บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยเรื่อง "การทดลองสีในเคลือบเซรามิกส์สำหรับเครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ขี้เถ้าถ่านหินลิกไนต์ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปางผสมกับวัตถุดิบต่าง ๆ และสารออกไซด์ให้สี" ผู้วิจัยได้วางกรอบในการศึกษาข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถ่านหินลิกไนต์ จากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ
   - 1.1 ประเภทของถ่านหิน
   - 1.2 ขั้นตอนการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง
   - 1.3 ขี้เถ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหินลิกไนต์
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสีสำเร็จรูป
   - 2.1 ประวัติความเป็นมาของสีสำเร็จรูป
   - 2.2 ปฏิกิริยาของแสงและการเกิดสี
   - 2.3 ความหมายของสีสำเร็จรูป
   - 2.4 ประเภทของสีสำเร็จรูป
   - 2.5 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำสีสำเร็จรูป
   - 2.6 ออกไซด์ที่ให้สีในการทำสีสำเร็จรูป
   - 2.7 การคำนวณหาส่วนผสมของวัตถุดิบ
   - 2.8 กระบวนการผลิตสีสำเร็จรูป
   - 2.9 การนำสีสำเร็จรูปไปใช้
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เรื่องสีสำเร็จรูป

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถ่านหินลิกไนต์ จากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้อธิบายรายละเอียดของถ่านหินลิกไนต์ ไว้ดังนี้

ประเภทของถ่านหิน

ถ่านหินแบ่งออกเป็น 4 ประเภท มีเกณฑ์กำหนดประเภทตามคุณสมบัติ คือ ค่าความร้อน ความชื้น สารระเหยเร็ว และปริมาณคาร์บอน เรียงตามอายุและคุณภาพจากน้อยไปหามากได้ดังต่อไปนี้

1. ลิกไนต์ (Lignite)
2. ซับบิทูมินัส (Subbitumnous)
3. บิทูมินัส (Bituminous)
4. แอนทราไซด์ (Anthracite)

ถ่านลิกไนต์อยู่ในตระกูลถ่านหิน (Coal) ซึ่งเกิดจากซากพืชซากสิ่งมีชีวิตที่ถูกตะกอนดินทรายทับถม เมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลกและความร้อนจากภายในโลก ทำให้ซากต่าง ๆ เหล่านี้แปรสภาพเป็นถ่านพีต (Peat) กาลเวลาผ่านไปหลายร้อยล้านปีถ่านพีตก็แปรสภาพเป็นถ่านหิน

สำหรับถ่านหินลิกไนต์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ที่พบจะเกิดในยุกเทอร์เชียรี (Tertiary Period) ซึ่งมีช่วงอายุระหว่าง 1.8 – 65 ล้านปีมาแล้ว จัดเป็นถ่านหินประเภทคุณภาพต่ำที่สุดในบรรดาถ่านหินด้วยกัน ถ่านหินมีทฤษฎีการกำเนิดตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

ลำดับแรก ถ่านหินจะเกิดบริเวณที่เป็นหนองบึง แอ่งน้ำ หรือที่ชื้นแฉะริมแม่น้ำ ริมทะเล มีระดับต่ำกว่าบริเวณรอบข้าง ซึ่งเกิดขึ้นโดยการยุบตัวลง หรือบริเวณรอบ ๆ ยกตัวสูงขึ้น เนื่องจากผิวโลกส่วนต่าง ๆ ปรับตัวเพื่อให้เข้าสู่ภาวะสมดุล

ลำดับสอง บริเวณนี้มีสภาพแวดล้อมที่อำนวยให้พืชเกิดขึ้นและอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น มีวงจรชีวิตหลายครั้ง มีทั้งเกิดขึ้นล้มตายลง เกิดขึ้นอีกแล้วตายติดต่อกันหรือเป็นช่วง ๆ ซากต่าง ๆ จะสะสมทับถมกันเป็นจำนวนมาก

ลำดับสาม ต่อมาบริเวณนี้มีการผุพังเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของผิวโลกทำให้มีตะกอนดินมาทับถมซากพืชและซากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะแห้งแล้ง น้ำท่วม การผุพังทำลาย การเคลื่อนไหวของผิวโลก การแตกแยกของแผ่นดิน ฯลฯ ทำให้ซากต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ได้รับแรงกดดันและได้รับความร้อนจากภายในโลก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ในบริเวณดังกล่าว ซากเหล่านี้จึงแปรสภาพไปเป็นถ่านพีต (Peat)

ลำดับสี่ อิทธิพลจากทั้งแรงกดดันและความร้อนภายในโลกเป็นเวลานานทำให้ถ่านพีตถูกอัดตัวกลายเป็นถ่านหิน ซึ่งมีคุณลักษณะแตกต่างกันในแต่ละแห่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของพืชพันธุ์ไม้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อไม้ รวมทั้งการทับถมในระยะแรกเริ่มไปจนถึงการแปรเปลี่ยนจากอิทธิพลในอดีต จนกระทั่งมาเป็นเนื้อถ่านหินในระยะต่อมา

ลำดับห้า ต่อมาเปลือกดิน-หินมาทับถมคลุมชั้นถ่านหินเอาไว้จนอยู่ในสภาพปัจจุบัน ส่วนชั้นถ่านหินที่ปรากฏให้เห็นบริเวณใกล้ผิวดินนั้น เนื่องจากการกัดกร่อนตามธรรมชาติในภายหลัง

กระบวนการทั้งหมดดังกล่าว หากเกิดขึ้นหลายครั้งจะทำให้มีถ่านหินหลายชั้นในบริเวณเดียวกัน

ถ่านหินลิกไนต์มีสีดำหรือน้ำตาล อาจจะยังคงมีลักษณะของเนื้อไม้ให้เห็นบ้าง มีความชื้นสูง มีสารคาร์บอนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เปราะแตกร่วนได้ง่าย และลุกไหม้จะมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากกำมะถันและสารระเหยที่อยู่ในเนื้อถ่าน

สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของถ่านหินลิกไนต์นั้น จะแตกต่างกันตามแหล่งต่าง ๆ แม้กระทั่งในแหล่งเดียวกันก็มีส่วนประกอบไม่เท่ากัน

ถ่านหินลิกไนต์ที่ขุดได้จากเหมืองแม่เมาะ มีส่วนผสมของกำมะถัน, เถ้าถ่าน และความชื้นค่อนข้างสูง มีอายุระหว่าง 2.5 – 3.5 ล้านปี

ในปีงบประมาณ 2541เหมืองแม่เมาะเปิดหน้าดินรวม 88 ล้านบลูกบาศก์เมตร ผลิตถ่านหินได้จำนวนที่จัดส่งให้โรงไฟฟ้าแม่เมาะ 13 หน่วย ที่กำลังผลิต 2,625,000 กิโลวัตต์ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ร้อยละ 18 ของการผลิตและซื้อทั้งหมด

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ถ่านหินแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามคุณสมบัติ คือ ค่าความร้อน, ความชื้น, สารระเหยเร็วและปริมาณคาร์บอน เรียงตามอายุและคุณภาพจากน้อยไปหามากต่อไปนี้ 1) ลิกไนต์ (Lignite), 2) ซับบิทูมินัส (Subbitumnous), 3) บิทูมินัส (Bituminous), 4) แอนทราไซด์ (Anthracite) และในการวิจัยครั้งนี้ใช้ขี้เถ้าถ่านหินลิกไนต์ จากถ่านหินในอันดับแรก คือ ถ่านหินลิกไนต์ ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

ขั้นตอนการใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง

ถ่านหินลิกไนต์ที่ขุดจากเหมืองแม่เมาะถูกส่งเข้ามาบดในเครื่องย่อยถ่านชุดแรกและผ่านออกมาในขนาดไม่โตกว่า 30 ลบ.ซม. จากนั้นจะใช้สายพานลำเลียงมากองไว้ยังลานกองย่อยถ่านจากลานกองย่อยจะถูกส่งขึ้นมายังโรงย่อยถ่าน โดยมีระบบแม่เหล็กไฟฟ้าและระบบตรวจสอบโลหะเพื่อแยกโลหะที่ไม่พึงประสงค์ออกก่อนที่จะผ่านไปยังเครื่องย่อยถ่านชุดที่สองซึ่งจะย่อยถ่าน

ให้มีขนาดไม่โตกว่า 3 ลบ.ซม. และส่งเก็บไว้ที่ยุ้งถ่าน (Coal Bunker) ในตัวโรงไฟฟ้าเพื่อเตรียมใช้งานต่อไป

ถ่านหินลิกไนต์จะติดไฟค่อนข้างยาก ในช่วงแรกของการจุดเผาจึงต้องใช้ Light Oil จุดก่อน โดยใช้หัวฉีดน้ำมันฉีด Light Oil ให้กระจายเป็นฝอยเข้าไปในตัวเตาใช้ระบบจุดระเบิดโดยการ spark ของไฟฟ้าแรงสูง ทำให้ Light Oil ลุกไหม้ภายในเตา เมื่อการเผาไหม้ Light Oil อยู่ในสภาวะคงที่ (stable) และอุณหภูมิภายในสูงพอ จึงเริ่มเผาถ่านหินลิกไนต์

ถ่านลิกไนต์จากยุ้งเก็บถ่านถูกป้อนเข้าโม่บด โดยเครื่องป้อนถ่าน (Coal Feeder) ซึ่งเป็นตัวควบคุมปริมาณถ่านที่จะเผา ในหม้อบดถ่านจะมีลมร้อนจากเครื่องอุ่นอากาศเป่าเข้าไปในโม่ ถ่านจะถูกบดโดยมีลมร้อนเป็นตัวกวนให้การบดมีประสิทธิภาพดีและไล่ความชื้นออกจากถ่าน

ถ่านที่บดแล้วจะมีขนาดประมาณ 75/1000 มม. และอุณหภูมิประมาณ 60° C ถูกลมร้อนพาขึ้นไปตามท่อส่งถ่านไปยังหัวฉีดถ่าน (Coal Burner) หัวฉีดถ่านจะทำหน้าที่ควบคุมให้ถ่านกระจายเข้าไปในเตาอย่างมีระเบียบ เมื่อผงถ่านปะทะกับ Light Oil ที่กำลังลุกไหม้และมีอุณหภูมิสูง ผงถ่านจะติดไฟและเกิดการเผาไหม้ขึ้น ในช่วงนี้จะหยุดใช้ Light Oil และใช้ถ่านเพียงอย่างเดียวได้

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องทำการย่อยถ่านให้มีขนาดไม่โตกว่า 30 ลบ.ซม. ช่วงแรกของการจุดเผาจะใช้ Light Oil จุดก่อน โดยใช้หัวฉีดน้ำมันฉีด Light Oil ให้กระจายเป็นฝอยเข้าไปในตัวเตาใช้ระบบจุดระเบิด โดยการ spark ของไฟฟ้าแรงสูงทำให้ Light Oil ลุกไหม้ภายในเตา จากนั้นหัวฉีดถ่านจะทำหน้าที่ควบคุมให้ถ่านกระจายเข้าไปในเตาเมื่อผงถ่านปะทะกับ Light Oil ที่กำลังลุกไหม้และมีอุณหภูมิสูง ผงถ่านจะติดไฟและเกิดการเผาไหม้ขึ้น ในช่วงนี้จะหยุดใช้ Light Oil และใช้ถ่านเพียงอย่างเดียว ในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ในขั้นตอนการเผาถ่านหินลิกไนต์ของโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

ขี้เถ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหินลิกไนต์

การเผาถ่านหินจะทำให้เกิดขี้เถ้า ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. ขี้เถ้าหนัก (wet Ash) จะตกลงสู่ก้นเตาและถูกลำเลียงออกจากเตาโดยระบบสายพานเหล็ก (scrapper Conveyor)

2. ขี้เถ้าเบา หรือขี้เถ้าลอย (Fly Ash or Dry Ash) จะปนไปกับก๊าซร้อนออกสู่ปล่องควัน ปริมาณขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีปริมาณร้อยละ 80-85 ของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงต้องมีการ

ติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนจะปล่อยก๊าซออกทางปล่องควัน

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ขี้เถ้าถ่านหินลิกไนต์แบ่งเป็น 2 ชนิดได้แก่ ขี้เถ้าหนัก และขี้เถ้าเบา หรือขี้เถ้าลอย ขี้เถ้าหนักจะจมสู่ก้นเตา ส่วนขี้เถ้าเบาจะลอยขึ้นสู่ปล่องควัน และจะถูกดักจับด้วยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต และในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ขี้เถ้าชนิดขี้เถ้าเบาหรือขี้เถ้าลอย

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสีสำเร็จรูป

ประวัติของสีสำเร็จรูป

ความเป็นมาจากอดีตถึงปัจจุบันของสีสำเร็จรูปสำหรับงานเครื่องปั้นดินเผานั้น ได้มีนักวิชาการหลายท่านกล่าวไว้ดังนี้

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า1) กล่าวว่า สีชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ตกแต่งเครื่องปั้นดินเผา โดยมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์ คือ ดินสี ได้แก่ ดินแดง ดินเหลือง และดินขาว เป็นต้น ซึ่งใช้มาตั้งแต่ 5,000 ปีก่อนประวัติศาสตร์ ต่อมาสมัยประวัติศาสตร์ อียิปต์ ซีเรีย เมโสโปเตเมีย รู้จักการนำแร่ทองแดง และแร่โคบอลต์ ผสมกับด่าง ทำเป็นเคลือบสีฟ้า และสีน้ำเงิน ที่รู้จักกันดี คือ ลูกปัดและเครื่องประดับของอียิปต์เมื่อประมาณ 1,500 ปีก่อนคริสต์ศักราช และในภูมิภาคแถบตะวันออกกลางในท้องถิ่นดังกล่าวข้างต้นยังมีการผลิตเคลือบ ซึ่งใช้ตะกั่วเป็นตัวหลอมละลายด้วย ในยุคประวัติศาสตร์แร่ธาตุต่าง ๆ ได้ถูกค้นพบมากขึ้น เช่น แร่เหล็ก แร่แมงกานีส แร่ไทเทเนียม แร่เซอร์โคเนียม แร่ทอง และแร่แพลทินัม เป็นต้น ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพิ่มมากขึ้น จนถึงยุคปัจจุบันความจริงแร่ธาตุที่ให้สีมีมากมายหลายชนิด แต่ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาเลือกใช้เฉพาะแร่ธาตุที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย แร่ธาตุบางชนิดให้สีสวยหลังการเผาแต่มีอยู่น้อยตามธรรมชาติจึงมีราคาแพง เช่น แร่ยูเรเนียม พราซิโอเดียม และทอเรียม ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นสารให้สีในอุตสาหกรรม ซึ่งจะต้องคำนึงถึงราคาต้นทุนและปริมาณการขาย แต่ปัจจุบันก็ได้มีการสังเคราะห์เอาแร่ธาตุกลุ่มนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า 3) กล่าวว่า จีนสามารถทำสีเขียนตกแต่งบนเคลือบได้ตั้งแต่สมัยราชวงศ์ซ้องใต้ แต่มีการผลิตขึ้นใช้ตกแต่งเขียนสีปอร์ซเลนกันมากในสมัยราชวงศ์หมิง รวมทั้งสีเงิน สีทอง ซึ่งได้ถูกนำไปเผยแพร่ไปยังญี่ปุ่นในปี ค.ศ. 1640 โดยช่างชาวญี่ปุ่นชื่อ นายซาไกดา กากิ - เอมมอง

ยุโรปสามารถทำสีเขียนบนเคลือบได้ ตั้งแต่มีการตั้งโรงงานผลิตปอร์ซเลนแห่งแรก คือ โรงงานไมเซน ปัจจุบันอยู่ที่เมืองเดรสเดน ทางตะวันออกของเยอรมนี ต่อมาได้เผยแพร่ไปยังฝรั่งเศสและยุโรปในเวลาใกล้เคียงกัน

พัฒนาการของการทำสีเพื่อใช้ในการตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผานั้น มาจากการที่มีการศึกษารายละเอียดของแร่ธาตุต่าง ๆ ทั้งสมบัติทางด้านเคมีและสมบัติทางแร่ มีเครื่องมือวิเคราะห์สีใหม่ ๆ เพื่อให้สีสมบัติทางกายภาพ คือมีสีสันและความทนไฟตามที่ต้องการนำมาใช้งานได้สะดวกมากขึ้นตามลำดับ

การทำผงสีครั้งแรก เนื่องจากความต้องการผลิตเคลือบสีเขียวโครม หรือเคลือบสีน้ำเงินของโคบอลต์ ที่สม่ำเสมอสำหรับผลิตภัณฑ์ จึงมีการคิดค้นวิธีการเติมซิลิกา และอะลูมินาออกไซด์ลงไปในออกไซด์เหล่านี้ เพื่อช่วยให้ผงสีสม่ำเสมอและคงที่มากขึ้น

