื่อกิจการ อุตสาหกรรมขึ้นและพระราชบัญญัติฉบับนี้ได้กำหนดประเภทอุตสาหกรรมที่ใช้ดินเป็นวัตถุดิบที่อยู่ ในข่ายของการส่งเสริมไว้โดยแจ้งชัดคือ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบ (ประเภทที่ 66) อุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องดินเผาประเภทปูพื้นหรือผนัง (ประเภทที่ 67) และอุตสาหกรรมดินเผาชนิดกลวง (ประเภทที่ 69) (สมพร บุญยคุปต์. 2513:187-189)

ความมุ่งหมายของการส่งเสริมการลงทุนนั้น เน้นที่จะให้เกิดอุตสาหกรรมที่จำเป็นเพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจของประเทศสำหรับอุตสาหกรรมบางประเภทที่ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพรัฐก็ให้ความช่วยเหลือ ดังนั้นหลักเกณฑ์จึงมุ่งไปในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องจักรอุปกรณ์และกรรมวิธีการผลิตที่ทันสมัย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานสากลพร้อมกับใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศให้ได้ประโยชน์สูงสุด ด้วยเหตุนี้การประกอบกิจการอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ทำแบบในครัวเรือน จึงไม่ได้รับความช่วยเหลือให้ได้รับสิทธิประโยชน์ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน ทั้ง ๆ ที่มีผู้ดำเนินกิจการเครื่องปั้นดินเผาหรือเครื่องเคลือบดินเผาอยู่แล้วนับร้อยราย (สมพร บุญยคุปต์. 2513 : 189)

เมื่อการส่งเสริมการลงทุนได้ก่อให้เกิดอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ขึ้นแล้ว ดังนั้นความต้องการวัตถุดิบภายในประเทศต้องเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผานั้น ใช้วัตถุดิบที่เกิดตามธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้หน่วยงานของรัฐ เช่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ เร่งการสำรวจแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ให้ทราบถึงปริมาณและคุณภาพตามธรรมชาติ สำรวจค้นหาใหม่ที่อาจจะมี วิจัยหาวิธีการที่จะปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบที่มีตามธรรมชาติให้ได้มาตรฐาน ที่จะป้อนโรงงานส่งเสริมวิธีการผลิตวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพ (สมพร บุญยคุปต์. 2513 : 190)

จากความสำคัญของวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศและปัญหาที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอดีตปัจจุบัน คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนได้พิจารณา และมีมติยกเลิกพระราชบัญญัติที่ว่าด้วยอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระเบื้องดินเผาและวัตถุทนไฟและอุตสาหกรรมผลิตหรือแต่งดินขาวแล้วเมื่อเดือนตุลาคม 2513 โดยกำหนดประเภทใหม่ขึ้นทดแทน คือ "อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ (ค. 126)" จะเห็นได้ว่าประเภทอุตสาหกรรมใหม่นี้ ได้เปิดโอกาสให้มีการส่งเสริมการลงทุนในการผลิตวัตถุดิบของอุตสาหกรรมนี้ได้ โดยได้รับสิทธิประโยชน์ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน และอีกประการหนึ่ง คณะกรรมการการส่งเสริมการลงทุนอุตสาหกรรมกำหนดอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ขึ้นก็ด้วยความประสงค์จะให้มีขอบเขตของการส่งเสริมกว้างขวางกว่าเดิม จะได้ชักจูงให้มีการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ นอกเหนือไปจากเครื่องสุขภัณฑ์ ถ้วย จาน ชาม กระเบื้อง และอิฐ (สมพร บุญยคุปต์. 2513 : 192)

ในช่วงของแผนพัฒนาฉบับที่ 6 นี้ ได้ให้ความสำคัญอย่างสูงแก่อุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกและสินค้าเซรามิกส์เป็นสินค้าที่มีความสำคัญสูง จึงเป็นการสมควรอย่างยิ่งที่จะได้พัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้ให้ก้าวหน้า สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้ ซึ่งประเทศไทยยังมีวัตถุดิบและทรัพยากรอีกมาก ไม่ว่าจะเป็นดินขาว ทรายแก้ว แร่หินฟันม้าและแร่ธาตุอื่น ๆ ที่สามารถนำมาแปรรูปให้เป็นสินค้าสำเร็จรูปมูลค่าเพิ่ม และส่งไปขายนำเงินเข้าประเทศได้ (บัญญัติ บรรทัดฐาน. 2531 : 1)

สภานภาพของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในปัจจุบันมีโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 20 ปี ที่ผ่านมาอยู่ในอัตราค่อนข้างสูง เป็นโรงงานขนาดใหญ่มีเงินทุนตั้งแต่ 100 ล้านขึ้นไป 30 โรงงาน นอกนั้นเป็นโรงงานที่มีเงินลงทุนตั้งแต่ 1 แสนถึง 5 แสนบาท 500 โรงงาน โรงงานเหล่านี้มีทั้งซื้อ Knowhow จากต่างประเทศเบ็ดเสร็จทั้งโรงงาน หรือซื้อมาบางส่วนมาผสมผสานกับเทคโนโลยีที่มีอยู่ในประเทศมาผสมผสานกับเทคโนโลยีที่มีอยู่ในประเทศ มาผสมกับภาวะที่เป็นจริง ภายในประเทศผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ นับตั้งแต่ของใช้ในครัวเรือน เครื่องประดับจนถึงเครื่องสุขภัณฑ์ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2531 : 1)

ส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ในประเทศไทยนั้น ขึ้นอยู่กับภาวะทางเศรษฐกิจของประเทศ และธุรกิจก่อสร้างภายในประเทศเป็นสำคัญ เพราะผลิตภัณฑ์เซรามิกส์หลายชนิด เช่น กระเบื้องปูพื้น – บุผนัง และเครื่องสุขภัณฑ์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนในช่วงปี 2528 ธุรกิจก่อสร้างภายในประเทศขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการทางผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ประเภทกระเบื้องปูพื้น – บุผนัง และเครื่องสุขภัณฑ์มาก และเป็นผลสืบเนื่องมาจากการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อดิน สีสันลวดลายของผลิตภัณฑ์ สำหรับภาชนะถ้วยชามคุณภาพสูงตลาดหลักภายในประเทศได้แก่ โรงแรมภัตตาคารใหญ่ ๆ และห้องอาหารชั้นหนึ่ง ตลอดจนผู้มีรายได้สูง ความต้องการภายในประเทศในช่วงปี 2523 – 2528 นับว่ามีการขยายตัวในอัตราค่อนข้างสูงคือร้อยละ 7.7 ต่อปี (สมศักดิ์ แต้มบุญเลิศชัย จิรศักดิ์ พงษ์พิษณุพิจิตร และสมคิด จาตุศรีพิทักษ์. 2530 : 10) ส่วนสภาพอุตสาหกรรมเซรามิกส์เพื่อการส่งออก

ประเทศไทยสามารถขยายการส่งออก ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในอัตราที่รวดเร็วมากในช่วงปี 2513-2529 โดยเริ่มส่งออกเพียง 1.2 ล้านบาทไทย ในปี 2513 และเพิ่มเป็น 38.7 ล้านบาทในปี 2518 และเพิ่มอย่างรวดเร็วเป็น 328.4 ล้านบาท และ 487.4 ล้านบาท ในปี 2523 และ 2528 ตามลำดับโดยมีอัตราการขยายตัวต่อปีสูงถึงร้อยละ 100.0 % ในช่วงปี 2513-2518 ร้อยละ 53.5 ในช่วงปี 2518-2523 แต่ลดลงมาเหลือร้อยละ 8.7 ต่อปีในช่วงปี 2523-2528 อย่างไรก็ตามในปี 2529 ประเทศไทยสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ได้เป็นมูลค่าถึง 788.0 ล้านบาทโดยเพิ่มขึ้นจากปี 2528 ถึงร้อยละ 58.4 ซึ่งสะท้อนให้เห็นบทบาทที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ในการขยายการส่งออก สินค้าหัตถอุตสาหกรรมของไทย (ตาราง 1) (สมศักดิ์ แต้มบุญเลิศชัย จิรศักดิ์ พงษ์พิษณุพิจิตร และสมคิด จาตุศรีพิทักษ์. 2530 : 1) ดังนั้นพิจารณาในระดับชนิดผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดที่มีความสำคัญมากในการค้าระหว่างประเทศ คือมีสัดส่วนในการส่งออกสูง

จากค่าดัชนีความได้เปรียบสัมพันธ์ที่ปรากฏ (Revealed Comparative Advantage) สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ของประเทศต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในตาราง 2 จะเห็นได้ว่าในช่วงปี 2521-2527 ในกรณีของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะกระเบื้องปูพื้น-บุผนัง และกระเบื้องโมเสค และวัสดุก่อสร้างที่เป็นฉนวนกันความร้อนและชนิดทนไฟ ความได้เปรียบสัมพันธ์ยังคงเป็นของประเทศพัฒนาแล้ว และยังไม่มีแนวโน้มสูญเสียความได้เปรียบสัมพันธ์มากนักดังจะเห็นได้ในกรณีของญี่ปุ่นสาเหตุสำคัญเนื่องจากผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทนี้ส่วนใหญ่มีการผลิตเป็นแบบจำนวนมาก (Mass Production) และมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ในทิศทางที่เน้นการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ และเทคโนโลยีมากขึ้น ในขณะเดียวกันผู้ผลิตในประเทศกำลังพัฒนายังต้องพึ่งสารเคมี และสารเคลือบจากประเทศพัฒนาแล้ว

ส่วนเครื่องสุขภัณฑ์นั้น ถึงแม้จะปรากฏว่าประเทศกำลังพัฒนา ไม่มีความได้เปรียบสัมพันธ์ แต่มีแนวโน้มว่าประเทศกำลังพัฒนามีความเสียเปรียบลดลง และเครื่องโต๊ะอาหาร เครื่องใช้ในบ้านเรือนและเครื่องประดับเซรามิกส์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีวิธีการผลิตที่เน้นการใช้แรงงานมาก ดังนั้นจึงเป็นไปได้มากที่ประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งโดยทั่วไปมีอัตราค่าจ้างต่ำ จะมีความได้เปรียบสัมพันธ์ในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ (สมศักดิ์ แต้มบุญเลิศชัย จิรศักดิ์ จาตุศรีพิทักษ์ และสมคิด จาตุศรีพิทักษ์. 2530 : 21 - 24)

จากข้อมูลเบื้องต้น ผู้ประกอบการโรงงานผลิตเซรามิกส์ประเภทเครื่องใช้ในบ้านเรือนได้แก่ ผลิตภัณฑ์ชุดอาหาร (Table ware) ชุดน้ำชากาแฟ (Tea Set) และผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แจกัน กระถาง โอ่ง และของชำร่วยต่าง ๆ ในประเทศมีอยู่จำนวนมาก และตั้งกระจัดกระจายอยู่ในภาคเหนือ และภาคกลาง โดยเฉพาะที่เชียงใหม่ ลำปาง และที่ราชบุรี โรงงานทั้งหมดยังเป็นโรงงานขนาดเล็กหรือเป็นกิจการในครัวเรือน ซึ่งโรงงานเหล่านี้ยังต้องพึ่งวัตถุดิบ ได้แก่ เนื้อดินปั้น (Body) เคลือบ (Glaze) อย่างมีคุณภาพ และจะต้องรักษาคุณภาพให้คงที่ และจะต้องพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตให้มีเอกลักษณ์เฉพาะตน (กิตติ โสมมัย. 2531 : 1)

จากข้อมูลดังกล่าวนี้ พอจะประมวลเป็นปัญหา สำหรับผู้ประกอบการโรงงานผลิตเซรามิกส์ประเภทเครื่องใช้ในบ้านเรือน และผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทเครื่องประดับในด้านต่าง ๆ เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้ผลิตโดยตรง
2. ส่วนที่เกี่ยวข้องกับภาครัฐบาล

1. ส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้ผลิตโดยตรง ได้แก่

1.1 เนื้อดินปั้นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยังขาดคุณภาพที่แน่นอน และไม่มีการพัฒนาให้มีคุณภาพ เพราะยังให้ความสำคัญทางด้านวัตถุดิบในการทำเนื้อดินปั้นน้อยไป

1.2 การใช้เนื้อดินปั้นทำผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากเดิมที่มีอยู่แล้ว เพราะทั้ง 3 ประเภท คือเอิร์ทเธนแวร์ (Earthenware) จะได้สีน้ำตาลและขาวส่วนประเภทสโตนแวร์ (Stoneware) และปอร์สเลน (Porcelain) จะได้สีขาวเนื้อดินปั้นประเภทเหล่านี้เวลานำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์จะต้องนำไปเคลือบให้มีสีตามความต้องการ จึงทำให้เสียเวลาในการเคลือบผลิตภัณฑ์ และต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย

1.3 ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทเนื้อดินปั้นมีสีตามความต้องการชนิดไม่เคลือบและเคลือบเป็นบางส่วน ประเภทผลิตภัณฑ์เครื่องประดับและผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ในบ้านเรือนยังมีน้อย

2. ส่วนที่เกี่ยวข้องกับรัฐบาล

2.1 ขาดการพัฒนาด้านการฝึกอบรมแผนการศึกษาไม่สอดคล้องกับความเจริญก้าวหน้าและความต้องการของอุตสาหกรรม

2.2 ขาดการให้การสนับสนุนด้านการผลิตวัตถุดิบที่ได้มาตรฐาน

2.3 ขาดการสนับสนุนทางด้านการวิจัยโดยเฉพาะในหัวข้อที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมในระยะสั้นและยาว

2.4 ไม่สามารถชักจูงโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานขนาดย่อมให้เปลี่ยนวิธีการผลิต และหันมาใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่และให้มีการยอมรับ เทคนิคนั้น

ปัญหาทั้งหลายดังกล่าวข้างต้นนี้ทำให้ผู้วิจัยสนใจเสาะแสวงหาแนวทางที่จะลดหรือบรรเทาปัญหาส่วนที่เกี่ยวกับผู้ผลิตโดยตรง โดยเฉพาปัญหาเนื้อดินปั้นโดยการหาแนวทางการปรับปรุงสีเนื้อดินปั้น จากการใช้สนิมโลหะ (Metallic Oxide) เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นทำให้เกิดสีในตัวของเนื้อดินปั้นเอง โดยใช้สนิมโลหะ (Metallic Oxide) 3 ตัว คือ Ferric Oxide (Fe_2O_3), Cobalt Oxide (CoO) และ Manganese Dioxide (MnO_2) ทำให้เกิดสีต่าง ๆ ตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค (Triaxial Diagram) เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอน ในวิชาเซรามิกส์ และผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ประเภทเครื่องประดับ และประเภทเครื่องใช้ในบ้านเรือนชนิดไม่เคลือบ และเคลือบบางส่วน และจากข้อมูลดังกล่าวเบื้องต้น ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ได้กล่าวมาถึงจุดที่จำเป็นต้องให้การสนับสนุนอย่างมากตามแนวนโยบายของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 ดังนั้นทั้งภาครัฐบาลและเอกชนจะต้องรีบปรับปรุง และพัฒนาให้สอดคล้องตามแนวนโยบายดังกล่าวให้มากที่สุด จึงพอสรุปเป็นปัญหาการวิจัยได้ว่า การเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์ในภาควิชาศิลปะ และวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และผู้ประกอบการเซรามิกส์ประเภทเครื่องประดับ และผู้ประกอบการเซรามิกส์ ประเภทเครื่องใช้ในบ้าน และเคลือบบางส่วน และจากข้อมูลดังกล่าวเบื้องต้น

ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ได้ก้าวมาถึงจุดที่จำเป็นต้องให้การสนับสนุนอย่างมากตามแนวนโยบายของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 ดังนั้นทั้งภาครัฐบาลและเอกชนจะต้องรีบปรับปรุง และพัฒนาให้สอดคล้องตามแนวนโยบายดังกล่าวให้มากที่สุด จึงพอสรุปเป็นปัญหาการวิจัยได้ว่า การเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์ในภาควิชาศิลปะ และวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และผู้ประกอบการเซรามิกส์ประเภทเครื่องประดับ และผู้ประกอบการเซรามิกส์ ประเภทเครื่องใช้ในบ้การสอนวิชาเซรามิกส์ในภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม คณะมนุษยศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และให้ผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ประเภทเครื่องประดับและประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือนและผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ ต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาทดลองสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยการใช้สนิมโลหะเป็นตัวทำให้เกิดสี ทั้งนี้จะทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเป็นสูตรต่าง ๆ โดยการใช้สนิมโลหะ 3 ชนิด คือ โคบอลท์ออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) คำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค ผสมกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ ทำให้เนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทเกิดสีต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์ ในภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ประเภทเครื่องประดับ และประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือนและผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ

2. เพื่อลดขั้นตอนการผลิตและต้นทุนการผลิตโดยผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดไม่เคลือบและเคลือบเป็นบางส่วน

ความสำคัญของการวิจัย

1. นำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์ ในภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

2. เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าทดลองเรื่องของสีในเนื้อดินปั้นให้กว้างขวางมากขึ้น

3. เป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ประเภทเครื่องประดับและประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือน เพราะสีเป็นส่วนที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นส่วนที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สีตกแต่งแล้วดูเด่นและสวยงามมีคุณค่ามากขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้ บรรลุตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ประชากร ในการวิจัยครั้งนี้ ประชากรเป็นเนื้อดินปั้นที่เหมาะแก่การนำไปทำผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ประเภทเครื่องประดับ และประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือนโดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ ซึ่งใช้สูตรอัตราส่วนผสมเนื้อดินปั้น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

1.1 เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ (Earthenware Body) ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (Casting Earthenware) โดยใช้วัตถุดิบมีสูตรส่วนผสม ดังนี้

ดินขาวลำปาง (Kaolin)	ร้อยละ 22.6
ดินเหนียวดำ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่	ร้อยละ 32.2
หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) จังหวัดจันทบุรี	ร้อยละ 28.0
หินฟันม้าจังหวัดราชบุรี (Feldspar)	ร้อยละ 17.2
โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate)	ร้อยละ 0.3

และมีคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผา (Testing the Physical Properties of Clay Body After Firing)

อุณหภูมิ		บรรยากาศในการเผา		การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
°C	°F	Oxidation	Reduction		
1190	2170	ขาวเหลือง	ขาว	5.30	9.4

(ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงอุตสาหกรรม ม.ป.ป. : 4)

1.2 เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (Stoneware) ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (Casting Stoneware) โดยใช้วัตถุดิบมีสูตรส่วนผสม ดังนี้

ดินขาวลำปาง (Kaolin)	ร้อยละ	25.8
ดินขาวระนอง (Kaolin)	ร้อยละ	19.2
ดินเหนียวแม่ทาน (Ball Clay)	ร้อยละ	14.3
ดินเชื้ยวหนุมานจันทบุรี (Quartz)	ร้อยละ	30.0
หินฟันม้าราชบุรี (Feldspar)	ร้อยละ	10.7
โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate)	ร้อยละ	0.3

และมีคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผา (Testing the Physical Properties of Clay Body After Firing)

อุณหภูมิ		บรรยากาศในการเผา		การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
°C	°F	Oxidation	Reduction		
1225	2240	ขาวเหลือง	ขาว	0.10	13.8

(โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 154)

1.3 เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำ (Soft Porcelain) ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (Casting Porelain) โดยใช้วัตถุดิบมีสูตรส่วนผสม

ดินขาวลำปาง (Kaolin)	ร้อยละ	27.0
ดินขาวระนอง (Kaolin)	ร้อยละ	11.0
ดินเหนียวแม่ทาน (Ball Clay)	ร้อยละ	7.8
หินฟันม้าราชบุรี (Feldspar)	ร้อยละ	30.4
หินเขี้ยวหนุมาน จันทบุรี (Quartz)	ร้อยละ	21.8
โดโลไมต์กาญจนบุรี (Dolomite)	ร้อยละ	2.0
โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate)	ร้อยละ	0.3

และมีคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผา (Testing the Physical Properties of Body After Firing)

อุณหภูมิ		บรรยากาศในการเผา		% การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	% การหดตัว (ร้อยละ)
°C	°F	Oxidation	Reduction		
1225	2240	ขาวเหลือง	ขาวใส	-	14.63

(โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 164)

2. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การใช้สนิมโลหะ 3 ชนิด คือ โคบอลท์ออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ผสมกันตามสูตรการคำนวณแผนภาพไตรดุลยภาค (Triaxial Diagram) ได้ 36 สูตรส่วนผสมในแต่ละสูตรส่วนผสมจะมีจำนวนของสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด

รวมกันเท่ากับน้ำหนัก 10 กรัม แล้วนำไปผสมกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ จำนวน 100 ซี.ซี., ผสมกับเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อจำนวน 100 ซี.ซี. และผสมกับเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่างชนิดหล่อ 100 ซี.ซี. โดยเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ 36 ตัวอย่างแรก นำไปเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น, 36 ตัวอย่าง อย่างหลังนำไปเผาในบรรยากาศรีดักชั่น รวม 72 ตัวอย่าง นำไปเผาในอุณหภูมิที่กำหนดคือ 1,190° เซลเซียล ทั้ง 2 บรรยากาศ

ส่วนเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนชนิดหล่อได้เนื้อดินปั้นละ 72 ตัวอย่างเช่นกัน แต่เนื้อดินปั้นสองประเภทหลังนี้นำไปเผาในอุณหภูมิที่กำหนดคือ 1,225 เซลเซียส รวมจะได้กลุ่มตัวอย่าง 216 ตัวอย่าง

3. <u>ชนิดของเตาเผาใช้เตาเผา 2 ชนิด คือ</u>

3.1 เตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln) เผาแบบออกซิเดชั่น

3.2 เตาเผาแก๊ส (Gas Kiln) เผาแบบ รีดักชั่น

4. <u>ตัวแปรที่ศึกษา</u>

4.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

4.1.1 ประเภทเนื้อดินปั้น

4.1.1.1 เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ (Earthenware)

4.1.1.2 เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (Stoneware)

4.1.1.3 เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำ (Soft Porcelain)

4.1.2 อัตราส่วนผสมของโลหะออกไซด์ (Metallic Oxides) ระหว่างเหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide) โคบอลท์ออกไซด์ (Cobalt Oxide) และแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide) จะทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันได้

ตัวอย่างเช่น

4.1.2.1 ถ้าหากอัตราส่วนผสมของโคบอลท์ออกไซด์มาก จะได้สีน้ำเงินเข้ม หรือเทาน้ำเงิน

4.1.2.2 ถ้าหากอัตราส่วนผสมของเหล็กออกไซด์มาก จะได้สีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม

4.1.2.3 ถ้าหากอัตราส่วนผสมของแมงกานีสออกไซด์มาก จะได้สีน้ำตาล หรือสีฟาง

4.1.3 บรรยากาศภายในเตาในขณะที่เผา (Kiln Atmosphere) ทำให้สีที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้เนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน อุณหภูมิที่เผาเท่ากันอัตราส่วนผสมของโลหะออกไซด์เหมือนกัน บรรยากาศของการเผาแบ่งออก 2 ชนิด คือ

4.1.3.1 บรรยากาศของการเผาแบบออกซิเดชั่น (Oxidation Firing) โดยใช้เตาไฟฟ้าเผา

4.1.3.2 บรรยากาศของการเผาแบบรีดักชั่น (Reduction Firing) โดยใช้เตาแก๊สเผา

4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

4.1.1 สีของเนื้อดินปั้นที่เผาได้จำแนกตามสีมาตรฐาน

สมมุติฐานของการวิจัย

1. จำนวนอัตราส่วนผสมสนิมโลหะ (Metallic Oxide) ต่างกันให้สีต่างกันในสูตรส่วนผสมเนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน

2. สูตรส่วนผสมเนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน ในจำนวนอัตราส่วนผสมสนิมโลหะ (Metallic Oxide) เดียวกันให้สีต่างกัน

3. เผาในบรรยากาศที่แตกต่างกันเนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันในจำนวนอัตราส่วนผสมสนิมโลหะ (Metallic Oxide) เดียวกัน สีต่างกัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การเผาแบบออกซิเดชั่น เป็นการเผาไหม้ที่หมดจด ไม่มีกลุ่มควัน และเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตาเผา เพราะอัตราส่วนผสมที่ทำปฏิกิริยากันระหว่างก๊าซออกซิเจนและเชื้อเพลิงเหมาะสมกัน การเผาเตาในบรรยากาศแบบนี้สามารถทำการเผาได้กับเตาเผาทุกชนิด เตาเผาที่สามารถเผาในบรรยากาศอ๊อกซิเดชั่น ได้ดีที่สุดคือ เตาไฟฟ้า (Electric Kiln)

2. การเผาแบบรีดักชั่น คือการที่เกิดการเผาไหม้ไม่หมดในเตาเผาจะมีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตาเผาเนื่องมาจากก๊าสออกซิเจนทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนที่ไม่พอดีกัน

3. สีในเนื้อดินปั้น คือ เนื้อดินปั้นชนิดเอิทเธนแวร์ (Earthen ware) ชนิดสโตนแวร์ (Stoneware) และเนื้อดินปั้นชนิดปอร์สเลนไฟต่ำ (Soft Porcelain) ผสมกับสนิมโลหะ (Metallic Oxide) ได้แก่ เหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide, Fe_2O_3) โคบอลท์ออกไซด์ (Cobalt Oxide, CoO) และแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese-dioxide, MnO_2) ตามอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วทำให้เกิดสีต่าง ๆ ในเนื้อดินชนิดต่าง ๆ

4. สนิมโลหะ (Metallic Oxide) คือการรวมตัวทางเคมีของออกซิเจนกับแร่โลหะซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบและเป็นตัวให้สี (Coloring) เป็นตัวช่วยการหลอมละลาย (Flux)

5. สูตรแผนภาพไตรดุลยภาค (Triaxial Diagram) คือสูตรการคำนวณตามแผนผังตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า ที่ใช้ในการคำนวณอัตราส่วนผสมน้ำเคลือบ (Glaze) เนื้อดินปั้น (Clay Body) หรือสีเคลือบ (Glaze Color) และสีเนื้อดินปั้น (Body Color)

6. Flux คือ สารประกอบ ที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็นแก้วที่อุณหภูมิต่ำ

ตาราง 1 เครื่องชี้ที่สำคัญบางตัวของอุตสาหกรรมเซรามิกส์

(มูลค่า : ล้านบาท)

เครื่องชี้		2513	2518	2523	2528	2529	
GDP(ราคา ปี 2515)	มูลค่า	142,915.00	203,514.00	292,852.00	373,869.00	373,869.00	e
	อัตราการขยายตัว	-	7.30	7.50	5.00	3.50	
มูลค่าเพิ่มที่เกิดจาก	มูลค่า	23,318.00	36,832.00	60,597.00	77,425.00	82,612.00	e
ภาคหัตถอุตสาหกรรม	อัตราการขยายตัว	-	9.60	10.50	5.00	6.70	
(ราคา ปี 2515)	% ใน GPD	16.30	18.10	20.70	20.70	21.40	
มูลค่าเพิ่มที่เกิดจาก	มูลค่า	76.80	99.00	259.20	337.70	n.a.	
อุตสาหกรรมเซรามิกส์	อัตราการขยายตัว	-	5.20	21.20	5.40	n.a.	
(ราคา ปี 2515)	% ในภาคหัตถอุตฯ	0.33	0.27	0.43	0.43	n.a.	
การนำเข้าของ	มูลค่า	20,922.00	44,952.00	104,565.00	162,594.00	204,145.00	p
ภาคหัตถอุตสาหกรรม	อัตราการขยายตัว	-	16.50	18.40	9.20	25.60	
การนำเข้าของ	มูลค่า	101.60	158.70	380.40	110.70	121.40	p
อุตสาหกรรมเซรามิกส์	อัตราการขยายตัว	-	9.30	19.10	-11.3	9.70	
	% ในภาคหัตถอุตฯ	0.49	0.36	0.37	0.07	0.06	
การส่งออกของ	มูลค่า	8,058.00	17,184.00	43,065.00	65,615.00	127,681.00	
ภาคหัตถอุตสาหกรรม	อัตราการขยายตัว	-	16.40	20.00	17.30	33.50	
การส่งออกของ	มูลค่า	1.20	38.70	328.40	497.40	788.0	p
อุตสาหกรรมเซรามิกส์	อัตราการขยายตัว	-	100.00	53.50	8.70	58.40	
	% ในภาคอุตสาหกรรม	0.02	0.23	0.77	0.52	0.62	

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ธนาคารแห่งประเทศไทย และกรมศุลกากร

หมายเหตุ : e = ตัวเลขประมาณการ

p = ตัวเลขเบื้องต้น

n.a. = ไม่มีข้อมูล

GDP = Gross Domestic Product (ค่าเงินของสินค้าและบริการทั้งหมดที่ผลิตในประเทศ)

ตาราง 2 ค่าดัชนีความได้เปรียบสัมพันธ์ที่ปรากฏ (Revealed Comparative Advantage Index) ของบางประเทศ สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

รหัส	ผลิตภัณฑ์	ปี พ.ศ.	ญี่ปุ่น	ประเทศกำลังพัฒนา	ANICS	อาเซียน-4	ไทย
662	วัสดุก่อสร้างดินเผา	2519	1.050	0.150	0.500	0.300	0.550
		2523	1.045	0.136	0.318	0.182	0.775
		2527	0.235	0.176	0.233	0.294	1.174
6623	วัสดุก่อสร้างที่เป็นฉนวนกันความร้อนและชนิดทนไฟ	2521	1.048	0.118	0.277	0.080	0.063
		2523	0.463	0.013	0.015	0.011	0.016
		2527	0.429	0.017	0.008	0.052	0.031
6624	วัสดุก่อสร้างดินเผาที่มิใช่ชนิดทนไฟ	2521	0.647	0.024	0.529	0.371	1.888
		2523	0.767	0.193	0.411	0.308	1.217
		2527	0.749	0.252	0.210	0.385	2.222
6644	กระเบื้องปูพื้น-บุผนังและกระเบื้องโมเสดชนิดมิได้เคลือบ	2521	0.364	0.276	0.494	1.876	0.226
		2523	0.431	0.218	0.388	0.256	0.061
		2527	1.086	0.258	0.161	0.109	0.026
66245	กระเบื้องปูพื้น-บุผนังและกระเบื้องโมเสดชนิดเคลือบ	2521	0.807	0.225	0.614	0.467	2.456
		2523	0.868	0.139	0.384	0.321	1.608
		2527	0.660	0.206	0.314	0.062	2.127
686	เครื่องโต๊ะอาหาร เครื่องใช้ในบ้านเรือนและเครื่องประดับเซรามิกส์	2519	4.300	0.200	1.400	0.100	0.100
		2523	4.200	0.200	1.400	0.200	0.200
		2527	3.687	0.444	2.000	0.222	0.333

ตาราง 2 (ต่อ)

รหัส	ผลิตภัณฑ์	ปี พ.ศ.	ญี่ปุ่น	ประเทศกำลังพัฒนา	ANICS	อาเซียน-4	ไทย
6664	เครื่องโต๊ะอาหารและเครื่องใช้	2521	2.532	0.345	0.264	0.300	0.084
	ในบ้านเรือนทำด้วยปอร์สเลน	2532	2.360	0.367	0.424	0.221	0.110
		2527	2.553	0.788	0.678	0.271	0.108
6665	เครื่องโต๊ะอาหารและเครื่องใช้	2521	4.255	0.348	1.716	0.237	0.095
	ในบ้านเรือนทำด้วยวัตถุเครื่อง	2523	4.133	0.521	3.269	0.336	0.177
	ปั้นดินเผาชนิดอื่น	2527	4.258	0.990	3.344	0.217	0.246
6668	เครื่องประดับเซรามิกส์	2521	4.179	1.342	6.276	0.196	0.714
		2523	4.066	1.373	8.291	0.361	1.231
		2527	3.309	2.596	9.782	0.595	1.154
8122	เครื่องสุขภัณฑ์	2521	0.074	0.303	0.269	0.378	0.810
		2523	0.034	0.187	0.081	0.778	0.657
		2527	0.076	0.544	0.038	0.844	1.832

ที่มา : คำนวณโดยใช้ข้อมูลจาก U.N., Yearbook of International Trade Statistics. หลายฉบับ และ UNSO/ITC, Import analysis Table. 1978 - 1984.