ต่อมามีการผลิตผงสีในเชิงอุตสาหกรรมให้มีชนิดของสีหลากหลายมากขึ้น การผลิตใช้วิธีเติมตัวหลอมละลาย และตัวทำทึบชนิดต่าง ๆ ในออกไซด์หลายชนิด เช่น แอนติโมนี โครมมิก โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และนิกเกิล ซึ่งสีที่ผลิตได้นอกจากจะมีความสม่ำเสมอแล้วยังมีคุณภาพดีมากอีกด้วย จากจุดนี้เอง จึงมีการนำสารให้สีมาเผาสังเคราะห์ร่วมกับแร่อะลูมิโนซิลิเกต หรือตัวทำทึบอื่น ๆ ทำให้เข้าใจถึงวิธีการเผา ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สมบูรณ์ของผงสีที่สังเคราะห์ได้

จากประวัติของสีสำเร็จรูป พอสรุปได้ว่า การตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด้วยการเติมสี หรือเขียนสี มีมานานตั้งแต่สมัยประวัติศาสตร์ เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งปัจจุบันเป็นการผลิตสีในเชิงอุตสาหกรรม มีการผลิตสีหลากหลาย มีการเติมตัวหลอมละลายและตัวทำทึบชนิดต่าง ๆ ซึ่งสีที่ผลิตมีความสม่ำเสมอ และมีคุณภาพดี และในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงประวัติของการผลิตสีสำเร็จรูปเพื่อใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาเพื่อทำความเข้าใจและศึกษาถึงกระบวนการผลิตสีสำเร็จรูป

ปฏิกิริยาของแสงและการเกิดสี

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539 หน้า 275) กล่าวว่า แสงเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ารูปหนึ่ง ส่งผ่านโดยการสั่นสะเทือนในอากาศ สีของแสงที่มองเห็นมีความยาวคลื่นดังนี้

ตาราง 1 แสดงความยาวของคลื่นแสง

สี	ความยาวคลื่น (มิลลิไมครอน)
แดง	700 – 620
ส้ม	620 – 592
เหลือง	592 – 578
เขียว	578 – 500
น้ำเงิน	500 – 450
ม่วง	450 - 400

เมื่อแสงผ่านเข้าไปในวัตถุโปร่งแสง เช่น แก้ว แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนถูกทำให้กระจัดกระจายโดยการสะท้อนแสงที่ผิว และบางส่วนก็ผ่านทะลุไป กระจกแว่นตาแสงจะส่งผ่านเข้าไป 93% ถูกทำให้กระจัดกระจาย 7% และมีการดูดกลืนเล็กน้อย ถ้าเป็นแก้วสีนั้นจะมีสีซึ่งเป็นสีเกี่ยวกับแก้วสีนั้น เช่น แก้วสีแดงจะดูดกลืนสีน้ำเงินและสีเหลือง และจะปล่อยแสงสีแดงผ่านโดยแทบจะไม่มีการกีดขวาง แสงที่ถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน และการแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นไม่สามารถมองเห็น

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547 หน้า 369-372) กล่าวว่า โครงสร้างของแก้วซิลิเกตต่าง ๆ เกิดขึ้นโดยการจับกันอย่างอิสระของออกซิเจนอะตอมของ SiO_4 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นเตตราฮีดราได้เป็นโครงสร้างร่างแหคล้ายคลึงกับโครงสร้างในผลึกของซิลิเกต เช่น ควอตซ์ เนื่องจากแก้วซิลิเกตมีความหนืดมากขณะหลอมตัว การเชื่อมโยงโมเลกุลเข้าด้วยกันระหว่างปล่อยให้เย็นตัวลงยังคงรักษาสภาพเหมือนของเหลวมากกว่าสภาพของผลึก และโครงสร้างนี้ทำหน้าที่เป็นตัวทำลายพื้นฐาน อนุมูล Na^+ และ Ca^{2+} จะเข้าไปอยู่ในช่องว่างของโครงสร้าง ดังนั้นดูเหมือนกับว่าอนุมูลบวกมีร่างแหของ Sio_4 ล้อมโดยรอบ ธาตุที่เป็นกลาง เช่น B, Al และ P ถ้ามีไม่มากเกินไปจะสามารถแทนที่ Si ในโครงสร้างได้บางส่วน อนุมูลบวกทุกตัวจะละลายอยู่ในโครงสร้างนี้

อนุมูลบวกบางตัวทำให้เกิดสีละลายในเนื้อแก้วอนุมูลกลุ่มนี้ได้แก่อนุมูลของพวกธาตุแทรนซิชัน อนุมูลกลุ่มนี้จำนวนหนึ่งสามารถปรับปรุงจำนวนอะตอมที่สามารถอยู่รอบ ๆ ตัวได้ขึ้นอยู่กับขนาดและศักยะของธาตุเหล่านั้นด้วย ในสภาวะที่เป็นของเหลว จำนวนอะตอมของออกซิเจนที่จะรวมกับอนุมูลสีที่ละลายจะอยู่ในสภาวะสมดุลขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแก้ว ความดันของออกซิเจนรอบ ๆ อุณหภูมิ และอัตราการเย็นตัว องค์ประกอบเหล่านี้บางตัวหรืออาจทั้งหมดมีผลต่อสีที่เกิดจากอนุมูลที่ทำให้เกิดสี

แก้วสีต่าง ๆ ที่เกิดจากโคบอลต์

แก้วสีต่าง ๆ ที่เกิดจากโคบอลต์ โคบอลต์จะทำให้แก้วชนิดต่าง ๆ มีสีน้ำเงิน อนุมูล Co^{2+} ซึ่งอยู่ในสภาวะแวดล้อมพิเศษ สามารถทำให้แก้วมีสีในช่วงชมพูถึงน้ำเงิน หรือแม้แต่แก้วสีเขียวก็สามารถผลิตได้โดยใช้ Co

แก้วสีน้ำเงิน จะเกิดขึ้นเมื่อ Co^{2+} ถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม และถ้า Co^{2+} ถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน 6 อะตอม หรือมากกว่าจะได้แก้วสีชมพู แต่ถ้าออกซิเจนอะตอนอยู่ไกลออกไปกว่าระยะที่ควรจะเป็น จะทำให้แก้วมีสีน้ำเงิน พฤติกรรมนี้เกิดในแก้วที่มีปริมาณอัลคะไลสูง และโดยเฉพาะโซเดียมจะเป็นตัวรีดิวซ์สีให้เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีฟ้า

แก้วสีเขียว มีลักษณะแปลกออกไปอาจผลิตได้โดยผสมเกลือไอโอไดด์ (I^-) พฤติกรรมเช่นนี้เกิดเนื่องจาก I^- เข้าไปแทนที่ O^{2-} ในโครงสร้างของแก้ว ไอโอดีนเป็นสารที่แปรรูปได้ง่าย และมีแนวโน้มที่เกิดพันธะโคเวเลนต์มากกว่าเกิดพันธะไอออนิกกับ Co^{2-}

สีของแก้วที่เกิดขึ้นจากนิกเกิล

ในช่วงอุณหภูมิซึ่งเป็นจุดสุกตัวของเคลือบ Ni มีเวเลนซีเพียงอย่างเดียว คือ Ni^{2+} สีที่เกิดขึ้นเนื่องจากอนุมูลของ Ni^{2+} ละลายในแก้วขึ้นกับสมบัติการโพลาไรซ์ ซึ่งก็คือจำนวนอะตอมของออกซิเจนที่ล้อมรอบตัว Ni^{2+} นั่นเอง ระยะระหว่างอะตอมและอิทธิพลของอนุมูลบวกอื่น ๆ อิทธิพลของส่วนผสมของแก้วมีต่อสีของแก้วที่มีนิกเกิลก็คือ การแก่งแย่งกันกับอนุมูลบวกอื่น ๆ ในการดึงเอาออกซิเจนอะตอมในโครงสร้างมาล้อมรอบตัว การศึกษาสีของแก้วระบบ R_2O - SiO_2 ซึ่งมี Ni^{2+} ปรากฏว่าถ้า R คือ Li, Na, K หรือ Rb จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีแก้วอย่างมีระบบ ในแก้ว Rb_2O Ni^{2+} จะมีออกซิเจนในโครงสร้างของแก้วล้อมรอบตัว 4 อะตอม ซึ่งเป็นผลทำให้แก้วมีสีม่วง ส่วนในแก้ว จะอยู่ในโครงสร้างของแก้วตรงตำแหน่งเป็นตัวปรับปรุงแก้ว ไม่สามารถดึงออกซิเจนในโครงสร้างแก้วเข้ามาล้อมรอบตัวได้สมบูรณ์ แก้วที่ได้จะมีสีเหลือง เนื้อแก้วขุด ซึ่งเกิดจาก Rb ถึง Li มีการเปลี่ยนแปลงของสีของแก้วอย่างต่อเนื่องจากสีม่วงถึงสีเหลือง ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุมูลอัลคะไล

ถ้าเคลือบมี Zn^{2+} จะมีอิทธิพลต่อสีของแก้วซึ่งเกิดจาก Ni^{2+}, Zn^{2+} และ Ni^{2+} มีขนาดและ**ความแข็งแรงคล้ายกัน ซึ่งเป็นผลทำให้ความสามารถในการแบ่ง O^{2-} ได้ใกล้เคียงกัน**

สีของแก้วที่เกิดขึ้นเนื่องจากโครเมียม

เมื่อ Cr_2O_3 ละลายในแก้วจะทำให้แก้วมีสีเขียว Cr_2O_3 ละลายในเนื้อแก้วได้น้อย Cr^{3+} เป็นอะนุมูลที่ทำให้เกิดสีที่มีพลังสูง สีของแก้วที่เกิดจากอนุมูล Cr ขึ้นกับสมดุลของ Cr^{3+} กับ Cr^{6+} Cr^{3+} เป็นรูปที่พบกันมาก อนุมูลมีขนาดเล็กและแข็งแรง ปกติจะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของแก้ว

ตรงตำแหน่งที่เป็นตัวปรับปรุงแก้ว ซึ่งจะทำให้แก้วมีสีเขียวในเนื้อแก้วซึ่งมีปริมาณ Cr^{3+} ต่ำมาก ๆ และมีปริมาณ RO สูง Cr^{6+} จะมีปริมาณมากกว่า Cr^{3+} และจะมีผลทำให้แก้วมีสีเหลืองถึงส้ม ขึ้นกับธรรมชาติอนุมูลบวกอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย

สีของแก้วที่เกิดขึ้นจากแมงกานีส

อนุมูลแมงกานีสที่ละลายในเนื้อแก้วอาจเป็นได้ทั้ง Mn^{2+} หรือ Mn^{3+} สภาวะการออกซิไดซิงของระบบ จะเป็นตัวบอกค่าเวเลนซีของ Mn ที่มีมากกว่า Mn^{3+} ที่ละลายในแก้วจะทำให้แก้วมีสีม่วงเข้ม แต่สีขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของอนุมูลบวกที่เป็นองค์ประกอบในเคลือบ องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ร่วมกันระหว่าง Mn และ RO ตัวอื่น ๆ การแทนที่ชุดของอนุมูลอัลคะไลที่มีขนาดต่าง ๆ กันในเคลือบที่เป็นพื้น ผลที่เกิดขึ้นคือ ถ้าใช้อนุมูลบวกที่มีขนาดใหญ่กว่าเคลือบจะมีสีฟ้ามากขึ้น และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทำนองเดียวกันถ้าใช้อนุมูลบวกสองเข้าแทนที่แต่ผลที่เกิดขึ้นไม่ค่อยเด่นชัดนัก

Mn^{3+} ทำให้เคลือบมีสีน้ำตาลชีด Mn^{2+} จะเกิดขึ้นในเคลือบทุกชนิดที่เผาในบรรยากาศออกซิไดส์ แต่สีที่เกิดจาก Mn^{2+} มักจะชีดจางและถ้ามี Mn^{3+} เพียงเล็กน้อยก็จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี สีเคลือบที่เกิดจาก Mn นี้จะขึ้นอยู่กับสภาวะออกซิเดชันของ Mn มากกว่าชนิดของอนุมูลบวกที่เกี่ยวข้องสิ่งต่าง ๆ หรือวัสดุที่มีอิทธิพลต่อสมดุลระหว่าง Mn^{2+} และ Mn^{3+} จะมีผลต่อสีที่เกิดขึ้นอย่างลึกซึ้งเช่นกัน

สีของแก้วที่เกิดขึ้นเนื่องจากเหล็ก

อนุมูลของเหล็กอาจเป็น Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} แต่ปกติแล้วมักจะมีทั้ง 2 แบบ Fe^{2+} ทำให้แก้วเกิดสีน้ำเงินเข้ม แต่ Fe^{3+} ทำให้แก้วสีแดง Fe^{3+} ถ้าอยู่ในตำแหน่งเป็นโครงสร้างของแก้วจะมีออกซิเจนล้อมรอบ 4 อะตอม จะทำให้แก้วเกิดสีน้ำตาล และถ้า Fe^{3+} อยู่ในตำแหน่งตัวปรับปรุงเนื้อแก้วจะมีออกซิเจนล้อมรอบ 6 อะตอม แก้วจะมีสีชีดเหลืองอมชมพู

ปกติของซิลิเกตเหลวที่มีเหล็กปนอยู่เล็กน้อยจะมีสีเขียวอมฟ้า เป็นเพราะผลร่วมกันระหว่าง Fe^{2+} และ Fe^{3+} ผลของออกซิเดชันของเหล็กอยู่ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิ สภาวะสมดุลจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปทาง Fe^{2+} ในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 C° สีของแก้วยังเปลี่ยนไปตามส่วนประกอบของแก้ว แก้วที่มีเหล็กปริมาณเล็กน้อยสามารถมีเงาสีเปลี่ยนแปลงได้มากมาย จึงเป็นการยุ่งยากในการที่จะควบคุม จึงไม่นิยมใช้เหล็กเป็นตัวให้เกิดสี

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า 5) กล่าวว่า สี คือ คลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ารูปหนึ่ง ซึ่งสัมผัสได้ด้วยตา แสงสีขาวที่เราเห็นเกิดจากการรวมตัวของคลื่นสีอย่างต่อเนื่อง สีแต่ละสีมีความยาวของคลื่นแสงที่แตกต่างกัน สีที่ตามองเห็นเกิดจากการสะท้อนคลื่นแสง

หรือการดูดกลืนคลื่นแสงของวัตถุ ถ้าวัตถุปล่อยคลื่นแสงออกมายาว ตาก็จะเห็นเป็นสีแดง ถ้าคลื่นแสงสั้นก็จะเห็นเป็นสีม่วง นอกจากนี้ยังมีคลื่นแสงซึ่งอยู่ในระหว่างความยาวตามลำดับ จากคลื่นสีแดงสู่คลื่นแสงสั้น ได้แก่ สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีม่วง

ตาราง 2 แสดงความยาวคลื่นของสีที่ตาสามารถมองเห็น

ค่าความยาวคลื่นของสี (Wavelengths)	
ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)	สี
800 ขึ้นไป	อินฟาเรด Infrared
700 – 620	แดง Red
620 – 592	ส้ม Orange
592 – 578	เหลือง Yellow
578 – 500	เขียว Green
500 – 450	น้ำเงิน Blue
450 – 400	ม่วง Violet
ต่ำกว่า 380	อัลตราไวโอเลต Ultraviolet

แสงสีต่าง ๆ ที่คนมองเห็นได้จะต้องมีความยาวคลื่นอยู่ในระหว่าง 380 – 800 มิลลิไมครอน หรือนาโนเมตร ในขณะที่แสงอัลตราไวโอเลต มีคลื่นแสงต่ำ 13.6 – 380 มิลลิไมครอน และแสงอินฟราเรด มีคลื่นแสงสูงกว่า 800 มิลลิไมครอน เป็นคลื่นความร้อน จึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นอกจากนี้ยังมีคลื่นแสงอีกหลายชนิด ที่สายตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น รังสีแกมมา (Gamma – rays) รังสีเอกซ์ (X-rays) รังสีไมโครเวฟ (Microwaves) และคลื่นวิทยุ (Radio waves) เป็นต้น

ในเชิงฟิสิกส์หรือกายภาพ การที่ตาเราสามารถมองเห็นสีต่าง ๆ ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ พลังงานที่เป็นแหล่งเกิดของแสง ความสามารถในการดูดกลืนหรือการสะท้อนแสงของวัตถุและสายตาที่รับคลื่นแสงนั้นได้ **อย่างเช่น สีบางสีดูใกล้เคียงกันจากแสงไฟชนิดเดียวกัน แต่กลางวันแล้วเปลี่ยนเป็นใช้แสงไฟส่องแทน สีก็จะแตกต่างกัน ซึ่งแล้วแต่ว่าจะใช้แสงไฟชนิดใด เมื่อมองกับแสงสว่าง จากเวลากลางวันใกล้หน้าต่างจะเป็นสีชมพูอ่อน แต่เคลือบชนิดเดียวกันนี้ เมื่อเอาไฟเขียวแบบส่อง จะให้สีเขียวอ่อนสดใส ซึ่งไม่น่าเชื่อว่าจะเป็นไปได้**