ANICS (Asian Newly Industrializing Counties) ประกอบด้วยประเทศ เกาหลีใต้ ฮ่องกง ไต้หวัน สิงคโปร์

อาเซียน - 4 ประกอบด้วยประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย และไทย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ความหมายของเซรามิกส์ (Ceramics) และการจำแนกผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

2. วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

   2.1 วัตถุดิบประเภทที่มีความเหนียว

   2.2 วัตถุดิบประเภทที่ไม่มีความเหนียว

   2.3 แหล่งวัตถุดิบภายในประเทศ ที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิกส์พร้อมกับผลวิเคราะห์ทางเคมี และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3. กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

   3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

   3.2 การเตรียมเนื้อดินปั้น

   3.3 ชนิดของเนื้อดินนั้น

4. เตาและการเผา

5. วัตถุดิบที่ให้สีทางผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

6. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินก่อนและหลังเผา

7. สูตรแผนภาพไตรดุลยภาค

8. การแบ่งระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value)

9. ชื่อสีมาตรฐานของ Cotman ดังแสดงในภาพประกอบ 2

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

1. ความหมายของเซรามิกส์ (Ceramics) และการจำแนกผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ในสมัยแรก ๆ เป็นที่เข้าใจกันว่าคำว่าเซรามิกส์ (Ceramics) หมายถึงศิลปะ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปั้นดินเผา ต่อมาได้ใช้ในความหมายกว้างมากขึ้น รวมถึงอุตสาหกรรมทั้งหลายที่ใช้สารประกอบพวกซิลิเกต (Silicate) ในการผลิตผลิตภัณฑ์ คำว่าเซรามิกส์ ศัพท์เดิมมาจากภาษากรีก "เคราม็อส" (Karamos) และมีรากศัพท์มาจากภาษาสันสกฤต (Sanskrite) ซึ่งมีความหมายว่าเผา (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2527 : 1)

เซรามิกส์ (Ceramics) มาจากรากศัพท์เดิมว่า "เคราม็อส" (Karamos) ซึ่งเป็นภาษากรีก และภาษาสันสกฤต ซึ่งมีความหมายว่าการนำเอาสารอนินทรีย์ไปทำการเผาในอุณหภูมิสูงในปัจจุบันเซรามิกส์ (Ceramics) เป็นวิชาที่ประกอบด้วยศิลปะ (Arts) วิทยาศาสตร์ (Science) และวิศวกรรมศาสตร์ (Engineer) ทั้งสามประการนี้ซึ่งสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์ (Ceramics) ได้ดี ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้แก่วัตถุทนไฟ (Refractorys) เครื่องเคลือบดินเผา (Potterry) แก้ว (Glass) ปูนพลาสเตอร์และซีเมนต์ (Plaster of Paris and Cement) โลหะเคลือบ (Enamels) สิ่งขัดถู (Abrasives) วัสดุก่อสร้าง ที่เป็นเครื่องปั้นดินเผา (Ceramic Product for Construction) เป็นต้น (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 1)

คำว่าอุตสาหกรรมเซรามิกส์นั้น เป็นอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นจากการนำเอาสารอนนทรีย์ที่เป็นอโลหะ ซึ่งได้แก่ สารจำพวกแร่หินหรือดินที่เกิดอยู่ตามธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักแล้วผ่านกรรมวิธีการผลิตและสิ่งที่สำคัญจะต้องผ่านกระบวนการความร้อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแกร่ง ด้วยเหตุนี้ ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเซรามิกส์ จึงมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น ประเภทเครื่องปั้นดินเผาหรือเครื่องเคลือบดินเผา ผลิตภัณฑ์วัตถุทนไฟ (Refractories) ผลิตภัณฑ์แก้ว (Glass) ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ (Cement) ผลิตภัณฑ์โลหะเคลือบ (Enamel) ผลิตภัณฑ์ใช้ขัดหรือตัด (Abrasive) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานไฟฟ้าและอีเลคโทรนิค (Electronic and Electrical Ceramics) ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดพิเศษ (Special Ceramies) (สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์. 2524 : 1)

การศึกษาในวิชาเซรามิกส์ นับได้ว่ามีความสำคัญและเป็นที่ต้องการ นิยมกันแพร่หลายโดยทั่วไป ซึ่งมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในยุคปัจจุบัน คือ การที่มนุษย์ได้นำเอาผลประโยชน์จากการศึกษาค้นคว้า การวิจัยและผลผลิตทางเซรามิกส์ ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแกร่งเป็นพิเศษ ทนต่อกรด ด่าง ทนต่อการเสียดสี ทนต่อความร้อนสูง มาใช้ในโครงการต่าง ๆ อย่างกว้างขวางและมีคุณค่าอย่างยิ่ง ซึ่งไม่เคยปรากฏมาก่อน เช่น โครงการอวกาศ โครงการเครื่องมืออีเลคโทรนิค เครื่องมือสื่อสาร ดาวเทียม เครื่องมือคอมพิวเตอร์ และเครื่องมือเตาปฏิกรปรมาณู เป็นต้น

โดยเฉพาะทางการศึกษาทางด้านเซรามิกส์แยกเป็นแนวทางการศึกษาได้ 2 ทาง คือ

1. <u>การศึกษาในแนวทางวิทยาศาสตร์</u> (Ceramic Science)

หมายถึง การศึกษาที่เน้นหนักในทางการค้นคว้า สำรวจ วิจัย วิเคราะห์หาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับวัตถุดิบ แหล่งวัตถุดิบ ปริมาณของวัตถุดิบ และคุณสมบัติต่าง ๆ รวมทั้งด้านกรรมวิธีและเทคนิคต่าง ๆ ที่ช่วยในการผลิตให้รวดเร็ว มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ตลอดจนการศึกษาเกี่ยวกับระบบเครื่องมือ เครื่องจักร และการใช้เครื่องมือ ที่จะเอื้ออำนายผลผลิตอย่างสมบูรณ์แบบ รวดเร็วเพียงพอกับความต้องการ

2. <u>การศึกษาในแนวทางด้านศิลปะ</u> (Ceramic Art)

การศึกษาในทางแขนงนี้ หมายถึง การศึกษาเน้นคุณค่าในทางสุนทรีภาพ อันได้แก่ความงาม อันก่อให้เกิดประโยชน์ในทางใช้สอยด้วยความงามที่เกิดจากรูปทรง สีสรรค์ต่าง ๆ ตลอดจนการตกแต่งลวดลายให้ผสมกลมกลืนเข้าด้วยกัน อันเป็นศิลปวัฒนธรรมเพื่อดึดดูดใจผู้ซื้อ นับว่ามีความสำคัญไม่น้อยเช่นกัน โดยเฉพาะการศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นหนักในด้านการออกแบบ (Desing) และการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม สนองประโยชน์ผู้ใช้ เพื่อจะได้เป็นที่ต้องตาต้องใจแก่คนทั้งหลาย (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 1-2)

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาหรือเครื่องเคลือบดินเผา โดยทั่วไปจำแนกผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด แต่ที่สำคัญมี 2 ชนิด

1.1 จำแนกตามลักษณะวัตถุดิบ ที่ใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดิน และอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.1.1 ผลิตภัณฑ์ประเภทเอิทเธนแวร์ (Earthenware) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อดินปั้นส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวธรรมดา ส่วนมากนิยมใช้ดินท้องถิ่นขึ้นรูปเป็นภาชนะต่าง ๆ เช่นหม้อดิน กระถาง ต้นไม้ โอ่งดิน อิฐก่อสร้าง ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีการพรุนตัวสามารถดูดซึมน้ำได้ เนื้อผลิตภัณฑ์หนาหยาบสีเนื้อดินเป็นสีน้ำตาล สีเทาอ่อนออกเหลือง เวลาเคาะเสียงจะไม่กังวาล เหมือนผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบอุณหภูมิที่ใช้เผา 1,050 °C - 1,190 °C

1.1.2 ผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ (Stoneware) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อดินปั้นที่มีลักษณ์คล้ายเอิทเธนแวร์ แต่ต้องมีส่วนผสมของดินทนไฟ (Fire Clays) อยู่ด้วย และซิลิก้าสูงเนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เนื้อหยาบ แน่น และมีความแข็งแกร่งมาก เผาถึงจุดสุกตัว (Vitreous Ware) น้ำและของเหลว ไม่สามารถไหลซึมผ่านได้

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ชนิดที่เตรียมดินจากธรรมชาติ นำมาปั้นโดยตรงก็มีเช่น ผลิตภัณฑ์ โอ่งราชบุรี ศิลาดอนเชียงใหม่ ผลิตภัณฑ์สังคโลกเป็นต้น นอกจากนี้ยังมีชนิดที่เตรียมในห้องปฏิบัติการเองอีกด้วย

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์นิยมทำภาชนะใส่อาหาร จาน ชาม ถ้วยกาแฟ เหยือกน้ำ แจกัน ที่เขี่ยบุหรี่ เครื่องประดับ เป็นภาชนะค่อนข้างหนา เนื้อแน่น ทึบแสง มีลักษณะ เนื้อหยาบ อุณหภูมิที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์ 1,200 °C - 1,390 ° C

1.1.3 ผลิตภัณฑ์ประเภทปอร์สเลน (Porcelainware) หมายถึง ผลิตภัณฑ์เตรียมขึ้นเป็นพิเศษ ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นประกอบไปด้วยหินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) หินฟันม้า (Feldspar) ดิน (Kaolin) ดินเหนียวขาว (Ball Clay) และวัตถุอื่น ๆ อีกตามสัดส่วนที่เหมาะสมสิ่งสำคัญคือโปร่งแสง (Translucent) เผาใน

อุณหภูมิตั้งแต่ 1250 °C ขึ้นไป เมื่อเผาถึงจุดสุกตัวมีความแข็งแกร่งน้ำ และของเหลวไม่สามารถไหลซึมผ่านได้ เนื้อละเอียดและแข็งแกร่งมีลักษณะเหมือนแก้ว (Glass)

ผลิตภัณฑ์ชนิดปอร์สเลนแบ่งตามอุณหภูมิในการเผาคือแบบปอร์สเลนไฟต่ำ (Soft Porcelain) เผาในอุณหภูมิประมาณ 1210°C - 1285°C นิยมนำไปทำภาชนะใส่อาหาร (Table Ware) และงานประเภทด้านศิลปะ (Art Ware) และแบบปอร์สเลนไฟสูง (Hard Porcelain) เผาในอุณหภูมิ 1310°C - 1430°C มีความแข็งแกร่งเป็นพิเศษ นิยมนำไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องฉนวนไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หัวเทียนรถยนต์ ลูกถ้วยไฟฟ้า ภาชนะทดลองทางเคมี

1.2 จำแนกตามลักษณะวัตถุประสงค์ของการใช้ผลิตภัณฑ์

1.2.1 ประเภทที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐ กระเบื้อง และเครื่องสุขภัณฑ์

1.2.2 ประเภทฉนวนไฟฟ้าและวัสดุทนไฟ เช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า และอิฐทนไฟ

1.2.3 ประเภทเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น ชุดอาหาร (Table Ware) ชุดน้ำชา - กาแฟ (Tea Set)

1.2.4 ประเภทเครื่องประดับ เช่น แจกัน กระถาง โอ่ง และของชำร่วย (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 1 - 18)

2. วัตถุดิบ ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 วัตถุดิบประเภทที่มีความเหนียว (Plastic Raw Materials) เช่น ดินขาว (Kaolin) ดินเหนียว (Ball Clay) ดินทนไฟ (Fire Claly)

2.2 วัตถุดิบ ประเภทที่ไม่มีความเหนียว (Non - Plastic - Raw Material) ได้แก่หินฟันม้า (Feldspar) หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) เป็นต้น (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 2)

180575

ดิน (Clay)

"ดินเป็นสารประกอบพวก Hydrous Alumimum Silicate ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) มีส่วนประกอบและโครงสร้างของผลึกที่แน่นอนเมื่อผสมกับน้ำแล้ว มีความเหนียว มีกลิ่นเฉพาะตัว นิ่ม (Soft) เมื่อนำไปปั้นขึ้นรูปแล้วถ้าปล่อยให้แห้งจะยังคงรักษารูปร่างเดิมไว้ มีความแข็งดีขึ้น แต่ค่อนข้างเปราะถ้าเอาไปเผาไฟจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นของแข็งซึ่งเมื่อถูกน้ำแล้วจะไม่เกิดความเหนียวอีกต่อไป"

ดินเกิดจากการผุกร่อนของหินแกรนิต หินฟันม้า หินอัคนี ฯลฯ ซึ่งหินเหล่านี้ประกอบอยู่เป็นส่วนที่เรียกว่าเปลือกโลก (Earths Crust) ซึ่งมีแร่ธาตุต่าง ๆ หลายชนิดพบว่าธาตุต่าง ๆ ท่อยู่ในโลกนี้ประมาณ 58 % เป็นธาตุซิลิกอน (Silicon) 15 % เป็นธาตุ Aluminium ซึ่งธาตุเหล่านี้จะอยู่ในรูปสารประกอบ Oxide ที่พบอยู่ คือ SiO_2 ทางเคมีเรียกว่า Silicon di Oxide ได้แก่ทรายที่เราพบเห็นอยู่ทั่วไป (SiO_2) และเป็นส่วนประกอบของหินอัคนี (Igneous Rock) หินฟันม้า (Feldspar) สารประกอบพวกอลูมิน่า Alumina, Al_2O_3) ก็เช่นกัน

กระบวนการที่ทำให้เกิดการผุกร่อนของหินเหล่านี้ คือกระบวนการอันหนึ่ง เรียกว่ากระบวนการการเปลี่ยนแปลงกาลอากาศ (Weathering) คือการเปลี่ยนสภาพโดยการเปลี่ยนแปลงของกาลอากาศได้แก่ ฤดูกาลต่าง ๆ เช่น ฤดูร้อน ฤดูหนาว ฤดูฝน ฯลฯ ดังสมการ

ก. น้ำฝน ที่ตกลงมารวมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Co_2 รวมกันในอากาศกลายเป็นกรดคาร์บอนิค (Carbonic Acid) อย่างอ่อน ๆ

$$H_2O + CO_2 \quad > \quad H_2CO_3$$

ข. เมื่อน้ำฝน ซึ่งเป็นกรดอย่างอ่อนตกลงมาถูกหินเข้า หินจะเกิดการสลายตัวอย่างช้า ๆ โดยใช้ระยะเวลานาน หินที่เกิดการสลายตัวนี้จะพบมากในหินฟันม้า ซึ่งมีอยู่ 3 รูปด้วยกัน คือ

1. Potash Feldspar ชื่อสามัญ (Orthoclase)

สูตร $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$

2. Soda Feldspar ชื่อสามัญ Albite

สูตร $(Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2)$

3. Calcium Feldspar ชื่อสามัญ (Anorthite)

สูตร $(CaO.Al_2O_3.2SiO_2)$

ดังสมการ (ใช้ Potash Feldspar เปลี่ยนสภาพกลายเป็นดิน)

$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2+2H_2O+CO_2$ ----------> $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O+K_2CO_3+4SiO_2$

เราจะได้ Potassium Carbornate (K_2CO_3) ที่เกิดขึ้นสามารถละลายน้ำได้ (Water Soluble) จึงละลายน้ำออกไป คงเลือแต่ดิน (Clay Substant) กับทรายเท่านั้น (จาตุรงค์ กีระนันท์. 2518 : 2) Clay Substant ที่เกิดจากกระบวนการอันนี้เป็นส่วนสำคัญที่มีอยู่ในดินชนิดต่าง ๆ ยากที่เราจะพบในรูปบริสุทธิ์ ส่วนประกอบของดินตามทฤษฎีเช่นดินเกาลิน (Kaolin) มีสูตร $Al_2O_3.2SiO_22H_2O$ หรือมี SiO_2 46.3 % Al_2O_3 39.8 % และ H_2O 13.9 % แต่จะต้องพิจารณาจากกระบวนการ Weathering ซึ่งดินที่เกิดจากกระบวนการนี้จะต้องปนอยู่กับ

2.1.1 Silica ที่ได้มาจากส่วนประกอบซึ่งอยู่ในหินฟันม้า (Feldspar) นั่นเอง นอกจากนี้อาจมีไมก้า (Mica) บางส่วนซึ่งปนอยู่ในหินต่าง ๆ เจือปนอยู่ใน (Clay Substant)

2.1.2 อาจจะมีหินฟันม้า Feldspar บางส่วนซึ่งยังไม่เกิดการสลายตัวปนอยู่ด้วย

2.1.3 สิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ปนอยู่ได้แก่ เหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide, Fe_2O_3) ไทตาเนี่ยมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) เป็นต้น

2.1.4 สารอินทรีย์บางชนิด เมื่อปนอยู่ในดินก็ทำให้สีของดินต่างออกไป แต่ถ้าเผาแล้ว สารอินทรีย์พวกนี้จะสลายตัวไป (จาตุรงค์ กีระนันท์. 2518 : 3)

2.2 <u>วัตถุดิบประเภทที่ไม่มีความเหนียว</u> (Non - Plastic Raw Materials)

ได้แก่ประเภทหินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญในการผสมเนื้อดินนั้นและน้ำเคลือบ ซึ่งมีมากมายหลายชนิด มีผลต่อผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ กล่าวคือ

2.2.1 **หินเขี้ยวหนุมาน** (Quartz, Sio_2) คือ สารประกอบของซิลิก้าที่เกิดในธรรมชาติ มีความบริสุทธิ์มากกว่าวัตถุดิบ ชนิดอื่นมีความแข็งมาก (Moh' s Scale of Hardness) ประมาณ 7 มีชื่อ อีกอย่างหนึ่งเรียกตามภาษาเซรามิกซ์เป็นผงที่บดละเอียด (325 mesh) ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ หินเขี้ยวหนุมานที่พบในธรรมชาติในรูปต่าง ๆ เช่น ในรูปของหิน (Rock Type) ในรูปของทราย (Granular Type) ในรูปของผง (Powder Type) หรือที่เรียกว่า Amorphous Silica เป็นผงซึ่งมักจะมีแร่ธาตุอื่น ๆ ปะปนอยู่มาก ส่วนใหญ่นิยมไปผสมในเนื้อดินปั้นที่เป็น ทำผลิตภัณฑ์ประเภทลูกถ้วยไฟฟ้า (Thermal Insulation) เป็นต้น

การผสมหินเขี้ยวหนุมาน ในเนื้อดินปั้นทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเพื่อให้เนื้อดินมีความทนไฟสูงขึ้น ลดการหดตัวของเนื้อดิน นอกจากนี้ทำให้เนื้อดินมีควาแข็งและมีความโปร่งใสขึ้น แต่ถ้าใส่มากเกินไปทำให้ลดความเหนียวลง และเพิ่มความขยายตัวมีผลต่อการแตกร้าวเสียหายได้ ถ้านำผสมในน้ำเคลือบ ทำให้เคลือบเป็นมัน ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ทนไฟสูงเช่นกัน (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 62)

2.2.2 **หินฟันม้า** (Feldspar)

เป็นวัตถุดิบที่สำคัญ ใช้ทำหน้าที่ เป็นตัวหลอมละลาย (Flux) ในอุณหภูมิสูง ใช้ผสมในเนื้อดินและน้ำเคลือบได้ทั้งสองอย่าง หินฟันม้า ซึ่งเกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต มีลักษณะโดยทั่วไปเป็นหินแข็ง ทึบแสง พบในธรรมชาติมีทั้งสีขาว สีชมพู ชนิดของหินฟันม้ามี 3 ชนิด คือ

1. หินฟันม้า ชนิดโปแตสเพลสฟาร์ (Potass Feldspar) ได้แก่ Orthoclase $K_2O.A_2IO_3.6SiO_2$ ซึ่งมีสารประกอบของโปแตสเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Potassium Aluminium Silicate) และอาจจะมีสารโซเดียมหรือแคลเซียมมากน้อยปะปนอยู่ด้วย หินฟันม้าชนิดนี้มีจุดหลอมตัวประมาณ 1200-1250 องศาเซลเซียส ใช้ผสมน้ำเคลือบและเนื้อดิน

2. หินฟันม้าชนิดโซดาเฟสสปาร์ (Soda Feldspar)

ได้แก่ หิน Albite $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ มีสารประกอบโซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต (Sodium Aluminium Silicate หินฟันม้าชนิดนี้ ใช้ผสมในน้ำเคลือบ และให้อุณหภูมิต่ำกว่า Potass Feldspar

3. หินฟันม้า ชนิดคัลเซียมเพลสปาร์ (Calcium Feldspar ได้แก่หิน Anorthite, Lime Feldspar $CaO.A_2l0_3.2SiO_2$ มีสารประกอบของแคลเซียมอลูมิเนียมซิลิเกต Calcium Aluminium Silicate ใช้ผสมน้ำเคลือบเป็นส่วนใหญ่ (สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์. 2528 : 72)

2.2.3 **หินปูน** (Limestone หรือ Whiting $CaCO_3$)

หินปูน (Whiting) นิยมใช้ในการผสมน้ำเคลือบส่วนในเนื้อดินปั้นนั้นใช้น้อยมาก เพราะถ้าใส่มากเกินไปจะเกิดผลเสียทำให้เนื้อดินยุบตัวได้ เนื่องจากหินปูนทำหน้าที่จุดหลอมตัวด้วย (Flux) และหินปูนเป็นสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ช่วงการเผาสั้น (Firing Range) นอกจากนี้ยังนิยมนำไปทำอุตสาหกรรมทำชอล์ค (Chalk) การผสมในน้ำเคลือบมีความต้านทานต่อกรด (Resistant) ทำให้เคลือบมีความแข็งแกร่งดี แต่ใส่ในเปอร์เซ็นต์น้อย ๆ ช่วยทำให้เคลือบไฟต่ำลง

2.2.4 **หินโดโลไมท์** (Dolomite $CaCO_3.MgCO_3$)

เป็นสารประกอบของมักนิเซียมและคัลเซียมคาร์บอเนต ใช้ผสมในเนื้อดิน เพื่อลดจุดสุกตัวและลดอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ในเวลาทำการเผา (Thermal Expansion) ได้ดี

2.2.5 **หินไพโรฟิลไลท์** (Pysophyllite $Al_2O_3.4SiO_2.H_2O$)

เป็นหินที่มีสารประกอบของอลูมิเนียมซิลิเกต ใช้ผสมในเนื้อดินปั้นและน้ำเคลือบ โดยเฉพาะในเนื้อดินปั้นใช้ผสมในเนื้อกระเบื้องช่วยลดการบิดเบี้ยวได้ดี นอกจากนี้ยังนิยมผสมในเนื้ออิฐทนไฟ มีคุณสมบัติพิเศษเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ หินไพโรฟิลไลท์ เท่าที่สำรวจพบในประเทศไทย ที่เขาชะโงก และเขาคอก จังหวัดนครนายก มีลักษณะเป็นหินแต่ไม่แข็งมากนัก ชาวบ้านเรียกหินนี้ว่า หินสบู่ (Soap Stone)

2.2.6 **ทัลค์** (Talc $3MgO.4SiO.H_2O$)

เป็นสารประกอบของมักนิเซียมซิลิเกต จุดประสงค์ในไปใช้ในการฉาบผิว (Filless and Coatings) ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในด้านอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ใช้ผสมในเนื้อดินที่เป็นผลิตภัณฑ์สีขาว (White Ware Bodies) ช่วยให้เนื้อดินมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Highly Resistant to Heat Shock) เช่น ทำผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่ำ (Low Fired) ผลิตภัณฑ์ทางศิลป (Art Ware Bodies) และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในเตา (Kiln Furniture) (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 64 - 65)

2.3 แหล่งวัตถุดิบภายในประเทศที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เซรามิกส์พร้อมกับผลวิเคราะห์ทางเคมีและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงอุตสาหกรรม) ในที่นี้ข้อมูลแหล่งวัตถุดิบภายประเทศนำมาเฉพาะแต่ที่จะใช้ผสมในการทดลองเนื้อดินปั้นเท่านั้น

2.3.1 <u>ดินขาวแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง</u>

<u>แหล่งกำเนิด</u> ดินขาวแหล่งนี้เกิดอยู่ที่เขาปางค่า ตำบลบ้านสา อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง อยู่ทางทิศตะวันออกของเส้นทางหลวงลำปาง - แจ้ห่ม ตรงหลักกิโลเมตรที่ 26 และเขาปางขามหลักกิโลเมตรที่ 28 ห่างจากเส้นทางหลวงเข้าไปประมาณ 2 กิโลเมตร ทั้งสองแห่งเกิดจากการผุพังสลายตัวของแร่เฟลสปาร์ (Feldspar) ในหินภูเขาไฟ (Liperite) ที่มีส่วนประกอบของเฟลสปาร์อยู่ด้วย การสลายตัวมาเป็นดินขาวยังไม่สมบูรณ์ดี จึงทำให้มีปริมาณของหินแข็งปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก

<u>ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ล้างแล้ว</u>

Loss on Ignition,	ร้อยละ	5.3
Silica (Sio_2),	ร้อยละ	51.2
Alumina (A_2IO_3),	ร้อยละ	36.4
Iron Oxide (Fe_2O_3),	ร้อยละ	1.4
Calcium Oxide (CaO),	ร้อยละ	1.1
Magnesium Oxide (MgO),	ร้อยละ	2.1
Alkalies ($K_2O + Na_2O$), by Difference,	ร้อยละ	2.5

ผลการทดสอบทางภายภาพเพื่อดูสีหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวและการดูดซึมน้ำโดยการเผาในอุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิการเผา	สีของดิน	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
800 °C	สีเนื้อปนชมพู	3.4	22.92
900 °C	สีเนื้อปนชมพู	3.8	22.86
10,00 °C	สีเนื้อปนชมพู	4.0	22.82
1,100 °C	สีเนื้อปนชมพู	4.8	19.4
1,200 °C	สีขาวปนชมพู	8.0	13.1
1.300 °C	สีขาว	9.1	7.8

2.3.2 ดินขาวหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง

แหล่งกำเนิด ดินขาวแหล่งนี้อยู่ที่บริเวณเหมืองแร่ดีบุก ตำบลหาดส้มแป้น อำเภอเมือง จังหวัดระนอง เกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิตมาเป็นดินขาวปะปนอยู่กับหินควอตซ์ หินแกรนิตและแร่ดีบุก มีผู้ผลิตดินขาวแหล่งนี้ เป็นผลพลอยได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุก ในขณะที่ทำการฉีดน้ำเพื่อแยกแร่ออกจากหินตามภูเขา ดินขาวละลายออกมากับแร่ดีบุกไหลตามน้ำมาด้วย ดีบุกจะตกอยู่ตามรางที่น้ำไหลผ่านมาแล้วแยกน้ำดินขาวออกมาจากหินและทรายที่ติดมาโดยใช้เครื่องไฮโรไซโคลน (Hydrocyclone) ปล่อยให้เนื้อดินจมตัวในบ่อพัก แล้วสูบเข้าเครื่องกรองอัดเป็นแผ่นออกจำหน่าย ดินขาวแหล่งนี้เป็นดินขาวชนิดดีที่พบเป็นแห่งแรกในประเทศไทยมีปริมาณของอลูมิน่า (Alumina) สูงและปริมาณของเหล็ก (Iron Oxide) น้อย เหมาะสำหรับใช้ผสมทำเนื้อดินปั้นและน้ำยาเคลือบผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบดินเผาชนิดดีได้ และมีปริมาณมาก

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ล้างแล้ว

Loss on Ignition,	ร้อยละ	12.0
Silica (Sio_2),	ร้อยละ	47.9

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ล้างแล้ว

Alumina (Al_{23}),	ร้อยละ	36.6
Iron Oxide (Fe_2O_3),	ร้อยละ	0.80
Calcium Oxide (CaO),	ร้อยละ	0.25
Magnesium Oxide (MgO),	ร้อยละ	0.51
Alkalies ($K_2O + Na_2O$), by Difference,	ร้อยละ	1.94

ผลทดสอบทางกายภาพเพื่อดูสีหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว และดูดซึมน้ำโดยการเผาในอุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิการเผา	สีของดิน	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
800 °C	ขาว	3.9	40.5
900 °C	ขาว	3.9	40.3
1,000 °C	ขาว	4.4	40.3
1,100 °C	ขาว	5.2	39.5
1,200 °C	ขาว	9.4	32.7
1.300 °C	ขาว	11.8	30.0

2.3.3 <u>ดินเหนียวดำแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่</u>

<u>แหล่งกำเนิด</u> ดินเหนียวแหล่งนี้อยู่บริเวณค่ายทหารปืนใหญ่ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ต้องเปิดหน้าดินประมาณ 2 เมตร จึงจะถึงชั้นของดินเหนียวดำ

ดินเหนียวดำนี้มีความเหนียวดี สามารถใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ดี แต่เนื่องจากมีปริมาณของธาตุเหล็กสูง จึงไม่เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์สีขาว เหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภท Earthenware ได้ดี และนำไปผสมกับดินขาวซึ่งมีความเหนียวไม่พอได้อีกด้วย

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ล้างแล้ว

Loss on Ignition,	ร้อยละ	14.7
Silica (Sio_2),	ร้อยละ	52.7
Alumina (Al_{23}),	ร้อยละ	23.4
Iron Oxide (Fe_2O_3),	ร้อยละ	2.2
Calcium Oxide (CaO),	ร้อยละ	3.7
Magnesium Oxide (MgO),	ร้อยละ	2.5
Alkalies ($K_2O + Na_2O$), by Difference,	ร้อยละ	1.5

ผลการทดสอบทางกายภาพเพื่อดูสีหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว และดูดซึมน้ำโดยการเผาในอุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิการเผา	สีของดิน	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
800 °C	ขาวเหลือง	2.8	44.0
900 °C	เหลืองอ่อน	3.2	42.0
1,000 °C	เหลืองอ่อน	3.6	40.6
1,000 °C	เหลือง	5.6	40.0
1,200 °C	เหลืองออกน้ำตาล	7.3	36.8
1.300 °C	น้ำตาลอ่อน	9.0	33.4

2.3.4 ดินเหนียวแม่ทาน จังหวัดลำปาง

แหล่งกำเนิด ดินเหนียวแม่ทานแหล่ง มีอยู่ในแม่ทาน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ดินเหนียวชนิดนี้เหมาะในการผสมทำเนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์ เพราะมีความเหนียวดี นอกจากนี้ยังเหมาะในการผสมทำวัสดุทนไฟ เช่น หีบดินและอิฐทนไฟได้ด้วย

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ล้างแล้ว

Loss on Ignition,	ร้อยละ	8.3
Silica (Sio_2),	ร้อยละ	58.1
Alumina (Al_{23}),	ร้อยละ	27.2
Iron Oxide (Fe_2O_3),	ร้อยละ	1.4

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ล้างแล้ว

Calcium Oxide (CaO),	ร้อยละ	2.0
Magnesium Oxide (MgO),	ร้อยละ	1.7
Alkabies (K_2+ Na_2O) by Difference	ร้อยละ	1.2

ผลการทดสอบทางกายภาพเพื่อดูสีหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวและดูดซึมน้ำโดยการเผาในอุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิการเผา	สีของดิน	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
800 °C	สีเนื้อปนชมพู	2.5	46.22
900 °C	สีเนื้อปนชมพู	2.9	46.06
1,000 °C	สีเนื้อปนชมพู	3.3	44.52
1,000 °C	สีเนื้อปนชมพู	3.5	42.1
1,200 °C	สีขาวปนชมพู	5.1	39.4
1.300 °C	สีขาว	7.8	35.3

2.3.5 หินควอตซ์ (Quartz)

หินควอตซ์เป็นสารประกอบของซิลิก้าที่เกิดในธรรมชาติ มีความบริสุทธิ์ มากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นที่เป็นสารประกอบอย่างเดียวกัน มีความแข็งแกร่งและทนมาก ย่อยและบดละเอียดยากใช้ผสมในเนื้อดินปั้นและน้ำยาเคลือบ ลักษณะของหินควอตซ์ที่พบในประเทศไทย มีทั้งชนิดใสและขาวขุ่นทึบ แต่หินควอตซ์ที่เขาหินแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี เป็นหินควอตซ์ชนิดใสมีทั้งสีขาวและสีชมพู โรงงานเครื่องเคลือบดินเผาส่วนมากใช้หินควอตซ์จากแหล่งนี้ในการผลิต

แหล่งกำเนิด หินควอตซ์แหล่งนี้เป็นภูเขาเตี้ย ๆ ชาวบ้านเรียกเขาหินแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรีอยู่หลักกิโลเมตรที่ 323.5 ถนนสุขุมวิท เลี้ยวทางซ้ายมือเข้าไปประมาณ 2 กิโลเมตร ในสมัยก่อนเป็นเขาหินควอตซ์ทั้งลูก แต่ในปัจจุบันนี้ทำการขุดลงไปจนถึงระดับพื้นราบแล้ว และยังมีหินควอตซ์เหลืออยู่เป็นจำนวนมากใต้ระดับพื้นดิน

ผลการวิเคราะห์หินควอตซ์เขาหินแก้ว

Loss on Ignition,	ร้อยละ	0.05
Silica (SiO_2),	ร้อยละ	0.80
Alumina (kAl_2O_3),	ร้อยละ	0.80
Iron Oxide (Fe_2O_3	ร้อยละ	0.10
Calcium Oxide (CaO),	ร้อยละ	0.05
Magnesium Oxide (MgO),	ร้อยละ	0.09

2.3.6 หินฟันม้า จังหวัดราชบุรี

แหล่งกำเนิด เกิดอยู่บนยอดเขาตำบลสวนผึ้ง อำเภอบ้านบึง จังหวัดราชบุรี หินฟันม้าแหล่งนี้มีความบริสุทธิ์สูง มีคุณภาพดี มีบางโรงงานใช้หินฟันม้าจากแหล่งนี้ผสมทำเครื่องปั้นดินเผา เป็นหินฟันม้าชนิด Potash Feldspar

ผลการวิเคราะห์หินฟันม้า จังหวัดราชบุรี

Loss on Ignition,	ร้อยละ	1.5
Silica (SiO_2)	ร้อยละ	65.2
Alumina (Al_2O_3),	ร้อยละ	20.4
Iron Oxide (Fe_2O_3)	ร้อยละ	1.0
Calcium Oxide (CaO),	ร้อยละ	1.7
Magnesium Oxide (MgO),	ร้อยละ	1.7
Potassium Oxide (K_2O),	ร้อยละ	6.7
Sodium Oxide (Na_2O),	ร้อยละ	1.5

2.3.7 หินโดโลไมท์ (Dolomite)

หินโดโลไมท์ เป็นสารประกอบของมักเนเซียม และคัลเซียมคาร์บอเนต ใช้ในการผสมเนื้อกระเบื้องเคลือบ และผสมทำน้ำยาเคลือบเช่นเดียวกับหินปูน

แหล่งกำเนิด พบที่ตำบลบ้านถ้ำ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นแหล่งที่มีปริมาณและความบริสุทธิ์มากกว่าแหล่งอื่น

ผลการวิเคราะห์หินโดโลไมท์ จังหวัดกาญจนบุรี

Loss on Ignition,	ร้อยละ	46.3
Silica (SiO_2)	ร้อยละ	0.12
Alumina (Al_2O_3),	ร้อยละ	1.2
Iron Oxide (Fe_2O_3)	ร้อยละ	0.5
Calcium Oxide (CaO),	ร้อยละ	31.9
Magnesium Oxide (MgO),	ร้อยละ	20.8

3. กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation of Materials)

การเตรียมวัตถุดิบที่จะนำมาใช้นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ย่อมมีสิ่งเจือปนมากมายหลายอย่าง จำเป็นต้องนำมาบดแล้วจึงจะนำมาผสมกัน จึงจะได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่เท่าที่ควร โดยเฉพาะในวงงานอุตสาหกรรมให้ความสนใจมาก เป็นการแข่งขันกันในด้านคุณภาพ ทำให้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น วัตถุดิบที่นำมาผสมต้องสามารถรู้ส่วนประกอบทางเคมี เพื่อจะได้ปรับปรุงและแก้ไขให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

หลักการเตรียมดิน

ดินที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ซึ่งได้มาจากแหล่งธรรมชาติต่าง ๆ มักจะไม่ค่อยบริสุทธิ์ ย่อมมีเศษหิน ทราย รากไม้ ใบไม้ ปะปนอยู่มากมาย ผู้ประกอบอาชีพจำเป็น ต้องนำมาล้างให้บริสุทธิ์เสียก่อน หลักการล้างดินมีหลายวิธีด้วยกัน กล่าวคือ

ก. การล้างดินที่ไม่ต้องลงทุนมากนักใช้ได้กับการเตรียมดินจำนวนน้อยที่ไม่มากซึ่งสามารถมีวิธีการดำเนินการ ดังนี้

1. หาตุ่มน้ำหรือถังไม้ขนาดใหญ่ และควรมีขนาดปากกว้างเพื่อสะดวกแก่การถ่ายเทดิน

2. อ่างปูนพลาสเตอร์ หรือตุ่มน้ำที่มีความพรุนตัวสูง ใช้สำหรับเกรอะดินให้แห้ง

3. ตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 80 (80 mesh)

วิธีล้างดิน โดยนำดินที่ขุดมาได้ตากให้แห้ง แล้วใช้เครื่องย่อยให้เป็นผงละเอียด นำไปแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้ วิธีนี้จะทำให้ดินสลายตัวได้เร็วกว่าวิธีที่ขุดแล้วนำมาแช่น้ำโดยทันที เมื่อดินสลายตัว ควรให้ดินผ่านตะแกรงร่อน แล้วกวนดินปล่อยให้ดินตกตะกอนเอง ซึ่งต้องใช้เวลาบ้าง จะทำให้ดินแยกตัวกัน หินที่ปะปนมาในดิน มีน้ำหนักมากกว่าดินก็จะตกลงสู่ที่ก้นภาชนะ ส่วนเนื้อดินแท้มีน้ำหนักเบากว่าจะอยู่ตอนกลาง แล้วนำมาเกรอะในอ่างปูนพลาสเตอร์ที่เตรียมไว้ ถ้าใช้ผ้ารองรับก็จะสะดวกแก่การนำดินออกมาใช้

ข. การล้างดินด้วยวิธีใช้เครื่องมือไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) เป็นเครื่องมือล้างดินที่รวดเร็วและได้ปริมาณมาก เหมาะแก่โรงงานอุตสาหกรรม หลักการของเครื่องมือคือ การปั๊มน้ำเข้าถังรูปทรงกรวย ทำให้เกิดการหมุนตัวอย่างแรงของน้ำดิน ซึ่งจะแยกเศษหิน กรวด ทราย ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าดิน ให้แยกตัวออกและตกไปส่วนก้นของถัง ส่วนเนื้อดินบริสุทธิ์ซึ่งเบากว่าจะลอยตัวขึ้นตอนบนของถัง แล้วใช้เครื่องปั๊มดูดน้ำดินส่วนนี้ออกไปเก็บไว้ในถัง ที่เตรียมไว้ แล้วน้ำดินเหลว (Slip) จากถังน้ำไปผ่านเครื่องแยกเหล็ก (Magnatic Seprater or Ferrofiltor) เป็นเครื่องมือใช้แยกเหล็กออกจากดินโดยอาศัยการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า เป็นแม่เหล็กเมื่อให้น้ำดินเหลว (Slip) ไหลผ่านเครื่อง Ferrofiltor6 นี้ พวกเหล็กออกไซด์ที่ปนอยู่ในอนุภาคของเม็ดดิน จะถูกแม่เหล็กดูดออก ทำให้เนื้อดินมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเมื่อเผาจะขาวขึ้น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 87)

ส่วนการเตรียมวัตถุดิบที่แข็ง

วัตถุดิบส่วนใหญ่ได้แก่ประเภทหินต่าง ๆ เช่น หินเชื้ยวหนุมาน (Quartz) หินฟันม้า (Feldspar) ซึ่งมีขนาดใหญ่และเล็ก และมีความแข็งเป็นการยาก ในการบดให้เป็นผง อุปกรณ์ และเครื่องมือในการย่อยหินตั้งแต่ชนิดหยาบไปถึงละเอียดมีชื่อต่าง ๆ กันคือ แบบย่อยหินหยาบ (Jaw crusher) แบบย่อยละเอียด (Edge Runner)

เครื่องมือผสมดิน (Ball Mill or Jar Mill) เป็นเครื่องมือใช้บดดินหรือ ผสมดินเป็นเครื่องมือที่ทำให้วัตถุดิบต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่นำลงไปบดย่อย ทำให้มีความละเอียดมากขึ้น ตามความต้องการหม้อบดขนาดใหญ่เรียกว่า Ball Mill สามารถบดได้ตั้งแต่ 100 กิโลกรัม จนถึงหลายตันก็มีส่วนหม้อบดเล็กเรียกว่า Jar Mill

การบดอาศัยการหมุนรอบตัวที่มีความเร็วไม่มากนักและหินที่ผสมกับวัตถุดิบที่อยู่ภายในซึ่งมีขนาดต่าง ๆ ทำหน้าที่บดและกระแทกอยู่ตลอดเวลาการ บดที่ดีคือการบดเปียก (Wet Prodess) ทำให้การบดมีประสิทธิภาพ การบรรจุวัตถุ ดิบสำหรับบดไม่ควรมากหรือ แน่นเกินไปจึงทำให้การบดไม่ดี

ในการบดวัตถุดิบควรบดชนิดแข็งก่อนแล้วจึงบดวัตถุดิบที่อ่อนกว่าตามมาภายหลังลูกหินที่ใส่ในหม้อบดควรมีขนาดต่าง ๆ กัน

เครื่องอัดดิน (Filterpress)

เป็นเครื่องมือสำหรับอัดดินจากน้ำดินเหลว (Slip) ออกมาเป็นแผ่น โดยไล่น้ำออกซึ่งแผ่นอัดประกอบไปด้วยผ้าใบ (Canvas) กรอบเหล็ก (Iron Plate) แล้วมีท่อสำหรับให้น้ำดินเหลว (Slip) ไหลเข้าตรงกึ่งกลางของกรอบเหล็กที่บุด้วยผ้าใบ ซึ่งแรงอัดจากการปั๊มน้ำดินเหลวทำให้น้ำที่ผสมในดินเหลว (Slip) ซึมผ่านผ้าใบออกมาเหลือแต่เนื้อดิน

เครื่องอัดดิน (Filterpress) มีหลายขนาด และสามารถอัดดินได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

เครื่องรีดดิน (Pug Mill)

เป็นเครื่องมือทุ่นแรงสำหรับการนวดดิน เพื่อที่จะนำไปขึ้นรูปต่าง ๆ ตามความต้องการ เครื่องรีดดินที่ดีสามารถดูดฟองอากาศในเนื้อดินปั้นไปในตัว

การหมักดิน (Aging)

โดยปกติดินที่เตรียมขึ้นมา โดยผสมกันตามความต้องการ เมื่อเตรียมขึ้นมาใหม่ ๆ ความเหนียวมักจะไม่ค่อยดี ยากแก่การขึ้นรูป ทางที่ดีควรนำดินไปหมักเสียก่อนในที่อับ หรือเก็บไว้ในห้องที่มิดชิด โดยใช้น้ำฉีดให้ชุ่มอยู่เสมอ จะช่วยทำให้ความเหนียวเพิ่มขึ้นยิ่งหมักไว้นาน ๆ ยิ่งเพิ่มความเหนียวมากขึ้นโดยเฉพาะเนื้อดินปร์สเลนมีความเหนียวน้อยอยู่แล้วจึงจำเป็นต้องหมักก่อนนำไปใช้ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2523 : 88-93)

3.2 การเตรียมเนื้อดิน (Preparation of Clay Bodies)

การเตรียมเนื้อดิน หมายถึง การผสมดิน (Mixture) เข้าด้วยกันโดยการผสมดินกับวัตถุอย่างอื่น โดยมีเป้าหมายที่แน่นอน ที่จะทำผลิตภัณฑ์ชนิดใด ทั้งนี้เพื่อจะให้เนื้อดินมีคุณสมบัติที่ถูกต้องและคุณภาพที่ดีตามความต้องการ

วัตถุดิบที่พบในธรรมชาติ โดยทั่วไปมีหลายชนิด วัตถุดิบบางชนิดมีความเหมาะสมที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งชนิดใดก็ได้โดยที่ไม่ต้องผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นให้สิ้นเปลืองเลย แต่ข้อเท็จจริงดังกล่าว นับว่าเป็นความเหมาะสมโดยธรรมชาติ หรือโดยบังเอิญ (Natural Clay Bodies)

แต่ถ้านำดินไปผสมกับวัตถุดิบอย่างอื่นหรือเนื้อดินที่แตกต่างกันดังกล่าวเพื่อต้องการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อดิน ให้มีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น การควบคุมการหดตัวของดิน (Shrinkage) การเพิ่มความเหนียวในเนื้อดิน (Plasticity) ต้องการผลิตภัณฑ์ชนิดสีขาว (White Ware Bodies) ต้องการความโปร่งแสง (Translucent) ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเนื้อหยาบหรือละเอียด หรือผลิตภัณฑ์ชนิดที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ประเภทภาชนะตั้งไฟ (Thermal Proporties) เหล่านี้ เป็นต้น ต้องการเตรียมและทดสอบเนื้อดินทุกครั้ง เพื่อความเหมาะสมดังกล่าว

วัตถุประสงค์การเตรียมเนื้อดิน

โดยธรรมดาแล้วในทางปฏิบัติ เราถือกันว่าเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญอย่างยิ่ง การเตรียมดิน การขึ้นรูป การเผาดินและเคลือบ ตลอดจนการตกแต่งด้วยสีตามลำดับ ผู้ผลิตจำเป็นต้องวางหลักการอันแน่นอนว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทใด ชนิดใด และปรับปรุงคุณสมบัติอย่างไร จึงจะเหมาะสม วัตถุประสงค์ในการเตรียมเนื้อดิน (Clay Bodies) มีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

3.2.1 เพื่อต้องการปรับปรุงสีของเนื้อดิน

3.2.2 เพื่อต้องการให้เนื้อดินมีความเหนียวมากขึ้น หรือต้องการความเหนียวไม่มากนัก เช่น การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนต้องการเนื้อดินที่มีความเหนียว มาก เป็นต้น

3.2.3 เพื่อต้องการควบคุมการหดตัวของเนื้อดินเพื่อไม่ให้แตกร้าวและบิดงอ

3.2.4 เพื่อต้องการลดอุณหภูมิ ของเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่ให้สูงมากนัก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

3.2.5 เพื่อต้องการให้เนื้อดิน มีความเหมาะสมกับน้ำเคลือบซึ่งจะทำให้เคลือบไม่ร้าน (โกมล รักษ์วงศ์. 2531 : 20)

3.3 เนื้อดินชนิดเอิทเธนแวร์ (Earthenware)

เนื้อดินเอิทเทนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์เผา ในอุณหภูมิไม่สูงมากนัก อุณหภูมิไม่เกิน 1190 °C เนื้อดินจะมีความพรุนตัวบ้าง ใช้ดินเหนียวธรรมดาที่พบทั่วไปผสมทรายหรือดินเชื้อบ้าง เพื่อแก้ปัญหาการแตกร้าว ดินชนิดนี้ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน (Throwing) นับว่าเหมาะดี ดินชนิดนี้ส่วนมากมีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กสูง มักจะเป็นสีแดงสีน้ำตาลอ่อนหรือเข้ม และมีความทนไฟไม่สูงมากนัก

การเตรียมดินปั้นชนิดเอิทเทนแวร์ตามธรรมดาพวกทำเครื่องปั้นดินเผามักนิยมใช้ดินในท้องถิ่นของตน สะดวกแก่การนำมาผลิต ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้ดีสิ่งจำเป็นควรทดสอบในขั้นแรก คือการทดสอบการหดตัวของดิน การดูดซึมน้ำ ตลอดจนความเหนียว ซึ่งเป็นการช่วยให้ผู้ผลิตทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์นั้น ๆ วิธีการปรับปรุงเนื้อดินควรมีหลักเกณฑ์ดังนี้

3.3.1.1 ถ้าเป็นดิน ที่นำมาผลิตมีความทนไฟสูง ซึ่งจะทำให้เนื้อดินมีความแข็งแกร่งไม่เพียงพอ ควรเติมวัตถุดิบ ประเภทที่ช่วยหลอมละลายลงไปบ้าง (Flux) เช่น เหล็กออกไซด์ ทัลค์ (Talc) หรือฟริต (Frit) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้

3.3.1.2 ถ้าเป็นดินชนิดที่มีจุดหลอมตัวต่ำ ผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะมีรูปบิดเบี้ยว งอโค้ง ทำให้เสียรูปทรงไม่น่าใช้ ควรเติมวัตถุดิบชนิดที่มีความทนไฟสูงขึ้นเช่น ดินขาว (Kaolin) ดินสโตนแวร์ (Stoneware) หินเชื้อวหนุมาน ดินเชื้อ (Grog) และประเภทดินทนไฟ

3.3.1.3 ถ้าดินมีความเหนียวมาก การหดตัวของดินมีมากเช่นกัน ทำให้มีการแตกร้าวมาก ควรเติมวัตถุดิบประเภทที่ไม่มีความเหนียว เช่น ดินขาว (Kaolin) หินแก้ว (Quartz) ดินเชื้อ (Grog)

3.3.1.4 ถ้าดินไม่เหนียวยากแก่การขึ้นรูปทรงควรเติมวัตถุดิบที่มีความเหนียว เช่น ดินบอลเคย์ (Ball Clay) ดินเบนโทไนท์ (Bentonite) (จรัสศรี สมบัติทวี. 2513 : 1)

3.3.2 <u>เนื้อดินปั้นชนิดสโตนแวร์</u> (Stoneware)

เป็นเนื้อดินที่เผาถึงจุดสุกตัว (Vitious) ส่วนใหญ่เป็นสีเทาอ่อน สีเทาเข้ม สีน้ำตาล อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 1190 - 1390 °C มีคุณลักษณะแข็งแกร่งเป็นพิเศษ น้ำ และของเหลวไหลซึมไม่ได้ เนื้อดินชนิดสโตนแวร์เผาไฟสูงมาก เนื้อดินมีความเหนียวดีมาก และค่อนข้างหยาบ วัตถุดิบส่วนใหญ่ตั้งเดิมใช้ดินตามแหล่งธรรมชาติ มักเป็นสีน้ำตาลแดงอ่อน

การเตรียมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาไฟในอุณหภูมิค่อนข้างสูง มีผู้เตรียมขึ้นเอง และนิยมใช้หินฟันม้า (Feldspar) เป็นส่วนผสมช่วยให้เกิดหลอมละลาย (Flux) และช่วยให้ช่วงการเผายาว (Long Firing Range) ได้ดี บางชนิดเนื้อดินใช้ดินเชื้อ (Grog) ผสมลงไปบ้าง และเนื้อดินสโตนแวร์ดูดน้ำประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์เป็นอย่างมาก ฉะนั้นของเหลวจะไม่ไหลซึมผ่านได้เลย (Phodes,Daniel. 1959 : 6)

3.3.3 เนื้อดินปั้นปอร์สเลน (Porcelain)

เนื้อดินปั้นชนิดปอร์สเลน เป็นเนื้อดินปั้น ที่เผาถึงจุดสุกตัว (Vitrious Ware) เหมือนผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ แต่เนื้อดินละเอียดกว่า สีขาว มีความโปร่งแสงปานกลาง (Translucent) เผาในอุณหภูมิ 1250 °C ขึ้นไป เนื้อดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินขาว (Kaolin or White Clay) หินฟันม้า (Feldspar) และดินเหนียวขาว (China Clay) ผสมกันตามสัดส่วน

การเตรียมเนื้อดินค่อนข้างยุ่งยาก มีกระบวนการหลายขั้นตอน และโดยเฉพาะดินขาว (Kaolin) ไม่ค่อยมีความเหนียวซึ่งจำเป็นจะต้องหาดินชนิดอื่นเข้าช่วยผสมด้วย การทำผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ใช้วิธีหล่อในพิมพ์ (Casting)

ส่วนผสมของเนื้อดินปอร์สเลนโดยประมาณทั่ว ๆ ไป จะใช้ดินประมาณห้าส่วน หินฟันม้าประมาณสามส่วน หินแก้วประมาณสองส่วน แล้วนำไปผสมบดเข้าด้วยกัน จากรายการส่วนผสมดังกล่าว จะเห็นได้ว่า เนื้อดินนั้นจะประกอบด้วยดินขาว (Kaolin) กับดินเหนียวขาว (China Clay) ซึ่งจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์สีขาวและมีความเหนียวพอขึ้นรูปได้ หลักการสำคัญอยู่ที่ว่า ดินที่นำมานั้นๆต้องล้าง และบดให้ละเอียดเสียก่อน โดยผ่านเครื่องแยกเหล็ก เนื่องจากดินขาวบางแหล่งมีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กสูงจะทำให้สีไม่ค่อยขาวนัก

3.3.4 เนื้อดินชนิดหล่อแบบ (Casting Clays)

เนื้อดินสำหรับหล่อที่ดีนั้น จะต้องมีลักษณะน้ำสลิบไหลเป็นสาย (Fluid, Suspension) ดินนั้นจะต้องไม่ตกตะกอนง่ายในขณะที่ทำการหล่อ โดยเฉพาะพิมพ์ที่ทำด้วยพลาสเตอร์ต้องแห้งสนิท และเนื้อดินไม่หดตัวมากนัก

ตามธรรมดา การผสมดินกับน้ำเท่านั้น ไม่ถือว่าเป็นสลิบที่ดี น้ำสลิบที่ดีจะขึ้นอยู่กับจำนวนที่พอเหมาะ เนื้อดินจะลอยตัวได้ดี แต่ถ้าใส่น้ำมากจนเกินไป ดินนั้นจะเหลวมาก เมื่อเทลงแบบพิมพ์จะทำให้ช่วยการหล่อช้า ดินตกตะกอน โอกาสแตกมีมากขึ้น

การเตรียมน้ำสลิบ จำเป็นจะต้องจำกัดจำนวนน้ำแค่ไหนจึงจะเหมาะสม เพื่อให้ดินนั้นลอยตัวได้ดี เราเรียกว่าเกิด Deflocculation

ในทางปฏิบัติที่จะทำให้ดินเกิด Deflocculation โดยใช้น้ำผสมแต่น้อยแล้วใช้โซเดียมซิลิเกตและโซดาแอส (Sodium Silicate and Soda Ash) จะทำให้เกิดการลอยตัวขึ้น น้ำที่เหมาะสมในการเตรียมสลิบ โดยประมาณ 35 - 50 เปอร์เซ็น ในดิน 50 - 65 ส่วน แล้วเติมสารโซเดียมซิลิเกตลงไป .21 - 3 % จะทำให้เกิดการลอยตัวได้ดี

ประเภทดินที่ไม่มีลักษณะการเกิด Defuccution จะเตรียมสลิบไม่ได้ เช่น ประเภทดินเหนียวทั่วไป (Surface Clay) ซึ่งยากแก่การเตรียมสลิบ แต่ถ้าเป็นดินประเภท Kaolin, Ball Clay ดินประเภทนี้มีลักษณะลอยตัวได้ดี เหมาะกับการเตรียมสลิบอย่างยิ่ง (กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 23)

4. เตาและการเผา (Kiln and Firing)

เตาเผาเซรามิกส์ที่ใช้กันอยู่ตามโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ทั่ว ๆ ไปจะคำนึงถึงสัดส่วนรูปแบบของเตาให้เหมาะสมกับความต้องการและมีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเชื้อเพลิง ความปลอดภัยและควบคุมสะดวก

การแบ่งประเภทเตาเผาเซรามิกส์แบ่งได้ ดังนี้

4.1 แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา

4.2 แบ่งตามประเภททางเดินของลมร้อน

4.3 แบ่งตามลักษณะของเปลวไฟ

4.4 แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง (Norton. 1970 : 294)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเตาเผาเซรามิกส์ที่แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง คือเตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln) และเตาแกส (Gas Kiln) เพราะใช้ในการทดลองครั้งนี้

4.4.1 เตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln)

ปัจจุบันนี้เตาไฟฟ้าเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงเรียน และวงการอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพราะมีความสะดวกต่อการเผาเป็นอันมากได้ผลแน่นอน และควบคุมอุณหภูมิได้ดี แต่เป็นการลงทุนที่ค่อนข้างสูง ตั้งแต่ราคาเตา ค่ากระแสไฟในการเผาแต่ละครั้งก็สิ้นเปลืองมาก ค่าใช้จ่ายในการเผาในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน จึงสูงกว่าเตาเผาชนิดอื่น ๆ

ในตอนแรก ๆ เตาไฟฟ้าไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้มากนักเนื่องจากราคาแพง และค่าใช้จ่ายในการเผาสูง ดังกล่าวแล้ว ทั้งอุณหภูมิก็เผาได้ยังไม่สูงนักด้วย แต่ต่อมาวิทยาการก้าวหน้าได้ปรับปรุงแก้ไขจนดีขึ้น เผาได้อุณหภูมิสูงขึ้น ควบคุมอุณหภูมิสะดวก และเผาได้สะดวก ในระยะหลัง ๆ จึงเป็นที่นิยมใช้กว้างขวางขึ้น

เตาไฟฟ้าเป็นเตาเผาที่เผาได้สะอาดที่สุด เผาได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูง เร่งอุณหภูมิให้ช้าเร็วได้ตามต้องการ เนื่องจากมีสวิทซ์อยู่หลายตัวสับเปลี่ยนกัน ในการเผาไม่มีเปลวไฟ ไม่มีควัน และเผาได้อย่างสะอาด เราอาจจำแนกเตาไฟฟ้าออกได้ คือ

ก. <u>เตาเผาที่ใช้ความร้อนไม่เกินอุณหภูมิ 1,100 ° ซ</u>

ภายในเตาเผาใช้ขดลวด Nickle-Chromium หรือบางทีเรียก Ni-chrome เป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการเผาดิบ เผาเคลือบไฟต่ำ หรือการเผาตกแต่งเท่านั้น เพราะถ้าเผาอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ ลวดอาจจะขาดได้เนื่องจากทนความร้อนไม่สูงมากนัก โดยปกติลวด Ni-chrome นี้จะเผาได้อุณหภูมิสูงสุดเพียง 1090 °ซ

ข. <u>เตาเผาที่ใช้ความร้อนอุณหภูมิสูง</u>

เป็นเตาเผาที่ให้ความร้อนจากแท่งความร้อนซึ่งทำจาก Silicon Carbide เรียกว่าแท่ง Grobar ซึ่งจะให้ความร้อนได้ถึงอุณหภูมิ 1538 °ซ หรืออาจจะถึง 1600 °ซ เตาเผาที่ใช้อุณหภูมิสูงชนิดนี้ส่วนใหญ่เผาประเภท High Fire Porcelain อาจจะเป็น Electrical Insulator หรือเผาทดลองวิจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นต้น โดยปกติแล้วการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั่วไปมักจะเผาที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก อาจจะต่ำลงมาเล็กน้อย เช่น ประมาณ 1250 °ซ - 1280 °ซ ดังนั้นเตาเผาที่ใช้ Heater Element ชนิดเป็นแท่งจึงมีน้อย มักจะเปลี่ยนมาใช้ประเภทที่ใช้ขดลวด Kanthal Wire เนื่องจากราคาถูกกว่ากันมาก และ Kenthal Wire ก็สามารถให้ความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 1375 °ซ ซึ่งนับว่าสูงพอสมควร

<u>ข้อดีของเตาเผาไฟฟ้า</u>

4.4.1.1 ใช้อุณหภูมิสม่ำเสมอ

4.4.1.2 การควบคุมการเผา และควบคุมอุณหภูมิได้สะดวก

4.4.1.3 เป็นเตาเผาที่สะอาดที่สุด เพราะไม่มีเปลวไฟ ไม่มีควันหรือเขม่า

4.4.1.4 สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายไปได้ง่าย ทั้งตั้งเตาได้ทุกสถานที่

4.4.1.5 บรรยากาศภายในเตาเป็นแบบ Oxidizing Atmosphere จึงไม่ทำให้ผิวเคลือบ หรือสีเคลือบเปลี่ยนแปลง เพราะไม่มีปฏิกิริยากับเคลือบ (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 64 - 64)

4.4.2 เตาแก๊ส (Gas Kiln)

เตาแก๊สปัจจุบันนับว่าเป็นเตาที่กำลังนิยมในหมู่บรรดาผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา เป็นเตาที่ค่อนข้างสะอาด เผาให้อุณหภูมิสูง (High Temperature) มีความสะดวกต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย เป็นเตาที่สามารถเผาแบบ Reduction ได้

การสร้างเตาแก๊ส จะต้องใช้อิฐเบา (Insulating Brick) ในการก่อเตาชนิดที่มีความทนไฟสูง เพราะจะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี

เตาแก๊สที่สร้างแบบมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ

- เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น (Up Draft Kiln)
- เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง (Down Draft Kiln)

การสร้างเตาแก๊สชนิดทางลมร้อน เป็นเตาที่ไม่มีปล่องไฟ แต่มีช่องระบายความร้อนผ่านแผ่นรองชนิดทนไฟสูงโดยไม่ผ่านผลิตภัณฑ์โดยตรง แผ่นรองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี (Thermal Conductivity) รับน้ำหนักและช่วยเฉลี่ยความร้อนให้สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา

เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น นิยมออกแบบเตาเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชนิดเปิดหน้า (Front Loading) ชนิดเปิดบน (Top Loading) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้นเป็นเตาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เป็นเตาที่เหมาะสำหรับงานทดลอง งานวิจัยต่าง ๆ ได้ดี

เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง (Down Draft Kiln)

เป็นตัวที่ออกแบบสร้างส่วนมาเป็นเตาขนาดใหญ่ และเผาผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมากการบรรจุผลิตภัณฑ์โดยการใช้รถ (Kiln Car) ซึ่งทำให้สะดวกและคล่องตัว ถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตก็เพิ่มรถไว้สำรองอีก ซึ่งเท่ากับเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี ซึ่งสามารถเผาติดต่อกันไป กำลังเป็นที่นิยมกันอยู่ เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลงจะต้องสร้างให้มีปล่องเตาซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้หรือสันดาปได้อย่างดี

การก่อสร้างเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง ซึ่งจะเป็นตัวขนาดใหญ่รับน้ำหนักมากผู้ทำการก่อสร้างเตาจะต้องสร้างฐานรากให้แข็งแรง นอกจากนี้เตาแก๊สชนิดนี้การลงทุนค่อนข้างสูงกว่าแบบทางลมร้อนขึ้น (ทวี พรหมพฤกษ์. 2525 : 33)

การเผา (Firing)

สิ่งที่สำคัญอีกขบวนการหนึ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ก็คือการเผาโดยเฉพาะ

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่สำเร็จสวยงามและมีคุณค่านั้นจะเป็นด้วยการออกแบบหรือการตกแต่งลวดลายก็ดี จะต้องผ่านกระบวนการเผา (Firing Process) การเผาครั้งแรกเรียกว่า การเผาดิบ (Biscuit Firing) การเผาครั้งที่สอง เรียกว่า การเผาเคลือบ (Glost Firing) ส่วนการเผาครั้งที่สามเป็นการเผาเพื่อการตกแต่งลวดลายให้สวยงาม (Decorating Fires) โดยใช้สีบนเคลือบ (On Glaze) เขียนลวดลายแล้วนำเข้าเตาเผา มีสีต่าง ๆ ของไทยเราเรียกว่าเคลือบเบ็ญจรงค์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีการเผาครั้งเดียวและมีการเคลือบด้วยนั้น (One Firing) ก็มีผู้นิยมทำเช่นกัน เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดี (ทวี พรหมพฤกษ์. 2513 : 152)

ช่วงระยะการเผาเนื้อดินปั้นนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ดังนี้

1. Dehydration Period แบ่งเป็น 2 ระยะ

1.1 Mechanical Dehydration หรือ Water Smoking เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 20 °C - 150 °C ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น คือ น้ำที่ผสมในดินจะเริ่มระเหยออกมาเห็นเป็นควันลอยขึ้นจนกว่าจะแห้งสนิทและไม่มีน้ำดังกล่าวเหลืออีก ดินจะมีสภาพแข็งกว่าเดิม ถ้าหยุดให้ความร้อนและนำดินนั้นมาผสมกับน้ำอีกครั้งหนึ่ง ดินจะอ่อนและมีความเหนียวเหมือนเดิม

1.2 Chemical Dehydration หรือ Chemical Water Smoking เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 150 °C - 600 °C ถ้าให้ความร้อนแก่ดินต่อจากระยะแรก โมเลกุลของดินจะแตกและส่วนที่เป็นน้ำของโมเลกุลจะระเหยออกไป เหลือดินในรูปของ Mata Kaoline ($Al_2O_3.SiO_2$) ถ้าหยุดเผาแล้วนำดินไปผสมกับน้ำอีกครั้งหนึ่ง ดินจะยังคงแข็งและไม่มีความเหนียวอีกต่อไป