ปัจจัยหรือสิ่งแวดล้อมมีผลต่อการรับรู้ค่าสีของดวงตา

1. แหล่งของแสง เช่น แสงอาทิตย์ แสงเทียน แสงนีออน ซึ่งมีความยาวคลื่นต่างกัน จะทำให้สีหรือวัตถุที่มีสีดูดกลืน และสะท้อนแสงเข้าตาแตกต่างกัน สีที่ตามองเห็นหรือรับรู้จึงต่างกัน

2. ประสิทธิภาพของสายตารวมถึงประสาทการรับรู้เรื่องสีในแต่ละคนมีความแตกต่างกัน

3. ขนาดหรือพื้นที่ของสีอาจทำให้ความรู้สึกของการมองเห็นต่างกัน โดยทั่วไปสีในพื้นที่ขนาดใหญ่ จะให้ความรู้สึกที่สว่างจ้ามากกว่าพื้นที่เล็ก ๆ

4. พื้นหลังหรือฉากหลังมีอิทธิพล ทำให้การมองเห็นสีมีความแตกต่างกัน

5. มุมมองและระยะใกล้ไกลแตกต่างกัน ทำให้สีที่สะท้อนเข้าตาแตกต่างกัน เป็นต้น

ความโปร่งแสงและทึบแสง (Transparency and Opacity)

ความโปร่งแสงและทึบแสงของเคลือบเกิดจากการที่เคลือบยอมให้แสงผ่านได้หรือไม่ เมื่อแสงส่องผ่านเคลือบใส แสงส่วนใหญ่ทะลุผ่านเคลือบไปได้ถึงเนื้อดินข้างใต้ สีที่ตาเห็นคือสีเนื้อดินที่อยู่ภายใต้เคลือบใส ดังนั้นถ้าใช้เคลือบใส แต่เนื้อดินเป็นสีน้ำตาลก็จะเห็นโดยรวมเป็นสีน้ำตาล แต่เคลือบใสชนิดเดิมถ้านำไปเคลือบบนเนื้อดินขาว ก็จะเห็นเป็นสีขาวตามเนื้อดินถ้าเป็นเคลือบใสที่มีสีด้วยก็จะเห็นชั้นของแก้วสี หรือเคลือบสีบดบังเนื้อดินข้างล่างได้ โดยเห็นส่วนรวมเป็นเคลือบสีเขียวหรือสีน้ำเงิน เป็นต้น สีดำคือสีที่ดูดแสงไว้ทั้งหมดโดยไม่สะท้อนแสงได้ไม่เท่ากัน

เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปในวัตถุโปร่งแสง เช่น แก้ว แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนสะท้อนกระจัดกระจาย โดยการสะท้อนแสงออกที่ผิว และบางส่วนก็ผ่านทะลุไปกระจกแว่นตา แสงจะผ่านทะลุไปได้ 93% กระจัดกระจายสะท้อนออกที่ผิว 7% และถูกดูดกลืนเล็กน้อย แต่ถ้าเป็นแก้วสีจะดูดกลืนสีอื่นเอาไว้ แล้วสะท้อนสีแท้ของแก้วออกไป เช่น แก้วสีแดงจะดูดกลืนสีน้ำเงินและสีเหลือง และจะปล่อยแต่แสงสีแดงออกไป แสงที่ถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นที่สายตาไม่สามารถมองเห็น

ในเคลือบทึบแสงมีวัตถุดิบที่ไม่ยอมให้แสงผ่านในเนื้อเคลือบ วัตถุดิบเหล่านี้ทำหน้าที่**สะท้อนแสงให้กระจัดกระจายออกไป ตาจึงมองทะลุเคลือบลงไปไม่ได้จะเห็นได้เพียงผิวของเคลือบเท่านั้น ซึ่งปิดบังเนื้อดินด้านล่างไว้ แต่เคลือบกึ่งทึบจะยอมให้แสงทะลุผ่านถึงเนื้อดินได้บางส่วน สีเคลือบจึงมีอิทธิพลจากสีของเนื้อดินที่เห็นด้วย**

ดังนั้นจากปฏิกิริยาของแสงและการเกิดสีพอสรุปได้ว่า การที่ตาเราสามารถมองเห็นสีต่าง ๆ ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ พลังงานที่เป็นแหล่งเกิดของแสง ความสามารถในการ

ดูดกลืนหรือการสะท้อนแสงของวัตถุและสายตาที่รับคลื่นแสงนั้นได้ ความโปร่งแสงและทึบแสงของเคลือบเกิดจากการที่เคลือบยอมให้แสงผ่านได้หรือไม่เมื่อแสงส่องผ่านเคลือบใส แสงส่วนใหญ่ทะลุผ่านเคลือบไปได้ถึงเนื้อดินข้างใต้ สีที่ตาเห็นคือ สีเนื้อดินที่อยู่ภายใต้เคลือบใส ดังนั้นถ้าใช้เคลือบใส แต่เนื้อดินเป็นสีน้ำตาลก็จะเห็นโดยรวมเป็นสีน้ำตาล แต่เคลือบใสชนิดเดิมถ้านำไปเคลือบบนเนื้อดินขาว ก็จะเห็นเป็นสีขาวตามเนื้อดินถ้าเป็นเคลือบใสที่มีสีด้วยก็จะเห็นชั้นของแก้วสีหรือเคลือบสีบดบังเนื้อดินข้างล่างได้ โดยเห็นส่วนรวมเป็นเคลือบสีเขียวหรือสีน้ำเงิน เป็นต้น สีดำคือสีที่ดูดแสงไว้ทั้งหมดโดยไม่สะท้อนแสงได้ไม่เท่ากัน และในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาของแสงและการเกิดสีเพื่อทำความเข้าใจและศึกษาถึงกระบวนการและปฏิกิริยาของแสงและการเกิดสี

ความหมายของสีสำเร็จรูป

สีสำเร็จรูป หรือที่รู้จักกันในชื่อ สี สำเร็จรูป (stain)นั้น เป็นสีที่ใช้สำหรับตกแต่ง หรือผสมในเคลือบ สำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ หรือแก้ว มีนักวิชาการได้ให้ความหมายไว้ ดังนี้

โกมล รักษ์วงศ์. (2531 หน้า 1) กล่าวว่า สีสำเร็จรูปที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาเป็นสีที่ทำมาจากวัตถุดิบอนินทรีย์สาร (Inorganic Matters) ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุมากมายหลายชนิดด้วยกัน แร่ธาตุเหล่านี้จะอยู่ในสภาพออกไซด์ของโลหะชนิดต่าง ๆ โดยให้โลหะออกไซด์ทำปฏิกิริยากับสาร Aluminate Silicate และ Borate ที่อุณหภูมิสูงจะได้สารประกอบที่มีสีต่าง ๆ

ทรงพันธ์ วรรณมาศ. (ม.ป.ป. หน้า 1) กล่าวว่า สีสำเร็จรูป คือ สีที่ยังไม่สมบูรณ์บนผิวหน้าผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ หรือสีสำเร็จรูปสีของโลหะประเภทอนินทรีย์สาร ซึ่งใช้ในการเตรียมสีใต้เคลือบ บนเคลือบ หรือ สีสำหรับเนื้อดินในงานเครื่องปั้นดินเผา ตลอดจนสีสำหรับเคลือบและสามารถ ใช้ในการตกแต่งผิวหน้าของเครื่องแก้ว

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539 หน้า 284) กล่าวว่า สีสำเร็จรูปเป็นสีที่เกิดในรูปผลึก ซึ่งมีธาตุทรานซิชันเป็นส่วนประกอบ ผงละเอียดของสีสำเร็จรูปใช้ทั้งในเคลือบและในเนื้อดินปั้น ถ้าใช้เป็นสีเขียนบนเคลือบจะผสมสี 60 ถึง 95 % ผสมกับสารที่ช่วยทำให้หลอมตัวเป็นแก้วที่อุณหภูมิต่ำฉาบอยู่บนเคลือบอีกทีหนึ่ง ถ้าใช้เป็นสีเขียนใต้เคลือบจะใช้สารที่ช่วยทำให้หลอมตัวเป็นแก้วที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 5 %และดินขาว 5 % ถ้าใช้ใส่ในเคลือบและในเนื้อดินปั้นใช้ได้โดยตรง

ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา. (ม.ป.ป. หน้า 8) กล่าวว่า ผงสีสำเร็จรูปนั้นเป็นแร่สังเคราะห์ที่ถูกทำขึ้นมาจากวัตถุดิบจำพวกอนินทรีย์สาร และสามารถจำแนกผงสีเหล่านี้โดยพื้นฐานของโครงสร้างผลึก เป็น 2 ประเภท คือ

1. ผงสีที่เป็นสารประกอบ (Compound Stain)

สารบริสุทธิ์ที่ประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวเรียกว่า ธาตุ เช่น เหล็ก ออกซิเจน อะลูมิเนียม ไทเทเนียม สารบริสุทธิ์ที่มีองค์ประกอบมากกว่า 1 ธาตุ เรียกว่า สารประกอบ เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งประกอบด้วยธาตุ คอปเปอร์ และออกซิเจน

2. ผงสีที่เป็นสารละลายที่เป็นของแข็ง (Solid Solution Stain)

- สารละลายของแข็งแบบแทนที่ (substitution solid solution)
- สารละลายของแข็งแบบแทรก (interstitial solid solution)

โดยทั่วไปสารละลายของแข็งมักเกิดกับสารประกอบที่มีอัตราส่วนที่ไม่แน่นอน เช่น ทองเหลือง คือ สารละลายของแข็งที่เกิดจากอะตอมสังกะสี แทนที่อะตอมของทองแดง

จากความหมายของสีสำเร็จรูปข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า หมายถึง สีที่เตรียมขึ้นมาจากพวกอนินทรีย์สารเมื่อทำการเผาในอุณหภูมิที่เหมาะสมองค์ประกอบของสีที่เตรียมจะเปลี่ยนแปลงและคงสภาพ เกิดเป็นสีที่สามารถนำมาใช้กับเครื่องปั้นดินเผา หรือเครื่องแก้วได้ และในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงความหมายของสีสำเร็จรูป เพื่อทำความเข้าใจและศึกษาถึงที่มาของความหมายของสีสำเร็จรูป

ประเภทของสีสำเร็จรูป

ประเภทของสีสำเร็จรูปนั้นได้มีนักวิชาการได้ทำการแยกประเภทไว้ ดังนี้

โกมล รักษ์วงศ์. (2531 หน้า 4) กล่าวว่า สีสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับเครื่องปั้นดินเผามีหลายชนิดด้วยกัน ถ้าแบ่งตามประเภทการใช้งาน แบ่งออกได้ดังนี้

1. สีที่ใช้ตกแต่งใต้เคลือบ (Under glaze)
2. สีที่ใช้ตกแต่งบนเคลือบ (Overglaze or on glaze)
3. สีที่ใช้ผสมในเคลือบ (In glaze)

ทรงพันธ์ วรรณมาศ. (ม.ป.ป. หน้า 5) กล่าวว่า สีสำเร็จรูป สามารถแบ่งตามลักษณะส่วนประกอบได้ 4 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 คือ ยูวาโรไวต์ (Uvarovite) เป็นสีที่ประกอบด้วย

RO	3	โมล
R_2O_3	1	โมล
RO_2	3	โมล

ประเภทที่ 2 คือ เพอร์โวไซต์ (Pervoshite) เป็นสีที่ประกอบด้วย

RO 1 โมล

RO_2 1 โมล

ประเภทที่ 3 คือ สปีเน (Sphene) เป็นสีที่ประกอบด้วย

RO 3 โมล

RO_2 2 โมล

ประเภทที่ 4 คือ สปีแนล (SPinel) เป็นสีที่ประกอบด้วย

RO 1 โมล

R_2O_3 1 โมล

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546. หน้า 117) กล่าวว่า สามารถแบ่งประเภทผงสีสำเร็จรูปตามชนิดการใช้งาน ได้ 5 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 สีสำเร็จรูปที่ใช้กับเนื้อดิน (Body Stain)

ประเภทที่ 2 สีสำเร็จรูปที่ใช้กับเคลือบ (Glaze Stain)

ประเภทที่ 3 สีสำเร็จรูปที่ใช้ใต้เคลือบ (Underglaze Stain)

ประเภทที่ 4 สีสำเร็จรูปที่ใช้บนเคลือบ (Overglaze Stain)

ประเภทที่ 5 สีสำเร็จรูปที่ผสมในเคลือบ (Inglaze Stain)

ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา. (ม.ป.ป. หน้า 9) กล่าวว่า การจำแนกผงสีสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 4 ประเภท คือ

1 สีสำเร็จรูปที่ใช้กับเนื้อดิน (Body Stain)

2 สีสำเร็จรูปที่ใช้กับเคลือบ (Glaze Stain)

3 สีสำเร็จรูปที่ใช้ใต้เคลือบ (Underglaze Stain)

4. สีสำเร็จรูปที่ใช้บนเคลือบ (Overglaze Stain)

ซึ่งเมื่อผสมลงในเนื้อดิน เคลือบ สีใต้เคลือบ หรือสีบนเคลือบ หลังจากการเผาสีจะไม่ถูกทำลาย รักษาสีเดิมไว้ได้ แต่ทั้งนี้ขึ้นกับเงื่อนไขของอุณหภูมิ บรรยากาศที่ใช้เผาและพื้นฐานเคลือบที่ใช้กับสีเหล่านั้นอีกด้วย

หรือจำแนกชนิดต่าง ๆ ของผงสีสำเร็จรูปตามส่วนประกอบ ส่วนผสม และลักษณะทางแร่ ออกเป็นกลุ่ม ๆ คือ

ตาราง 3 แสงชนิดของผงสี

กลุ่มผงสี	ชนิดแร่
กลุ่มออกไซด์ Oxide	คอรันดัม (Corundum) รูไทล์ (Rutile) เซอร์โคเนีย (Zirconia)
กลุ่มสารประกอบ Complex Compound	สปีแนล (Spinel) ไพโรคลอร์ (Pyrochlore)
กลุ่มซิลิเกต Silicate	การ์เนต (Garnet) สฟีน (Sphene) เซอร์คอน (Zircon) ยูวาโรไวต์ (Uvarovite) โอลิวีน (Olivine)

จากการจำแนกชนิดของสีสำเร็จรูปข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า ถ้าแบ่งตามประเภทการใช้งาน สามารถ แบ่งออกได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. สีที่ใช้ตกแต่งใต้เคลือบ (Under glaze)
2. สีที่ใช้ตกแต่งบนเคลือบ (Overglaze or on glaze)
3. สีที่ใช้ผสมในเคลือบ (In glaze)
4. สีที่ใช้ผสมในเนื้อดิน (In body)

ถ้าแบ่งตาม ลักษณะส่วนประกอบได้ 4 ประเภท คือ

1. ยูวาโรไวต์ (Uvarovite)
2. เพอร์โวไซต์ (Pervoshite)
3. สปีเน (Sphene)
4. สปีแนล (SPinel)

และในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงประเภทของสีสำเร็จรูปเพื่อใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผา เพื่อทำความเข้าใจและศึกษาถึงประเภทของสีสำเร็จรูปที่ใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผา

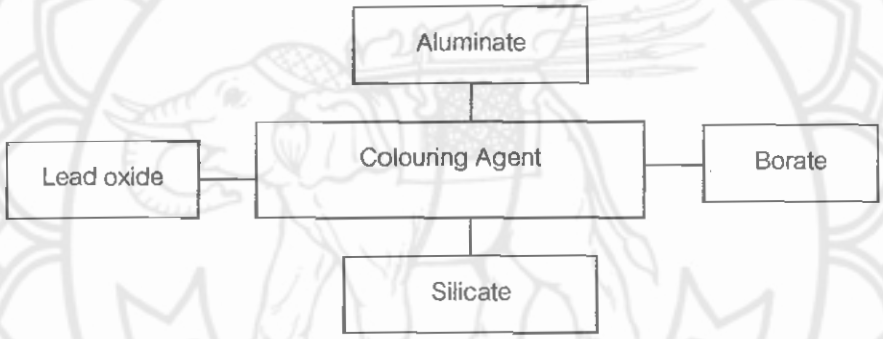
TP
923
น184ก
2548
504016
19 S.A. 2549
สำนักหอสมุด

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำสีสำเร็จรูป

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำสีถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตสีสำเร็จรูป สีที่ได้จะมีคุณภาพดีหรือไม่ดีต้องขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ด้วยประการหนึ่ง ดังนั้นการจะทำการผลิตสีสำเร็จรูปนั้นจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุดิบตามที่นักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึง ดังนี้

โกมล รักษ์วงศ์. (2531 หน้า 10) กล่าวว่า การทำสีสำเร็จรูปจะทำได้จากการใช้ออกไซด์ของโลหะที่เป็นตัวทำให้เกิดสี (colouring agent) ไปทำปฏิกิริยากับสารพวก Silicate, Aluminate, Borate และ Lead Oxide

สารพวก colouring agent ได้แก่ Cobolt oxide, Chrome oxide, Ferric oxide, Copper oxide เป็นต้น



ภาพ 1 แสดงการทำสีสำเร็จรูปจากการใช้ออกไซด์ของโลหะเป็นตัวทำให้เกิดสี (colouring agent)