2. Oxidation Period เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 350° C - 950° C สิ่งต่าง ๆ ที่ปะปนมากับดิน เช่น เศษไม้ ใบหญ้า จะถูกเผาไหม้ให้หมดไป นอกจากนี้เศษแร่ต่าง ๆ เช่น พวกคาร์บอเนต ซัลไฟต์ และซัลเฟต จะแตกตัวออกด้วยในระยะนี้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินจะเปลี่ยนเกี่ยวกับน้ำหนัก ขนาด สี และความพรุนตัว

3. Vitrification Period เริ่มตั้งแต่ 900° C ขึ้นไป Vitrification คือระยะหนึ่งของการเผาซึ่งประกอบด้วย

3.1 ส่วนผสมในเนื้อดินบางชนิดเริ่มหลอมละลาย

3.2 ส่วนที่หลอมละลายจะพยายามละลายส่วนที่ไม่หลอมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.3 ส่วนที่ละลายจะไหลไปตามช่องว่าง ทำให้เนื้อดินแน่นทึบขึ้น

3.4 ถ้าหากมีส่วนผสมและอุณหภูมิที่พอเหมาะ อาจเกิดการตกผลึกใหม่ในเนื้อดินได้ ทั้งนี้เพราะอลูมิน่าและซิลิก้าในเนื้อดินจะรวมตัวกันเป็น Mullite ($3Al_2O_3.2SiO_2$) มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม ทำให้ดินมีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น ถ้าเนื้อดินมีส่วนที่หลอมละลายมากเกินไปจะทำให้เนื้อดินยุบตัวลงได้

คุณสมบัติที่เปลี่ยนไป	ระยะในการเผาและช่วงอุณหภูมิ		
	Dehydration 20 °C - 600 °C	Oxidation 350 °C - 950 °C	Vitrification 900 °C ขึ้นไป
สี	สีอ่อนลง	1. ดินที่มีเหล็กจะมีสีเข้มข้น 2. ดินที่มี Cabonaceous Matter จะมีสีอ่อนลง	สีเข้มขึ้น
ความพรุนตัว	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลง
การหดตัว	เพิ่มขึ้น	ขยายตัวเล็กน้อย	เพิ่มขึ้น
น้ำหนัก	ลดลง	ลดลง	เกือบคงที่
ความแข็งแกร่ง	เพิ่ม	ลดลงนิดหน่อย	เพิ่ม

(กรมวิทยาศาสตร์. 2514 : 4 - 5)

บรรยากาศที่ใช้เผา

การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในเตาเผาแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. <u>เผาแบบออกซิเดชัน</u> เป็นการเผาที่ปล่อยให้อากาศหรือออกซิเจนเข้ารวมตัวกับเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

เช่นเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส

$$C_4H_{10} + O_2 \text{ ----------> } CO_2 + H_2O$$

2. <u>เผาแบบรีดักชัน</u> คือการเผาให้มีเชื้อเพลิงสูงภายในเตา จะทำให้อากาศเข้าไปในเตาเผาน้อยกว่าและมีผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

$$C_4H_{10} + O_2 \text{ ----------> } CO_2 + CO + H_2O$$

(มนัส ขำอ่อน . 2527 : 18)

สิ่งที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เมื่อนำไปเผาขึ้นอยู่กับสิ่งเหล่านี้ คือ

1. <u>บรรยากาศในเตาเผา</u> การเผาในเตาเผาที่มีบรรยากาศแตกต่างกัน จะทำให้สีเครื่องปั้นดินเผามีสีเกิดขึ้นแตกต่างกัน ในการเผาเครื่องปั้นดินเผาจะมีการเผา 2 แบบ คือ การเผาแบบรีดักชัน และ ออกซิเดชัน การเผาจะเป็นบรรยากาศประเภทใดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของเตาเผาและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา

1.1 การเผาแบบรีดักชัน จะทำให้เกิดสีขึ้นได้ สีที่เกิดขึ้นแก่ผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไปกับบรรยากาศของการเผา การเผาแบบนี้จะต้องใช้เตาเผาชนิดต่าง ๆ ดังนี้ เตาน้ำมัน เตาแก๊ส เตาฟืน เตาถ่าน เตาพวกนี้จะเผาแบบรีดักชันได้ดี จะทำให้เกิดสีและเปลี่ยนแปลงสีได้เช่นการเผา Copper Oxide เผาในบรรยากาศรีดักชัน จะเกิดเป็นสีแดงได้ ถ้าเผาแบบ ออกซิเดชั่น จะได้สีเขียวไข่กา และ Ferric oxide (Fe_2O_3) เผาในบรรยากาศ รีดักชั่น จะเกิดสีเขียวได้ ถ้าเผาแบบ ออกซิเดชั่น จะได้สีน้ำตาล

1.2 การเผาแบบออกซิเดชัน เป็นการเผาไหม้ที่หมดจดไม่มีกลุ่มควันและเขม่าอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตาเผา เพราะออกซิเจนและเชื้อเพลิงเหมาะสมกันดี เตาเผาที่สามารถเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชันได้ดีที่สุดคือเตาเผาไฟฟ้า

2. <u>อุณหภูมิในการเผา</u> การเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันย่อมจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน หรืออาจจะเกิดสีขึ้นมาใหม่ หรืออาจจะทำให้สีบางสีจางหายไป สาเหตุอุณหภูมิในการเผาแตกต่างกันหรือเผาในอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันมีดังนี้

2.1 การเผาเคลือบไฟต่ำและการเผาเคลือบไฟสูงใช้สีชนิดเดียวกันและอัตราส่วนที่ใช้เท่ากันย่อมจะได้สีไม่เหมือนกัน โดยปกติทั่ว ๆ ไปเคลือบไฟต่ำกว่าจะให้สีที่เข้มกว่า

2.2 การเผาผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเคลือบเดียวกัน และเนื้อดินปั้นเดียวกันในเมื่อเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะเกิดสีที่แตกต่างกัน

3. สีของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจะเกิดสีขึ้นได้เพราะส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำน้ำเคลือบและเนื้อดินปั้น เช่นวัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์น้อยจะทำให้เกิดสีขึ้น สารที่เจือปนอยู่ในวัตถุดิบจะมีสารพวกออกไซด์เช่นแมงกานีสออกไซด์ หรือสารอื่น ๆ เมื่อผ่านการเผาแล้วจะเกิดสีขึ้น

นอกจากนี้ก็ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่แตกต่างกันจะทำให้สีของเคลือบไม่เหมือนกัน เช่นน้ำยาเคลือบขี้เถ้าไม้ไม่เหมือนกันคือใช้ไม้ต่างชนิดกันก็จะเกิดสีไม่เหมือนกัน

สีที่เกิดขึ้นได้เพราะส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมของสารพวกเหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ แหล่งดินแต่ละแหล่งที่มีในธรรมชาติจะทำให้เครื่องปั้นดินเผามีสีแตกต่างกันออกไป ถ้าดินแหล่งใดมีความบริสุทธิ์สูงผลิตภัณฑ์ที่เผาออกมาก็จะได้สีขาว เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์ White Ware ได้ดี ถ้าหากดินที่มีความบริสุทธิ์ต่ำผลิตภัณฑ์ที่เผาออกมาจะมีสีคล้ำสีน้ำตาล

4. สีที่เกิดขึ้นกับเครื่องปั้นดินเผาเนื่องมาจากการใช้ออกไซด์โลหะผสมเข้าไปในน้ำเคลือบและเนื้อดินปั้น หรือทำเป็นสีสำเร็จรูป (Stain) โดยที่นำเอาออกไซด์และโลหะมาผสมกับออกไซด์ของโลหะชนิดอื่น ๆ หรือนำมาทำปฏิกิริยากับพวกสารซิลิเกตอลูมิเนตบอแรกซ์ และสารประกอบของตะกั่วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงให้ทำปฏิกิริยากันจะได้สารประกอบที่มีสีออกมา (โกมล รักษ์วงศ์. 2529 : 158-165)

5. วัตถุดิบที่ให้สีทางผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สีต่าง ๆ ในน้ำเคลือบเกิดได้จากการผสมออกไซด์ของโลหะที่มีคุณสมบัติในการให้สีลงในส่วนผสม หรือได้จากการผสมพวกผงสีสำเร็จรูป (Pigment หรือ Stain) ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 วัตถุดิบที่ให้สีทางผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

5.1.1 พลวงออกไซด์ (Antimony Oxide)

ใช้ในรูปของ Antimony oxide (Sb_2O_3) จะให้สีเหลืองและสีส้มแก่เคลือบ เมื่อใช้ร่วมกับเหล็กออกไซด์หรือตะกั่วออกไซด์ ถ้าใช้เดี่ยว ๆ จะไม่ให้สีหรือให้สีไม่แจ่มชัด ใช้กันประมาณ 3 - 5%

5.1.2 โครมิคออกไซด์ (Chromic Oxide)

เป็นตัวให้สีที่รุนแรงตัวหนึ่ง (Strong Colorant) ถ้าใช้ในเคลือบไฟต่ำกว่า Cone 010 จะให้สีแดงสดใส แต่ถ้าใช้ในเคลือบไฟสูงจะให้สีเขียวและจะให้สีน้ำตาล ถ้ามีเปอร์เซนต์ของสังกะสีออกไซด์ปนอยู่ด้วย ใช้กันประมาณ 2 - 5% ที่ใช้อยู่ในรูปของโครเมียมคาร์บอเนต $Cr_2(CO_3)_3$ โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) และเหล็กโครเมต ($FeCrO_4$)

ถ้าใช้ในเคลือบตะกั่วที่มีอลูมิน่าและซิลิก้าน้อย ๆ เผาที่อุณหภูมิ Cone 012 - 010 จะได้สีแดงเข้ม (Vermilion Red) ถ้าเผาที่อุณหภูมิ Cone 06 จะได้สีน้ำตาลและจะได้สีเขียวเมื่อเผาที่ Cone 02 แต่ถ้าใช้เป็นส่วนผสมในการทำสีใต้เคลือบโดยให้มีส่วนผสมของดีบุกออกไซด์ผสมอยู่ด้วย และเผา (Calcine) ที่อุณหภูมิ 1200 °ซ จะได้สีชมพูจนถึงแดง และถ้ามีสังกะสีออกไซด์ปนอยู่ด้วยจะได้สีน้ำตาล

5.1.3 โคบอลท์ออกไซด์ (Cobalt oxide)

เป็นสารที่ให้สีรุนแรงที่สุด (Strongest Colorant) ใช้ในเคลือบประมาณ .5 % จะให้สีน้ำเงินและไม่ควรใช้เกิน 3 % เพราะถ้าใช้มากจะทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟและราคาก็แพงมากด้วย ถ้าใช้ร่วมกับ Rutile และเผาที่อุณหภูมิสูงจะให้สีเขียว และเมื่อใช้ร่วมกับแมงกานีสออกไซด์กับเหล็กออกไซด์ จะให้สีดำ ที่ใช้กันมักอยู่ในรูปของโคบอลท์คาร์บอเนต ($CoCo_3$) และโคบอลท์ออกไซด์ (CoO) มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1805 °C

5.1.4 ทองแดงออกไซด์ (copper Oxide)

ที่ใช้กันมักเป็นทองแดงออกไซด์สีดำ Black Copper Oxide or Cupric Oxide, CuO), ทองแดงออกไซด์สีแดง (Red Copper Oxide or Cuprous Oxide, Cu_2O) และในรูปทองแดงคาร์บอเนต (Copper Carbonate, $CuCo_3$)

ทองแดงออกไซด์เป็นสารสำคัญตัวหนึ่งที่ให้สีเขียวในเคลือบ ถ้าเผาในภาวะที่มีอากาศมากเกินพอ (Oxidizing) และใช้ในเคลือบตะกั่ว 1-6 เปอร์เซนต์ จะได้สีเขียวแอปเปิล หรือเขียวใบหญ้า ถ้าใช้ในน้ำเคลือบอัลคาไรด์ (Alkaline Glaze) ที่มีโซเดียมออกไซด์สูง ๆ มีอลูมิน่าน้อย ๆ และไม่มีตะกั่วหรือสังกะสีออกไซด์ปนอยู่ เผาในสภาวะที่มีควันหรือมีอากาศน้อย ๆ (Reducing) จะได้สีแดง (Copper Red) ซึ่งใช้กันไม่เกิน 3 เปอร์เซนต์ จึงจะได้ผลดี และถ้ามี Tin Oxide อยู่ด้วยจะดียิ่งขึ้น Copper Oxide นี้ ถ้าใช้เกิน 6 เปอร์เซนต์จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลาย (Flux) เล็กน้อย

5.1.5 <u>เหล็กออกไซด์</u> (Iron oxide)

เป็นสารให้สีที่ดี ถ้าใช้ในเนื้อดินจะได้สีในโทนแดงเรื่อ ๆ ถ้าใช้ในเคลือบที่มีแคลเซียมออกไซด์อยู่ด้วยจะให้สีเหลืองจนถึงสีเนื้อที่ใช้กัน คือ ออกไซด์เหล็กสีแดง (Red Iron Oxide, Fe_2O_3) และออกไซด์เหล็กสีดำ (Black oxide, Fe_3O_4) ซึ่งถ้าใช้ในเคลือบทั่ว ๆ ไปจะให้สีน้ำตาลแดงเลือดนกจนถึงสีแดงน้ำตาล โดยใช้กันประมาณ 5 - 10 เปอร์เซนต์ มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1565 °C

ถ้าใช้ในเคลือบตะกั่ว 8 เปอร์เซนต์ จะได้สีแดงดำ (Dark Red) แต่ถ้าใช้มากเกินไป อาจจะได้เคลือบที่มีลักษณะเป็นผลึกเล็ก ๆ เป็นจุดใต้เคลือบเป็นสีทอง และได้สีม่วง (Purplered) กับสีเกล็ดทองเล็ก ๆ (Gold Fleck) แต่ถ้าเผาในสภาวะอากาศน้อย (Reduction) เหล็กออกไซด์จะให้สีเขียวแบบศิลาดอน (Pale Green of Celadon) หรือสีเขียวปนเทา (Grey Green)

5.1.6 <u>แมงกานีสไดออกไซด์</u> (Maganese Dioxide)

ใช้กันในรูปของ Manganese Dioxide (MnO_2) หรือ Manganese Carbonate ($MnCO_3$) ใช้ประมาณ 5 - 10% จะให้สีม่วงถึงสีน้ำตาล แต่ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปจะมีผลทำให้ผิวเคลือบเกิดตำหนิเป็นฟองอากาศ ถ้าใช้ใน Alkaline Glaze จะได้สีม่วง ถ้าใช้ร่วมกับทองแดงออกไซด์ หรือโคบอลท์ออกไซด์จะได้สีดำ แต่ถ้าใช้ในเคลือบที่มีออกไซด์ของเหล็กสูงจะได้เคลือบที่มันวาวคล้ายโลหะ (Laster) มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,080 °C

5.1.7 นิเกิ้ลออกไซด์ (Nickel Oxide)

ที่ใช้กันมักอยู่ในรูปของออกไซด์ที่มีสีเขียว (Green Nickel Oxide, NiO) และออกไซด์ที่มีสีดำ (Black Nickel Oxide, Ni_2O_3) และอีกตัวหนึ่งคือนิเกิ้ลคาร์บอเนต (Nickel Carbonate, $NiCO_3$) ซึ่งนิยมใช้น้อยกว่า 2 ตัวแรก ถ้าใช้ประมาณ 2 - 5 เปอร์เซนต์ในเคลือบที่มีแมกนีเซียม (Magnesium) จะให้สีเขียว กับเคลือบที่มีแบเรียม (Barium) จะให้สีน้ำตาล ใช้กับเคลือบที่มีหินปูนอยู่ด้วย (Lime Glaze) จะให้สีน้ำตาลแดง และถ้าใช้กับสังกะสีออกไซด์ (Zine oxide) จะให้สีน้ำเงิน สีเหล่านี้จะไม่ค่อยสดใส โดยทั่วไปใช้นิเกิ้ลออกไซด์เป็นตัวช่วยให้สีของออกไซด์ตัวอื่นมีสีจางหรืออ่อนลง หรือเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังใช้นิเกิ้ลออกไซด์ 5 - 10 เปอร์เซนต์ ในเคลือบบางอย่างเพื่อให้เกิดการตกผลึก นิเกิ้ลออกไซด์นี้ไม่นิยมใช้ในเคลือบไฟต่ำ

5.1.8 ทิตาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Oxide)

อยู่ในรูปของทิตาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide, TiO_2) ใช้ 3 - 5 เปอร์เซนต์ จะให้สีน้ำตาลแดง (Red Brown) ใส่ในเคลือบ และจะให้สีพิเศษถ้าใช้ร่วมกับออกไซด์ของทองแดง หรือออกไซด์ของโคบอลท์

5.1.9 ยูเรเนียมออกไซด์ (Uranium Oxide)

ไม่ค่อยนิยมใช้กันเพราะราคาแพงมาก ใช้ประมาณ 5 - 8 เปอร์เซนต์ จะได้สีส้มแกมแดง (Orange Red) จนถึงเหลืองมะนาว (Lemon Yellow) ถ้าใช้กับเคลือบตะกั่วจะได้สีแดง ใช้กับเคลือบอัลคะไลน์ (Alkaline) จะได้สีเหลือง ถ้าใช้กับดีบุก (Tin) และเซอโคเนียมออกไซด์ (Ziconium Oxide) จะได้สีจากเหลืองอร่ามไปจนถึงสีส้มและสีแดงสด

ที่ใช้กันอยู่ในรูปของ Black Uranium Oxide (UO_2) และ Sodium Uranate ($Na_2O.UO_3$) ซึ่งมักจะใช้ได้ดีในอุณหภูมิสูง ๆ แต่สีจะไม่คงที่ในการเผาที่มีอากาศน้อย (Reduction)

5.2 ส่วนผสมสี

สีที่ได้จากการไซด์ออกไซด์ของโลหะที่ให้สีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกันเพื่อให้ได้สีที่แตกต่างกันออกไปหลายสีขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของออกไซด์ของโลหะที่ให้สีแต่ละชนิดรวมทั้งบรรยากาศการเผาและจำนวนของออกไซด์ที่ใช้ ดังตัวอย่างการใช้ออกไซด์ของโลหะที่ให้สีดังนี้

สี (Color)	ออกไซด์ (Oxide)	เปอร์เซนต์ (Percentage)	อุณหภูมิ (Temperature)	บรรยากาศในการเผา (Atmosphere)
ดำ (black)	Cobalt	1 - 2	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	Manganese	2 - 4		
	Cobalt	1		
	Iron	8	ทุกอุณหภูมิ	ทุกบรรยากาศ
	Manganese	3		

(สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์. 2527 : 24-29)

6. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินก่อนและหลังเผา (Testing the Physical Properties of Clay Before and After Firing)

ผลิตภัณฑ์ Ceramics จะมีคุณภาพดีขึ้นจะต้องสามารถปรับปรุงหรือคงที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นได้ ถ้ารู้ถึงลักษณะ (Characteristic) ของดินที่ผลิต ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นจึงทำให้มีการทดสอบคุณสมบัติของดิน คือ

ก่อนเผา (Before Firing) และ

หลังจากเผา (After Firing) มีการทดสอบ ดังนี้

6.1 ความเหนียวของดิน (Plasticity)

ดินที่ใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทรงต่าง ๆ จะเป็นด้วยวิธีขึ้นรูปแบบอิสระ แบบขดแบบแผ่น หรือโดยเฉพาะการขึ้นรูปแบบแป้นหมุน (Trowing) จะต้องเตรียมดินให้มีความเหนียวเป็นหลักสำคัญ ในการทดสอบเกี่ยวกับความเหนียว กล่าวคือ นำเนื้อดินปั้นคลึงเป็นเส้นกลมขนาดเท่าดินสอ แล้วงอดูเหมือนรูปวงแหวน สังเกตดูว่าดินที่งอจะแตกร้าวหรือไม่ (Cracks) ถ้ามีรอยแตกเป็นการแสดงว่า ความเหนียวของดินยังไม่เพียงพอ อาจจะแก้ไขได้โดยวิธีเพิ่มพวกอินทรีย์สาร (Organic Matter) ลงไป หรือเติมพวกน้ำส้มสายชู (Vinegar) หรือจะใช้วิธีหมักดิน (Aging) ซึ่งจะช่วยให้เกิดความเหนียวดีขึ้นได้

6.1.1 การทดสอบความเหนียวโดยวิธีคำนวณ (Test for the Water of Plasticity) เป็นการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ช่วยทำให้เกิดความเหนียวและสามารถขึ้นรูปทรงตัวได้ วิธีทดสอบปฏิบัติให้ได้ดังนี้

6.1.1.1 ชั่งน้ำหนักดินแห้งให้ได้หนัก 100 กรัม

6.1.1.2 เตรียมน้ำใส่ไว้ในกระบอกตวง (Buret) ซึ่งมีขีดวัดปริมาตรน้ำที่ใช้ไปเป็นซีซี จะวัดได้ถ้านำไปใช้ 20 ซีซี เท่ากับใช้น้ำผสมไปหนัก 20 กรัม

6.1.1.3 ใส่ดินแห้งไว้บนแผ่นกระจกแล้วค่อย ๆ หยดน้ำจากหลอด Buret ลงบนแผ่นดินแห้งเหล่านั้นทีละหยด จากนั้นค่อย ๆ ใช้ Spactula ผสมดินกับน้ำให้เข้ากันดี สังเกตดูว่าดินจับตัวกันหรือไม่ ถ้าดินยังจับตัวกันไม่ดีเราจะหยดน้ำจากกระบอกตวง (Buret) ไปเรื่อย ๆ จนดินไม่ร่อนแสดงว่าดินเริ่มเกิดความเหนียวขึ้นมาแล้วตามปริมาตรของน้ำที่ใช้ไป จากน้ำหนักดินแห้ง 100 กรัมพอดี ดังนั้นปริมาณของน้ำที่ใช้ไปกี่กรัมก็เป็นเปอร์เซนต์ของน้ำ

ดินโดยทั่ว ๆ ไปแล้วมีค่าเปอร์เซ็นต์ Water of Plasticity ประมาณ 30 - 45%

6.1.1.4 นวดดินจนกว่าจะสามารถขึ้นรูปได้

6.1.1.5 คำนวณตามสูตร

$$\text{จำนวนเปอร์เซนต์ของน้ำที่ทำให้เกิดความเหนียว} = \frac{\text{จำนวนน้ำหนักของน้ำ (Weight of Water)}}{\text{จำนวนน้ำหนักของดินแห้ง (Weight of Dry clay)}} \times 100$$

การทดสอบดินภายหลังจากการนวดแล้วนำไปคลึงให้เป็นเส้นถ้ายาวมากแสดงให้เห็นว่ามีความเหนียวมาก ถ้าดินขาดความเหนียวไม่สามารถคลึงดินให้เป็นเส้นยาวได้

6.2 การหดตัวของดิน (Shrinkage)

เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวมาก ย่อมเป็นสาเหตุอันหนึ่งทำให้เกิดการแตก การงอ (Warpage) และการบิดเบี้ยว (Distortion) ได้มาก การหดตัวจะเกิดขึ้นได้จากผลิตภัณฑ์ที่แห้งจากการเผาดิบ การเผาเคลือบ โดยเฉพาะดินที่มีความเหนียวมาก จะมีการหดตัวมากที่สุด การหดตัวของดินที่จัดเป็นมาตรฐานคือ ดินที่ตากแห้งจะหดตัวในระหว่าง 5 - 12 เปอร์เซนต์ เมื่อนำไปเผาไฟจะหดตัวประมาณ 8 - 12 เปอร์เซนต์ หรืออาจถึง 13 - 24 เปอร์เซนต์ ถ้านำไปเผาเคลือบอยู่ในระหว่างประมาณ 13 - 20 เปอร์เซนต์ ถ้าเป็นเนื้อดินปั้นประเภทเอิทเธนแวร์การหดตัวหลังจากการเผาเคลือบไม่เกิน 14 เปอร์เซนต์ ถ้าเป็นเนื้อดินปั้นประเภทสโตนแวร์หลังจากการเผาเคลือบการหดตัวไม่เกิน 16 เปอร์เซนต์ และถ้าเป็นเนื้อดินปั้นประเภทปอร์สเลนการหดตัวไม่เกิน 17 เปอร์เซนต์

การทดสอบดินนับว่าเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในขั้นแรก ตามธรรมดาดินที่เราใช้ปฏิบัติงานนั้นโดยทั่วไปเราต้องการความเหนียวเป็นเบื้องต้น ความเหนียวช่วยให้เราสามารถขึ้นรูปทรงได้ตามความต้องการ การหดตัวของดินก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ดินที่มีการหดตัวมากมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เราปั้นขึ้นมาอาจแตกร้าวง่าย อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะที่เรากำลังปั้น หรือเผา ทำให้เสียเวลาและหมดกำลังใจในการทำงาน สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง ความจำเป็นและความต้องการในแง่ของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดินที่เราใช้ ในการปั้นบางชนิดเผาถึงจุดสุกตัวในอุณหภูมิต่ำ บางชนิดเผาถึงจุดสุกตัวในอุณหภูมิสูง เพราะฉะนั้นการเลือกดินที่จะนำมาใช้เราควรทราบจุดสุกตัวด้วย

6.2.1 การทดสอบการหดตัวของเนื้อดินจากสภาพที่มีความเหนียวมาสู่สภาพที่แห้งสนิท (Test for Drying Shrinkage) ปฏิบัติดังนี้

6.2.1.1 นวดดินได้ที่แล้วทำเป็นแท่งตันยาว 14 เซ็นติเมตร กว้าง 4 เซ็นติเมตร หนา 1 เซ็นติเมตร

6.2.1.2 บนผิวของแท่งดันทำเครื่องหมาย โดยวัดความยาวเป็นเส้นตรงยาว 10 เซ็นติเมตร

6.2.1.3 นำแท่งดินไปผึ่งให้แห้ง

6.2.1.4 ใช้สูตรคำนวณ

$$\text{จำนวนเปอร์เซนต์ของการหดตัวของดิน (Percent Linear Strinkage)} = \frac{\text{ความยาวดินเปียก (Plastic Length)} - \text{ความยาวดินแห้ง (Dry Length)}}{\text{ความยาวดินเปียก (Plastic Length)}} \times 100$$

6.2.2 การทดสอบการหดตัวเมื่อทำการเผา

(Test Firing Strinkage)

วิธีทดสอบปฏิบัติดังนี้ คือ

6.2.2.1 นำแท่งดินที่เตรียมไว้ไปเผา (ตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้)

6.2.2.2 วัดความยาวหลังจากการเผา

6.2.2.3 คำนวณตามสูตร

$$\text{จำนวนเปอร์เซนต์การหดตัว (Percent Linear Strinkage)} = \frac{\text{จำนวนความยาวที่แห้งแล้ว (Dry Length)} - \text{จำนวนความยาวที่เผาแล้ว (Fired Length)}}{\text{จำนวนความยาวที่แห้งแล้ว (Dry Length)}}$$

เมื่อได้เปอร์เซนต์ทั้งหมด นำไปคำนวณตามสูตร

$$\text{เปอร์เซนต์การหดตัว (Percent Linear Strinkage)} = \frac{\text{ความยาวดินเปียก (Plastic Length)} - \text{จำนวนความยาวที่เผาแล้ว (Fired Length)}}{\text{ความยาวที่ดินเปียก (Plastic Length)}} \times 100$$

6.3 ความพรุนตัว (Porosity)

ความพรุนตัวของดินเป็นคุณสมบัติที่จะช่วยให้เราทราบถึงการเผาที่จุดสุกตัวหรือไม่ (Vitrification) อันหมายถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ วิธีทดสอบได้ด้วยวิธีนำดินที่เผาไฟแล้วที่ยังไม่ได้เคลือบชั่งน้ำหนักดู (Weighted) แช่ทิ้งไว้ในน้ำประมาณหนึ่งคืนแล้วนำขึ้นมาชั่งใหม่ ถ้ามีความพรุนตัวมากน้ำหนักก็จะเพิ่มขึ้นมาก เนื้อดินปั้นที่ถือเป็นมาตรฐานโดยทั่วไป คือดินชนิด Earthenware ให้ความพรุนตัวได้ประมาณ 3 - 10 เปอร์เซนต์ ชนิดสโตนแวร์ (Stoneware) ให้มีความพรุนตัวได้ 0 - 3 เปอร์เซนต์ ชนิดปอร์สเลน (Porcelain) ให้มีความพรุนตัวได้ 0 - 1 เปอร์เซนต์

6.3.1 การทดสอบการดูดน้ำของผลิตภัณฑ์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับดินเผาที่จุดสุกตัวหรือไม่ (Water Absorption)

วิธีทดสอบปฏิบัติดังนี้

6.3.1.1 ทำดินให้เป็นแท่งมีขนาด 5 x 5 x 10 เซนติเมตร จำนวน 3 แท่ง แต่ละแท่งนำไปเผาในอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

6.3.1.2 ชั่งน้ำหนักแต่ละอันเก็บรายละเอียดไว้

6.3.1.3 นำแท่งดินไปต้มในจุดน้ำเดือดประมาณ 2 ชั่วโมง

6.3.1.4 ทำให้แห้งแล้วนำไปชั่ง (โดยการอบที่อุณหภูมิ 110 °C)

6.1.1.5 คำนวณตามสูตร

$$\text{จำนวนเปอร์เซนต์ที่ดูดน้ำ (Percent Absorption)} = \frac{\text{จุดอิ่มตัว (Saturated)} - \text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้ว (Dry Weigh)}}{\text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้ว (Dry Weigh)}} \times 100$$

5.3.2 Loss on Ignition คือการหาน้ำหนักที่สูญเสียไปในระหว่างเผา เกิดจากการสูญเสียน้ำผลึกในดินรวมทั้งการสลายตัวของสารอินทรีย์กลายเป็นก๊าซ CO_2 คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

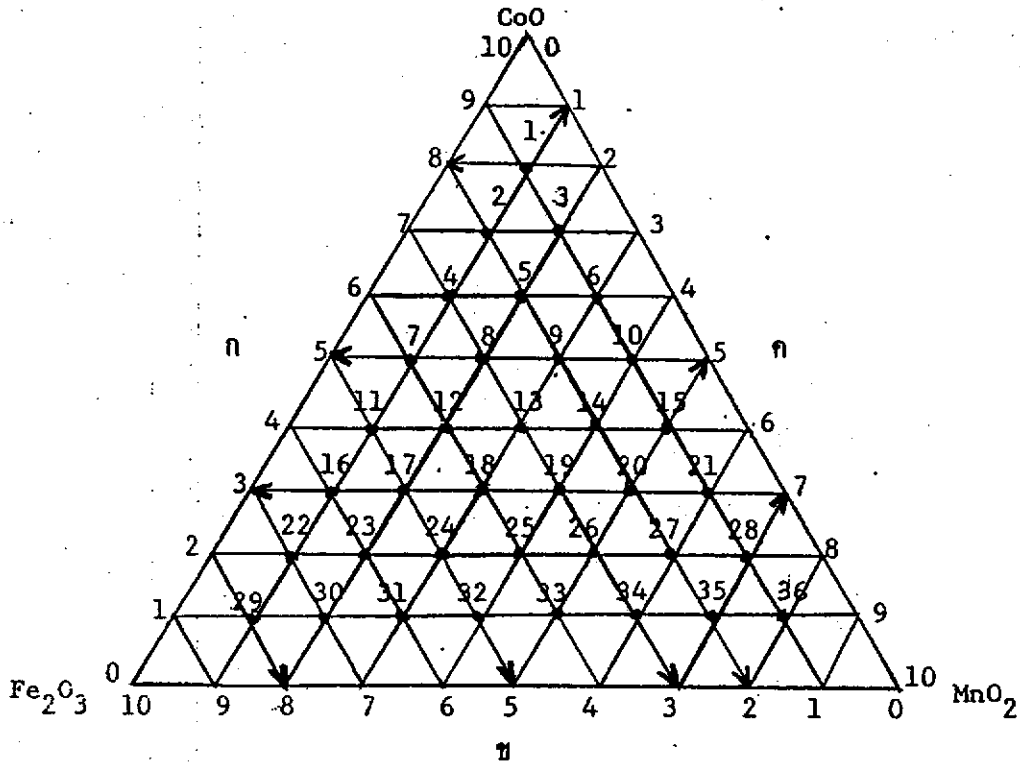
$$\% \text{ L.O.I} = \frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง (Dry Weigh)} - \text{น้ำหนักดินที่เผาแล้ว (Fire Weigh)}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (Dry Weigh)}} \times 100$$

(Griffiths. and Radford. 1964 : 19 - 39)

7. สูตรแผนภาพไตรดุลยภาค (Triaxial Diagram)

สูตรแผนภาพไตรดุลยภาค สามารถใช้คำนวณน้ำเคลือบ (Glaze) เนื้อดินปั้น (Clay Body) หรือสีเคลือบ (Glaze Color) และสีเนื้อปั้น (Body Color) โดยการวางวัตถุดิบไว้ตรงมุมทั้งสามของสามเหลี่ยมด้านเท่า แล้วอ่านค่าออกมาเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละจุดที่กำหนดไว้ในตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า เป็นวิธีการทดลองแบบสุ่มเอาหลาย ๆ จุดและเลือกเอาเฉพาะจุดที่ได้ผลดีมาใช้งาน (สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์. 2527 : 95-96)

อนึ่งผู้วิจัยได้นำสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคนี้มาใช้คำนวณหาอัตราส่วนผสมของสนิมโลหะสามชนิด คือ โคบอลท์ออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) โดยการวางสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด ไว้ตรงมุมทั้ง 3 ของสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ตารางสูตรแผนภาพไตรดุลยภาพแสดงสัดส่วนสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด

วิธีอ่านค่าสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคจากภาพประกอบ 1 มีดังนี้

การหาค่าสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ (CoO) ให้อ่านค่าตามแกนนอน (<———) ค่าที่ได้ให้อ่านด้าน ก

การหาค่าสนิมโลหะเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ให้อ่านค่าตามแกนเฉียงลง (↘) ที่ลากจากฐาน ก ไปฐาน ข ค่าที่ได้ให้อ่านด้าน ข

การหาค่าสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ให้อ่านค่าตามแกนเฉียงขึ้น (↗) ที่ลากจากฐาน ข ไปฐาน ค ค่าที่ได้ให้อ่านด้วย ค

การอ่านค่าสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด นี้รวมกันแล้ว จะต้องได้ 10 พอดี

ตัวอย่างวิธีการอ่าน จุดที่ 1, 2 และจุดที่ 3 ซึ่งอยู่ภายในรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า (มีทั้งหมด 36 จุด)

<u>จุดที่ 1</u>

สนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ (CoO) = 8

สนิมโลหะเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) = 1

สนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2 = 1

<u>จุดที่ 2</u>

สนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ (CoO) = 7

สนิมโลหะเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3 = 2

สนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) = 1

<u>จุดที่ 3</u>

สนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ (CoO) = 7

สนิมโลหะเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3 = 1

สนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) = 2

8. การแบ่งระดับสีระดับอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) มีดังนี้

High light Value - ระดับสีอ่อนที่สุด

Light Value - ระดับสีอ่อนมาก

Low light Value - ระดับสีอ่อน

Half Tone - ระดับสีกลาง

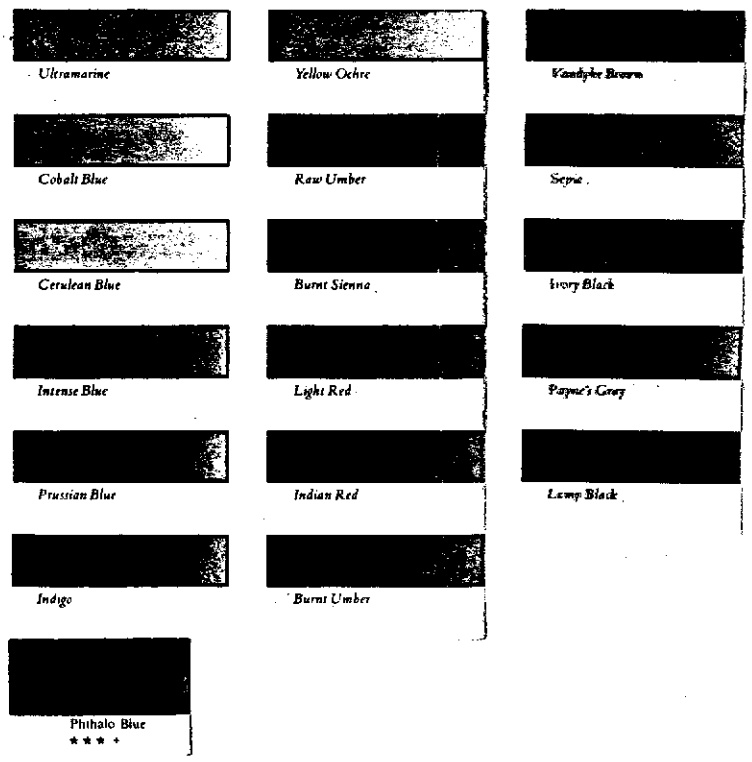
High dark - ระดับสีแก่

Dark - ระดับสีแก่มาก

Low dark - ระดับสีแก่ที่สุด

(มะลิฉัตร ยื้ออานันท์. 2532 : 5)

9. ชื่อสีมาตรฐานของ Cotman ดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ชื่อสีมาตรฐานของ Cotman

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

1. งานวิจัยภายในประเทศ

โกมล รักษ์วงศ์ (2529 : 158 - 171) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "การสร้างบทเรียนโมดุลเรื่องงานทำสีเซรามิกส์สำเร็จรูปตามหลักสูตรสภาการฝึกหัดครู พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง) ผลวิจัยสรุปได้ดังนี้

สีสำเร็จรูปที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาเป็นสีที่ทำมาจากวัตถุดิบอินนทรีย์สาร (Inorganic Matters) ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุมากมายหลายชนิดด้วยกัน แร่ธาตุเหล่านี้จะอยู่ในสภาพออกไซด์ของโลหะชนิดต่าง ๆ โดยให้โลหะออกไซด์ทำปฏิกิริยากับสาร Aluminate Silicate และ Borate ที่อุณหภูมิสูงจะได้สารประกอบที่มีสีต่าง ๆ ขึ้นมา เช่น เกิดจากบรรยากาศภายในเตาเผา ส่วนผสมของน้ำเคลือบและอุณหภูมิที่เผาแตกต่างกัน

2. มนัส ชำอ่อน (2527 : 18) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "การศึกษาน้ำเคลือบผลึก" ผลวิจัยสรุปได้ดังนี้

การเผาแบบรีดักชันนี้จะทำให้สีของเคลือบเปลี่ยนแปลงไปจากการเผาแบบออกซิเดชัน และอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นช้ากว่า แต่อย่างไร ก็ตามการเผาแบบรีดักชันนี้ ตอนแรกจะเผาแบบออกซิเดชัน Firing ก่อนจนถึงอุณหภูมิขึ้นถึง 950 °C จึงเปลี่ยนเป็นเผาแบบรีดักชันจนถึงอุณหภูมิ 1160 °C ในช่วงนี้เป็นการควบคุมปริมาณของกาซออกซิเจนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับออกไซด์ต่าง ๆ ในน้ำเคลือบทำให้เกิดสีขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทดลองสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยการใช้สนิมโลหะเป็นตัวทำให้เกิดสี ทั้งนี้จะทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมของสนิมโลหะเป็นสูตรต่าง ๆ โดยใช้สนิมโลหะ 3 ชนิด คือ โคบอล์ทออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) คำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค ผสมกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการดังรายละเอียดเป็นข้อ ๆ ดังนี้

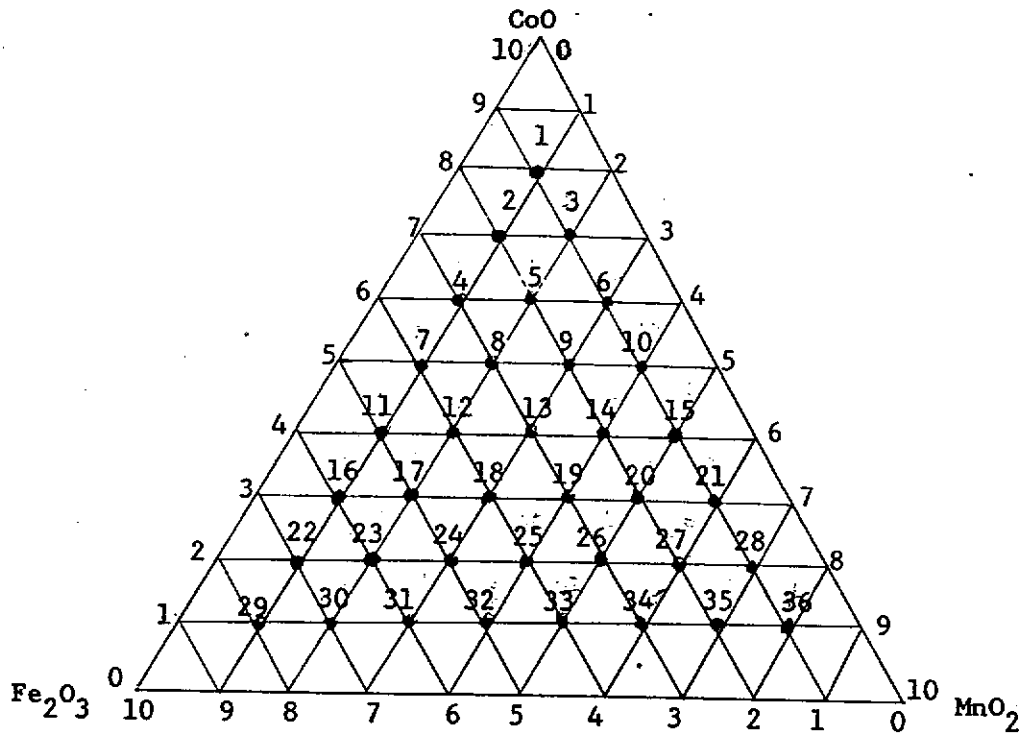
1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. ตัวแปร
3. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง
4. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง
5. การดำเนินการวิจัย
6. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่ผ่านการทดสอบและทดลองใช้มาแล้ว

กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่เกิดจากส่วนผสมสนิมโลหะโคมอลท์ออกไซด์ (CoO, เหล็กออกไซด์, Fe_2O_3 และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2)/ จากการคำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคได้ 36 สูตร ส่วนผสมและ 216 ตัวอย่าง ดังนี้

1. เขียนตารางสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคเพื่อหาอัตราสูตรส่วนผสมของสนิมโลหะ 3 ชนิด คือ โคบอลท์ออกไซด์ (CoO, เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) รวมกันมีน้ำหนักเท่ากับ 10 กรัม และมีจุดสูตรส่วนผสมสนิมโลหะ 36 จุด ดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ตารางสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคแสดงสัดส่วนสนิมโลหะทั้ง 36 จุด (36 สูตรส่วนผสม)

2. จากการคำนวณและอ่านค่าจากภาพประกอบ 3 สามารถสรุปออกมาเป็นสัดส่วนของสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้ทั้ง 36 จุด (36 สูตรส่วนผสม) แล้วนำไปผสมกับเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท คือ

2.1 เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อปริมาตร 100 ซี.ซี. ผสมกับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด น้ำหนักรวมเท่ากับ 10 กรัม ได้ 36 สูตรส่วนผสม 36 ตัวอย่าง (ผสมไว้ 2 ชุด เท่ากับ 36 สูตรส่วนผสม 72 ตัวอย่าง)

2.2 เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อปริมาตร 100 ซี.ซี. ผสมกับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด น้ำหนักรวมเท่ากับ 10 กรัม ได้ 36 สูตรผสมหรือ 36 ตัวอย่าง (ผสมไว้ 2 ชุด เท่ากับ 36 สูตรส่วนผสม 72 ตัวอย่าง)

2.3 เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อปริมาตร 100 ซี.ซี. ผสมกับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะ 3 ชนิด น้ำหนักรวมเท่ากับ 10 กรัม ได้ 36 สูตรส่วนผสมหรือ 36 ตัวอย่าง (ผสมไว้ 2 ชุด เท่ากับ 36 สูตรส่วนผสม 72 ตัวอย่าง)

2. <u>ตัวแปร</u>

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

2.1 ตัวแปรอิสระได้แก่

2.1.1 ประเภทเนื้อดินปั้น

2.1.1.1 เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ (Earthenware)

2.1.1.2 เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ (Stoneware)

2.1.1.3 เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำ (Soft Porcelain)

2.1.2 อัตราส่วนผสมของโลหะออกไซด์ (Metallic Oxides) ระหว่างเหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide) โคบอลท์ออกไซด์ (Cobalt Oxide) และแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese di Oxide) จะทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันได้ ตัวอย่างเช่น

2.1.2.1 ถ้าหากอัตราส่วนผสมของโคบอลท์ออกไซด์มาก จะได้สีน้ำเงินเข้ม หรือเทาน้ำเงิน

2.1.2.2 ถ้าหากอัตราส่วนผสมของเหล็กออกไซด์มาก จะได้สีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม

2.1.2.3 ถ้าหากอัตราส่วนผสมของแมงกานีสออกไซด์มาก จะได้สีน้ำตาล หรือสีฟาง

2.1.3 บรรยากาศภายในเตาในขณะที่เผา (Kiln Atmosphere) ทำให้สีที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้เนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน อุณหภูมิที่เผาเท่ากัน อัตราส่วนผสมของโลหะออกไซด์เหมือนกัน บรรยากาศของการเผาแบ่งออก 2 ชนิด คือ

2.1.3.1 บรรยากาศของการเผาแบบออกซิเดชัน (Oxidation Firing) โดยใช้เตาไฟฟ้าเผา

2.1.3.2 บรรยากาศของการเผาแบบรีดักชัน (Reduction Firing) โดยใช้เตาแกสเผา

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

2.2.1 สีของเนื้อปั้นที่เผาได้จะจำแนกตามสีมาตรฐาน

3. <u>เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย</u>

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยด้วยการทดลอง ซึ่งต้องใช้เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดอย่างละเอียดระบบ Digital

3.1.2 ตะแกรงร่อนขนาด 80 mesh.

3.1.3 กระบอกตวง (Buret) ขนาด 100 ซีซี - 200 ซีซี

3.1.4 เกรียง (Spactula)

3.1.5 กระบอกพลาสติกชนิดมีฝาปิดเป็นเกลียวขนาดบรรจุ 200 ซีซี 100 กระบอก

3.1.6 ถุงพลาสติกชนิดเล็ก 300 ใบ

3.1.7 หนังยางรัดถุง

3.1.8 โกร่งบด (Mortar) ขนาด 6 นิ้ว

3.1.9 หม้อบด (Ball Mill) ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม

3.1.10 Hydrometer (ที่วัดความถ่วงจำเพาะ)

3.1.11 เตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln)

3.1.12 เตาแก๊ส (Gas Kiln)

3.1.13 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Pyrometer และ Orton Pyrometric Cone No. 6 - No. 8

3.1.14 ถังพลาสติกมีฝาขนาดบรรจุ 20,000 ซีซี 3 ใบ

3.1.15 เครื่องวัดอย่างละเอียดแบบ Digital Caliper (M-SPC System)

3.1.16 เครื่องแยกเหล็ก (Ferro Filter)

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 ดินขาว (Kaolin) ลำปาง

3.2.2 ดินขาว (Kaolin) ระนอง

3.2.3 ดินเหนียว (Ball Clay) แม่ทาน

3.2.4 ดินเหนียวดำ (Ball Clay) แม่ริม

3.2.5 หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) จันทบุรี

3.2.6 หินพันม้า (Potash Feldspar) ราชบุรี

3.2.7 หินโดโลไมต์ (Dolomite) กาญจนบุรี

3.2.8 โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicat)

3.2.9 โคบอลท์ออกไซด์ (Cobalt Oxide)

3.2.10 เหล็กออกไซด์ (Ferric Oxide)

3.2.11 แมงกานีสไดออกไซด์ (manganese di Oxide)

4. <u>สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย</u>

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้สถานที่ในการทดลอง 3 แห่ง ดังนี้

1. โรงฝึกงานภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร สุขุมวิท 23 เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร ใช้เตรียมชิ้นทดลองและเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น

2. โรงฝึกงานภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครูพระนคร สหวิทยาลัยรัตนโกสินทร์ ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงคลองถนน เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร ซึ่งใช้เตรียมเนื้อดินปั้นและเผาในบรรยากาศรีดักชัน

3. ห้องตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ซอยกล้วยน้ำไท ถนนพระรามที่ 4 กรุงเทพมหานคร ใช้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เวลาในการทดลองตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2534 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2535 เป็นเวลา 1 ปี

5. การดำเนินการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการทดลองออกเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เตรียมเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ

ตอนที่ 2 ทดสอบสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ ที่ผสมกับจำนวนอัตราส่วนสนิมโลหะต่างกัน และทดสอบสีในเนื้อดินชั้นต่างชนิดกันในอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน

ตอนที่ 3 ทดสอบสีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันบรรยากาศการเผาต่างกัน

ตอนที่ 4 สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อเทียบกับมาตรฐานภาพสีของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727

ตอนที่ 5 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ

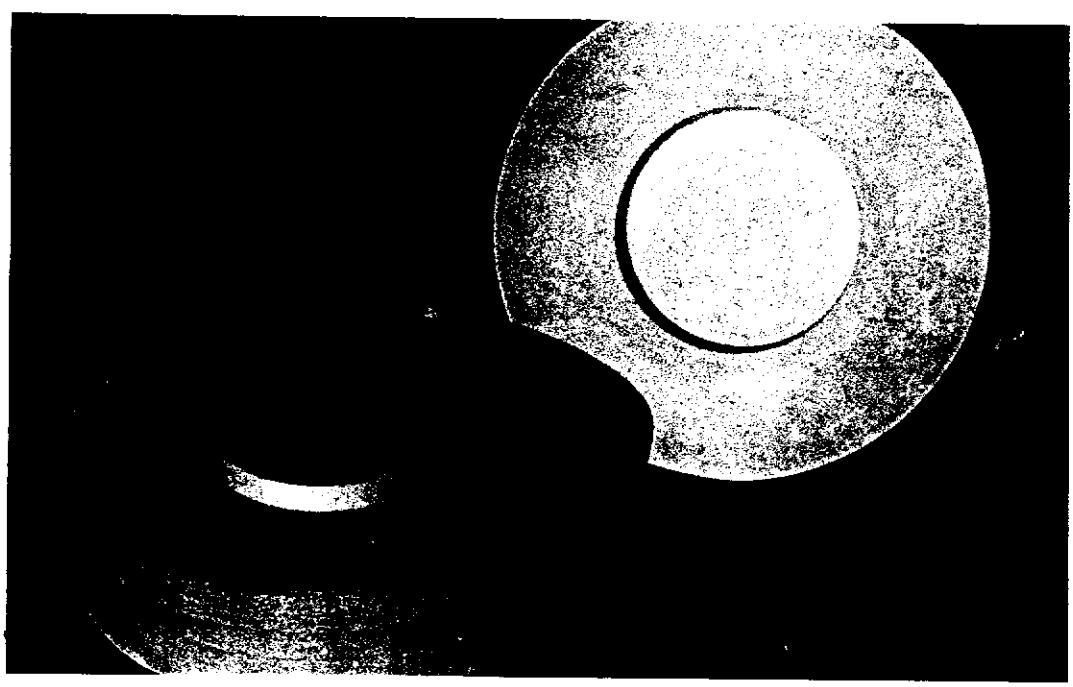
<u>ตอนที่ 1</u> เตรียมเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สโตนแวร์ชนิดหล่อและปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อมีลำดับขั้นดังต่อไปนี้

1.1 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบตามสูตรที่เตรียมไว้ทำเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ประเภทละ 10 กิโลกรัม

1.2 นำส่วนผสมของเนื้อดินปั้นแต่ละประเภทไปบดในหม้อบด (Ball mill) ใช้น้ำผสมร้อยละ 34 แล้วนำไปผ่านตะแกรง 80 mesh.

1.3 นำเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ผ่านเครื่องแยกเหล็กแล้วนำมาวัดความถ่วงจำเพาะได้เท่ากับ 1.8

1.4 นำสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด คือ โคบอลท์ออกไซด์ (CoO) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ที่ได้สูตรส่วนผสมจากการคำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคทั้ง 36 สูตรส่วนผสม ในแต่ละสูตรส่วนผสมมีน้ำหนักเท่ากับ 10 กรัม แล้วนำไปผสมกับเนื้อดินปั้นที่เตรียมไว้แต่ละประเภท ๆ ละ 100 ซี.ซี. ในแต่ละจุดส่วนผสม แล้วกวนเนื้อดินปั้นให้เข้ากับส่วนผสมสนิมโลหะ แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อน 80 mesh. อีกครั้งหนึ่ง แล้วนำไปเทในแบบชิ้นทดลองที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา .20 เซนติเมตร ดูภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ตัวต้นแบบและพิมพ์ปูนปลาสเตอร์

โดยทำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ 36 สูตรส่วนผสม หรือ 36 ชิ้นทดลอง (ทำไว้ 2 ชุดเท่ากับ 72 ชิ้นทดลอง), ทำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ 36 สูตรส่วนผสม หรือ 36 ชิ้นทดลอง (ทำไว้ 2 ชุดเท่ากับ 72 ชิ้นทดลอง) และทำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ 36 สูตรส่วนผสม หรือ 36 ชิ้นทดลอง (ทำไว้ 2 ชุดเท่ากับ 72 ชิ้นทดลอง)

1.5 แล้วนำชิ้นทดลองมาผึ่งให้แห้งแล้วลงรหัสประจำชิ้นทดลอง

1.6 นำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อนำไปเผาที่อุณหภูมิที่กำหนด (1,190° เซลเซียส) ในบรรยากาศออกซิเดชั่น 36 ชิ้นทดลองและบรรยากาศรีดักชัน 36 ชิ้นทดลอง

1.7 นำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อนำไปเผาที่อุณหภูมิที่กำหนด (1,225° เซลเซียส) ในบรรยากาศออกซิเดชั่น 36 ชิ้นทดลอง และบรรยากาศรีดักชัน 36 ชิ้นทดลอง

1.8 นำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ นำไปเผาที่อุณหภูมิที่กำหนด (1,225° เซลเซียส) ในบรรยากาศออกซิเดชั่น 36 ชิ้นทดลอง และบรรยากาศรีดักชัน 36 ชิ้นทดลอง รวมมีชิ้นทดลอง 216 ชิ้นทดลอง

<u>ตอนที่ 2</u> ทดสอบสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่ผสมกับจำนวนอัตราส่วนสนิมโลหะต่างกันมีวิธีการทดสอบ คือ ดูสีในเนื้อดินปั้นแต่ละประเภทที่เกิดจากสูตรส่วนผสมของสนิมโลหะที่มีอัตราส่วนผสมต่างกัน ว่าเป็นสีอะไร มีน้ำหนักสีอ่อน (High Value) ระดับใด, มีน้ำหนักสีเข้ม (Low Value) ระดับใด หลังจากการเผาในอุณหภูมิที่กำหนด แล้วเทียบสีที่ได้มีผลแตกต่างกันอย่างไร เพื่อสรุปผลของการทดลอง และทดสอบสีในเนื้อดินปั้นต่างชนิดกันในอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกันมีวิธีการทดสอบคือดูผลจากการเผาชิ้นทดลองเนื้อดินแต่ละประเภทที่ยังไม่ได้ผสมสนิมโลหะเข้าไป ว่าผลเบื้องต้นเป็นอย่างไร เมื่อเผาในอุณหภูมิที่กำหนดแล้วดูสีในเนื้อดินแต่ละประเภทเมื่อผสมกับสนิมโลหะตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละจุดสีที่ได้เป็นสีอะไร มีน้ำหนักสีอ่อน (High Value) แต่ละสีระดับใด มีน้ำหนักสีเข้ม (Low Value) แต่ละสีระดับใดมีผลแตกต่างกันอย่างไรเพื่อสรุปผลของการทดลอง

<u>ตอนที่ 3</u> ทดสอบสีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันบรรยากาศการเผาต่างกันมีวิธีการทดสอบ คือ นำชิ้นทดลองของเนื้อดินปั้นที่ได้แต่ละประเภทที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชันได้สีอะไร มีน้ำหนักสีอ่อน (High Value) ระดับใด น้ำหนักสีเข้า (Low Value) ระดับใด และในจุดเดียวกันนี้ชิ้นทดลองที่เผาในบรรยากาศรีดักชันได้สีอะไร เมื่อนำชิ้นทดลองทั้งสองมาเทียบกับผลแตกต่างกันอย่างไร เพื่อสรุปผลของการทดลอง

<u>ตอนที่ 4</u> นำสีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ที่ได้จากการสรุปผลการทดลองในครั้งนี้ไปเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 เพื่อสรุปผลว่าสีในเนื้อดินปั้นที่ได้จากการทดลองครั้งนี้เป็นอย่างไร

<u>ตอนที่ 5</u> นำผลเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางด้านการดูดซึมน้ำเป็นจำนวนร้อยละเท่าไร และทางด้านการหดตัวเป็นจำนวนร้อยละเท่าไร เนื้อดินปั้นแต่ละประเภทอยู่ในคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถจะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หรือไม่

6. <u>การวิเคราะห์ข้อมูล</u>

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์จากผลการทดลองสีในเนื้อดินปั้นแต่ละประเภทที่ได้จากทฤษฎีคุณสมบัติของสารให้สีที่เป็นสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ จากเรื่องวัตถุดิบที่ให้สีทางผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ และสีที่ได้จากการใช้สนิมโลหะผสมกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป (สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์. 2527 : 24-29) ชื่อสีที่ได้จากการทดลองผู้วิจัยเรียกชื่อสีตามชื่อสีมาตรฐานของ Cotman และสีที่มีระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) ตามการแบ่งระดับสี (มลิฉัตร เอื้ออานันท์. 2532 : 5) นำไปวิเคราะห์ข้อมูลในตอนที่ 2, ตอนที่ 3 ของการวิจัย โดยเฉพาะในตอนที่ 2 ของการวิจัยจะต้องนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาแล้ว (ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงอุตสาหกรรม:4), ผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาแล้ว (โกมล รักษ์วงศ์. 2531:154) และนำผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาแล้ว (โกมล รักษ์วงศ์. 2531:164) นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย

และในตอนที่ 3 ของการวิจัยจะนำผลการศึกษาของโกมล รักษ์วงศ์ (2529 : 158-165) ที่พบว่าการเผาในบรรยากาศต่างกันสีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จะแตกต่างกันด้วย นำมาวิเคราะห์ประกอบการวิจัย

ในตอนที่ 4 ของการวิจัย นำสีในเนื้อดินปั้นที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ประเภท และต่างบรรยากาศการเผาในไปเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramie's Fresno, CA 93727 ว่าสีเทียบกันได้ทุกสีหรือไม่

และในตอนที่ 5 ของการวิจัย นำผลเนื้อดินปั้นที่ได้ทั้ง 3 ประเภทไปหาคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาตามอุณหภูมิที่กำหนดว่ามีคุณสมบัติได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของเนื้อดินปั้นแต่ละประเภทหรือไม่ โดยใช้สูตรการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาดังนี้

1. <u>การหดตัวของดิน</u> หาได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซนต์การหดตัว (Percent Linear Strinkage)} = \frac{\text{ความยาวดินเปียก (Plastic Length)} - \text{ความยาวดินที่เผาแล้ว (Fired Length)}}{\text{ความยาวที่ดินเปียก (Plastic Length)}} \times 100$$

2. <u>การดูดซึมน้ำ</u> หาได้จากสูตร

$$\text{จำนวนเปอร์เซนต์ที่ดูดน้ำ (Percent Absorption)} = \frac{\text{จุดอิ่มตัว (Saturated)} - \text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้ว (Dry Weigh)}}{\text{ผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้ว (Dry Weigh)}} \times 100$$

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามกระบวนการแล้ว ได้ข้อมูลเป็นสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อได้ 36 ตัวอย่างแรก เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และ 36 ตัวอย่างหลัง เผาในบรรยากาศรีดักชัน, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อได้ 36 ตัวอย่างแรกในบรรยากาศออกซิเดชั่น และ 36 ตัวอย่างหลัง เผาในบรรยากาศรีดักชัน และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อได้ 36 ตัวอย่างแรก เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน 36 ตัวอย่างหลังเผาในบรรยากาศรีดักชัน สีที่ได้ในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทนี้ เกิดจากการผสมกับสนิมโลหะ 3 ชนิดคือโคบอลท์ออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค และได้จำนวนตัวอย่างสีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทดังกล่าว รวม 108 ตัวอย่างแรกเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน 108 ตัวอย่างหลัง เผาในบรรยากาศรีดักชั่นรวมทั้งสิ้น 216 ตัวอย่าง ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์โดยแบ่งเป็นตอน ๆ ปรากฏผลการจำแนกวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกันผสมในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันและผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมกับสนิมโลหะเดียวกัน (เผาในบรรยากาศออกซิเดชันและบรรยากาศรีดักชัน)

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์การเผาในบรรยากาศที่แตกต่างกัน ในเนื้อดินปั้นเดียวกันอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและสีในเนื้อดินปั้นอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramica Fresno, CA 93727

ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกันผสมในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันและผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมกับสนิมโลหะเดียวกัน ปรากฏว่ามีผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 3 (เผาในบรรยากาศออกซิเดชัน) และตาราง 4 (เผาในบรรยากาศรีดักชัน)

ตาราง 3 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกัน ผสมในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันและผลวิเคราะห์เนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมสนิมโลหะเดียวกัน (เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ
1.	CoO = 8 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 1	Low Dark Indigo	Low Dark Ultramarine	Low Dark Phthalo Blue
2.	CoO = 7 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 2	Drak Payne's Grey	Low Dark Intense Blue	Dark Prussian Blue
3.	CoO = 7 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 2	Low Dark Intense Blue	Dark Phthalo Blue	Dark Cerulean Blue
4.	CoO = 6 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 1	Dark Ultramarine	Dark Prussian Blue	Indigo
5.	CoO = 6 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	Dark Indigo	Dark Cobolt Blue	Low Dark Ultramarine

ตาราง 3 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
6.	CoO = 6 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 3	High Dark Prussian Blue	Indigo	Dark Payne's Grey
7.	CoO = 5 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 1	Lamp Black	Low Dark Prussian Blue	Dark Indigo
8.	CoO = 5 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 2	Payne's Grey	High Dark Ivory Black	Dark Prussian Blue
9.	CoO = 5 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 3	High Dark Payne's Grey	Ivory Black	Low Dark Vandyke
10.	CoO = 5 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 4	payne's Grey	High Dark Payne's Grey	Low Dark Raw Umber
11.	CoO = 4 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 1	Dark Lamp Black	Low Dark Lam Black	Dark Lamp Black
12.	CoO = 4 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	Lamp Black	High Dark Vandyke Brown	Low Dark Sepia

ตาราง 3 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
13.	CoO = 4	Payne's Grey	Ivory Black	Dark
	Fe_2O_3 = 3			Raw Umber
	MnO_2 = 3			
14.	CoO = 4	Ivory Black	Dark	Burnt Umber
	Fe_2O_3 = 2		Raw Umber	
	MnO_2 = 2			
15.	CoO = 4	Payne's Grey	Dark	Dark
	Fe_2O_3 = 1		Cobalt Blue	Prussian Blue
	MnO_2 = 5			
16.	CoO = 3	Dark	Dark	Low Dark
	Fe_2O_3 = 6	Burnt Umber	Vandyke	Raw Umber
	MnO_2 = 1		Brown	
17.	CoO = 3	Dark	Dark	Dark
	Fe_2O_3 = 5	Sepia	Sepia	Vandyke Brown
	MnO_2 = 2			
18.	CoO = 3	Dark	Dark	Dark
	Fe_2O_3 = 4	Vandyke	Burnt Umber	Sepia
	MnO_2 = 3	Brown		
19.	CoO = 3	Low Dark	Dark	Payne's Grey
	Fe_2O_3 = 3	Raw Umber	Burnt Umber	
	MnO_2 = 4			