1. สารประกอบของ Alumina จะเป็นสารที่ทนความร้อนสูง ใช้เป็นส่วนผสมของสีสำเร็จรูปจะทำให้สีทนความร้อนสูงและคงสภาพได้ดี สารประกอบของ Alumina ได้แก่ Alumina (Al_2O_3), Pyrophylite ($Al_2O_3\,4SiO_2H_2O$), Alumina hydroxide ($6Al(OH)_3$), Diaspore ($Al_2O_3\,H_2O$), Gibbsite (Al_2O_3)

วัตถุประสงค์ที่ใช้สารประกอบของ Alumina ผสมเข้าไปในเนื้อสี มีดังนี้

1.1 ต้องการให้สีทนความร้อนสูง เนื่องจากอะลูมิน่าเป็นสารทนความร้อน

1.2 ต้องการให้สีมีความคงทนไม่จางหายเมื่อเอาไปใช้งาน

1.3 เพื่อไม่ให้สีมีความไหลตัว เพราะอะลูมิน่าเป็นสารที่เพิ่มความหนืด

2. ดิน (Clay) ดินเป็นสารประกอบของอ Alumina Silica และน้ำ ซึ่งมีสูตรทางเคมีว่า "$Al_2O_3 . 2SiO_2 . 2 H_2O$" ดินเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายราคาถูก ดินที่ใช้ผสมในสีสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะใช้ดิน Kaolin หรือ China Clay ซึ่งเป็นดินที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีสีขาวสามารถทนความร้อนได้สูง

วัตถุประสงค์ที่ใช้ดินในเนื้อสีสำเร็จรูป มีดังนี้

2.1 เพื่อให้สีทนความร้อน

2.2 เมื่อใช้ดินผสมในเนื้อสี จะได้สารประกอบของ Alumina และ Silica ทำให้มีสีที่มีคุณภาพดีขึ้น สามารถคงสภาพได้ดีเมื่อนำไปใช้งาน

2.3 เพื่อทำให้เกิดความหนืด ไม่ทำให้ไหลตัวได้ง่าย เมื่อนำไปใช้งาน

2.4 เป็นวัสดุที่ราคาถูกและหาได้ง่าย

3. ซิลิกา (SiO_2) เป็นสารประกอบที่ได้จากทราย หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) หินเขี้ยวหนุมานเป็นวัตถุดิบที่อยู่ในรูปผลึกของซิลิกา เมื่อนำไปใช้งานจะให้ Silica สูงและมีความบริสุทธิ์มาก มีความแข็งถึง 7 สามารถทนความร้อนได้ถึงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส

วัตถุประสงค์ที่ใช้ Quartz ผสมในสีสำเร็จรูป มีดังนี้

3.1 เพื่อให้เนื้อสีมีความแข็ง

3.2 เพื่อเพิ่มความมันของเนื้อสี

3.3 เพื่อให้สีทนความร้อนได้สูง และคงสภาพได้ดี

3.4 เพื่อเพิ่มความสดใสของสี

4. สารประกอบของ Borate เป็นสารที่ละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นด่าง เมื่อนำมาใช้ในงานในเครื่องปั้นดินเผา เช่น ทำเคลือบ, ทำสีสำเร็จรูป จะเป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ

วัตถุประสงค์ที่ใช้ Borat ผสมในสีสำเร็จรูป มีดังนี้

4.1 คุณสมบัติเป็นด่าง ละลายน้ำได้ดี

4.2 เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ และเป็นตัวช่วยหลอมละลาย

4.3 เป็นตัวช่วยทำให้ Oxide บางชนิดเกิดขึ้นได้

สารประกอบของตะกั่ว ที่นำมาใช้ทำสีสำเร็จรูป มีดังนี้

Litharge (PbO)

Red Lead (Pb_3O_4)

Lead Carbonate $2PbCO_3 Pb(OH_2)$

คุณสมบัติของสารประกอบของตะกั่ว มีดังนี้

1. **เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ**
2. **เป็นตัวช่วยให้สีสดใสเมื่อใช้ผสมทำสีสำเร็จรูป**
3. **เป็นสารที่มีพิษต่อร่างกาย**

5. วัตถุดิบที่ทำให้เกิดสี (Colouring agent) ที่ใช้ทำสีสำเร็จรูป วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสีส่วนใหญ่ใช้สารประกอบออกไซด์ของโลหะ (Mettallic oxide) ที่ใช้สีผสมกันหรืออาจจะมีส่วนผสมของดินขาว, อะลูมิน่า, ซิลิกา, บอแรกซ์ เป็นต้น ความจริงจะใช้เคมีภัณฑ์ที่ให้สีนั้นทำเป็นสีผสมในเคลือบบางครั้งจะไม่ถาวร จึงจำเป็นที่ต้องใช้ออกไซด์หลาย ๆ ชนิดทำปฏิกิริยากันณ อุณหภูมิหนึ่งตามกรรมวิธีการทำสีสำเร็จรูป

ทรงพันธ์ วรรณมาศ. (ม.ป.ป. หน้า 22) กล่าวว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการทำสีสำเร็จรูปแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มด่าง (RO, R_2O), กลุ่มกลาง (R_2O_3) และกลุ่มกรด (RO_2)

กลุ่มด่าง หมายถึง ออกไซด์ที่มี วาเลนซี 1 และ 2 ตามลำดับ ได้แก่ กลุ่ม IA และ IIA ตามลักษณะการจัดเรียงกแถวในแนวนอนของตารางธาตุ VB ซึ่งมีดังต่อไปนี้

BeO Beryllia oxide
MgO Magnesium oxide
CaO Calcium oxide
SrO Strontium oxide
BaO Barium oxide

ส่วนออกไซด์ที่เป็นสีของทรานซิชัน (transition) และอยู่ในบริเวณการจัดเรียงแถวในแนวนอนของตารางธาตุ III A และเป็นฟลักซ์โดยตรงพร้อมทั้งเป็นด่างด้วยมีดังนี้

MnO Manganese oxide
FeO Iron oxide, ferrous
CoO Cobalt oxide
NiO Nickel oxide
CuO Copper oxide
Cu_2O Cuprous oxide

ออกไซด์ที่เป็นด่างและให้สีตามธรรมดาโดยทั่วไปสีออกไซด์จะมีสีในตัวของมันเอง และเมื่อละลายปนอยู่ในเคลือบจะให้สีในเคลือบ การละลายของสีดังกล่าวจะเป็นสีของออกไซด์ / ซิลิกาผสมกันทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับเงื่อนไข เช่น โคบอลต์ออกไซด์ ให้สีฟ้า และคอพเพอร์ออกไซด์ให้สีเขียว

แต่ในบางครั้งอาจจะเกิดเป็นสีกลางขึ้นได้ทั้งนี้เนื่องจากพลังของด่างและแอมโฟเทริกออกไซด์ (amphoteric oxide) ออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นได้ทั้งกรดและด่าง มักจะหมายถึงออกไซด์และไฮดรอกไซด์ ของโลหะที่ทำปฏิกิริยาได้ทั้งกรดและด่าง และเกิดแคตไอออน หรือแอนไอออน เช่น ซิงค์ออกไซด์ละลายได้ในกรดจะได้ Zn^{2+} แต่ถ้าละลายในด่างจะได้ซิงค์แคตไอออน $\{Zn(OH)_4\}^{2-}$ (เป็นทั้งกรดและด่าง) ซึ่งในตัวของออกไซด์เองจะไม่มีพลังของสี เช่น ซิงค์ออกไซด์ ถ้าใช้ในจำนวนน้อยจะช่วยให้สีสดใสขึ้น แต่ถ้าใช้ในจำนวนมากจะทำให้สีเกิดมลทิน หากใช้บอริกแอซิดจะช่วยให้เกิดสีที่ชัดเจนขึ้น

อนึ่งช่วงของการเกิดสีทางกายภาพที่เป็นไปได้คือการรวมตัวของออกไซด์ของสี และออกไซด์อื่น ๆ จะมีมากกว่าการรวมตัวของออกไซด์กับซิลิกา การรวมตัวดังกล่าวจะเป็นไปได้ซึ่งไม่ใช่สีเซียนเซรามิกส์ แต่ถ้าสีเซียนทางเซรามิกส์แล้วต้องเป็นสีที่คงที่ต่อการหลอมละลายในเซรามิกส์ในบางครั้งสีดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการทำสีสำเร็จรูปในงานเซรามิกส์ แต่เกิดการเสียหายขึ้นทั้งนี้เนื่องจากสีของออกไซด์เลื่อนไปผสมรวมตัวกับซิลิกา

ส่วนกลุ่มสีออกไซด์ซึ่งอยู่ในส่วนที่ยื่นออกมาจากตารางในแนวของ III A จะมีชื่อเรียกว่า "ทรานซิชัน เมทอลออกไซด์แฟมมิลี" (transition metal oxide family) หรือ "เมทอล ออกไซด์ คอเลอร์ลิง แฟมมิลี" (metaloxide colouring family) ออกไซด์ทั้งหมด คือ

MnO	Manganous oxide
FeO	Ferrous oxide
CoO	Cobalt oxide
NiO	Nickel oxide
CuO	Cupric oxide
Cu_2O	Cuprous oxide

แต่มีข้อสังเกตว่าสีของออกไซด์ส่วนมากมักมีเงื่อนไขตามความต้องการโดยเฉพาะเป็นพิเศษ เช่น โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) เป็นออกไซด์ที่แรงตัวหนึ่ง ซึ่งโครเมียมออกไซด์ นี้จะเป็นได้ทั้ง R_2Oหรือ RO_2 ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่เงื่อนไข

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า 9) ได้แบ่งวัตถุดิบที่ให้สีในงานเซรามิกส์ ไว้ ดังนี้ คือ

1. วัตถุดิบประเภทดิน ได้แก่ แหล่งดินขาวบริสุทธิ์ และดินสีเหลือง สีแดง หรือสีน้ำตาล ที่มีอยู่ตามแหล่งธรรมชาติเกือบทั่วไปในทุกท้องถิ่น ในต่างประเทศพบดินที่มีแร่เหล็กอยู่สูง และออกสีเหลือง เรียกว่า สีโอ๊ก (Ochre หรือ Fench Ochre) ดินที่มีแร่เหล็กสูงแต่ออกสีน้ำตาลแดง เรียกว่า สีน้ำตาลเบิร์นเซียนา (Burnt siena) ส่วนดินที่มีแร่เหล็ก และแร่แมงกานีส

ปนกันให้สีน้ำตาลไหม้ เรียกว่า เบิร์นอัมเบอร์ (Burnt umber หรือ Raw umber) ดินสีต่าง ๆ เหล่านี้ให้แร่เหล็กและแมงกานีส สามารถนำมาผสมในน้ำเคลือบได้ นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านและหมึกพิมพ์อีกด้วย

2. วัตถุดิบให้สีประเภทแร่ธาตุ แร่ธาตุที่มีราคาถูกมีปริมาณมาก และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ได้แก่ แร่เหล็ก และแร่แมงกานีส แร่ธาตุที่พบได้ยากหรือมีปริมาณน้อยตามธรรมชาติย่อมมีราคาแพงกว่าแร่ธาตุที่พบได้ง่าย ในอุตสาหกรรมหลายประเภทมีความต้องการแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นทุกปีได้มีการคาดคะเนว่าแร่ธาตุบางชนิดจะเริ่มหายากขึ้นและถูกใช้หมดไปจากแหล่งต่าง ๆ บนผิวโลกในระยะเวลาอีกประมาณ 20 ปีข้างหน้า ดังนั้นราคาแร่ธาตุจะแพงขึ้นทุกปี อย่างไรก็ตามได้มีการสังเคราะห์แร่ธาตุบางชนิดมาทดแทนธาตุที่หมดไป

แร่ธาตุที่ให้สีส่วนใหญ่เป็นโลหะที่รวมตัวกับออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแร่ธาตุประเภทออกไซด์และคาร์บอเนต แต่ก็มีแร่ธาตุให้สีประเภทอื่น ๆ อีก เช่น คาร์ไบด์ (Carbide), คลอไรด์ (Chloride), ไนเตรด (Nitrate), ฟอสเฟต (Phosphates), ซิลิเกต (Silicate), ซัลไฟด์ (Sulfide), และซัลเฟต (Salfate) เป็นต้น แร่ธาตุที่ให้สีของเซรามิกส์จะต้องทนทานต่อความร้อน และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อหลอมตัวรวมกับวัตถุดิบอื่น ซึ่งแตกต่างจากสีธรรมดาโดยทั่วไปที่ไม่ทนทานต่อความร้อน

จากวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทำสีสำเร็จรูปข้างต้น พอจะสรุปได้ว่าวัตถุดิบที่นำมาผลิตสีสำเร็จรูป จะเป็นวัตถุดิบที่เป็นแร่ธาตุและออกไซด์ของโลหะเมื่อทำการเผาแคลไซด์ในอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วจะหลอมและเกิดการรวมตัวกันทำให้องค์ประกอบของวัตถุดิบนั้นคงที่ และในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงวัตถุดิบในการผลิตสีสำเร็จรูปเพื่อใช้ในงานเครื่องปั้นดินเผาเพื่อทำความเข้าใจและศึกษาถึงวัตถุดิบในการผลิตสีสำหรับเครื่องปั้นดินเผา

ออกไซด์ที่ให้สีในการทำสีสำเร็จรูป

ในการทำสีสำเร็จรูปนั้นต้องอาศัยออกไซด์ที่ให้สีเป็นส่วนผสม ซึ่งจะเลือกใช้ตามคุณสมบัติของออกไซด์นั้น ๆ ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้มุ่งศึกษาเฉพาะ โครมเมียมออกไซด์ โคบอลออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ ซึ่งคุณสมบัติของออกไซด์ให้สีเหล่านี้ได้มีนักวิชาการหลายท่าน ได้กล่าวไว้ดังนี้

โครมเมียมออกไซด์

โกมล รักษ์วงศ์. (2531 หน้า 14-27) กล่าวว่า โครเมียมออกไซด์ ใช้ทำสีสำเร็จรูปได้ดีทั้งสีในเคลือบ สีบนเคลือบ และสีใต้เคลือบ การใช้โครมออกไซด์ทำสีสำเร็จรูปสามารถให้สีหลายสีขึ้นอยู่กับการใช้วัตถุดิบอื่น ๆ ผสมเข้าไป เช่น สีเขียว สีน้ำตาล สีดำ เป็นต้น

โดยปกติทั่ว ๆ ไปแล้ว โครมออกไซด์จะเป็นสารที่ให้สีเขียว สามารถให้สีเขียวที่สวยงาม ถ้าเผาในบรรยากาศรีดักชัน ในอุณหภูมิ 1,200 - 1,300 องศาเซลเซียส

สารประกอบ โครมออกไซด์ ที่นิยมใช้ทำสีสำเร็จรูป มีดังนี้

- Chromium Oxide
- Potassium dichromate
- Potassium dichromate

สีเขียว เตรียมได้จากการนำเอาโครมออกไซด์ไปเผาแคลไซน์ โดยไม่ผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ ในอุณหภูมิการเผา 1,230 – 1,300 องศาเซลเซียส สามารถให้สีเขียวที่ดีซึ่งนำไปใช้ผสมในเคลือบไฟสูงได้ดี

สีน้ำเงิน – เขียว (Bluis green) ใช้โครมออกไซด์ผสมกับโคบอลต์ออกไซด์ และอะลูมินาไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปเผา แคลไซน์ ในอุณหภูมิ cone 7 ถึง cone 14 โดยใช้อัตราส่วน ดังนี้

Chrome oxide	17 – 18 %
Cobalt oxide	20 – 30 %
Alumina hydroxide	55 – 60 %

สีเขียว New sevres Green ใช้โครมออกไซด์ผสมกับโคบอลต์ออกไซด์ และอะลูมินาไฮดรอกไซด์ เผาแคลไซน์ที่ cone 7 ถึง cone 14 โดยใช้อัตราส่วน ดังนี้

Chrome oxide	25.50 %
Cobalt oxide	35.50 %
Alumina hydroxide	39.00 %

สีเขียว Strong light Green เตรียมได้จากใช้โครมออกไซด์ผสมกับซิลิกา นำไปเผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ cone 7 ถึง cone 14 โดยใช้อัตราส่วน ดังนี้

Chrome oxide	30 %
Flint	70 %

สีเขียว Victoria Green เตรียมได้จากการใช้อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังต่อไปนี้
(Calcine Cone 7 – Cone 10 เหมาะสำหรับทำสีในเคลือบได้ดี)

Fluorspar	12 %
Potassium dichromate	36 %
Calium choride	12 %

Flint	20 %
Whting	20 %

สีเขียว Chrome Green **ใช้โครมออกไซด์เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ** Biscuit Firing (800 – 900 **องศาเซลเซียส) ใช้ได้ผลเฉพาะทำสีในเคลือบและสีบนเคลือบ เหมาะกับผลิตภัณฑ์** Earthen ware **มีอัตราส่วนผสมดังต่อไปนี้**

Chrome oxide	25 – 30 %
Feldspar	15 – 20 %
Flint	50 – 60 %

สีเขียว Bright Green ใช้เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส เหมาะกับเครื่องปั้นดินเผา Earthen ware และ Soft Porcelains ใช้อัตราส่วนผสมวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	21 %
Cobalt oxide	4 %
Feldspar	15 %
Flint	60 %

สีเขียว Blue Green ใช้เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ใช้ผสมสีในเคลือบมีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	15 %
Cobalt oxide	10 %
Potash Feldspar	15 %
Flint	60 %

สีเขียว Yellow Green ใช้เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ใช้ทำสีในเคลือบเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ Earthen ware มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Borax	40 %
Chrome oxide	12 %
Nigel oxide	6 %
Flint	42 %

สีเขียว Victoria Green **ที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่เผาในอุณหภูมิ** Cone 6 – Cone 7 **ใช้ทำสีในเคลือบ สีบนเคลือบ และสีใต้เคลือบ การทำสีเขียว** Victoria Green **หลังจาก**

เผาแคลไซน์ และบดให้ละเอียดแล้วจะต้องล้างด้วยกรดเกลือ จึงจะได้ผลดีต้องใช้กับน้ำเคลือบที่มีส่วนผสมของอะลูมินาออกไซด์สูงจึงจะได้ ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้

$K_2Cr_2O_7$	38 %
Whiting	20 %
Fluorspar	22 %
Flint	20 %

สีน้ำตาลที่ทำจากโครมออกไซด์ จะใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	15 %
China stone	10 %
Boric acide	10 %
Ferric oxide	20 %
Zinc oxide	31 %
Mn_2O_3	11 %

สีน้ำตาล Greenish Brown เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ 1,000 – 1,200 องศาเซลเซียส ใช้ทำสีในเคลือบซึ่งจะสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เผาเคลือบในอุณหภูมิ 1,050 – 1,200 องศาเซลเซียส มีส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	45.40 %
Zinc oxide	18.20 %
China stone	36.40 %

สีน้ำตาล Light Brown เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ 1,000 – 1,200 องศาเซลเซียส ถ้าหากใช้ผสมทำสีในเคลือบสามารถทนความร้อนได้ถึงอุณภูมิ Cone 7 มีส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	33.40 %
Zinc oxide	40.00 %
China clay	26.60 %

สีน้ำตาล Chinese Brown เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 เหมาะสำหรับทำสีในเคลือบ สีใต้เคลือบ และสีบนเคลือบ มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	14.20 %
Zinc oxide	73.00 %
Boric acide	12.80 %

สีน้ำตาล Bright Brown ใช้เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ Cone 7 เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่เผาเคลือบ Cone 6 – 8 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	14.20 %
Ferric oxide	22.70 %
China stone	63.30 %

สีน้ำตาลเข้ม Dark Brown ใช้เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 ใช้ทำสีในเคลือบ บนเคลือบ และใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ stone ware และ porcelains มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	48.9 - 50 %
Mn_3O_3	50 - 50 %

สีน้ำตาล เผาแคลไซน์ในอุอุณหภูมิ Cone 7 – 10 ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เคลือบไฟสูง มีอัตราส่วนผสมดังนี้

Chrome oxide	3 – 4 ส่วน
Ferric oxide	6 – 7 ส่วน

สีเทาดำ เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 – 10 ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่เคลือบไฟสูง มีอัตราส่วนผสมดังนี้

Chrome oxide	5 – 6 ส่วน
Ferric oxide	4 – 5 ส่วน

สีชมพู ใช้เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ Cone 7 – 8 มีอัตราส่วนผสมดังนี้

Tin oxide	60 %
Whiting	31 %
China clay	3 %
Potassium dichromate	5 %

สีชมพูอมม่วง ใช้เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 **มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้**

Potassium bichromate	5 – 10 %
Tin oxide	20 – 65 %
Lime stone	30 – 40 %
Addition Alumina	5 %

สีชมพู ใช้เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Tin oxide	5 ส่วน
Whiting	2 ส่วน
Flint	3 ส่วน
Addition Alumina $K_7\ cr_7\ O_7$	3 %

ทรงพันธ์ วรรณมาศ. (มปป. หน้า 33-34) กล่าวว่า โครเมียมออกไซด์ ได้มาจากธาตุโครไมท์ (chromite) ($Fe_2 .Cr_2 .O_4$) ใช้ในเคลือบเป็นตัวทำให้เกิดสี และสามารถใช้ในการทำผงสีสำเร็จรูปได้ โครเมียมออกไซด์เป็นสีที่มีความเปลี่ยนแปลงมากที่สุด โครเมียมออกไซด์ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน ทั้งเงื่อนไขของการเผาและชนิดของเคลือบ ถ้าหากโครเมียมออกไซด์ผสมในเคลือบที่มี ซิงค์ และตะกั่ว สีที่ได้จะได้เป็นสีเขียวเข้ม หรือสีน้ำตาล แต่ถ้าหากว่าอุณหภูมิในการเผาเป็นอุณหภูมิต่ำและเคลือบเป็นเคลือบตะกั่ว หรือมีส่วนผสมของอะลูมิน่า สีที่ได้จะเป็นสีส้มแดงสุกใส หากใช้โครเมียมออกไซด์ กับวัตถุดิบบางตัวที่แตกต่างกันก็จะได้สีที่แตกต่างกัน คือ Cr_2O3_2 เป็นเม็ดสีที่มีความไวมาก ในกรณีที่มี ZnO, MgO อยู่ในเคลือบจะให้สีน้ำตาล และเมื่อใช้ร่วมกับ SnO_2 จะให้สีชมพูจนถึงแดง

ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์. (2538 หน้า 141) กล่าวว่า โครมมิกออกไซด์ให้สีเขียวแก่ช่างปั้นจำนวนไม่น้อยนิยมใช้โพแทสเซียมไดโครเมตแทนเพื่อเป็นแหล่งของโครมิกออกไซด์ในเนื้อเคลือบ เนื่องจากให้ปริมาณของโครเมียมที่มากกว่าต่อน้ำหนักที่เท่ากัน โครมมิกออกไซด์เมื่อรวมกับออกไซด์ของโลหะอื่นให้สีสันที่น่าสนใจโดยเมื่อรวมกับดีบุกให้สีชมพู รวมกับสังกะสีให้สีน้ำตาล และรวมกับตะกั่วให้สีเหลืองของตะกั่วโครเมต การเผาโครมมิกออกไซด์ในบรรยากาศ**รีดักชัน เป็นผลทำให้สีที่เกิดขึ้นในเนื้อเคลือบหมองคล้ำลง หากเติมโครมมิกออกไซด์ลงในเคลือบที่มีองค์ประกอบของตะกั่วสูงและปริมาณของอะลูมินาออกไซด์ต่ำ และนำไปเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน** Cone 010 **จะให้เคลือบที่มีสีแดงสดใส**

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2530 หน้า 27) กล่าวว่า **โครเมียมเป็นเม็ดสีที่มีความไวมาก ในกรณีที่มีซิงค์ออกไซด์ผสมอยู่ด้วยจะให้สีน้ำตาลเนื่องจากเกิด** Zn. $CrO_4.Cr_2O_3$ **ให้สีเหลืองของ**

Pb. CrO_4 ในเคลือบที่มีตะกั่วสูงนอกจากนี้ก็ให้สีส้มในเคลือบอุณหภูมิต่ำและเป็นเคลือบที่มีเปอร์เซ็นต์ SiO_2 ต่ำ เคลือบที่มีเปอร์เซนต์ตะกั่วสูงจะมีเปอร์เซนต์อะลูมินาออกไซด์และมีเปอร์เซนต์ซิลิกาต่ำด้วย และมีจุดสุกตัวที่โคน 010 จะได้เคลือบสีแดง

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547 หน้า 380) กล่าวว่า ผงสีเขียวและสีน้ำเงิน เขียวผลิตได้จากการเผาส่วนผสมของ Cr_2O_3 – CoO – Al_2O_3 ในระบบนี้จะได้เงาสีมากมาย ผงสีกลุ่มนี้ใช้ได้ทั้งในเคลือบที่มีและไม่มี ZnO เป็นองค์ประกอบ เป็นที่น่าสนใจคือ ถึงแม้ว่า SnO_2 ไม่ควรใช้ร่วมกับเคลือบซึ่งมี Cr_2O_3 แต่ในกรณีของผงสีสีน้ำเงินเขียว SnO จะช่วยทำให้ได้สีสวยงามมากขึ้น ผงสีกลุ่มนี้ไม่ว่าจะใช้เจือจางลงหรือเข้มขึ้นจะทำให้เกิดสีเทาที่ไม่สวยงาม

สีของผงสีกลุ่มนี้คงทนดีทั้งต่ออุณหภูมิที่เผาและส่วนประกอบของเคลือบ อย่างไรก็ดี ในกรณีที่เคลือบมี CoO เป็นส่วนผสม สีน้ำเงินของ CoO จะแยกตัวออกจากสีเขียวของ Cr_2O_3 โดยการย้อยตัวลงมา ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้จะเกิดขึ้นในเคลือบที่สร้างขึ้นมาอย่างไม่ถูกต้อง หรือมีการไหลตัวดีเกินไป

ผงสีน้ำเงินเขียวอันเกิดจาก CoO ผลิตได้การเผาส่วนผสมซึ่งมี Cr_2O_3 ปริมาณมาก และมี CoO ปริมาณน้อย ในขณะที่ Cr_2O_3 ลดลง และ เพิ่มขึ้น CoO สีจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวไปเป็น น้ำเงิน น้ำเงินเขียว การผสมผงสีเหล่านี้ให้เข้ากับผงสีเหลือง จะทำให้เกิดสีซึ่งเป็นสีเขียวที่ทำให้เกิดความพึงพอใจ

สีน้ำเงินจนถึงสีเขียวของผงสีซึ่งมี CoO เป็นพื้นฐาน อาจผลิตได้จากการเผาส่วนผสมของ CoO, Al_2O_3 และ TiO_2 ที่อุณหภูมิ 700 – 1,100° C

ผงสีเขียวของ Cr_2O_3 เป็นผงสีเขียวที่เข้มและมีสภาพคงทน ซึ่งใช้กันแพร่หลายไม่เฉพาะแต่ในงานเซรามิกส์ เท่านั้น แต่ยังใช้ทั่ว ๆ ไปอีก Cr_2O_3 เป็นผงสีที่ละลายได้น้อยมาก และเป็นผงสีที่มีพลังทำให้เกิดสีเข้มมากทั้งในแก้วและในเคลือบ ใช้ผสมในเคลือบประมาณ 1 – 5 % มีแนวโน้มเล็กน้อยที่จะระเหยกลายเป็นไอระหว่างการเผาและอาจถูกดูดซับหรือไปสะสมบนผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงหรือตามอิฐทนไฟในเตา Cr_2O_3 มีความดันไอต่ำ อัตราการระเหยกลายเป็นไอน้อย แต่ก็อาจทำให้เคลือบใกล้เคียงซึ่งมี SnO_2 ผสมอยู่มีเงาสีชมพู และถ้าเคลือบนั้นมี ZnO เป็นส่วนประกอบอาจทำให้เกิดเงาสีน้ำตาล

Cr_2O_3 สามารถใช้ได้โดยตรงทำให้เกิดสีเขียวเข้ม แต่ไม่นิยมใช้ เมื่อเผาอย่างรุนแรงกับอะลูมินา (Al_3O_3) จะเกิดการละลาในลักษณะของแข็งละลายของแข็ง ซึ่งจะได้ผงสีสีแดงทับทิม Cr_2O_3 – SiO_2 เมื่อเผาเป็นผงสีจะมีสภาพความคงทนดีพอสมควร ผงสีนี้ใช้ได้ดีกว่าการใช้ Cr_2O_3 แต่เพียงอย่างเดียว

สีเขียวที่เข้มกว่าอาจผลิตได้จากการเผาส่วนผสมของ Cr_2O_3 กับ Co_3O_4 และ Al_2O_3 เงาสีเขียวจะได้จากการใช้ปริมาณ Co น้อยที่สุด สีมีความแตกต่างบ้างเล็กน้อยกับสีเขียวที่เกิดจาก Cr_2O_3 พลังในการทำให้เกิดสีดีพอสมควร ทึบแสงโดยไม่มีตัวทำให้เคลือบทึบแสง ส่วนผสมของเคลือบไม่ควรมี Zn และจะให้ผลดีที่สุดถ้ามี CaO ปริมาณมาก สีคงทนถึงอุณหภูมิของเคลือบปอร์ซเลน คือ ปริมาณ 1,300° C

ผงสีน้ำตาลและสีแดง

สีน้ำตาลปกติจะเกิดจาก Fe, Ni, Mn และ Cr และการผสมระหว่างธาตุเหล่านี้กับวัสดุอื่น ๆ $ZnO.Cr_2O_3$ เกิดจากปฏิกิริยาของ ZnOกับ Cr_2O_3 จะให้สีน้ำตาลเข้ม

สารประกอบของ Fe และ Mn ก็นิยมใช้เป็นผงสีที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล แร่รูไทล์, อิลล์มิไนต์ เป็นแร่ซึ่งมี Fe และTiO_2 ก็นิยมนำมาใช้เช่นกัน

NiO มีศักยภาพสูงพอสมควรในการทำให้เกิดสีในเคลือบ แต่มีความไวต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ในเคลือบ การตระเตรียม ระยะเวลาในการเผา NiO อุณหภูมิที่เผาและบรรยากาศที่เผาเหมาะที่จะใช้ในเคลือบที่ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ศิลปะ

เคลือบสีน้ำตาลหรือสีมะฮอกกานีที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้าแรงสูง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการปรุงอาหารและผลิตภัณฑ์ศิลปะบางอย่างผลิตได้จากการใช้ผงสีสีน้ำตาลของ Fe-Mn ซึ่งเป็นสีที่ใช้กันแพร่หลาย การใช้ MnO_2 โดยตรงในเคลือบมีขอบเขตจำกัด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นเสมอ จะมีประโยชน์มากถ้าใช้ MnO_2 ปริมาณเล็กน้อยเพื่อช่วยทำให้เกิดสี และควรเผาส่วนผสมของสีให้อยู่ในรูปของผงสี

ผงสีที่เกิดจาก Cr-Fe-Sn

สีน้ำตาลอีกรูปแบบหนึ่งได้จากผงสีของ Cr-Fe-Sn ผลิตได้จากการเผาส่วนผสมของ Cr_2O_3-Fe_2O_3-SnO_2 ผงสีกลุ่มนี้ดูเหมือนว่าจะมีสภาพคงทนกว่าผงสีของกลุ่ม Cr-Fe-Zn ผงสี Cr-Fe-Sn ใช้สำหรับผลิตเงาสีเทาแกมแดงและใช้ผสมกับผงสีสีชมพูของ Cr-Al เพื่อผลิตเงาสีแดง ผงสีกลุ่มนี้ไม่ไวต่อส่วนประกอบของเคลือบ แต่เคลือบควรมี ZnO อย่างต่ำ 5% ผงสีกลุ่มนี้จะทำให้เคลือบซึ่งมี ZnO เป็นองค์ประกอบมีสีเหลืองเข้มมากขึ้น ถ้าใช้ FeO_3 แทน Cr_2O_3

ผงสีน้ำตาลของ Cr_2O_3-Fe_2O_3-ZnO

ผงสีน้ำตาลที่ใช้เป็นพื้นฐาน ซึ่งมีความสม่ำเสมอและมีสภาพคงทนดีผลิตได้จากกลุ่มสีจากระบบ Cr_2O_3-Fe_2O_3-ZnO ผงสีในระบบนี้ใช้กันแพร่หลายและมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรม

การเปลี่ยนแปลงของสีขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของ เช่น

1. ถ้าปริมาณ Cr_2O_3 เพิ่มมากขึ้น และปริมาณ ZnO ลดลง เงาของสีออกไปทางเขียว เมื่อใช้ในเคลือบซึ่งไม่มี ZnO เป็นองค์ประกอบ และจะให้สีออกเทาหรือเหลืองในเคลือบซึ่งมี ZnO เป็นองค์ประกอบ

2. ถ้าผสม MnO_2 เข้าไปในการผลิตผงสี เมื่อผสมผงสีลงในเคลือบ จะทำให้เคลือบมีสีเหลืองและเงามากขึ้น

3. การผสม Ni ลงในผงสี จะทำให้เงาสีเข้มมากขึ้น

4. การผสม Al_2O_3 ลงในผงสี Cr-Fe-Zn ผงสีที่ได้ชนิดใหม่ Cr-Fe-Zn-Al จะเป็นสีที่สุกใสมีชีวิตชีวามากขึ้น