ตาราง 3 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
20.	CoO = 3	Sepia	Dark	Dark
	Fe_2O_3 = 2		Vandyke Brown	Prussiam Blue
	MnO_2 = 5			
21.	CoO = 3	Dark	Vandyke Brown	Dark
	Fe_2O_3 = 1	Raw Umber		Cobalt Blue
	MnO_2 = 6			
22.	CoO = 2	High Dark	Dark	Dark
	Fe_2O_3 = 7	Raw	Burnt Umber	Raw Umber
	MnO_2 = 1			
23.	CoO = 2	Payne's Grey	Dark	High Dark
	Fe_2O_3 = 6		Vandyke Brown	Burnt Umber
	MnO_2 = 2			
24.	CoO = 2	High Dark	High Dark	Burnt Umber
	Fe_2O_3 = 5	Raw Umber	Vandyke Brown	
	MnO_2 = 3			
25.	CoO = 2	High Dark	High Dark	Sepia
	Fe_2O_3 = 4	Burnt Umber	Raw Umber	
	MnO_2 = 4			
26.	CoO = 2	Raw Umber	Sepia	Dark
	Fe_2O_3 = 3			Raw Umber
	MnO_2 = 5			

ตาราง 3 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
27.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 6	Burnt Umber	Sepia	Intense Blue
28.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 7	Payne's Grey	Raw Umber	Ultramarine
29.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 8 MnO_2 = 1	Dark Burnt Umber	Low Dark Raw Umber	Dark Burnt Umbeer
30.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 2	High Dark Burnt Umber	Dark Burnt Umber	Burnt Umber
31.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 3	Low Dark Raw Umber	high Dark Burnt Umber	High Dark Raw Umber
32.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 5	Burnt Umber	Raw Umber	Raw Umber
33.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 5	Raw Umber	High Dark	High Dark

ตาราง 3 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
34.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 6	Raw Umber	Burnt Umber	Raw Umber
35.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 7	Burnt Umber	Raw Umber	Low light Raw Umber
36.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 8	Low light Burnt Umber	Low light Raw Umber	Low light Intense Blue

จากตาราง 3 สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อสีที่ได้จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) สีที่ได้แบ่งเป็นกลุ่ม คือกลุ่มสีน้ำเงิน Blue) คือ สี Indigo, สี Intense Blue, สี Ultramarine และสี Prussian Blue ที่มีระดับสีแก่ที่สุด คือสูตรที่ I Lowdark Indigo, สูตรที่ 3 สี Lowdark Intense Blue ส่วนสีที่มีระดับแก่มากคือ สูตรที่ 4 สี Dark Ultramarine, สูตรที่ 5 สี Dark Indigo และสีที่มีระดับแก่คือสูตรที่ 6 สี High dark Prussian Blue กลุ่มที่น้ำตาล (Brown) คือสี Burnt Umber, สี Sepia, สี Vandyke Brown และสี Raw umber สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 19, 31 สี Lowdark Raw Umber สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 16, 29 สี Dark Burnt Umber, สูตรที่ 17 สี Dark Sepia สูตรที่ 18, สี Dark Vandyke Brow, สูตรที่ 21 สี Dark Raw Umber

สีที่มีระดับแก่คือสูตรที่ 22 สี High dark Burnt Umber สีมีระดับสีกลาง (Half Tone) ค้อสูตรที่ 20 สี Sepia, สูตรที่ 26, 33 และ 34 สี Raw Umber และสูตรที่ 27, 32 และ 35 สี Burnt Umber และสีระดับอ่อนคือสูตรที่ 36 สี Lowlight Umber กลุ่มสีเทา (Payme's Grey) สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 2 สี Fark Payni's Grey สีมีระดับกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 8, 10, 13, 15, 23 และ 28 สี Payne's Grey และกลุ่มสีดำ (Black) คือสี Lamp Black และสี Ivory Black คือสูตรที่ 7 และ 14 สีมีระดับกลาง (Half tone) คือสี Lanp Black และ Ivory Black สีในเนื้อดินปั้นที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมสนิมโลหะ มีส่วนผสมต่างกับสีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันสีจะต่างกับระดับสีแก่ (Low Value) ขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะโคมอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ ร้อย 6 - 9 ในสูตรส่วนผสมและสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ร้อยละ 8 ในสูตรส่วนผสมทีที่ได้เป็นสีระดับสีอ่อน (High Value)

ส่วนสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อสีที่ได้จะแตกต่างกัน ทั้งชนิดของสี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) สีที่ได้แบ่งเป็นกลุ่ม คือกลุ่มสีน้ำเงิน (Blue) คือสี Ultramarine, สี Intense Blue, สี Phthalo Blue, สี Prussian Blue, สี Cobalt Blue และสี Indigo สีที่มีระดับแก่ที่สุดคือสูตรที่ 1 สี Lowdark Ultramarine สูตรที่ 2 สี Lowdark Intense Blue และสูตรที่ 7 สี Lowdark Prussian Blue สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 3, สี Dark Phthalo Blue, สูตรที่ 4 สี Dark Prussian Blue, สูตรที่ 5 และ 15 สี Dark Cobalt Blue และสีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสี Indigo กลุ่มสีน้ำตาล (Brown) คือสี Vandyke Brown, สี Raw Umber, สี Sepia และสี Burnt Umber สีที่มีระดับแก่ที่สุดคือสูตรที่ 29 สี Lowdark Raw Umber สีที่มีระดับแก่มากคือสูตรที่ 14, สี Dark Raw Umber สูตรที่ 16, 20 และ 23 สี Dark Vandyke Brow สูตรที่ 17 สี Dark Sepia และสูตรที่ 18, 19, 22 และ 30 สี Dark Burnt Umber สีที่มีระดับสีแก่คือสูตรที่ 12, และ 24 สี High dark Vandyke Brown และสูตรที่ 31 และ 33 สี High dark Burnt Umber สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 21 และ 25 สี Vandyke Brown สูตรที่ 26 และ 27 สี Sepia สูตรที่ 28, 32 และ 35 สี Raw Umber, สูตรที่

34 สี Burnt Umber และสีที่มีระดับสีอ่อนคือสูตรที่ 36 สี Low light Raw Umber กลุ่มสีเทา (Payne's Grey) สีที่มีระดับแก่คือสูตรที่ 10 สี High dark Payne's Grey และกลุ่มสีดำ (Black) คือสี Lamp Black และสี Ivory Black สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 11 สี Low dark Lamp Black ที่ที่มีระดับสีแก่คือสูตรที่ 8 สี High dark Ivory Black และสีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 9 และ 13 สี Ivory Black สีในเนื้อดินปั้นที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมสนิมโลหะมีอัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกันสีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันสีจะต่างกับสีระดับสีแก่ (Low Value) ขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะโดมอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสม

และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 8 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้เป็นสีระดับสีอ่อน (High Value)

และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อสีที่ได้จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) สีที่ได้แบ่งเป็นกลุ่ม คือกลุ่มสีน้ำเงิน (Blue) คือสี Phthalo Blue, สี Prussian Blue, สี Perulesu Blue, สี Indigo, สี Ultramarine, สี Cobalt Blue และสี Intense Blue สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 1 สี Low dark Phthalo Blue, สูตรที่ 5 สี Low dark Ultramarine สีที่มีระดับแก่มากคือสูตรที่ 2, 8, 15 และ 20 สี Dark Prussian Blue, สูตรที่ 3 สี Cerulean Blue, สูตรที่ 7 สี Dark Indigo และสูตรที่ 21 สี Dark Cobolt Blue สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 4 สี Indigo, สูตรที่ 27 สี Intense Blue และสีที่มีระดับสีอ่อน (High Value) คือสูตรที่ 36 สี Low Light Intense Blue

กลุ่มสีน้ำตาล (Brown) คือสี Vandyke Brown, สี Raw Umber, สี Burnt Umber และสี Sepia สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 9 สี Lowdark Vandyke Brown, สูตรที่ 10 สี Lowdark Raw Umber และสูตรที่ 12 สี Lowdark Sepia สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 13, 22 และ 26 สี Dark Raw Umber, สูตรที่ 17 สี Dark Vandyke Brown, สูตรที่ 18 สี Dark Sepia และสูตรที่ 29 สี Dark Burnt Umber สีที่มีระดับสีแก่คือสูตรที่ 23 สี High dark Burnt Umber และสูตรที่ 31 สี High dark Umber

สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 14, 24 และ 30 สี Burnt Umber สูตรที่ 25 สี Sepia สูตรที่ 32 และ 34 สี Raw Umber และสีที่มีระดับสีอ่อน (High Value) คือสูตรที่ 35 สี Low light Raw Umber กลุ่มสีเหลือง (Yellow) มีสีระดับสีแก่คือ สูตรที่ 33 สี High Yellow Ochre กลุ่มสีเทา (Payne's Grey) สีมีระดับสีแก่มากคือ สูตรที่ 6 สี Dark Payne's Grey สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 19 สี Payne's Grey และกลุ่มสีดำ (Black) มีสีระดับแก่มากคือสูตรที่ 11 สี Dark Lamp Black สีในเนื้อดินที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมสนิมโลหะมีอัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกัน สีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันสีจะต่างกัน ระดับสีแก่ (Low Value) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมสนิมโลหะโดมอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 7 - 9 และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้เป็นสีระดับสีอ่อน (High Value) และจากตาราง 10 สีในเนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมสนิมโลหะเดียวกัน ปรากฏผลดังนี้ มีอยู่ 25 สูตร ส่วนผสมที่สีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทมีสีต่างกันคือ สูตรที่ 1, 2, 3 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 27, 28, 33, และ 36 มีสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อกับสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อมีสีเดียวกัน แตกต่างกันที่ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) แต่แตกต่างกับสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ คือสูตรที่ 10, 22, มีสีในดินปั้นทั้ง 3 ประเภทที่ได้สีเดียวกันต่างกันที่ระดับสีอ่อนสีแก่ คือสูตรที่ 11 และ 30 มีสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ และสีในเนื้อดินปอร์สเลนไฟต่ำได้สีเดียวกันและต่างกันที่ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) สีต่างกันกับเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ คือสูตรที่ 26, 29, 31, 34 และมีสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อกับสีเนื้อดินปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อมีสีเดียวกัน และแตกต่างกันที่ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) สีต่างกันกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อคือสูตรที่ 32 และ 35 ดังนั้นอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกันเนื้อดินปั้นต่างชนิดกันสีที่ได้จะต่างกัน

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกันผสมในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน และผลการวิเคราะห์เนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมสนิมโลหะเดียวกัน (เผาในบรรยากาศรีดักชั่น)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
1.	CoO = 8 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 1	Low Dark Payne's Grey	Low Dark phthalo Blue	Low Dark Prussian Blue
2.	CoO = 7 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 1	Low Dark Indigo	Low Dark Ultramrine	Dark Cerulean Blue
3.	CoO = 7 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 2	Dark Cobalt Blue	Dark Cerulean Blue	Low Dark Cobalbule
4.	CoO = 6 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 1	Dark Cobalt Blue	Dark Cerulean Blue	Dark Payne's Grey
5.	CoO = 6 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	Dark Ivory Black	Dark Intense Blue	Low Dark Indigo
6.	CoO = 6 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 3	Dark Ultramasine	Dark Cerulean Blue	Low Dark Cobalt Blue

ตาราง 4 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
7.	CoO = 5	Dark	Low Dark	Dark
	Fe_2O_3 = 4	Ivory Black	Ivory Black	Lamp Black
	MnO_2 = 1			
8.	CoO = 5	Lamp Black	Dark	Dark
	Fe_2O_3 = 3		Lamp Black	Payne's Grey
	MnO_2 = 2			
9.	CoO = 5	Paynis Grey	High Dark	High Dark
	Fe_2O_3 = 2		Lamp Black	Payne's Grey
	MnO_2 = 3			
10.	CoO = 5	Indigo	Low Dark	Low Dark
	Fe_2O_3 = 1		Vandryke	Vandyke Brown
	MnO_2 = 4			
11.	CoO = 4	Low Dark	Low Dark	Low Dark
	Fe_2O_3 = 5	Ivory Black	Ivory Black	Ivory Black
	MnO_2 = 1			
12.	CoO = 4	Dark	Dark Ivory	Low Dark
	Fe_2O_3 = 4	Ivory Black	Black	Paynis Grey
	MnO_2 = 2			
13.	CoO = 4	Dark	Low Dark	Low Dark
	Fe_2O_3 = 3	Vandyke	Sepia	Vandyke
	MnO_2 = 3	Brown		Brown

ตาราง 4 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
14.	CoO = 4 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	Dark Sepia	Payne's Grey	Lamp Black
15.	CoO = 4 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 5	Ivory Black	Dark Intense Blue	Dark Indigo
16.	CoO = 3 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 1	Low Dark Sepia	Low Dark Burnt Umber	Low Dark Vandyke
17.	CoO = 3 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 2	Payne's Grey	Dark Burnt Umber	Low Dark Raw Umber
18.	CoO = 3 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 3	Lamp Black	Payne's Grey	Lamp Black
19.	CoO = 3 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 4	Sepia	Dark Vandybe Brown	Dark Ivory Black
20.	CoO = 3 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 5	Payne's Grey	Ivory Black	Dark Indigo

ตาราง 4 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
21.	CoO = 3 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 6	Sepia	Payne's Grey	Indigo
22.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 1	Dark Vandyke Brown	Low Dark Vandyke Brown	Dark Burnt Umber
23.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 2	Low Dark Raw Umber	Low Dark Sepia	High Dark Payne's Grey
24.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 3	Payne's Grey	Dark Sepia	High Dark Sepia
25.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 4	Vandyke Brown	Lamp Black	Payne's Grey
26.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 5	Burnt Umber	Payne's Grey	Vandyke Brown
27.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 6	Payne's Grey	Vandyk Brown	Prussian Blue

ตาราง 4 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
28.	CoO = 2 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 7	Low light Payne's Grey	Low light Burnt Umber	Low light intense Bue
29.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 8 MnO_2 = 1	Low Dark Burnt Umber	Low Dark Burnt Umber	Low Dark Burnt Sienna
30.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 2	Dark Sepia	Dark Vandyke Brown	Dark Burnt Umber
31.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 3	Vandyke Brown	Payne's Grey	Dark Sepia
32.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 5	High Dark Raw Umber	High Dark Vandyke Brown	High Dark Burnt umber
33.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 5	Burnt Umber	High Dark Raw Umber	Raw Umber
34.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 6	Burnt Umber	Low light Payne's Grey	Raw Umber

ตาราง 4 (ต่อ)

สูตรที่	ส่วนผสม	เนื้อดินปั้น เอทเธนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น สโตนแวร์ ชนิดหล่อ	เนื้อดินปั้น ปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อ
35.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 7	Low light Burnt Umber	Low light Raw Umber	Low light Intense Blue
36.	CoO = 1 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 8	Light Raw Umber	Light Raw Umber	Light Intense Blue

จากตาราง 4 สีในเนื้อดินปั้นเอทเธนแวร์ชนิดหล่อสีที่ได้จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) สีที่ได้แบ่งเป็นกลุ่ม คือ กลุ่มสีน้ำเงิน (Blue) คือ สี Indigo, สี Cobalt Blue และสี Ultramarine สีที่มีระดับแก่ที่สุดคือสูตรที่ 2 สี Low Dark Indigo สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 4 สี Dark Cobalt Blue และสูตรที่ 5 สี Dark Ultramarine สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 10 สี Indigo กลุ่มสีน้ำตาล (Brown) คือสี Vandyke Brown, สี Sepia, สี Raw Umber และสี Burnt Umber สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 16 สี Low dark Sepia, สูตรที่ 23 สี Low dark Raw Umber และสูตรที่ 29 สี Low dark Burnt Umber สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 13 และ 22 สี Dark Vandyke Brown, สูตรที่ 14 และ 30 สี Dark Sepia สีที่มีระดับสีแก่คือสูตรที่ 32 สี High dark Raw Umber สีที่มีระดับสีกลางคือสูตรที่ 19 และ 21 สี Sepia, สูตรที่ 25 และ 31 สี Vandyke Brown และสูตรที่ 26, 33 และ 34 สี Burnt Umber สีที่มีระดับสีอ่อนคือสูตรที่ 35 สี Low light Burnt Umber และสีที่มีระดับสีอ่อนมากคือสูตรที่ 36 สี Light Raw Umber

กลุ่มสีเทา (Payne's Grey) คือสีที่มีระดับสีแก่ที่สุด คือ สูตรที่ 1 สี Low dark Payne's Grey สีที่มีระดับสีแก่มาก คือสูตรที่ 3 สี Dark Payne's Grey สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตร ที่ 9, 17, 20. 24 และ 27 สี Payne's Grey. กลุ่มสีดำ (Black) คือสี Ivory Black และสี Lamp Black สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 11 สี Low dark Ivory Black สีที่มีระดับสีแก่มาก คือสูตรที่ 5 สี Dark Ivory Black สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 8 และ 18 สี Lamp Black และสูตรที่ 15 สี Ivoory Black สีในเนื้อดินปั้นที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมสนิมโลหะมีส่วนต่างกัน สีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันสีจะต่างกันระดับสีแก่ (Low Value) ขึ้นอยู่กับ สูตรส่วนผสมสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6 - 9 ในสูตรส่วนผสมและสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสม สีที่ได้เป็นสีระดับสีอ่อน (High Value)

ส่วนสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อสีที่ได้ จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) สีที่ได้แบ่งเป็นกลุ่ม คือกลุ่มสีน้ำเงิน (Blue) คือสี Phthalo Blue สี Ultramarine, สี Prussian Blue สี Cerulean Blue และสี Intense Blue สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 1 สี Low dark Phthalo kBlue และสูตรที่ 2 สี Low dark Ultramarine สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 3 สี Dark Prussian Blue, สูตรที่ 4 และ 6 สี Dark Cerulean Blue และสูตรที่ 5 และ 15 สี Dark Intense Blue กลุ่มสีน้ำตาล (Brown) คือสี Vandyke Brow, สี Sepia, สี Burnt Umber และสี Raw Umber สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 10 และ 22 สี Low dark Vandyke Brow, สูตรที่ 13 และ 23 สี Low dark Sepia และสูตรที่ 16 และ 29 สี Low dark Burnt Umber สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 17 สี Dark Burnt Umber, สูตรที่ 19 และ 30 สี Ddark Vandyke Broown และสูตรที่ 24 สี Dark Sepia สีที่มีระดับสีแก่คือสูตร ที่ 32 สี High dark Vandyke Brow และสูตรที่ 33 สี High dark Raw Umber สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 27 สี Vandyke Brown สีที่มีระดับสีอ่อนคือสูตรที่ 28 สี Low light Burnt Umber, และสูตรที่ 35 สี Low light Raw Umber สีที่มีระดับสีอ่อนมาก คือสูตรที่ 36 สี Light Raw Umber

กลุ่มสีเทา (Payne's Grey) สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 14, 18, 21, 26 และ 31 สี Payne's Grey และสีที่มีระดับสีอ่อนคือสูตรที่ 34 สี Low light Payne's Grey กลุ่มสีดำ (Black) คือสี Ivory Black และสี Lamp Black สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตร 7 - 11 สี Low dark Ibory Black สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 8 สี Dark Lamp Black และสูตรที่ 12 สี Dark Ivory Black สีที่มีระดับสีแก่คือสูตรที่ 9 สี High dark Lamp Black สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 20 สี Ivory Black และสี Lamp Black

สีในเนื้อดินปั้นที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของสนิมโลหะ มีส่วนผสมต่างกันสีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวสีจะต่างกัน ระดับสีแก่ (Low Value) ขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะโคมอลท์ออกไซด์ ผสมกับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสม และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ร้อยละ 6 - 8 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้เป็นสีระดับสีอ่อน (High Value)

และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อสีที่ได้จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) สีที่ได้แบ่งเป็นกลุ่มหรือกลุ่มสีน้ำเงิน (Blue) คือสี Prussian Blue, สี Cerulean Blue, สี Cobalt Blue, สี Indigo และสี Intense Blue สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 1 สี Low dark Prussian Blue, สูตจรที่ 3 และ 6 สี Low dark Cobalt Blue และสูตรที่ 5 สี Low dark Indigo สีที่มีระดับสีแก่มาก คือสูตรที่ 2 สี Dark Cerulean Blue และสูตรที่ 15 และ 20 สี Dark Indigo สีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 21 สี Indigo และสูตรที่ 27 สี Prussian Blue สีที่มีระดับสีอ่อนคือสูตรที่ 28 และ 35 สี Low light Intense Blue และสีที่มีระดับสีอ่อนมาก คือสูตรที่ 36 สี Light Intense Blue

กลุ่มสีน้ำตาล (Brown) คือสี Vandyke Brown, สี Raw Umber, สี Burmt Umber, สี Sepea และสี Burnt Sienna สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 10, 13 และ 16 สี Low dark VAndyke Brown, สูตรที่ 17 สี Low dark Raw Umber และสูตรที่ 29 สี Low dark Burnt Sienna

สีที่มีระดับสีแก่มากคือ สูตรที่ 22 และ 30 สี Dark Burnt Umber และสูตรที่ 31 สี Dark Sepia และสีที่มีระดับสีแก่คือสูตรที่ 24 สี High dark Sepia และสูตรที่ 32 สี High dark Burnt Umber สีที่มีระดับสีกลาง (Half Tone) คือสูตรที่ 26 สี Vandyke Brown และสูตรที่ 33 และ 34 สี Raw Umber กลุ่มสีเทา (Payne's Grey) สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 12 สี Low dark Payne's Grey สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 4 และที่ 8 สี Dark Payne 's Grey สีที่มีระดับสีแก่คือสูตรที่ 9 และ 23 สี High dark Payne's Grey และสีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 25 สี Payne's Grey และกลุ่มสีดำ (Black) คือสี Ivory Black และ Lamp Black สีที่มีระดับสีแก่ที่สุดคือสูตรที่ 11 สี Low dark Ivory Black สีที่มีระดับสีแก่มากคือสูตรที่ 7 สี Dark Lamp Black และสูตรที่ 19 สี Dark Ivory Black และสีที่มีระดับสีกลาง (Half tone) คือสูตรที่ 14 และ 18 สี Lamp Black สีในเนื้อดินปั้นที่ได้ขึ้นอยู่อัตราส่วนผสมสนิมโลหะมีส่วนต่างกัน สีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันสี จะต่างกัน ระดับสีแก่ (Low Value) ขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะโคมอลท์ออกไซด์ ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสม และสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) และจากตาราง 11 สีในเนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมสนิมโลหะเดียวกันปรากฏผลดังนี้ มี 23 สูตร ส่วนผสมที่สีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท มีสีต่างกัน คือสูตรที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9,14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34 และ 35 สีในดินปั้นเอทเธนแวร์ชนิดหล่อกับสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อที่มีสีเดียวกันและแตกต่างกันที่ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) แต่แตกต่างกับสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ คือสูตรที่ 7-8 และ 22 และสีในเนื้อดินปั้นเอทเธนแวร์ ชนิดหล่อกับสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อมีสีเดียวกันทั้งระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) แต่สีต่างกันกับเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ คือสูตรที่ 12, และ 36 มีสีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ที่มีสีเดียวกันทั้งระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low VAlue) คือสูตรที่ 11 สี Low dark Ivory Black และสูตรที่ 29 สี Low dark Busut Umber มีสีในเนื้อดินปั้นเอทเธนแวร์ชนิดหล่อกับสีเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อมีสีเดียวกัน แต่สีแตกต่างจากสีเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อคือสูตรที่ 18 และ 32 และมีสีเนื้อดินปั้น

เอิทเธนแวร์ชนิดหล่อกัน สีเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อมีสีเดียวกันต่างกันที่ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) แต่สีแตกต่างจากเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ คือสูตรที่ 13. มีสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อกับสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่มีสีเดียวกันแต่แตกต่างจากสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อคือสูตรที่ 10 และมีสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อกับสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อมีสีเดียวกันแตกต่างกันที่ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่แต่สีแตกต่างจากเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อคือสูตรที่ 24 และ 33

ดังนั้น อัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน เนื้อดินปั้นต่างชนิดกัน สีที่ได้จะต่างกัน

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์การเผาในบรรยากาศที่แตกต่างกันเนื้อดินปั้นเดียวกันอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน มีผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 5

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์การเผาในบรรยากาศที่แตกต่างกันในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันอัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน

สูตรที่ /ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น
1. CoO = 8	Low Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 1	Indigo	Payne's	Ultramarine	Phthalo	Phthalo	Prussian
MnO_2 = 1		Grey		Blue	Blue	Blue
2. CoO = 7	Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark	Dark	Dark
Fe_2O_3 = 2	Payne's Grey	Indigo	Intense	Ultramarine	Prussian	Cerulean
MnO_2 = 1			Blue		Blue	Blue
3. CoO = 7	Low Dark	Dark	Dark	Dark	Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 1	Intense Blue	Payne's	Phthalo	Prussian	Cerulean	Cobalt Blue
MnO_2 = 2		Grey	Blue	Blue	Blue	
4. CoO = 6	Dark	Dark	Dark	Dark	Indigo	Dark
Fe_2O_3 = 3	Ultramarine	Cobalt Blue	Prussian	Cerulean		Payne's Grey
MnO_2 = 1			Blue	Blue		
5. CoO = 6	Dark	Dark	Dark	Dark	Low Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 2	Indigo	Ivory Black	Cobolt Blue	Intense	Ultramarine	Indigo
MnO_2 = 2				Blue		
6. CoO = 6	High Dark	Dark	Indigo	Dark	Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 1	Purssian	Ultramasine		Cerulean	Payne's	Cobalt Blue
MnO_2 = 3	Blue			Blue	Grey	
7. CoO = 5	Lamp Blach	Dark	Low Dark	Low Dark	Dark	Dark
Fe_2O_3 = 4		Ivory Black	Prussian	Ivory Black	Indigo	Lamp Black
MnO_2 = 1			Blue			

ตาราง 5 (ต่อ)

สูตรที่ /ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น
8. CoO = 5	Payne's Grey	lamp Black	High Dark	Dark	Dark	Dark
Fe_2O_3 = 3			Ivory Black	Lamp Black	Prussian	Payne's Grey
MnO_2 = 2					Blue	
9. CoO = 5	High Dark	payne's	Ivory Black	High Dark	Low Dark	Hith Dark
Fe_2O_3 = 2	Payne's Grey	Grey		Lamp Balck	Vandyke	payne's Grey
MnO_2 = 3						
10. CoO = 5	Payne's Grey	Indigo	High Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 1			Payne's	Vandyke	Raw Umber	Vandyke Brown
MnO_2 = 4			Grey			
11. CoO = 4	Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark	Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 5	Lamp black	Ivory Black	Lamp Black	Ivory	Lamp black	Ivory Black
MnO_2 = 1				Black		
12. CoO = 4	Lamp Black	Dark	High Dark	Dark Ivory	Low Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 4		Ivory Black	Vandyke	Black	Sepia	Payne's Grey
MnO_2 = 2			Brown			
13. CoO = 4	Payne's Grey	Dark	Ivory Balck	Low Dark	Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 3		Vandyke		Sepia	Raw Umber	Vandyke
MnO_2 = 3		Brown				Brown
14. CoO = 4	Ivory Black	Dark	Dark	Payne's	Burnt Umber	Lamp Black
Fe_2O_3 = 2		Sepia	Raw Umber	Grey		
MnO_2 = 4						

ตาราง 5 (ต่อ)

สูตรที่ /ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น
15. CoO = 4	payne's Grey	Ivory Black	Dark	Dark	Dark	Dark
Fe_2O_3 = 1			Cobalt Blue	Intense	Prussian	Indigo
MnO_2 = 5				Blue	Blue	
16. CoO = 3	Dark	Low Dark	Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 6	Burnt Umber	Sepia	Vandyke	Burnt	Raw Umber	Vandyke
MnO_2 = 1			Brown	Umber		
17. CoO = 3	Dark	Payne's	Dark	Dark	Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 5	Sepia	Grey	Sepia	Burnt	Vandyke	Raw Umber
MnO_2 = 2				Umber	Brown	
18. CoO = 3	Dark	Lamp black	Dark	Payne's	Dark	Lamp Balck
Fe_2O_3 = 4	Vandyke		Burnt Umber	Grey	Sepia	
MnO_2 = 3						
19. CoO = 3	Low Dark	Sepia	Dark	Dark	Payne's	Dark
Fe_2O_3 = 3	Raw Umber		Burnt Umber	Vandyke	Grey	Ivory Balck
MnO_2 = 4				Brown		
20. CoO = 3	Sepia	Payne's	Dark	Ivory	Dark	Dark
Fe_2O_3 = 2		Grey	Vandyke	Black	Prussiam	Indigo
MnO_2 = 5			Brown		Blue	
21. CoO = 3	Dark	Sepia	Vandyke	Payne's	Dark	Indigo
Fe_2O_3 = 1	Raw Umber		Brown	Grey	Cobalt Blue	
MnO_2 = 6						

ตาราง 5 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น
22. CoO = 2	High Dark	Dark	Dark	Low Dark	Dark	Dark
Fe_2O_3 = 7	Burnt	Vandyke	Burnt Umber	Vandyke	Raw Umber	Burnt Umber
MnO_2 = 1	Umber	Brown		Brown		
23. CoO = 2	Payne's Grey	Low Dark	Dark	Low Dark	High Dark	High Dark
Fe_2O_3 = 6		Raw Umber	Vandyke	Sepia	Burnt	Payne's Grey
MnO_2 = 2			Brown		Umber	
24. CoO = 2	High Dark	Payne's	High Dark	Dark	Burnt Unber	High Dark
Fe_2O_3 = 5	Raw Umber	Grey	Vandyke	Sepia		Sepia
MnO_2 = 3			Brown			
25. CoO = 2	High Dark	Vandyke	High Dark	Lamp Balck	Sepia	Payne's Grey
Fe_2O_3 = 4	Brunt Umber	Brown	Raw Umber			
MnO_2 = 4						
26. CoO = 2	Raw umber	Burnt Umber	Sepia	Payne's	Dark	Vandyke
Fe_2O_3 = 3				Grey	Raw Umber	Brown
MnO_2 = 5						
27. CoO = 2	Burnt Umber	Payne's	Sepia	Vandyke	Intense	Prussian
Fe_2O_3 = 2		Grey		Brown	Blue	Blue
MnO_2 = 6						
28. CoO = 2	Payne's Grey	Low light	Raw Umber	Low light	Ultramarine	Low ligh
Fe_2O_3 = 1		Payne's		Burnt		Intense Blue
MnO_2 = 7		Grey		Umber		

ตาราง 5 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธาแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น
29. CoO = 1	Dark	Low Dark	Low Dark	Low Dark	Dark	Low Dark
Fe_2O_3 = 8	Burnt Umber	Burnt Unber	Raw Umber	Burnt	Burnt Umber	Burnt Sienna
MnO_2 = 1				Umber		
30. CoO = 1	High Dark	Dark	Dark	Dark	Burnt Umber	Dark
Fe_2O_3 = 7	Burnt Umber	Sepia	Burnt Umber	Vandyke		Burnt Umber
MnO_2 = 2				Brown		
31. CoO = 1	Low Dark	Vandyke	High Dark	Payne's	High Dark	Dark
Fe_2O_3 = 6	Raw Umber	Brown	Burnt Umber	Grey	Raw Umber	Sepia
MnO_2 = 3						
32. CoO = 1	Burnt Umber	High Dark	Raw Umber	High Dark	Raw Umber	High Dark
Fe_2O_3 = 5		Raw Umber		Vandyke		Burnt Umber
MnO_2 = 4				Brown		
33. CoO = 1	Raw Umber	Burnt Umber	High Dark	High Dark	High Dark	Raw Umber
Fe_2O_3 = 4			Burnt Umber	Raw Umber	Yallow	
MnO_2 = 5					Ochre	
34. CoO = 1	Raw Umber	Burnt Umber	Burnt Umber	Low light	Raw Umber	Raw Umber
Fe_2O_3 = 3				Payne's		
MnO_2 = 6				Grey		
35. CoO = 1	Burnt Umber	Low light	Raw Umber	Low light	Low light	Low light
Fe_2O_3 = 2		Burnt Umber		Raw Umber	Raw Umber	Intense Blue
MnO_2 = 7						

ตาราง 5 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น	บรรยากาศออกซิเดชั่น	บรรยากาศรีดักชั่น
36. CoO = 1 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 8	Low light Burnt Umber	Light Raw Umber	Low light Raw Umber	Light Raw Umber	Low light Intense Blue	Light Intense Blue