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546. หน้า 21) กล่าวว่า โครเมียมที่ใช้ในเซรามิก คือ โครมิกออกไซด์ เป็นผงสีเขียวไม่ละลายในน้ำ และละลายในเคลือบน้อยที่สุด โครมมิกออกไซด์เป็นสีที่มีความเข้มของสีมาก ปกติจะใช้ในเคลือบเพียง 1-2 % โครมมิกออกไซด์ให้สีเขียวหลังการเผา แต่ในเคลือบที่มีซิงค์โครมมิกจะรวมตัวกับซิงค์โครเมต ทำให้สีเขียวกลายเป็นสีน้ำตาลอ่อน ในเคลือบอุณหภูมิต่ำที่มีตะกั่วสูง และมีซิลิกาเพียงเล็กน้อยโครมมิกจะให้เคลือบสีส้มแดงที่มีลักษณะแตกเป็นผลึก โครมมิกออกไซด์ใช้คู่กับดีบุกออกไซด์ในการเตรียมสีชมพูเหล็กโครเมต ซึ่งเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติที่เกิดจากการรวมตัวของแร่เหล็กและโครเมียม ใช้เป็นสารให้สีดำในผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โครเมียมออกไซด์มักจะใช้เป็นส่วนผสมในการเตรียมสีสำเร็จรูป โดยใช้อัตราส่วน 65% ในการเตรียมสีดำทองแดงโครม และใช้ในปริมาณ 12-40 % ในการเตรียมสีสำเร็จรูป สีดำ โครม – โคบอลต์ - เหล็ก โครมมิกออกไซด์ให้สีเขียวทั้งในบรรยากาศออกซิเดชัน และรีดักชัน แต่ในบรรยากาศรีดักชัน สีเขียวจะสดใสกว่า

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546. หน้า 12) กล่าวว่า โครมมิกออกไซด์เมื่อทำปฏิกริยากับแบเรียมในเคลือบสีที่ได้หลังเผาที่อุณหภูมิต่ำให้สีเหลืองอมเขียว, น้ำตาล และเขียวอ่อน

อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543 หน้า 241) กล่าวว่า โครมเมียมออกไซด์ เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดเคลือบสีเขียวสุกใส ไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในเนื้อแก้วซิลิเกต บ้างเล็กน้อย โครเมียมออกไซด์ เป็นสารประกอบที่มีกำลังมาก เช่น เมื่อผสมกับ ZnO จะได้เคลือบสีน้ำตาลของ $ZnCrO_4$ หรือถ้าผสมกับ PbO จำนวนมากจะได้เคลือบสีเหลืองของ PbCrO ในอุณหภูมิสูงและมีสีส้มในอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ถ้าใช้ Cr_2O_3 ร่วมกับเฟอริกออกไซด์ จะได้เคลือบสีชมพูของ $FeCrO_2$ และถ้าใช้โครมออกไซด์ อยู่ระหว่าง 12 – 40 % จะได้เคลือบสีดำ

โคบอลต์ออกไซด์

โกมล รักษ์วงศ์. (2531 หน้า 28-32) กล่าวว่า โคบอลต์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ให้สีน้ำเงินเป็นสารที่มีคุณสมบัติซึ่งให้สีเข้มข้นแรง (Stong colouring agent) ไม่ว่าจะใช้ผสมในเนื้อดินปั้นหรือในเคลือบจะให้สีดี สามารถให้สีได้ในเคลือบทุกชนิดและทุกอุณหภูมิ สีที่ทำได้จากโคบอลต์ออกไซด์ มีดังนี้

สีน้ำเงิน ใช้เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 – 14 สามารถทำสีบนเคลือบ ใต้เคลือบ และในเคลือบได้ดี ใช้ทำสีในเคลือบเผาอุณหภูมิสูง สีส่วนผสมดังนี้

Cobalt oxide	37.27 %
Alumina hydroxide	62.73 %

สีน้ำเงิน ใช้ทำสีใต้เคลือบ และสีในเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ปอร์สเลนโดยการเผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ Cone 7 – 14 ถ้าหากนำเอาสีส่วนผสมนี้ไปใช้ผสมในเคลือบ หรือใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์เผาไฟสูงทำการเผาแบบ รีดักชัน ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้

Cobalt phosphate	24.5 %
Zinc oxide	39.0 %
Alumina	36.5 %

สีน้ำเงิน Cobalt blue ใช้เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 ใช้ส่วนผสมวัตถุดิบดังนี้

Cobalt phosphate	32.5 %
Zinc oxide	48.4 %
Alumina	19.1 %

สีน้ำเงิน Matt blue เป็นสีน้ำเงินด้านใช้กับน้ำเคลือบ stone ware และ porcelains เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ Cone 7 – 10 ใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Cobalt oxide	20 %
Zinc oxide	20 %
Alumina	60 %

Black - grey สีเทาดำที่ทำจาก cobalt oxide เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 – 14 จะให้สีน้ำเงินอมเทา สีเทาดำ สีดำ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมและน้ำเคลือบที่ใช้ มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	10 – 30 %
Cobalt oxide	30 – 70 %
Clay	20 – 60 %

ทรงพันธ์ วรรณมาศ. (มปป. หน้า 38) กล่าวว่า โคบอลต์ออกไซด์ เป็นตัวสำคัญทำให้เกิดสีน้ำเงิน มักใช้ฟริต กับ อะลูมินาออกไซด์ และหินปูน หรือตะกั่ว เพื่อลดอุณหภูมิในการเผาเคลือบสีใต้เคลือบ หากใช้โคบอลต์จำนวนเล็กน้อยเป็นส่วนประกอบของ MgO_2, SiO และ B_2O_3 จะสามารถผลิตเป็นสีต่าง ๆ ได้ โคบอลต์ออกไซด์เป็นตัวที่ให้สีรุนแรงและคงทนที่สุด ปกติยังเป็นตัวที่ให้สีน้ำเงินแท้ ๆ หรือน้ำเงินม่วง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการเผามากที่สุด เช่นเดียวกับไอรอน และคอปเปอร์ออไซด์ ส่วนการใช้โคบอลต์ออกไซด์จะมีเปอร์เซนต์การใช้โคบอลต์ออกไซด์ได้ดังนี้

โคบอลต์ออกไซด์ 0.5 – 1.0 % จะได้สีน้ำเงินกลางเข้มออกมืดเล็กน้อย อันเป็นสัญลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เดลฟท์แวร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงที่สุดของบริษัท เวจน์ วูด ของอังกฤษ

โคบอลต์ออกไซด์ เกิน 3 % และใช้เคลือบที่มีส่วนผสมของ ซิงค์ สีที่ได้จะเข้มขึ้น หากมีส่วนผสมของ รูไทท์ (rutile) และเผาในอุณหภูมิสูงสีที่ได้จะได้สีเขียว อนึ่งโคบอลต์ออกไซด์ยังสามารถนำมาใช้ในการทำสำเร็จรูปสีฟ้า ทำสลิป ปิดเนื้อดินสีฟ้าหรือน้ำเงิน และทำสีใต้เคลือบตลอดจนสีบนเคลือบ และสามารถใช้ผสมในเคลือบ ฟริตโดยตรง ซึ่งจะทำให้ผลออกมาเป็นสีฟ้าหม่น อนึ่งโคบอลต์ออกไซด์ ตามปกติเวลาซื้อมักจะเป็น โคบอลท์โต (cobalto) โคบอลท์ติกออกไซด์ (cobaltic oxide) หรือ โคบอลต์โตซิคออกไซด์ (cobaltosic oxide) ซึ่งให้สีดำ ลักษณะของสีดังกล่าวจะคงที่อยู่ระหว่าง 800 องศาเซลเซียส ในอุณหภูมิที่สูงขึ้นและจะคงที่อยู่โดยไปรวมกับซิลิเกตและบอเรต พร้อมกับให้สีฟ้า

ปุญญรัตน์ พิชญไพบูลย์. (2538 หน้า 141) กล่าวว่า โคบอลต์ออกไซด์ เป็นผงสีดำใช้เป็นสารหลักที่ให้สีฟ้า หรือน้ำเงิน โคบอลต์ออกไซด์เป็นสารให้สีที่เข้มข้นมาก ดังนั้นหากต้องการผลิตสีฟ้าอ่อนในเนื้อเคลือบ ช่างปั้นนิยมใช้โคบอลต์คาร์บอเนตแทน หรืออาจนำโคบอลต์ออกไซด์ไปทำเป็นฟริตร่วมกับอะลูมินาออกไซด์และหินปูน หรือทำเป็นฟริตร่วมกับตะกั่วสำหรับใช้เตรียมเคลือบไฟต่ำ ด้วยวิธีนี้จึงได้สีสำเร็จรูปสีฟ้าที่หลากหลายขึ้นและทำให้สามารถเผาในช่วงอุณภูมิที่กว้างขึ้น นอกจากนี้การเติมโคบอลต์ออกไซด์ในปริมาณเล็กน้อยโดยส่วนผสมร่วมกับแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา และสารประกอบของกรดบอริกจะทำให้ได้สีชมพูจนถึงม่วงแก่

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า 22) กล่าวว่า โคบอลต์ออกไซด์ เป็นวัตถุดิบให้สีฟ้าหรือสีน้ำเงินในเซรามิกส์และแก้ว เป็นสารให้สีที่มีความรุนแรงมากที่สุด ใช้ในปริมาณเล็กน้อย 0.2 – 0.5 % ได้สีฟ้า 1 – 2 % ให้สีน้ำเงิน โดยที่สีไม่เปลี่ยนแปลงในการเผาทั้งบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน แต่ในบรรยากาศรีดักชันสีน้ำเงินจะเข้ม และสดใสมากขึ้น ถ้าใช้ปริมาณมากเกิน 4 % ให้สีน้ำเงินอมดำ และเพิ่มความทนไฟของเคลือบ อาจทำให้เคลือบด้านได้ โคบอลต์ทนไฟสูงมากไม่ระเหยแม้จะเผาเกิน 1,400 องศาเซลเซียส แคลไซน์โคบอลต์กับอะลูมินาออกไซด์สามารถผลิตสีสำเร็จรูปที่มีความคงตัวดี สีสำเร็จรูปที่มีอะลูมินาออกไซด์ ซิงค์ และโคบอลต์ผลิตสีสำเร็จรูปที่เผาได้ในทุกอุณหภูมิ สีฟ้าอ่อนจะเตรียมจากอะลูมินาออกไซด์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นต่อโคบอลต์เท่าเดิม โคบอลต์เมื่อใช้ร่วมกับแมกนีเซียม ซิลิกา และโบรอน ในปริมาณที่เหมาะสมจะได้เคลือบสีชมพู สีม่วง และสีแดงเข้มได้ สีสำเร็จรูปสีม่วงอ่อนจึงเตรียมจากวัตถุดิบในกลุ่มนี้

อายุวัฒน์ สว่างผล (2543 หน้า 226) กล่าวว่า ในการใช้โคบอลต์ออกไซด์ เพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตสีสำเร็จรูป จะใช้ระหว่าง 0.025 – 0.01 โมลสมมูลย์ โดยมีองค์ประกอบอื่นที่ช่วยเสริมให้สีน้ำเงินเข้มมากขึ้น คือ

1. ใช้ นิเกิล และยูเรเนียม เป็นตัวช่วยให้เกิดเงาสีเทาอ่อน ๆ ขึ้นในเคลือบ
2. ใช้ อะลูมินาออกไซด์ ช่วยเสริมให้เกิดความใส ความเข้มของสี และช่วยให้เกิดความคงทนขึ้น
3. ใช้ ซิงค์ออกไซด์ ช่วยให้เกิดสีน้ำเงินแกมเขียวหรือน้ำเงินแกมม่วงได้ด้วย
4. อุณหภูมิใช้ในการเผาสูง จะช่วยให้สีน้ำเงินเข้มมากขึ้น โดยมีซิลิกาที่เจือปนเป็นตัวเสริม
5. ติตาเนียมออกไซด์ เมื่อใช้ร่วมกับโคบอลต์ ในปริมาณเล็กน้อยจะได้สีน้ำเงินแกมเขียว ค่อนข้างขีดจาง

เฟอร์ริกออกไซด์

โกมล รักษ์วงศ์. (2531 หน้า 38-41) กล่าวว่า เฟอร์ริกออกไซด์ ปกติทั่ว ๆ ไป เป็นสารที่ให้สีน้ำตาล แต่ก็สามารถทำสีอื่น ๆ ได้ เช่น สีเหลือง สีดำ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของวัตถุดิบเคมีภัณฑ์อย่างอื่นเข้ามาผสมและอุณหภูมิที่ทำการเผาแคลไซน์ส่วนผสมของสี

เฟอร์ริกออกไซด์ที่นิยมใช้ทำสีสำเร็จรูปมี 2 ประเภท คือ

เฟอร์ริกออกไซด์ ที่เป็นสีแดง (Red Iron oxide)

เฟอร์ริกออกไซด์ ที่เป็นสีดำ (Black Iron oxide)

สีน้ำตาล Brown ใช้ทำสีในเคลือบ เผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ Cone 7 โดยใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Ferric oxide	6 %
Chrome oxide	4 %
Alumina	40 %
Zinc oxide	50 %

สี Brownish yellow ใช้ทำสีในเคลือบได้โดยใช้ เฟอร์ริกออกไซด์เผาในอุณหภูมิ Cone 1 – 2 เผาในบรรยากาศ ออกซิเดชัน จะได้สีน้ำตาลเหลืองได้

$$Fe_2O_3 \xrightarrow[\text{Oxidicing}]{\text{Cone 1 – 2}} \text{Brownish Yellow}$$

สีน้ำตาลเทา Brown grey จะได้จากการใช้ Red Iron oxide ไปเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ใช้ผสมในเคลือบที่เผาในอุณหภูมิ Cone 6 – 7 ในบรรยากาศออกซิเดชัน จะได้สีน้ำตาลเทา

$$\text{Red Iron} \xrightarrow[\text{Oxidicing}]{\text{Cone 6 - 7}} \text{Brown grey}$$

สีน้ำตาลแดง Red Brown ทำจากเหล็กออกไซด์เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ Cone 7 – 8 ใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	27 %
Red Iron oxide	23 %
Zinc oxide	50 %

สีน้ำตาลเหลือง Yellow Brown ทำจากเฟอร์ริกออกไซด์ เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ 1,100 – 1,200 องศาเซลเซียส โดยใช้วัตถุดิบดังนี้

Chrome oxide	12 %
Ferric oxide	28 %
Zinc oxide	14 %
Kaolin	48 %

สีดำ Ferric oxide **โดยปกติใช้** Iron oxide **จะให้สีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีดำ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาแคลไซน์ ถ้าเผาแคลไซน์ตั้งแต่อุณหภูมิ** Cone 8 **ขึ้นไปสามารถให้สีดำได้ โดยใช้** Iron oxide **เพียงอย่างเดียวไม่ต้องผสมวัตถุดิบอื่น ๆ**

Cone 8

Ferric oxide ——————→ สีดำ

Calcine

สีดำ Back ที่ทำจาก เฟอร์ริกออกไซด์ ผสมกับ โคบอลต์ออกไซด์ และโครมมิกออกไซด์ เผาลแคไซน์ ในอุณหภูมิ Cone 6 – 10 ใช้อัตราส่วนผสมวัตถุดิบดังนี้

Ferric oxide	50 ส่วน
Cobalt oxide	20 ส่วน
Chrome oxide	30 ส่วน

สีดำ Back ที่ทำจาก เฟอร์ริกออกไซด์ ผสมกับ โคบอลต์ออกไซด์ และ แมงกานีสไดออกไซด์ เผาแคลไซน์ ในอุณหภูมิ Cone 6 – 7 โดยอัตราส่วนผสมวัตถุดิบดังนี้

Ferric oxide	6 ส่วน
Cobalt	2 ส่วน
Maganese doxide	4 ส่วน

ทรงพันธ์ วรรณมาศ. (ม.ป.ป. หน้า60) กล่าวว่า เคลือบใสอันมีส่วนผสมของตะกั่วกับเฟอร์ริกออกไซด์ ซึ่งใช้ออกไซด์ ตั้งแต่

3 – 7 % จะได้เคลือบตั้งแต่สีเหลืองแบบตอฟางข้าว, น้ำตาล, เหลืองอำพัน, จนกระทั่งสีน้ำตาลเข้ม

5 - 10 % จะได้สีน้ำตาลแดงเลือดนก จนถึงสีแดงน้ำตาล

หากว่าเติมออกไซด์ในจำนวนที่มากพอประมาณก็สามารถจะทำให้เกิดผลึกของเฟอร์ริก ได้อย่างสวยงามของเคลือบใส ซึ่งในบางครั้งอาจจะรู้กันในนาม "โกลด์ สโตน" ซึ่งจะให้**สีเคลือบในทางโทนสีน้ำตาล ข้อนี้จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการเผาซึ่งเป็นการเผาแบบ ออกซิเดชัน หากว่าการเผาแบบ รีดักชัน สีที่ได้จะได้สีตั้งแต่สี ซิลาดล, เขียวแก่, ตลอดจนกระทั่งสีฟ้าเขียว ซึ่งเป็นสีของเครื่องปอร์สเลนซ์ ของจีนโบราณ สีดังกล่าวนั้นมักจะเกิดขึ้นจากผลของการเผาแบบรีดักชัน หรือเกิดจากการที่ใช้ดินที่เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีน้ำตาลเทาจนกระทั่งดำ นอกจากนี้แล้ว**

เฟอร์ริกออกไซด์ยังสามารถนำมาใช้ทำสำเร็จรูปในการผสมสีของเนื้อดิน อันจะทำให้เนื้อดินมีสีเข้มขึ้น หรืออาจจะนำมาทำเป็นน้ำดินข้นเพื่อสำหรับทาปิดบังเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีสีต่างกันได้

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า 24) กล่าวว่า เฟอร์ริกออกไซด์ มีหลายคุณภาพ บางชนิดมีความบริสุทธิ์ต่ำ และเม็ดหยาบ สีตามธรรมชาติจะมีสีน้ำตาลแดงและสีดำ เฟอร์ริกออกไซด์ 2 % เมื่อเผาในบรรยากาศ รีดักชัน จะให้สีเขียวเซลาดอน ถ้าใช้ในปริมาณ 10 – 15 % จะให้สีน้ำตาลอมดำ สีดำ และสีสนิมเหล็กแดง ในเคลือบอุณหภูมิสูง ถ้าเคลือบมีซิงค์ ไทเทเนียม และเหล็ก จะได้เคลือบสีส้มเหลือง ถึงสีเนื้อ แต่ถ้าในเคลือบมีดีบุกและเหล็กรวมกันจะได้สีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีกาแฟ เฟอร์ริกออกไซด์ใช้เตรียมสีสำเร็จรูปสีชมพูอมน้ำตาล สีชมพูอมส้ม ไปจนถึงสีน้ำตาลแดงและสีน้ำตาลเข้ม

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า 84) กล่าวว่า Fe^{++} ละลายในเคลือบจะให้สีเหลืองซีด Fe_2O_3 เมื่อผสมในเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มี CaO สูง จะให้สีเหลืองหรือสีฟาง

ปรีดา พิมพ์ขาวชำ. (2539 หน้า 262, 286) กล่าวว่า สารประกอบของเฟอร์ริกออกไซด์เป็นองค์ประกอบในเคลือบมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่เป็นแร่ตามธรรมชาติ ธาตุเหล็กเป็นธาตุหนึ่งที่ใช้เป็นตัวควบคุมการเลือก และการใช้วัตถุดิบในการผสมทำน้ำเคลือบ ผลของสารประกอบของเหล็กเมื่อใส่ลงในเคลือบก็คือการทำให้เคลือบมีสีเหล็กทำให้เคลือบมีสีได้หลายสีซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบอื่น ๆ ในเคลือบ เช่น บรรยากาศการเผาเคลือบ ปริมาณของเหล็กและยังขึ้นกับชนิดของอนุมูลของเหล็กในเคลือบด้วย สารประกอบของเฟอร์ริกออกไซด์มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำให้เคลือบมีสีเขียว เหลือง แดง ฟ้า น้ำตาล หรือดำ ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของเคลือบ ความเข้มข้นของเหล็กและสภาวะของออกซิเดชันหรือรีดักชัน ความสัมพันธ์ระหว่างสีเคลือบกับความเข้มข้นของเฟอร์ริกออกไซด์หาได้ดังนี้

สีของเคลือบ		% เฟอร์ริกออกไซด์
ใส	→	น้อยกว่า 0.02
ขุ่น	→	0.02 – 0.05
เขียวอ่อนมาก ๆ	→	0.05 – 0.10
เขียวแกมเหลือง	→	0.10 – 0.30
เขียว	→	0.03 – 1.00
เขียวเข้ม	→	1.00 – 2.00

สีของเฟอร์ริกออกไซด์ในเนื้อผลิตภัณฑ์ยังเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์ คือ ในเนื้อผลิตภัณฑ์ถ้ามี Al_2O_3 มากกว่า 3 เท่า หรือมี CaO และ MgO มากกว่า 1 % มันจะฟอกสีของเฟอร์ริกให้จางลงกลายเป็นสีฟาง

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547 หน้า 371) กล่าวว่า อนุมูลของเหล็กอาจเป็น Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} แต่ปกติแล้วมักจะมีทั้ง 2 แบบ Fe^{2+} ทำให้แก้วเกิดสีน้ำเงินเข้ม แต่ Fe^{3+} ทำให้แก้วมีสีแดง ถ้าอยู่ในตำแหน่งเป็นโครงสร้างของแก้วจะมีออกซิเจนล้อมรอบ 4 อะตอม จำทำให้แก้วเกิดสีน้ำตาล และถ้า Fe^{3+} อยู่ในตำแหน่งตัวปรับปรุงเนื้อแก้วจะมีออกซิเจนล้อมรอบ 6 อะตอม แก้วจะมีสีชีดเหลืองอมชมพู ปกติซิลิเกตเหลวที่มีเหล็กอยู่เล็กน้อยจะมีสีเขียวอมฟ้า เป็นเพราะว่าผลร่วมกันระหว่าง Fe^{2+} และ Fe^{3+}ผลของออกซิเดชันของเหล็กอยู่ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิ สภาวะสมดุลจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปทาง Fe^{2+} ในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 สีของแก้วยังเปลี่ยนไปตามส่วนประกอบของแก้ว แก้วที่มีเหล็กปริมาณเล็กน้อยสามารถมีเงาสีเปลี่ยนแปลงได้มากมาย จึงเป็นการยุ่งยากในการที่จะควบคุม

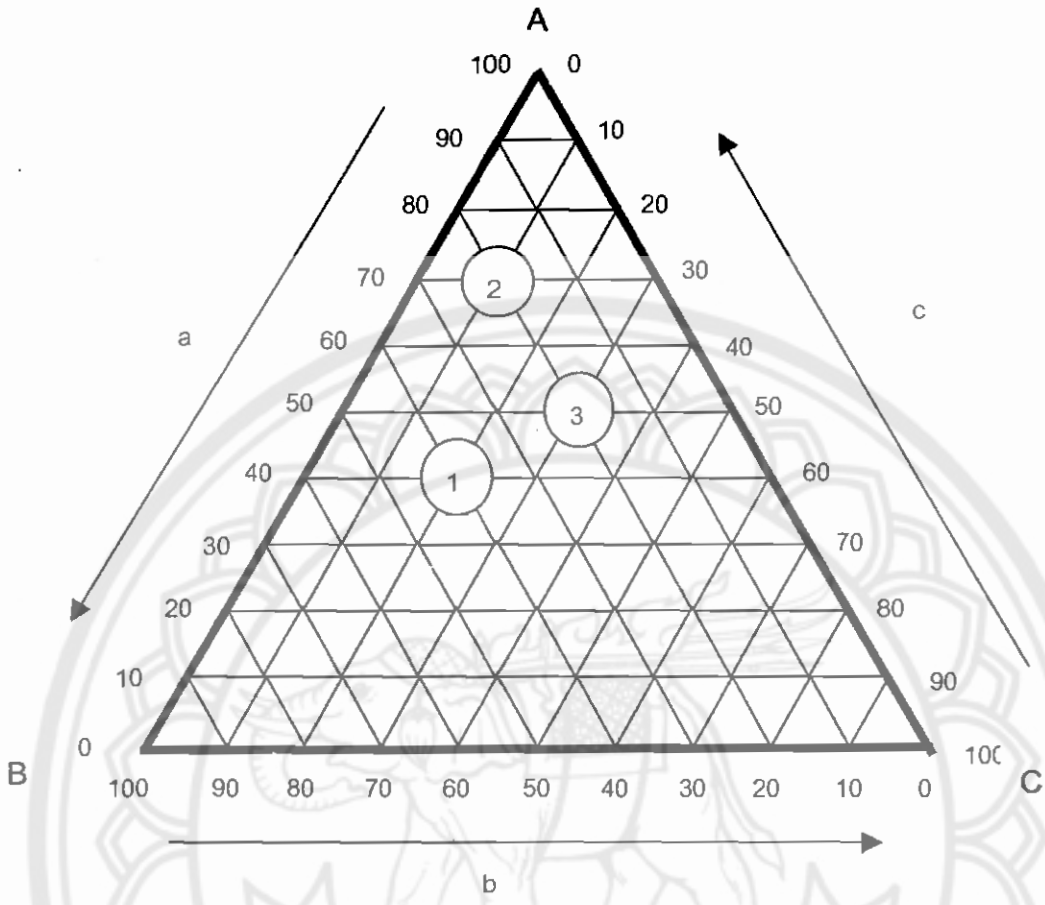
ปุณณรัตน์ พิชญไพบูลย์. (2538 หน้า 155) กล่าวว่า เฟอรริกออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นสารให้สีเนื้อจนถึงสีน้ำตาลทั้งในน้ำเคลือบ และเนื้อดิน นอกจากจะถูกใช้เป็นสารให้สีแล้วยังถูกนำมาใช้เป็นสารฟลักซ์สำหรับเนื้อดินไฟต่ำ ทำให้ดินเอทเทนแวร์เป็นสีแดงอมน้ำตาลอีกด้วย สีชมพู สามารถเตรียมได้จากการใช้ เฟอรริกออกไซด์ อะลูมินาออกไซด์ แคลเซียม และ ฟลินต์ เผาร่วมกันในอุณหภูมิ Cone 09 เหล็กออกไซด์เมื่อนำมาผสมกับเคลือบใสด่าง และเผาในบรรยากาศรีดักชัน จะให้สีเขียวหม่นใส เรียกว่า เคลือบเซลาดอน

อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543 หน้า 243) กล่าวว่า เฟอร์ริกออกไซด์เป็นสารประกอบที่ช่วยทำให้เกิดผลึกเล็ก ๆ ในเคลือบและให้เคลือบเป็นสีน้ำตาลได้ดี ตามปริมาณที่ใช้ดังนั้น จากออกไซด์ที่ให้สีในการทำสีสำเร็จรูป พอสรุปได้ว่า ออกไซด์ให้สีส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะที่รวมตัวกับออกซิเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแร่ธาตุประเภทออกไซด์ และคาร์บอเนต แร่ธาตุที่ให้สีในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาจะต้องทนต่อความร้อน และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อหลอมตัวรวมกับวัตถุดิบอื่น เช่น โครมมิกออกไซด์, โคบอลต์ออกไซด์, เฟอร์ริกออกไซด์ เป็นต้น และในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ออกไซด์ให้สีเติมลงไปในส่วนผสมในการผลิตสีสำเร็จรูป ได้แก่ โครมมิกออกไซด์, โคบอลต์ออกไซด์ และเฟอร์ริกออกไซด์

การคำนวณหาส่วนผสมของวัตถุดิบ

ในการคำนวณหาส่วนผสมของวัตถุดิบ ได้มีนักวิชาการหลายท่านได้ให้วิธีการหาส่วนผสมดังนี้

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2534 หน้า 65) **กล่าวว่า เราสามารถคำนวณน้ำเคลือบเนื้อดินปั้น หรือสีเคลือบ ได้จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยวางวัตถุดิบตรงมุมทั้งสามของสามเหลี่ยมด้านเท่า แล้วอ่านค่าออกมาเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบแต่ละตัว ส่วนมากเป็นวิธีการทดลองแบบสุ่มเอาหลาย ๆ จุด และเลือกเอาเฉพาะจุดที่ได้ผลดีมาใช้งาน**



ภาพ 2 แสดงการคำนวณวัตถุดิบด้วยตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial diagram)

วิธีการอ่านค่าของตารางในสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial diagram)

ให้ A, B, C เป็นวัตถุดิบ 3 ชนิด

การอ่านค่าของวัตถุดิบ A ให้อ่านตามค่าในแกนนอน (←) ค่าให้อ่านที่ด้าน a

การอ่านค่าของวัตถุดิบ Bให้อ่านตามค่าในแกนเฉียง (↘) ที่ลากจากฐาน A ไปฐาน B ค่าให้อ่านที่ด้าน b

การอ่านค่าของวัตถุดิบ C ให้อ่านตามค่าในแกนนอน (↗) ที่ลากจากฐาน B ไปฐาน C ค่าให้อ่านที่ด้าน c

ค่าทั้ง 3 ค่าที่อ่านได้จากตารางนี้เมื่อรวมกันแล้วจะต้องได้ 100 เปอร์เซนต์พอดีถ้าหากว่ารวมกันแล้วมากหรือน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอ่านค่าใดค่าหนึ่งผิด

ตัวอย่าง เช่น ที่จุด 1

วัตถุดิบ A = 40

วัตถุดิบ B = 40

วัตถุดิบ C = 20

ที่จุด 2

วัตถุดิบ A = 70

วัตถุดิบ B = 20

วัตถุดิบ C = 10

ที่จุด 3

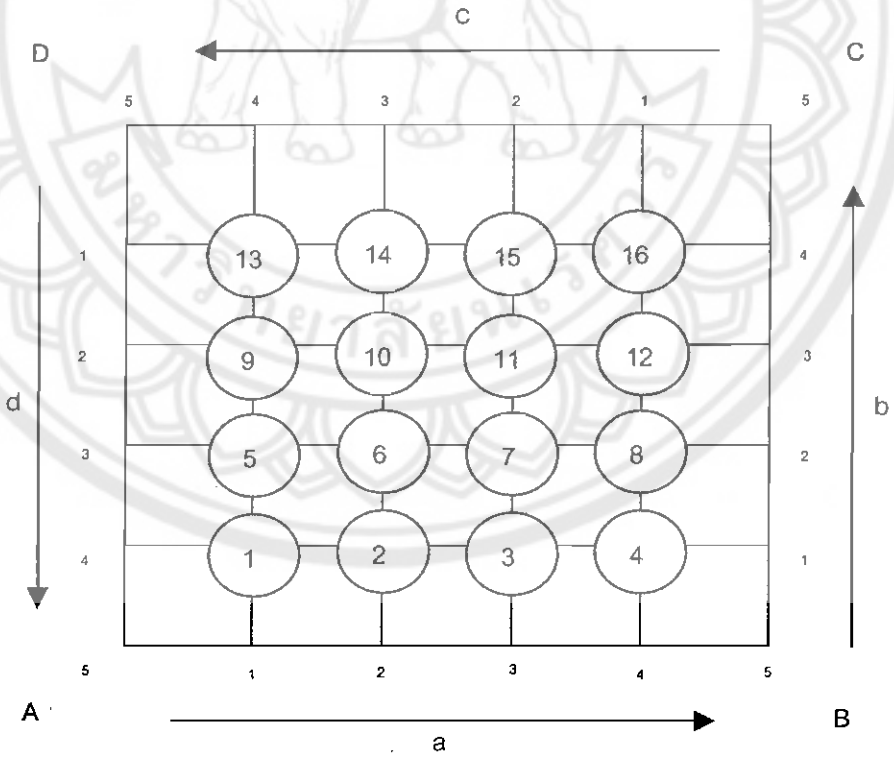
วัตถุดิบ A = 50

วัตถุดิบ B = 20

วัตถุดิบ C = 30

พวกออกไซด์ให้สีต่าง ๆ ถ้าหากว่าเราอยากจะได้สีที่แปลกออกไปก็สามารถที่จะทำได้โดยใช้ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่านี้เช่นกัน

วิธีการหาส่วนผสมของวัตถุดิบด้วยตาราง 4 เหลี่ยม Quadraial Blend (สำหรับการใช้วัตถุดิบ 4 ชนิด)



ภาพ 3 แสดงการคำนวณวัตถุดิบด้วยตาราง 4 เหลี่ยม Quadraial Blend

วิธีการอ่านค่าของตารางในสี่เหลี่ยม

ให้ A, B, C, D เป็นวัตถุดิบ 4 ชนิด

การอ่านค่าของวัตถุดิบ A ให้อ่านตามค่าในแกนราบหัวลูกศรไปทางขวา (→) ที่ลากจากฐาน A ไปฐาน B ค่าให้อ่านที่ด้าน a

การอ่านค่าของวัตถุดิบ B ให้อ่านตามค่าในแนวตั้ง (↑) ค่าให้อ่านที่ด้าน b

การอ่านค่าของวัตถุดิบ C ให้อ่านตามค่าในแกนราบไปทางซ้าย (←) ที่ลากจากฐาน C ไปฐาน D ค่าให้อ่านที่ด้าน c

การอ่านค่าของวัตถุดิบ D ให้อ่านตามค่าในแนวดิ่ง (↓) ที่ลากจากฐาน D ไปฐาน A ค่าให้อ่านที่ด้าน d

ค่าทั้ง 4 ค่าที่อ่านได้จากตารางนี้เมื่อรวมกันแล้วจะต้องได้เท่ากับ 10 พอดี ถ้าหากว่ารวมกันแล้วมากหรือน้อยกว่า 10 แสดงว่าอ่านค่าใดค่าหนึ่งผิด

ตัวอย่าง เช่น

ตารางช่องที่ 1

วัตถุดิบ A = 1

วัตถุดิบ B = 1

วัตถุดิบ C = 4

วัตถุดิบ D = 4

ตารางช่องที่ 13

วัตถุดิบ A = 1

วัตถุดิบ B = 4

วัตถุดิบ C = 4

วัตถุดิบ D = 1

ตารางช่องที่ 14

วัตถุดิบ A = 2

วัตถุดิบ B = 4

วัตถุดิบ C = 3

วัตถุดิบ D = 1

จากวิธีการหาส่วนผสมของวัตถุดิบข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า การคำนวณหาส่วนผสมของวัตถุดิบนั้นสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้สำหรับการเตรียมจากวัตถุดิบ 3 ถึง 4 ชนิด ก็จะใช้วิธี