จากตาราง 5 สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ ที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น จะแตกต่างจากบรรยากาศการเผารีดักชั่น พบว่าสีที่ได้จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี, ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) ทุกสูตรส่วนผสม ยกเว้นสูตรส่วนผสมที่ 28 ที่มีอัตราส่วนผสมของสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ร้อยละ 7 สีที่ได้เป็นสีชนิดเดียวกัน คือสี Payne's grey เผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีระดับสีที่อ่อน(High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ในสูตรส่วนผสมที่ 29 ที่มีสนิมโลหะของเหล็กออกไซด์อยู่ร้อยละ 8 สีที่ได้คือสี Burnt Umber เผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีที่ได้จะมีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ในสูตรส่วนผสมที่ 35 สีที่ได้ชนิดเกียวกันคือ สี Burnt Umber เช่นกัน สูตรส่วนผสมนี้มีอัตราส่วนผสมของสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ร้อยละ 7 เผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนผสมที่ 36 สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อจะมีสีระดับอ่อนมากคือสี Light Raw Umber ในอัตราสูตรส่วนที่มีสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6 - 9 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศแบบรีดักชั่นสีที่ได้มีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่นระดับสีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น ดังนั้นบรรยากาศการเผาต่างกันในสูตรส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน และเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันสีจะต่างกัน ส่วนสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ ที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น จะแตกต่างจากการเผา ในบรรยากาศรีดักชั่น พบว่าสีที่ได้จะแยกต่างกัน

ทั้งชนิดของสี,ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) ทุกสูตรส่วนผสมยกเว้นสูตรที่ 35 ที่ได้สีชนิดเดียวกันคือสี Raw Umber ในสูตรส่วนผสมนี้มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ อยู่ร้อยละ 7 เผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในสบรรยากาศแบบออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนผสมที่ 36 ในสูตรส่วนผสมนี้มี สนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ร้อยละ 8 ในสูตร ส่วนผสมสีที่ได้จากการเผาในบรรยากาศรีดักชั่น ในสูตรส่วนผสมนี้สีที่ได้จะมี ระดับสีอ่อนมากคือสี Light Raw Umber ในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ ผสมกับเหล็กออกไซด์ ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีที่ได้จะมีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาบรรยากาศออกซิเดชั่นและในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 7-8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ดังนั้นบรรยากาศการเผาต่างกันในสูตรส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกันและเนื้อดินปั้นชนิดเกียวกันสีจะต่างกันและสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น จะแตกต่างจากบรรยากาศการเผารีดักชั่น พบว่าสีที่ได้จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี, ระดับสีอ่อน (High Value) และระดับสีแก่ (Low Value) ทุกสูตรส่วนผสม ยกเว้นสูตรส่วนผสมที่ 29 และ 30 ที่มีสนิมโลหะของเหล็กออกไซด์อยู่ในสูตรส่วนผสมร้อยละ 7-8 ในอัตราส่วนสูตรผสมสีที่ได้คือสี Burnt Umber เผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาบรรยากาศออกซิเดชั่นและในสูตรที่ 36 ที่มีสูตรส่วนผสมของสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ร้อยละ 8 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้คือสี Intense Blue เผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าบรรยากาศการเผาออกซิเดชั่น ดังนั้นบรรยากาศการเผาต่างกันในสูตรส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกัน และเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันสีจะต่างกัน

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์ ในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ เทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA93727 สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 6, ตาราง 7 และตาราง 8

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์สูตรส่วนผสมของสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิดผสมกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชันเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 (ดูภาพประกอบ 5 ภาคผนวก)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นเอิทเทนแวร์ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
1. CoO = 8 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 1	Low Dark Indigo		Low Dark Payne's Grey	
2. CoO = 7 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 1	Dark Payne's Grey	Ebony Black NT024	Low Dark Indigo	
3. CoO = 7 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 2	Low Dark Intense Blue		Dark Payne's Grey	Ebony Black NT024
4. CoO = 6 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 1	Dark Ultramarine	True Blue PL221	Dark Cobalt Blue	Royal Blue DN809
5. CoO = 6 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	Dark Indigo	Blueberry NT105	Dark Ivory Black	
6. CoO = 6 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 3	High Dark Prussian Blue	Wedgwood Blue OS458	Dark Ultramasine	True Blue PL221

ตาราง 6 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นเอิทเทนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
7. CoO = 5 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	Lamp Black	Black DN816	Dark Ivory Black	
8. CoO = 5 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 2	Payne's Grey	Slat Grey NT023	Lamp Black	Black DN816
9. CoO = 5 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 3	High Dark Payne's Grey	Steel Grey NT049	payne's Grey	Slate Grey NT023
10. CoO = 5 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 4	Payne's Grey	Slate Grey NT023	Indigo	Liberty Blue OS512
11. CoO = 4 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 1	Dark lamp Black		Low Dark Ivory Black	
12. CoO = 4 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	Lamp Black	Black DN816	Dark Ivory Black	
13. CoO = 4 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 3	Payne's Grey	Slate Grey NT023	Dark Vandyke Brown	Black Brown OS473

ตาราง 6 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นเอิทเทนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
14. CoO = 4 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 4	Ivory Black	Black OS476	Dark Sepia	Black Cherry NT068
15. CoO = 4 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 5	Payne's Grey	Slate Grey NT023	Ivory Black	Black OS476
16. CoO = 3 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 1	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX274	Low Dark Sepia	
17. CoO = 3 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 2	Dark Sepia	Black Cherry NT 068	Payne's Grey	Slate Grey NT023
18. CoO = 3 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 3	Dark Vandyke Brown	Black Brown OS473	Lamp Black	Black DN816
19. CoO = 3 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 4	Low Dark Raw Umber		Sepia	Nutmeg Brown PL191
20. CoO = 3 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 5	Sepia	Nutmeg Brown PL191	Payne's Grey	Slate Grey NT023

ตาราง 6 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นเอิทเทนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
21. CoO = 3 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 6	Dark Raw Umber	Gingerbread TX275	Sepia	Nutmeg Brown PL191
22. CoO = 2 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 1	High Dark Burnt Umber	Cocoa Brown NT019	Dark Vandyke Brown	Black Brown OS473
23. CoO = 2 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 2	Payne's Grey	Slate Grey NT023	Low Dark Raw Umber	
24. CoO = 2 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 3	High Dark Raw Umber	Ginger Brown DN823	Payne's Grey	Slate Grey NT023
25. CoO = 2 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 4	High Dark Burnt Umber	Cocoa Brown NT019	Vnadyke Brown	Walnut Brown DN814
26. CoO = 2 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 5	Raw Umber	Toasted Tan NT058	Burnt Umber	Brown DN813
27. CoO = 2 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 6	Burnt Umber	Brown DN813	Payne's Grey	Slate Grey NT023

ตาราง 6 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นเอิทเทนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
28. CoO = 2 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 7	Payne's Grey	Slate Grey NT023	Low light Payne's Grey	Elephant Grey NT044
29. CoO = 1 Fe_2O_3 = 8 MnO_2 = 1	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX274	Low Dark Burnt Umber	
30. CoO = 1 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 2	High Dark Burnt Umber	Cocoa Brown NT019	Dark Sepia	Black Cherry NT 068
31. CoO = 1 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 3	Low Dark Raw Umber		Vandyke Brown	Walnut Brown DN814
32. CoO = 1 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 4	Burnt Umber	Brown DN813	High Dark Raw Umber	Ginger Brown DN823
33. CoO = 1 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 5	Raw Umber	Toasted Tan NT058	Burnt Umber	Brown DN813
34. CoO = 1 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 6	Raw Umber	Toasted Tan NT058	Burnt Umber	Brown DN813

ตาราง 6 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นเอิทเทนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
35. CoO = 1 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 7	Burnt Umber	Brown DN813	Low light Burnt Umber	Camel NT034
36. CoO = 1 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 8	Low light Burnt Umber	Charcoal PL192	Light Raw Umber	Buttered Rum OS522

จากตาราง 6 สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อที่เผา ในบรรยากาศออกซิเดชั่นได้ 22 สี เมื่อนำไปเทียบกับตารางมาตรฐาน ภาพสีสำเร็จรูป ในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 ได้ 18 สี คือสี Dark Paynne's Grey เท่ากับสี Eboney Black NT 024, สี Dark Ultramarine เท่ากับสี True Blue PL 221, สี Dark Indigo เท่ากับสี Blueberry NT015, สี Hight dark Prussion Blue เท่ากับ สี Wedgwood Blue OS458, สี Lamp Black เท่ากับสี Black DN 816,สี Payne's Grey เท่ากับสี Slate Grey NT 023,สี Ivory Black เท่ากับสี Black OS476, สี Dark Burnt Umber เท่ากับสี CoCoa Brown TX274, สี Dark Sepia เท่ากับสี Black Cherry NT 068, สี Dark Vandyke Brown เท่ากับสี Black Brown OS473, สี Sepia เท่ากับสี Nutneg Brown PL191, สี Dark Raw Umber เท่ากับสี Gingerbread TX275, สี High dark Burnt Umber เท่ากับสี Cocoa Brown NT019, สี High dark Raw Umber เท่ากับสี Ginger Brown DN 823, สี Raw Umber เท่ากับสี Toasted Tan NT 058, สี Burnt Umber เท่ากับสี Brown DN813, สี Low light Burnt Umber เท่ากับสี Charcoal PL 192 และสี High dark Payne's Grey เท่ากับสี Steel Grey NT 049 และสีที่ได้จากการทดลองไม่มีในตารางมาตรฐาน ภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 คือสี Low dark Indigo, สี Low dark Intense Blue, สี High dark Payne's Grey และสี Low dark Raw Umber สีดังกล่าวมีระดับสีแก่ที่สุด

ส่วนการเผาในบรรยากาศรีดักชั่นได้ 23 สี เทียบสีได้ 16 สี คือสี Dark Payne's Grey เท่ากับสี Ebony Black NT 024, สี Dark Cobalt Blue เท่ากับสี Royal Blue DN 809, สี Dark Ultramarine เท่ากับสี True Blue PL 221, สี Lamp Black เท่ากีบสี Black DN 816 สี Payne's Grey เท่ากับสี Slate Grey NT 023, สี Indigo เท่ากับสี Liberty Blue OS512, สี Dask Vandyke Brown เท่ากับสี Black Brown OS 473, Dask Sepia เท่ากับสี Black Cherry NT 068, สี Ivory Black เท่ากับสี Black OS 476, สี Sepia เท่ากับสี Nutmeg Brown PL 191, สี Vandyke Brown เท่ากับสี Walnut Brown DN 814, สี Burnt Umber เท่ากับสี Brown DN 813, สี Low light Payne's Grey เท่ากับสี Elephant Grey NT 044, สี High dark Raw Umber เท่ากับสี Ginger Brown DN 823k, สี Low light Burnt Umber เท่ากับสี Camel NT 034 และสี Light Raw Umber เท่ากับสี Buttered Bum OS 522 และสีที่ได้จากการทดลอง ไม่มีในตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูป ในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA93727 คือสี Low dark Payne's Grey, สี Low dark Indigo, สี Dark Ivory Black, สี Low dark Ivory Black, สี Low dark Raw Umber และสี Low dark Burut Umber สีดังกล่าวมีระดับสีแก่ที่สุด

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์สูตรส่วนผสมของสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด ผสมกับเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน และรีดักชันเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA93727 (ดูภาพประกอบ 5 ภาคผนวก)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
1. CoO = 8 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 1	Low Dark Ultramarine		Low Dark Phthalo blue	
2. CoO = 7 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 1	Low Dark Intense Blue		Low Dark Ultramarine	
3. CoO = 7 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 2	Dark Phthalo Blue	Colonial Blue OS 511	Dark Prussian Blue	Tahoe Blue NT 014
4. CoO = 6 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 1	Dark Prussian Blue	Tahol Blue NT 014	Dark Cerulean Blue	Holly Blue OS 465
5. CoO = 6 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	Dark Cobolt Blue	Royal Blue DN 809	Dark Intense Blue	Cambridge Blue DN 830

ตาราง 7 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
6. CoO = 6 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 3	Indigo	Liberty Blue NT 023	Dark Cerulean blue	Holly Blue OS 465
7. CoO = 5 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	Low Dark Prussian Blue		Low Dark Ivory Black	
8. CoO = 5 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 2	High Dark Ivory Black		Dark Lamp Black	
9. CoO = 5 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 3	Ivory Black	Black OS 476	High Dark Lamp Black	
10. CoO = 5 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 4	High Dark Payne's Grey	Steel Grey NT 049	Low Dark Vandryke Brown	
11. CoO = 4 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 1	Low Dark Lam Black		Low Dark Ivory Black	

ตาราง 7 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
12. CoO = 4 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	High Dark Vandyke Brown	Chocolate Fudge OS 495	Dark Ivory Black	
13. CoO = 4 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 3	Ivory Black	Black OS 476	Low Dark Sepia	
14. CoO = 4 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 4	Dark Raw Umber	Gingerbread TX 275	Fayne's Grey	Slate Grey NT 023
15. CoO = 4 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 5	Dark Cobalt Blue	Royal Blue DN 809	Dark Intense Blue	Cambridgl Blue DN 830
16. CoO = 3 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 1	Dark Vandybe Brown	Black Brown OS 473	Low Dark Burnt Umber	
17. CoO = 3 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 2	Dark Sepia	black Cherry NT 068	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX 274
18. CoO = 3 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 3	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX274	Payne's Grey	Slate Grey NT 023

ตาราง 7 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
19. CoO = 3 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 4	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX274	Dark Vandybe Brown	Black Brown OS 473
20. CoO = 3 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 5	Dark Vandyke Brown	Black Brown OS473	Ivory Black	Black OS 476
21. CoO = 3 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 6	Vandyke Brown	Walmet Brown DN 814	Payne's Grey	Slate Grey OS 476
22. CoO = 2 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 1	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX 274	Low Dark Vandyke Brown	
23. CoO = 2 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 2	Dark Vandyke Brown	Black Brown OS 473	Low Dark Sepia	
24. CoO = 2 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 3	High Dark Vandyke Brown	Chocolate Fudge OS 495	Dark Sepia	Black Cherry NT 068

ตาราง 7 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
25. CoO = 2 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 4	Hith Dark Raw Umber	Ginger Brown DN 823	Lamp Black	Black DN 816
26. CoO = 2 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 5	Sepia	Nutmeg Brown PL 191	Payne's Grey	Slate Grey NT 023
27. CoO = 2 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 6	Sepia	Nutmeg Brown PL 191	Vandyke Brown	Walnut Brown DN 814
28. CoO = 2 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 7	Raw Umber	Toasted Tan NT058	Low light Burnt Umber	Chareoal PL 192
29. CoO = 1 Fe_2O_3 = 8 MnO_2 = 1	Low Dark Raw Umber		Low Dark Burnt Umber	
30. CoO = 1 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 2	Dark Burnt umber	Cocoa Brown TX 274	Dark Vandyke Brown	Black Brown OS 473

ตาราง 7 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
31. CoO = 1 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 3	High Dark Brunt umber	Cocoa Brown NT019	Payne's Grey	Slate Grey NT023
32. CoO = 1 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 4	Raw Umber	Toadted Tan NT 058	High Dark Vandyke Brown	Chocolate Fudge OS 495
33. CoO = 1 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 5	High Dark Burnt Umber	Cocoa Brown NT 019	High Dark Raw Umber	Ginger Brown DN 823
34. CoO = 1 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 6	Burnt Umber	Brown DN 813	Low light Payne's Grey	Elephant Grey NT 044
35. CoO = 1 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 7	Raw Umber	Toasted Tan NT 058	Low light Raw Umber	Gingerbread NT 064
36. CoO = 1 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 8	Low light Raw Umber	Gingerbread NT 064	Light Raw Umber	Buttered Rum OS 522

จากตาราง 7 สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นได้ 24 สี เมื่อนำไปเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 ได้ 18 สี คือสี Dark Phthalo Blue เท่ากับสี Colonial Blue OS511, สี Dark Prussian Blue เท่ากับสี Tahoe Blue NT014 สี Dark Cobolt Blue เท่ากับสี Royal Blue DN 809, สี Indigo เท่ากับสี Liberty Blue NT 023,สี Ivory Black เท่ากับสี Black OS476,สี 6High dark Payne's Grey เท่ากับสี Steel Grey NT 049, สี High dark Vandyke Brown เท่ากับสี Chocolate Fudge OS495, สี Dark Raw Umber เท่ากับสี Gingerbread TX275, สี Dark Sepia เท่ากับสี Black Cherry NT 068, สี Dark Burnt Umber เท่ากับสี Cocoa Brown TX 274, สี Dark Vandyke Brown เท่ากับสี Black Brown OS 473, สี kVandyke Brown เท่ากับสี Walnut Brown DN 814, สี High dark Raw Umber เท่ากับสี Ginger Brown DN 823, สี Sepia เท่ากับสี Nutmey Brown PL 191, สี Raw Umber เท่ากับสี Toasted Tan NT 058, High dark Burnt Umber เท่ากับสี Cocoa Brown NT 019, สี Burnt Umber เท่ากับสี Brown DN 813, และสี Low light Raw Umber เท่ากับสี Gingerbread NT064 และสีที่ได้จากการทดลองไม่มีในตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA93727 คือสี Low dark Ultramarine, สี Low dark Intense Blue, สี Low dark Prussion Blue, สี High dark Ivory Black, สี Low dark Lamp Black และสี Row dark Raw Umber สีดังกล่าวมีระดับสีแก่ที่สุด

ส่วนการเผาในบรรยากาศรีดักชั่นได้ 25 สี เทียบสีได้ 16 สี คือ สี Dark Prussian Blue เท่ากับสี Tahoe Blue NT014, สี Dark Cerulean Blue เท่ากับสี Holly Blue OS 465, สี Dask Intense Blue เท่ากับสี Cambridge Blue DN 830, สี Paymne's Grey เท่ากับสี Slate Grey NT 023, สี Dark Burnt Umber เท่ากับสี Coacoa Brown TX274,สี Dark Vandyke Brown เท่ากับสี Black Brown OS 4737 สี Black Cherry NT 068,สี Lamp lkBlack เท่ากับสี Black DN 816, สี Vandyke Brown เท่ากับสี Walnut Brown DN814,สี Low light Burnt Umber

เท่ากับสี Charcoal PL 192,สี High dark Vandyke Brown เท่ากับสี Chocolate Fudge OS 495, สี High dark Row Umber เท่ากับสี Ginger Brown DN 823, สี Elephant Grey NT 044, สี Low light Raw Umber เท่ากับสี Gingerbread NT 064 และสี Light Raw Umber เท่ากับสี Buttered Bum OS522 และสีที่ได้จากการทดลองไม่มีในตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 คือสี Low dark Phthalo Blue, สี Low dark Ultramarine, สี Low dask Ivory Black, สี Dark Lamp Black,สี High dark Lamp Black, สี Low Vandyke Brown, สี Dark Ivory Black, สี Low dark Sepia และสี Low dark Burnt Umber สีดังกล่าวมีระดับสีแก่ที่สุด

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์สูตรส่วนผสมของสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด ผสมกับเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และรีดักชั่นเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 (ดูภาพประกอบ 5 หน้าภาคผนวก)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
1. CoO = 8 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 1	Low Dark Phthalo Blue		Low Dark Prussian Blue	
2. CoO = 7 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 1	Dark Prssian Blue	Tahol Blue NT 014	Dark Cerulean Blue	Holly Blue OS465
3. CoO = 7 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 2	Dark Ceruulean Blue	Holly Blue OS 465	Low Dark Cobalblue	
4. CoO = 6 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 1	Indigo	Liberty Blue NT 023	Dark Payne's Grey	Ebong Black NT 024
5. CoO = 6 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	Low Dark Ultramarine		Low Dark Indigo	

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
6. CoO = 6 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 3	Dark Payne's Grey	Ebony Black NT 024	Low Dark Cobalt Blue	
7. CoO = 5 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	Dark Indigo	Blueberry NT 015	Dark Lamp Black	
8. CoO = 5 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 2	Dark Prussian Blue	Tahoe Blue NT 014	Dark Paynis Grey	Ebony Black NT 024
9. CoO = 5 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 3	Low Dark Vandyke		High Dark Payne's Grey	Steel Grey NT 049
10. CoO = 5 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 4	Low Dark Raw Umber		Low Dark Vandyke Brown	
11. CoO = 4 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 1	Dark Lamp Black		Low Dark Ivory Black	

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นปอร์สเลน ไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นปอร์สเลน ไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
12. CoO = 4 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	Low Dark Sepia		Low Dark Payne's Grey	
13. CoO = 4 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 3	Dark Raw Umber	Gingerbread TX275	Low Dark Vandyke Brown	
14. CoO = 4 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 4	Burnt Unber	Brown DN 813	Lamp Black	Black DN 816
15. CoO = 4 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 5	Dark Prussian Blue	Tahol Blue NT 014	Dark Indigo	Blueberry NT015
16. CoO = 3 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 1	Low Dark Raw Umber		Low Dark Vandyke	
17. CoO = 3 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 2	Dark Vandyke Brown	Black Brown OS 473	Low Dark Raw Umber	

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นปอร์สเลน ไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นปอร์สเลน ไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
18. CoO = 3 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 3	Dark Sepia	Black Cherry NT 068	Lamp Black	Black DN 816
19. CoO = 3 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 4	Payne's Grey	Slate Grey NT 023	Dark Ivory Black	
20. CoO = 3 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 5	Dark Prussiam Blue	Tahol Blue NT 014	Dark Indigo	Blueberry NT 015
21. CoO = 3 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 6	Dark Cobalt Blue	Royal Blue DN 809	Indigo	Liberty Blue NT 023
22. CoO = 2 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 1	Dark Raw Umber	Gingerbread TX 275	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX 274
23. CoO = 2 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 2	High Dark Burnt Umber	Cocan Brown NT 019	High Dark Payne's Grey	Steel Grey NT 049

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
24. CoO = 2 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 3	Burnt Umber	Brown DN 813	High Dark Sepia	Ebony Black TX 277
25. CoO = 2 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 4	Sepia	Nutmeg Brow PL 191	Payne's Grey	Slate Grey NT 023
26. CoO = 2 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 5	Dark Raw Umber	Gingerbread TX 275	Vandyke Brwon	Walnut Brown DN 814
27. CoO = 2 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 6	Intense Blue	True Blue TX 270	Prussian Blue	True Blue NT 072
28. CoO = 2 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 7	Ultramarine	Holl and Blue PL 186	Low light Intense Blue	Summer Blue NT 039
29. CoO = 1 Fe_2O_3 = 8 MnO_2 = 1	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX 274	Low Dark Burnt Sienna	Morocco Red CC 140
30. CoO = 1 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 2	Burnt Umber	Brown DN 813	Dark Burnt Umber	Cocoa Brown TX 274

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นปอร์สเลน ไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศออกซิเดชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727	เนื้อดินปั้นปอร์สเลน ไฟต่ำชนิดหล่อ บรรยากาศรีดักชั่น	ตารางภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727
31. CoO = 1 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 3	High Dark Raw Umber	Ginger Brown DN 823	Dark Sepia	Black Cherry NT 068
32. CoO = 1 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 4	Raw Umber	Toasted Tan NT 058	High Dark Burnt umber	Cocoa Brown NT 019
33. CoO = 1 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 5	High Dark Yellow Ochre	Dusty Beige DN 822	Raw Umber	Toasted tan NT 058
34. CoO = 1 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 6	Raw Umber	Toasted Tan NT 058	Raw Umber	Toasted Tan NT 058
35. CoO = 1 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 7	Low light Raw Umber	Gingerbread NT 064	Low light Intense Blue	Summer Blue NT 039
36. CoO = 1 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 8	Low light Intense Blue	Summer Blue NT 039	Light Intense Blue	Bright Blue OS 459

จากตาราง 8 สีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ได้ 27 สีเมื่อนำไปเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Dencan Ceramic's Fresno, CA93727 ได้ 22 สี คือสี Dark Prussian Blue เท่ากับสี Tahoe Blue NT 014, สี Dark Cerulean Blue เท่ากับสี Holly Blue OS465, สี Indigo เท่ากับสี Liberty Blue NT 023, สี Dark Payne's Grey เท่ากับสี Ebony Black NT 024, สี Dark Indigo เท่ากับสี Blueberry NT 015, สี DArk Prussian Blue เท่ากับสี Tahoe Blue NT014, สี Dark Raw Umber เท่ากับสี Gingerbread TX 275, สี Burnt Umber เท่ากับสี Brown DN 8139 สี Dark Vandyke Brown เท่ากับสี Black Brown OS473, สี Dark Sepia เท่ากับสี Black Cherry NT 068, สี Payne's Grey เท่ากับสี Slate Grey NT 023, สี Dark Cobalt Cobalt Blue เท่ากับสี Royal Blue DN 809, สี High dark Burnt Umber เท่ากับสี Cocoa Brown NT 019, สี Sepia เท่ากับสี Nutmey Brown PL 191, สี Intense Blue เท่ากับสี True Blue TX 270, สี Ultramarine เท่ากับ สี Holland Blue PL 186, สี Dark Burnt Umber เท่ากับสี Cocoa Brown TX 274, สี High dark Raw Umber เท่ากับสี Ginger Brown DN823, สี Raw Umber เทาท่ากับสี Toasted Tan NT 058,สี High dark Yellow Ochre เท่ากับสี Dusty Beige DN 822, สี Low Light Raw Umber เท่ากับสี Gingerbread NT 064 และ สี Low light Intense Blue เท่ากับสี Summer Blue NT 039

และสีที่ได้จากการทดลองไม่มีในตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูป ในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA93727 คือสี Low dark Phthalo Blue, สี Low dark Ultramarine, สี Low dark Vandyke Brown, สี Low dark Raw Umber, สี Dark Lamp Black และสี Low dark Sepia สีดังกล่าวมีระดับสีแก่ที่สุด

ส่วนการเผาในบรรยากาศรีดักชั่นได้ 26 สี เทียบสีได้ 17 สี คือสี Dark Cerulean Blue เท่ากับสี Holly Blue OS465, สี Dark Payne's Grey เท่ากับ สี Ebony Black NT 024, สี High dark Payne's Grey เท่ากับสี Steel Grey NT 049, สี Lamp Black เท่ากับสี Black DN 816, สี Dark Indigo เท่ากับสี

Blue Berry NT 015, สี Indigo เท่ากับ Liberty Blue NT 023, สี Dark Burnt Umber เท่ากับสี Cocoa Brown TX274, สี Highdark Sepia เท่ากับสี Ebony Black TX 277, สี Payne's Grey เท่ากับสี Slate Grey NT 023, สี Vandyke Brown เท่ากับสี Walnut Brown DN 814, สี Prussian Blue เท่ากับสี Prue Blue NT 072, สี Low light Intense Blue เท่ากับสี Summer Blue NT 039, สี Low dark Burnt Sienna เท่ากับสี Morocco Red CC 140, สี Dark Sepia เท่ากับสี Black Cherry NT 068, สี High Dark Burnt Umber เท่ากับสี Cocoa Brown NT 019, สี Raw Umber เท่ากับสี Toasted Tan NT 058 และสี Light Intense Blue เท่ากับสี Bright Blue OS 459, และสีที่ได้จากการทดลองไม่มีในตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบชอง Duncan Ceramic's Fresno, CA 9372 คือสี Low dark Prussian kBlue, สี Low dark Cobalt Blue, สี Low dark Indigo, สี Dask Lamp Black, สี Low dark Vandyke Brown, สี Low dark Ivory Black, สี Low dark Payne's Grey,สี Low dark Raw Umber และสี DArk Ivory Black สีดังกล่าวมีระดับสีแก่ที่สุด

ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ หลังจากการเผาตามอุณหภูมิที่กำหนดของเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อมีผลการวิเคราะห์ สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 9

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาของเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อที่อุณหภูมิ 1,190 °เซลเซียส, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อเผาที่อุณหภูมิ 1,225 °เซลเซียส

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
1. CoO = 8 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 1	5.37	9.30	.23	13.23	-	14.53
2. CoO = 7 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 1	5.34	9.36	.20	13.66	-	14.56
3. CoO = 7 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 2	5.34	9.36	.20	13.66	-	14.56
4. CoO = 6 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 1	5.26	9.53	.16	13.70	-	14.60
5. CoO = 6 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	5.26	9.53	.16	13.70	-	14.60
6. CoO = 6 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 3	5.15	10.06	.16	13.70	-	14.66

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
7. CoO = 5 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 1	4.84	10.56	.13	13.76	-	14.73
8. CoO = 5 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 2	4.81	10.60	.13	13.76	-	14.73
9. CoO = 5 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 3	4.77	10.63	.13	13.76	-	14.76
10. CoO = 5 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 4	4.73	10.70	.06	13.83	-	14.80
11. CoO = 4 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 1	4.58	11.50	.03	13.90	-	14.93
12. CoO = 4 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 2	4.54	11.60	.03	13.90	-	14.93
13. CoO = 4 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 3	4.54	11.60	.03	13.90	-	14.93

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
14. CoO = 4 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 4	4.54	11.60	.03	13.90	-	14.96
15. CoO = 4 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 5	4.46	11.80	.03	13.93	-	15.00
16. CoO = 3 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 1	4.39	11.90	-	13.96	-	15.23
17. CoO = 3 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 2	4.39	11.90	-	13.96	-	15.23
18. CoO = 3 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 3	4.35	12.00	-	13.96	-	15.30
19. CoO = 3 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 4	4.35	12.00	-	13.96	-	15.30
20. CoO = 3 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 5	4.31	12.16	-	14.00	-	15.43

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
21. CoO = 3 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 6	4.16	12.33	-	14.26	-	15.46
22. CoO = 2 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 1	4.05	14.40	-	14.43	-	15.66
23. CoO = 2 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 2	4.05	12.40	-	14.43	-	15.66
24. CoO = 2 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 3	4.05	12.40	-	14.43	-	15.66
25. CoO = 2 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 4	4.05	12.40	-	14.43	-	15.70
26. CoO = 2 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 5	4.01	12.46	-	14.50	-	15.73
27. CoO = 2 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 2	3.90	12.63	-	14.56	-	15.76

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
28. CoO = 2 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 1	3.90	12.63	-	14.63	-	15.80
29. CoO = 1 Fe_2O_3 = 8 MnO_2 = 1	3.82	12.73	-	14.80	-	15.90
30. CoO = 1 Fe_2O_3 = 7 MnO_2 = 2	3.82	12.73	-	14.80	-	15.90
31. CoO = 1 Fe_2O_3 = 6 MnO_2 = 3	3.82	12.73	-	14.80	-	15.90
32. CoO = 1 Fe_2O_3 = 5 MnO_2 = 4	3.82	12.73	-	14.80	-	15.90
33. CoO = 1 Fe_2O_3 = 4 MnO_2 = 5	3.75	12.83	-	14.80	-	15.90
34. CoO = 1 Fe_2O_3 = 3 MnO_2 = 6	3.75	12.83	-	14.86	-	15.93

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรที่ / ส่วนผสม	เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ		เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ	
	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	การหดตัว (ร้อยละ)
35. CoO = 1 Fe_2O_3 = 2 MnO_2 = 7	3.56	13.03	-	14.93	-	19.93
36. CoO = 1 Fe_2O_3 = 1 MnO_2 = 8	3.37	13.33	-	15.00	-	16.03

จากตาราง 9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,190 °เซลเซียสของเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ สูตรที่ 1 มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด คือร้อยละ 5.37 และมีการหดตัวน้อยที่สุดคือร้อยละ 9.30 ส่วนสูตรที่ 36 มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 3.37 และมีการหดตัวมากที่สุดคือร้อยละ 13.33 ส่วนผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,225 เซลเซียส ของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ สูตรที่ 1 มีการดูดซึมน้ำมากที่สุดคือร้อยละ

และผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,225 เซลเซียสของเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ สูตรที่ 1 มีการหดตัวน้อยที่สุดคือร้อยละ 14.53 สูตรที่ 36 มีการหดตัวมากที่สุด คือร้อยละ 16.03 ทุกสูตรไม่มีการดูดซึมน้ำ

บทที่ 5

สรุป อภิรายผลและข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาทดลองสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ โดยการใช้สนิมโลหะเป็นตัวทำให้เกิดสี โดยทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมของสนิมโลหะเป็นสูตรต่าง ๆ จากการใช้สนิมโลหะ 3 ชนิด คือโคบอลท์ออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไดออกไซด์ คำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค ผสมกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาเซรามิกส์ในภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรมมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่เกิดจากส่วนผสมสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ (CoO), เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) จากการคำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค ได้เนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ 36 ตัวอย่างแรกเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและ 36 ตัวอย่างหลังเผาในบรรยากาศรีดักชั่น รวม 72 ตัวอย่างได้เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ 36 ตัวอย่างแรกเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และ 36 ตัวอย่างหลัง เผาในบรรยากาศรีดักชั่นและได้เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ 36 ตัวอย่างแรก เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น 36 ตัวอย่างหลัง เผาในบรรยากาศรีดักชั่นรวมตัวอย่างเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทดังกล่าว รวม 108 ตัวอย่างแรก เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น 108 ตัวอย่างหลังเผาในบรรยากาศรีดักชั่นรวมทั้งสิ้น 216 ตัวอย่าง

การดำเนินการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองออกเป็นขั้นตอน ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบ ตามสูตรที่เตรียมไว้ทำเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ประเภทละ 10 กิโลกรัม

2. นำส่วนผสมของเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทไปบดในหม้อบด (Ballmill) ใช้น้ำผสมร้อยละ 34 แล้วนำไปผ่านตะแกรง 80 mesh.

3. นำเนื้อดินปั้น ทั้ง 3 ประเภทผ่านเครื่องแยกเหล็ก แล้ววัดความถ่วงจำเพาะได้เท่ากับ 1.8

4. นำสนิมโลหะทั้ง 3 ชนิด คือโคบอลท์ออกไซด์, เหล็กออกไซด์ และแมงกานีสไดออกไซด์ที่ได้ สูตรส่วนผสมจากการคำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค ทั้ง 36 สูตร ส่วนผสมในแต่ละสูตรส่วนผสมมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 10 กรัม แล้วนำไปผสมกับเนื้อดินปั้นที่ได้เตรียมไว้แต่ละประเภท ๆ ละ 100 ซีซี ในแต่ละจุดส่วนผสม แล้วกวนเนื้อดินให้เข้ากับส่วนผสมสนิมโลหะ แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อน 80 mesh. อีกครั้งหนึ่งแล้วนำไปเทลงในพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตรหนา .20 เซนติเมตร โดยทำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ 36 สูตรส่วนผสมหรือ 36 ชิ้นทดลอง (ทำไว้ 2 ชุด เท่ากับ 72 ชิ้นทดลอง) ทำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ 36 ชิ้นทดลอง (ทำไว้ 2 ชุด เท่ากับ 72 ชิ้นทดลอง) และทำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ 36 สูตรส่วนผสมหรือ 36 ชิ้นทดลอง (ทำไว้ 2 ชุด เท่ากับ 72 ชิ้นทดลอง)

5. แล้วนำชิ้นทดลองมาผึ่งให้แห้งแล้วลงรหัส

6. นำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ นำไปเผาที่อุณหภูมิที่กำหนด (1,190° เซลเซียส) ในบรรยากาศออกซิเดชั่น 36 ชิ้นทดลองและบรรยากาศรีดักชั่น 36 ชิ้นทดลอง

7. นำชิ้นทดลองเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ นำไปเผาที่อุณหภูมิที่กำหนด (1,225° เซลเซียส) ในบรรยากาศออกซิเดชั่น 36 ชิ้นทดลองและบรรยากาศรีดักชั่น 36 ชิ้นทดลอง

8. นำชิ้นทดลอง เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อนำไปเผาที่อุณหภูมิที่กำหนด (1, 225 °เซลเซียส) ในบรรยากาศออกซิเดชั่น 36 ชิ้นทดลองและบรรยากาศรีดักชั่น 36 ชิ้นทดลอง รวมมีชิ้นทดลอง 216 ชิ้นทดลอง

จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและจำแนกสีเพื่อตรวจสอบสมมุติฐานการวิจัยต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์เทียบสี ในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อและสี ในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่ผสมกับสนิมโลหะ 3 ชนิด คือ โคบอลท์ออกไซด์, เหล็กออกไซด์ และแมงกานีสไดออกไซด์ จากการคำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคได้ 36 สูตร ส่วนผสมปรากฏว่าสีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทที่ได้สามารถแบ่งกลุ่มสีได้ ดังนี้

1. กลุ่มสีน้ำเงิน (Blue) สีที่ได้คือสี Ultramarine, สี Prussian Blue,สี Cobalt Blue สี Indigo, สี Phthalo Blue, สี Cerulean Blue และ สี Intense Blue

2. กลุ่มสีน้ำตาล (Brown) สีที่ได้คือสี Burnt Umber, สี Burnt Sienna,สี Raw Umber, สี Vandyke Brown และสี Sepia

3. กลุ่มสีเทา (Payne's Crey)

4. กลุ่มสีดำ (Black) สีที่ได้คือสี Lamp Black และสี Ivory Black

5. กลุ่มสีเหลือง (Yellow) สีที่ได้คือสี Yellow Ochre (จากสูตรส่วนผสมที่ 33 ในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น

สีดังกล่าวที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของสนิมโลหะ เป็นสำคัญมีส่วนผสมต่างกัน สีในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน สีที่ได้จะต่างกัน ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ที่เกิดในสีแต่ละชนิดของเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมของสนิมโลหะโคมอลท์ออกไซด์ ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6 - 9 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้จะมีระดับสีแก่ (Low Value) และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 8 ของสูตรส่วนผสมสีที่ได้ เป็นระดับสีอ่อน (High Value)

ส่วนสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อระดับ สีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ในสีแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมของสนิมโลหะโคมอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้จะมีระดับสีแก่ (Low Value) และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 8 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้จะเป็นสีระดับสีอ่อน (High Value) และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อสีที่ได้ ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ในสีแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้ จะมีระดับสีแก่ (Low Value) และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้เป็นสีระดับสีอ่อน (High Value)

จากผลดังกล่าวข้างต้น เมื่อนำสีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทที่มีสูตรส่วนผสมของสนิมโลหะเดียวกันมาเทียบสีที่ได้จะแตกต่างกันทั้งชนิดของสี และระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) เพราะสูตรส่วนผสมของเนื้อดินปั้นต่างกัน คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ต่างกัน ดังนั้นเนื้อดินปั้นต่างชนิดกันผสมสนิมโลหะเดียวกันสีที่ได้จะต่างกัน

ส่วนบรรยากาศการเผาที่แตกต่างกัน ระหว่างการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นกับบรรยากาศรีดักชั่น มีผลทำให้สีในดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อมีสีต่างกัน ในสูตรส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกันในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6 - 9 ในสูตรส่วนผสม เผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีในเนื้อดินปั้นที่ได้ จะมีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากสศออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่นระดับสีที่ได้จะมีระดับสีที่อ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ส่วนสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมเผา ในบรรยากาศรีดักชั่นสีที่ได้จะมีสีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในสบรรยากาศออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ ในสูตรส่วนผสม ที่มีสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ ผสมกับเหล็กออกไซด์

ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีสีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 7-9 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีในเนื้อปั้นที่ได้จะมีสีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีในเนื้อดินที่ได้จะมีสีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น ดังนั้นบรรยากาศการเผาต่างกันในเนื้อปั้นชนิดเดียวกันสีจะต่างกัน ส่วนสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธินแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและบรรยากาศรีดักชั่นเมื่อไปเทียบกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 ผลที่ได้คือสีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นได้ 22 สี เทียบสีได้ 18 สี และเผาในบรรยากาศรีดักชั่นได้ 23 สี เทียบสีได้ 16 สี

ส่วนสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อที่เผา ในบรรยากาศออกซิเดชั่นได้ 24 สี เทียบสีได้ 18 สี และเผาในบรรยากาศรีดักชั่นได้ 25 สี เทียบสีได้ 16 สี และสีในเนื้อเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นได้ 27 สีเทียบสีได้ 22 สี และเผาในบรรยากาศรีดักชั่นได้ 26 สี เทียบสีได้ 17 สี ดังนั้นสีในดินปั้นที่ได้ทั้ง 3 ประเภทเทียบตารางมาตรฐาน ภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno,Ca 93727 ได้แตกต่างกันเฉพาะชื่อสีทางการค้า

ส่วนสีที่ได้จากการทดลอง ไม่มีตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูป ในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 เพราะสีดังกล่าวมีระดับสีแก่ที่สุด และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ หลังจากการเผาของเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อใน 36 สูตร ในสูตรที่ 1. มีการดูดซึมน้ำมากที่สุดคือร้อยละ 5.37 และมีการหดตัวน้อยที่สุดร้อยละ 9.30 และสูตรที่ 36 มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 3.37 และมีการหดตัวมากที่สุดคือร้อยละ 13.33 มีคุณสมบัติเป็นเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ได้

ส่วนเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อสูตรที่ มีการดูดซึมน้ำมากที่สุดคือ ร้อยละ .23 น้อยที่สุดคือร้อยละ 13.63 และในสูตรที่ 36 ไม่มีการดูดซึมน้ำแต่มีการหดตัวมากที่สุด คือ ร้อยละ 15.00 มีคุณสมบัติทำเป็นเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ได้ และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อสูตรที่ 1 มีการหดตัวน้อยที่สุดคือร้อยละ 14.53 สูตรที่ 36 มีการหดตัวมากที่สุด คือร้อยละ 16.03 ทุกสูตรไม่มีการดูดซึมน้ำ และมีคุณสมบัติทำเป็นเนื้อดินปั้นชนิดปอร์สเลน ไฟต่ำได้

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสีในเนื้อดินปั้น สำหรับผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์โดย การใช้สนิมโลหะเป็นตัวทำให้เกิดสี 3 ชนิด คือ โคบอลท์ออกไซด์, เหล็กออกไซด์ และแมงกานีสไดออกไซด์ คำนวณตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค ผสมกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อมีประเด็น สำคัญที่อภิปรายได้ ดังนี้

1. อัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกันผสมกับเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน สีจะต่างกันจาก ผลของการทดลอง พบว่าสีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภทที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของสนิม โลหะโคบอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ ในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อร้อยละ 6-9 ในสูตรส่วนผสม, ในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสม และใน เนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมสีที่ได้ จัดอยู่ในระดับสีแก่ (Low Value) ของกลุ่มสีน้ำเงิน (Blue), กลุ่มสีน้ำตาล (Brown), กลุ่มสีเทา (Payne's Grey) กลุ่มสีดำ (Black) ซึ่งสอดคล้องกับ สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์ (2527 : 24 - 29) ที่กล่าวถึง การใช้สนิมโลหะของโคมอลท์ออกไซด์ เป็นสารที่ให้สีรุนแรงที่สุด (Strongest Colorant) ใช้เพียงร้อยละ .5 ในเคลือบจะได้สีน้ำเงิน การใช้เกิน ร้อยละ 3 จะทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟทำให้เคลือบด้าน และเป็นผลึกสีม่วงได้ ส่วนสนิมโลหะ ของเหล็กออกไซด์ เป็นสารให้สีที่ดีถ้าใช้ในเนื้อดินจะให้สีโทนแดง และเมื่อนำสนิมโลหะของ โคบอลท์ออกไซด์, เหล็กออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์ใช้ร่วมกันจะให้สีดำ และสุรศักดิ์ โกสัยพันธ์ (2527 : 24 - 29) ได้กล่าวถึงอีกว่า สีที่ได้เกิดจากการใช้สารให้สีคือสนิม โลหะตั้งแต่ 2 ชนิดผสมกันเพื่อให้ได้สีที่แตกต่างกันออกไปหลาย ๆ สี และสีที่ได้ขึ้นอยู่กับ

จำนวนของสารให้สีด้วย และในการทดลองพบอีกว่าในเนื้อปั้นทั้ง 3 ประเภท ในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะของแมงกานีสไดออกไซด์อยู่ร้อยละ 7 - 8 สีที่ได้แต่ละสีจะมีระดับสีอ่อน (High Value) ซึ่งสอดคล้องกับ สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์ (2527 : 24 - 29) ที่กล่าวถึงคุณสมบัติของแมงกานีสไดออกไซด์เป็นที่สารที่ให้สีไม่รุนแรง และมีจุดหลอมตัวต่ำ (1,080° เซลเซียส) ดังนั้นการมีจุดหลอมตัวต่ำกว่าสนิมโลหะของโคมอลท์ออกไซด์และเหล็กออกไซด์ และเป็นสารที่ให้สีไม่รุนแรง สีที่ได้จึงเป็นสีระดับสีอ่อน (High Value)

2. อัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกันให้ผสมกับเนื้อดินปั้นต่างชนิดกัน สีที่ได้จะต่างกัน จากผลการทดลอง เพราะคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นที่ใช้ในการทดลองมีสูตรส่วนผสมของวัตถุดิบที่ต่างกัน ในเนื้อดินปั้นแต่ละประเภท และผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพหลังจากการเผามาแล้วมี ดังนี้

เนื้อดินปั้นเอิทเธนชนิดหล่ออุณหภูมิที่ใช้เผา 1190° เซลเซียส บรรยากาศการเผาออกซิเดชั่นสีในเนื้อดินปั้นจะได้สีขาวเหลือง เผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะได้สีขาว มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 5.30 มีการหดตัวร้อยละ 9.4 ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงอุตสาหกรรม (ม.ป.ป. : 4), ส่วนเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อมีอุณหภูมิที่ใช้เผา 1,225° เซลเซียส บรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชั่นสีในเนื้อดินปั้นจะได้สีขาวเหลือง, ในบรรยากาศรีดักชั่น สีในเนื้อดินปั้นจะได้สีขาว มีการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.10 มีการหดตัวร้อยละ 13.8 และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่ออุณหภูมิที่ใช้เผา 1,225° เซลเซียส บรรยากาศการเผา แบบออกซิเดชั่นสีในเนื้อดินปั้นที่จะได้ สีขาว, เผาในบรรยากาศรีดักชั่นจะได้สีขาวใส การดูดซึมน้ำไม่มี มีการหดตัวร้อยละ 14.63 โกมล รักษ์วงศ์ (2531 : 154 - 164)

3. การเผาในบรรยากาศที่แตกต่างกันในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกัน อัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกันสีจะต่างกันทั้งชนิดของสีในเนื้อดินปั้น และระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อที่มีสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 6 - 9 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีในเนื้อดินปั้นที่ได้จะมีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนที่มีสนิมโลหะของแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีระดับสีอ่อนกว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น

ส่วนเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ ในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะโคมอบลท์ออกไซด์ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีสีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 7 - 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ได้จะมีระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และในดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะโคมอลท์ออกไซด์ผสมกับเหล็กออกไซด์ร้อยละ 7 - 9 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่น สีที่ในเนื้อดินปั้นที่ได้จะมีระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและในสูตรส่วนผสมที่มีสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ร้อยละ 8 ในสูตรส่วนผสมเผาในบรรยากาศรีดักชั่นสีในเนื้อดินปั้นที่ได้ จะมีสีระดับอ่อนกว่าการเผาออกซิเดชั่น เพราะบรรยากาศการเผามีผลต่อสีในเนื้อดินปั้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ โกมล รักษ์วงศ์ (2529 : 158 - 165) พบว่าการเผาแบบ Reduction จะทำให้เกิดสีเปลี่ยนแปลงสีได้เช่น ถ้าเผาสนิมโลหะของเหล็กออกไซด์ ในบรรยากาศแบบ Reduction จะเกิดสีเขียวได้ ถ้าเผาแบบ Oxidation จะได้สีน้ำตาลและสีของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จะเกิดสีขึ้นได้เพราะส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ทำเนื้อดินปั้นมีความบริสุทธิ์น้อย เพราะมีสนิมโลหะหรือสารอื่นเจือปน เมื่อผ่านการเผาแล้วจะเกิดสีขึ้น และทวี พรหมพฤกษ์ (2525 : 63 - 64) ได้กล่าวถึงการเผาในบรรยากาศแบบ Oxidation ว่าไม่ทำให้ผิวเคลือบหรือสีเคลือบเปลี่ยนแปลง เพราะไม่มีปฏิกิริยากับเคลือบหรือสีเคลือบ

และการเผาสีในเนื้อดินปั้นที่มีส่วนผสมของสนิมโลหะของแมงกานีสไดออกไซด์ตามอัตราส่วนที่กำหนดสีในเนื้อดินปั้นที่ได้ถ้าเผาในบรรยากาศแบบ Reduction จะได้น้ำหนักสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาแบบ Oxidation เพราะคุณสมบัติเฉพาะของสารเป็น Flux ที่อุณหภูมิสูง มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1080° เซลเซียส เป็นสารที่ให้สีไม่รุนแรงจะต้องนำไปใช้ร่วมกับสารอื่นดังนั้นเมื่อนำสนิมโลหะของแมงกานีสไดออกไซด์ผสมกับเนื้อดินปั้นที่เผาในอุณหภูมิสูงกว่าจึงทำให้สีที่ได้มีน้ำหนักสีอ่อน (High Value) ลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ โกมล รักษ์วงศ์ (2529 : 158 - 165) พบว่าอุณหภูมิที่เผาที่แตกต่างกันย่อมทำให้สีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน หรืออาจเกิดกสีขึ้นมาใหม่ หรืออาจทำให้สีบางสีจางหายไป

4. ผลการวิเคราะห์เทียบสี ในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, สีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์, ชนิดหล่อ, และสีในเนื้อดินปั้นสโตนแวร์, ชนิดหล่อ, และสีในเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำ ชนิดหล่อที่เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่นและบรรยากาศรีดักชั่นกับตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727 ปรากฏว่าเทียบสีได้แตกต่างกันเฉพาะชื่อสีทางการค้า ส่วนสีที่ได้จากการทดลองไม่มีในตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จในเคลือบของ Dencan Ceramic's Fresno, CA93727 เพราะสีที่ได้มีระดับสีแก่ที่สุด (Low Dark Value)

เพราะสภาพความเป็นจริง ผู้ผลิตสีที่ใช้ทางอุตสาหกรรมทาง Ceramic's เช่น สีในเคลือบ สีใต้เคลือบ หรือสีบนเคลือบจะผลิตสีออกมาในลักษณะสีที่อยู่ในน้ำหนักสีกลาง (Halftone) ทุก ๆ สีผู้ใช้จะต้องนำมาปรับใหม่ ให้ได้สีตามความต้องการ

5. คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อจากผลการวิเคราะห์ทุกสูตรส่วนผสม เมื่อเผาตามอุณหภูมิที่กำหนด มีการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 3.37-5.37 มีการหดตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 9.30 - 13.33

ส่วนเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อเมื่อเผาตามอุณหภูมิที่กำหนด มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0 - .23 มีการหดตัวร้อยละ 13.63 - 15.00 และเนื้อดินปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อทุกสูตรส่วน ไม่มีการดูดซึมน้ำมีการหดตัวร้อยละ 14.53 - 16.03 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ทั้งนี้สอดคล้องกับกริฟฟิล์สและแรดฟอร์ด (Griffiths and Radford. 1964 : 19 - 39)

ที่กล่าวถึง เนื้อดินปั้นที่ถือเป็นมาตรฐานโดยทั่วไป คือเนื้อดินชั้นเอิทเธนแวร์มีมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 3 - 10, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0-3 และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 0-1

และถ้าเป็นเนื้อดินปั้นประเภทเอิทเธนแวร์ การหดตัวหลังจากการเผาเคลือบไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเป็นเนื้อดินปั้นประเภทสโตนแวร์หลังจากการเผาเคลือบการหดตัวไม่เกิน 16 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเป็นเนื้อดินปั้นประเภทปอร์สเลนการหดตัวไม่เกิน 17 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 รูปแบบการทดลอง ตลอดจนการวางแผนการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปปรับปรุงเป็นรูปแบบและวิธีสอนวิชาเซรามิกส์ (วิชา AR 326 และวิชา AR 327) ในภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตรได้

1.2 จากการวิจัยพบว่าในสูตรส่วนผสมที่ใช้สนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ ร้อยละ 8 ขึ้นไป เมื่อทำการเผาแล้วจะทำให้เนื้อดินปั้นบวมขึ้นเป็นรอยตำหนิในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ดังนั้นไม่ควรใช้สนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์เกินร้อยละ 8 ในสูตรส่วนผสมเนื้อดินปั้นทุกประเภท

1.3 สีในเนื้อดินปั้นทั้ง 3 ประเภท ในสูตรส่วนผสมที่ 1 ถึง 34 สีที่ได้แต่ละชนิดจะมีระดับสีแก่ (Low Value) การนำไปใช้สามารถผสมสีในเนื้อดินปั้นให้เจือจางลงได้ด้วยการผสมเนื้อดินปั้นเพิ่มขึ้น

1.4 ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นไว้ทั้ง 3 ประเภท ในตาราง 9 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดเนื้อดินปั้นให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตทั้งรูปแบบและขนาด

1.5 การรักษาคุณภาพมาตรฐานของสีในเนื้อดินปั้น ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ, บรรยากาศการเผา, อัตราส่วนผสมของสนิมโลหะ และประเภทของเนื้อดินปั้นที่ใช้เป็นสำคัญ สำหรับการนำไปใช้ผลิตแบบจำนวนมาก (Mass Production)

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

2.1 ควรศึกษาวิจัยกับสารให้สีที่เป็นสนิมโลหะชนิดอื่น เช่น ทองแดงออกไซด์ (Copper oxide) และนิเกิลออกไซด์ (Nickel oxide) เป็นต้น

2.2 ควรศึกษาวิจัยในอุณหภูมิการเผา ที่แตกต่างออกไปจากเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์และเนื้อดินปั้นบอร์สเลนไฟต่ำอุณหภูมิ 1,225°

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

วิทยาศาสตร์บริการ, กรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ผลการทดลองเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์. ม.ป.ท., ม.ป.ป. อัดสำเนา

วิทยาศาสตร์, กรม กระทรวงอุตสาหกรรม. เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา. ม.ป.ท, 2513.

————. เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา. ม.ป.ท., 2513.

กิตติ โสณมัย. "ปัญหาและอุปสรรคในการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกส์," เอกสารการพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก. ม.ป.ท., 2513.

โกมล รักษ์วงศ์. การสร้างบทเรียนโมดูลเรื่องงานทำสีเซรามิกส์เซรามิกส์สำเร็จรูปตามหลักสูตรสภาการฝึกหัดครู พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง). ปริญญานิพนธ์ ค.อ.ม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2529. อัดสำเนา.

————. วัตถุดิบที่ใช้ในเครื่องปั้นดินเผาและเนื้อดินปั้น. นนทบุรี : โรงเรียนมารดานุเคราะห์, 2513.

จรัสศรี สมบัติทวี. "เครื่องปั้นดินเผาชนิดเอิทเธนแวร์," เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา. ม.ป.ท., 2513.

จาตุรงค์ กีระนันท์. เอกสารประกอบการสอนวิชาเครื่องปั้นดินเผา. ม.ป.ท., 2518.

เจริญ วัชระรังสี. "คำกล่าวรายงานของอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ เนื่องในพิธีเปิดการสัมมนาเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก," เอกสารการพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก. ม.ป.ท., 2513.

ทวี พรหมพฤกษ์. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2532.

————. "เตาและการเผา,. เอกสารนิเทศการศึกษาฉบับที่ 245. กรุงเทพฯ : จงเจริญการพิมพ์, 2525.

บัญญัติ บรรทัดฐาน. "คำกล่าวเปิดสัมมนาเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก," เอกสารการพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก. ม.ป.ท., 2531.

ปรีดา พิมพ์ชาวชำ. เซรามิกส์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

มนัส ชำอ่อน. การศึกษาน้ำเคลือบผลึก. ปริญญานิพนธ์ วท.ม. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2527. อัดสำเนา.

มลิฉัตร เอื้ออานันท์. เอกสารประกอบการสอนวิชาทฤษฎีสีเบื้องต้น. ม.ป.ท.,2532.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา, วิทยาศาสตร์บริการ, กรม "เครื่องปั้นดินเผา," เอกสารการพัฒนาเทคโนโลยีเซรามิกส์เพื่อการส่งออก. ม.ป.ท., 2531.

สมพร บุญยคุปต์. "โรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่ได้รับการส่งเสริม," เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา. หน้า 187 - 192. ม.ป.ท, 2531.

สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์. เอกสารประกอบการสอนวิชาเครื่องปั้นดินเผา. ม.ป.ท., 2524.

สมศักดิ์ แต้มบุญเลิศชัย, จิรศักดิ์ พงษ์พิษณุพิจิตร และสมคิด จาตุศรีพิทักษ์. รายงานการวิจัยแนวโน้มและลู่ทางการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ในตลาดโลก. ฝ่ายวิจัยและวางแผนบรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2530. อัดสำเนา.

สุรศักดิ์ โกสัยพันธ์. "วัสดุศาสตร์," เอกสารประกอบการศึกษาวิชาปั้น 461. ม.ป.ท., 2528.

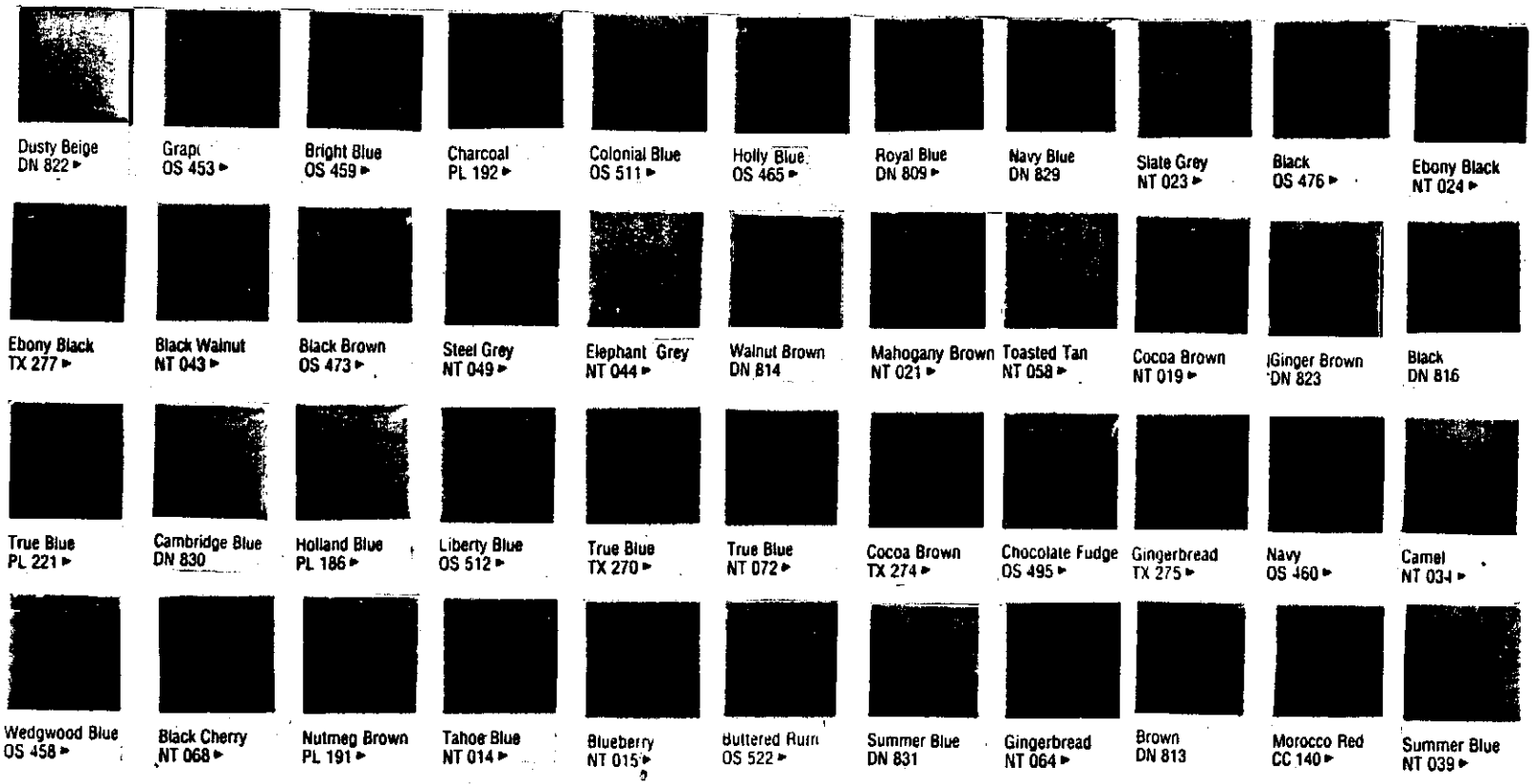
———. น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา. ม.ป.ท., 2527.

Griffiths, R. and C. Radford. Calculations in Ceramic's. London : Maclaren and Son, 1964.

Norton, F.H. Fine Ceramic's. New York : Mcgraw-Hill Book Company, 1970.

Phodes, Danial. Stoneware and Porcelain The Art of High - Fired Pottery. Pensylvania : Chilton Book Compary, 1959.

ภาคผนวก



ภาพประกอบ 5 ตารางมาตรฐานภาพสีสำเร็จรูปในเคลือบของ Duncan Ceramic's Fresno, CA 93727

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายสมศักดิ์ ชื่อสกุล ชวาลาวัณย์

เกิดวันที่ 23 เดือนกันยายน พุทธศักราช 2495

สถานที่เกิด ตำบลในเวียง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 73/4 ถนนลาดพร้าว 26

ตำบลลาดยาว เขตบางเขน

กรุงเทพมหานคร

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน อาจารย์

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ภาควิชาศิลปะและวัฒนธรรม

คณะมนุษยศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2512 ม.ศ. 3 จากโรงเรียนพิริยาลัย จังหวัดแพร่

พ.ศ. 2514 ป.กศ. จากวิทยาลัยครูอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์

พ.ศ. 2521 ค.บ. (วิชาเอกอุตสาหกรรมศิลป์ สาขาเครื่องปั้นดินเผา)

จากวิทยาลัยครูพระนคร

พ.ศ. 2535 กศ.ม. (วิชาเอกศิลปศึกษา)

จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

การพัฒนาสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์โดยการใช้สนิมโลหะตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาค

บทคัดย่อ

ของ

สมศักดิ์ ชวาลาวัณย์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกศิลปศึกษา

มีนาคม 2535

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาทดลองสีในเนื้อดินปั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์ โดยใช้สนิมโลหะ 3 ชนิด คือโคบอลท์ออกไซด์, เหล็กออกไซด์ และแมงกานีสไดออกไซด์ ตามสูตรแผนภาพไตรดุลยภาคผสมกับเนื้อดินปั้นเอิทเธนแวร์ชนิดหล่อ, เนื้อดินปั้นสโตนแวร์ชนิดหล่อ และเนื้อดินปั้นปอร์สเลนไฟต่ำชนิดหล่อ เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น และเผาในบรรยากาศรีดักชั่นโดยมีตัวอย่างแต่ละบรรยากาศจำนวน 108 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 216 ตัวอย่าง

ผลวิจัยสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมสนิมโลหะต่างกัน ในเนื้อดินปั้นชนิดเดียวกันได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน อัตราส่วนผสมสนิมโลหะเดียวกับเนื้อดินปั้นต่างชนิดกันได้สี, ระดับสีแก่ (Low Value) และระดับสีอ่อน (High Value) ต่างกัน

บรรยากาศการเผารีดักชั่นมีผลต่อสนิมโลหะโคบอลท์ออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ สี, ระดับสีแก่ (Low Value) กว่าการเผาบรรยากาศออกซิเดชั่น และบรรยากาศการเผารีดักชั่น มีผลต่อสนิมโลหะแมงกานีสไดออกไซด์ได้สี, ระดับสีอ่อน (High Value) กว่าการเผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น

A DEVELOPMENT OF COLOR IN CLAY BODY FOR CERAMIC'S PRODUCT BY USING VARIOUS METALLIC OXIDE BASED UPON TRIAXIAL DIAGRAM SOLUTION

AN ABSTRACT

BY

SOMSAK CHAWALAWAN

Presented in partial fulfillment of the requirments for the
Master of Education degree in Major Art Education
at Srinakharinwirot University
March 1992

The aim of experimental research was to find out the appropriate mixture of Colors used in Ceramics production with three types of metallic oxide : - Cobalt oxide, Ferric oxide and Manganese dioxide based upon triaxial diagram solution which were then mixed in Earthenware, Stoneware and soft Porcelain. The total number of 216 samples were bodies fired by using 2 techniques: - the oxidation technique and reduction method for 2 equal groups of 108 each and the analysis and comparison of different Colors of bodies samples were then tested

The experiment revealed that when the different mixture of different metallic oxide were used in the same bodies the different colors of low value and high value would be produced. However as the same mixture of the same metallic oxide were used in the different bodies, the different colors of low value and high value would be produced.

There was an indication that the reduction firing technique affected the metallic oxide of Cobalt oxide and Ferric oxide and the low value of colors would appear at the higher level than the colors produced by the oxidation technique. Nevertheless, when the reduction firing technique affected the Manganese dioxide, the high value of colors would appear at the lower level than the colors produced by oxidation technique.