การหาจากตารางสามเหลี่ยม หรือตารางสี่เหลี่ยม ซึ่งการหาส่วนผสมจากตารางสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม สามารถใช้ได้กับการหาส่วนผสมของเคลือบ และเนื้อดินได้เช่นเดียวกัน และในการวิจัยครั้งนี้จะเลือกใช้การคำนวณส่วนผสมของวัตถุดิบโดยใช้ตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสเนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วัตถุดิบจำนวน 4 ชนิดเป็นส่วนผสมในการผลิตสีสำเร็จรูป

กระบวนการผลิตสีสำเร็จรูป

กระบวนการผลิตสีสำเร็จรูปเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยความรอบคอบและกระบวนการที่ต้องทำอย่างเป็นขั้นตอนที่ถูกต้อง ในกระบวนการผลิตสีสำเร็จรูปนี้ได้มีนักวิชาการหลายท่านได้กล่าวไว้ว่า

โกมล รักษ์วงศ์. (2531 หน้า 55) กล่าวว่า กรรมวิธีการทำสีสำเร็จรูปมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. การบดและการผสม (Mixing and grinding) ใช้ส่วนผสมของเคมีภัณฑ์และวัตถุดิบที่ช่างน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำมาบดให้เข้ากันอย่างละเอียด

2. การเผา (Calcination) การเผาเป็นขั้นสำคัญในการเตรียมสี กระทำหลังจากที่ทำการบดผสมวัตถุดิบเคมีภัณฑ์มาแล้ว จะต้องนำไปผ่านการเผาในเตาเผาตามอุณหภูมิที่ต้องการจะเผา ระหว่างที่เผาจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ประการ ด้วยกัน คือ

2.1 Decomposition (การสลายตัว) พวกวัตถุดิบที่ใช้ผสมเมื่อถูกความร้อนจะสลายตัว พวกแก๊สต่าง ๆ ที่อยู่ในตัววัตถุดิบจะออกมา เช่น พวกคาร์บอเนต (carbonates) ซัลเฟต (sulphates) และออกซิเจน (oxygen) ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะผสมอยู่ในวัตถุดิบและเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ แก๊สพวกนี้จะต้องทำการเผา Calcine ไล่ออกไปให้หมด ถ้าหากเหลืออยู่จะทำให้สีมีคุณภาพต่ำ จะทำให้เกิดฟองหรือจุดขึ้นได้เมื่อนำเอาไปใช้งาน

2.2 Combination (การรวมตัว) เมื่อพวกแก๊สสลายตัวออกหมดแล้วในขั้นต่อไปก็จะเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันระหว่างเคมีภัณฑ์และวัตถุดิบ จะทำให้เกิดสีขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบเคมีภัณฑ์รวมตัวกันเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบใหม่ในการเผาจะต้องคำนึงถึงจุดหลอมละลายตัวของเคมีภัณฑ์และวัตถุดิบที่ใช้ผสมทำสี เพราะสารต่าง ๆ ที่ใช้เป็นส่วนผสมทำสีมีจุดหลอมละลายไม่เท่ากัน ถ้าหากเผาในอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้สีเปลี่ยนสภาพเป็นลักษณะแก้วมีความแข็งยากแก่การบดให้ละเอียดในขั้นต่อไป

3. การล้าง (Washing) หลังจากการเผา calcine แล้วจะได้สารประกอบใหม่ที่มีสีจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น จะต้องนำเอาไปบดและทำการล้างเอาสิ่งสกปรกจำพวกเขม่าที่เกิดจากการเผาออกให้หมด จนกระทั่งให้เหลือเฉพาะเนื้อสีที่บริสุทธิ์เท่านั้น การล้างจะใช้น้ำธรรมดาเป็นตัวล้างทำความสะอาด สีบางสีอาจจะใช้กรดล้าง เช่น กรดเกลือ กรดกัมมะถัน เพื่อจะให้สี

มีความสดใสเพิ่มขึ้น สีพวกนี้ส่วนใหญ่จะเป็นจำพวกสีชมพู สีม่วงแดง สีแดงมารูน การล้างสีจะต้องเอาสีผสมกับน้ำทำการบดโดยโกร่งบด หรือหม้อบด ล้างจนกระทั่งสีสะอาดไม่มีฝุ่นผงเจือปนอยู่ ข้อสังเกตว่าสีจะสะอาดหรือไม่จะต้องตั้งให้สีตกตะกอน ถ้าหากน้ำสะอาดแสดงว่าสีสะอาดเพราะสีมีน้ำหนักมากตกตะกอน ส่วนสิ่งเจือปนพวกเซม่าต่าง ๆ จะลอยอยู่ในน้ำมองเห็นได้ชัดเจน

4. การบด (Grinding) สีที่ผ่านการล้างมาแล้วจะต้องบดให้ละเอียดโดยใช้บดด้วยหม้อบด หรือโกร่งบดก็ได้ เพราะความละเอียดของสีเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดในการเตรียมสี ถ้าหากสีไม่ละเอียดเมื่อนำมาใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์หรือผสมในน้ำเคลือบ จะทำให้ผลที่ได้สีจะเกิดเป็นลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ ไม่มีความสวยงาม การบดสีควรจะบดแบบวิธีเปียกจึงจะได้ผลดี เพราะจะช่วยเป็นการล้างสีให้สะอาดอีกครั้งหนึ่ง หลังจากบดแล้วจะต้องนำสีมาอบให้แห้งหรือผึ่งเอาไว้ให้แห้งสนิท สีที่เตรียมได้นี้เรียกว่า "สีสำเร็จรูป" (stains)

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539 หน้า 285) กล่าวว่า การผลิตสีสำเร็จรูปจะต้องทำการอย่างพิถีพิถันทุกขั้นตอน การผลิตจะต้องมีการควบคุมอย่างดี ขั้นตอนในการผลิตสีสำเร็จรูปประกอบด้วย

1. วัตถุดิบ วัตถุดิบทุกอย่างควรรู้ความบริสุทธิ์และต้องรู้ว่าเป็นออกไซด์ คาร์บอเนต หรือเกลืออื่น ๆ ของอนุมูลบวกที่ต้องการ บางกรณีอาจใช้แร่จากธรรมชาติ นอกจากส่วนประกอบทางเคมีแล้วสิ่งสำคัญที่ต้องรู้ต่อมาก็คือ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ เป็นต้นว่า ลักษณะและขนาดของผลึกและการกระจายขนาดของอนุภาค

2. การผสม วัตถุดิบทั้งหลายจะต้องผสมกันเป็นอย่างดี โดยอาศัยเครื่องบดชนิดหม้อบด การบดผสมควรใช้วิธีบดเปียก แต่บางกรณีการบดแห้งก็ใช้ได้ดี

3. การเผา เมื่อวัตถุดิบผสมกันดีแล้วอาจจะนำมาเผา ฟริต หรือหลอมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งจะได้ผลิตผลสุดท้าย ปฏิกิริยาอาจเกิดระหว่างของแข็งกับของแข็งในขณะที่ยังไม่ถึงจุดหลอมตัวของวัตถุดิบ และบางครั้งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีของเหลวร่วมอยู่ด้วย บ่อยครั้งที่ผู้ผลิตจะผสมบอแรกซ์ เพื่อทำให้เกิดการหลอมเหลว ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อได้ผลเรียบร้อยแล้วก็ล้างเอาบอแรกซ์ทิ้งไป อุณหภูมิ ในการเผาจะต้องควบคุมให้แน่นอน เพราะว่าถ้าอุณหภูมิต่ำไปปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และถ้าอุณหภูมิสูงไปผลิตผลอาจเกิดการสลายตัว ในบางกรณีจะต้องควบคุมบรรยากาศของการเผาด้วย

4. การบดและการควบคุมขนาดของสีสำเร็จรูป สีสำเร็จรูปเมื่อเผาเรียบร้อยแล้วนำมาบดด้วยหม้อบด และควบคุมขนาดให้อยู่ระหว่าง 1-5 ไมครอน สีสำเร็จรูปบางชนิดจะให้ความเข้ม

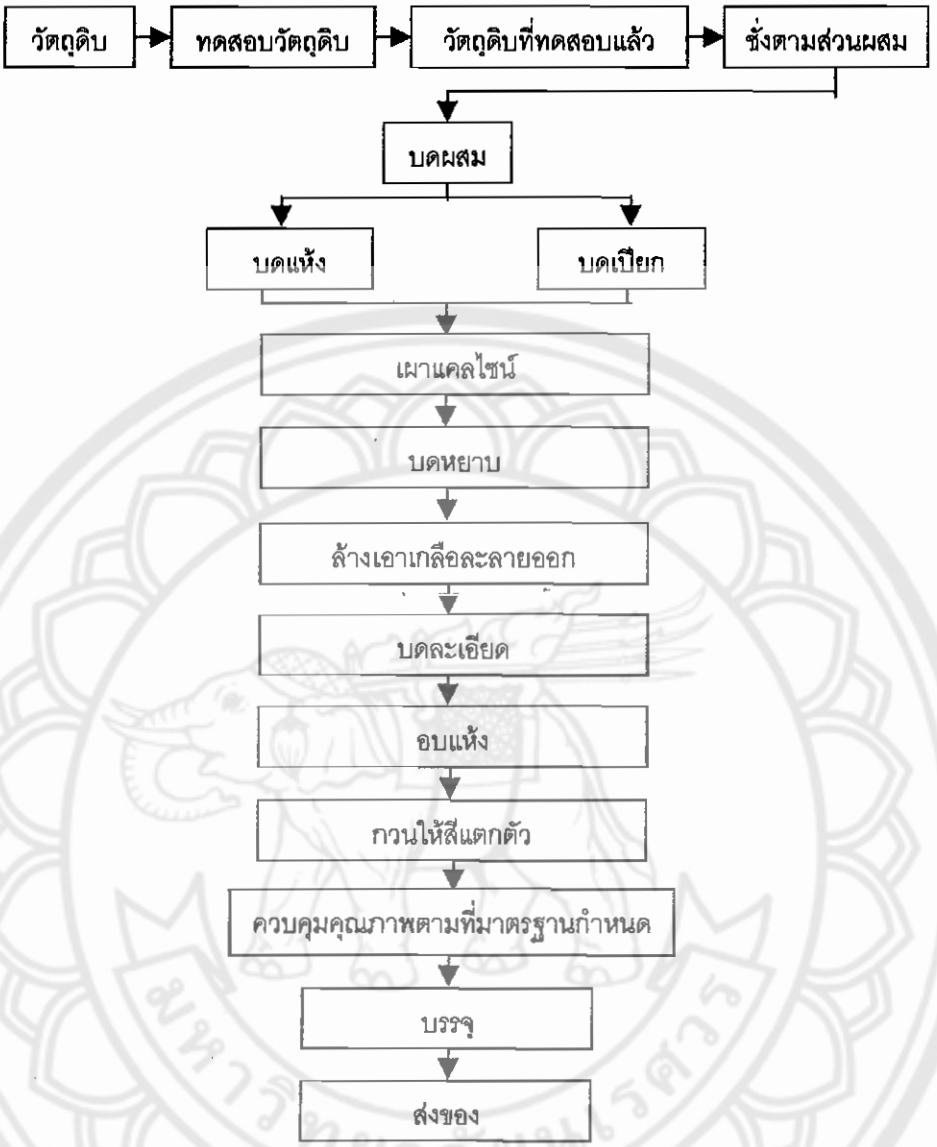
มากที่สุดเมื่อมีขนาด 1 ไมครอน และบางกรณีบางชนิดจะให้ความเข้มมากเมื่อมีขนาดระหว่าง 3-5 ไมครอน

5. **การล้าง เมื่อสีสำเร็จรูปผ่านการบดขั้นสุดท้ายแล้ว จะต้องล้างให้สะอาดเพื่อขจัดพวกเกลือที่ละลายน้ำได้ เพราะว่าถ้ามีเกลือพวกนี้อยู่มันจะลอยตัวขึ้นมาบนผิวเคลือบ ทำให้เกิดคราบเกลือหรือรูพรุนบนผิวเคลือบ** บางกรณีต้องล้างด้วยสารละลายเจือจางของกรด บางกรณีล้างด้วยน้ำร้อนก็พอ

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2546 หน้า 93) กล่าวไว้ว่า บริษัทผลิตสีสำเร็จรูปเพื่อทำการจำหน่าย เช่น บริษัทเซอร์เดค (Cerdec) ประเทศเยอรมันนี หรือบริษัท เฟอร์โร (Ferro) ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลิตสีสำเร็จรูปเพื่อส่งไปจำหน่ายทั่วโลกใช้ระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรม เผาด้วยเตาอุโมง การบดสีใช้เครื่องบดบอลมิลขนาดใหญ่ เครื่องบดสีแต่ละสีห้ามใช้ปะปนกัน ใช้บดสีแต่ละสีต่อเนื่องเฉพาะเพียงสีเดียวเท่านั้น สีสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะเติมสาร (Additive) เช่น กาว หรือสารที่ช่วยให้สีกระจายตัวได้ดีเมื่อสีละเอียดดีแล้วนำมาเข้าเครื่องฟิลเตอร์เพรส (Filter press) เพื่ออัดเอาน้ำออกจากผงสี นำผงสีที่ได้ไปอบแห้งและบดอีกครั้ง สีที่ผลิตออกมาทุกครั้งจะต้องผ่านการทดสอบให้ได้มาตรฐานเดิม (Master Standard) ก่อนจัดจำหน่าย

ขั้นตอนในการผลิตสีสำเร็จรูป คือ

1. การชั่งวัตถุดิบ
2. การบดผสมวัตถุดิบ
3. การเผาแคลไซน์
4. การบดสีสำเร็จรูป
5. การล้างสีสำเร็จรูป



ภาพ 4 แสดงแผนผังขั้นตอนของกระบวนการผลิตสีสำเร็จรูป (Colour Stain Production Process)

จากขั้นตอนในการผลิตสีสำเร็จรูปข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า การผลิตสีสำเร็จรูปนั้นมีขั้นตอนหลัก ๆ อยู่ 4 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมและการบดผสมวัตถุดิบ
2. ขั้นตอนในการเผาแคลไซน์วัตถุดิบ
3. ขั้นตอนในการบดย่อยวัตถุดิบหลังจากการเผาแคลไซน์
4. การควบคุมคุณภาพของสีสำเร็จรูปหลังจากการบดย่อย

ซึ่งแต่ละขั้นตอนต้องอาศัยความรอบคอบและควบคุมในแต่ละขั้นตอนให้เป็นไปตามลำดับขั้นอย่างต่อเนื่อง และในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการผลิตสีสำเร็จรูปเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการในการทดลองวิจัย

การนำสีสำเร็จรูปไปใช้

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539 หน้า 294) กล่าวไว้ว่า สีสำเร็จรูปมีวิธีการใช้ 4 วิธีด้วยกัน คือ

1. ใช้ผสมในเนื้อดินปั้น
2. ใช้ผสมในเคลือบ
3. ใช้เป็นสีเขียนบนเคลือบ
4. ใช้เป็นสีเขียนใต้เคลือบ

การใช้สีผสมลงในเนื้อดินปั้นหรือเคลือบใช้ได้เลย และใช้ประมาณ 1-10 % ถ้าใช้เป็นสีเขียนบนเคลือบ ต้องผสมกับสารประกอบที่ทำให้มีจุดหลอมตัวต่ำลง และบางครั้งต้องผสมพวกผงสีขาว เช่น ดินขาวที่เผาแล้ว ซิลิกา หรืออะลูมินาออกไซด์ เพื่อลดความเข้มของสี สารประกอบที่ช่วยให้จุดหลอมตัวต่ำ เช่น เลดบอโรซิลิเกต ซึ่งจะหลอมที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส ถ้าใช้เป็นสีเขียนใต้เคลือบมักผสมดินขาวประมาณ 5 % และ ฟริต 5 %

ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา. (ม.ป.ป. หน้า 18) กล่าวว่า เราสามารถนำผงสีมาประยุกต์ใช้ ดังนี้

1. ผงสีที่ใช้กับเนื้อดิน (Body Stain) โดยปกติสีในเนื้อดินจะเป็นสีที่มีความทนไฟสูง และสีไม่สด เนื่องจากสีสดจะไม่ทนไฟ วิธีการผสมสีในเนื้อดินมี 2 แบบ คือ ผสมในน้ำดิน หรือน้ำสลิป และในเนื้อดินปั้น

2. ผงสีที่ใช้กับเคลือบ (Glaze Stain) เมื่อซื้อจากบริษัทผู้ผลิตมาใช้เป็นสีในเคลือบ สีนั้นจะต้องถูกกำหนดอุณหภูมิสูงสุด เพื่อแสดงว่าเผาได้ที่อุณหภูมิไม่เกินกี่องศาเซลเซียส และใช้เผาในบรรยากาศออกซิเดชั่น หรือรีดักชั่น

3. ผงสีที่ใช้กับสีใต้เคลือบ (Under Glaze Stains) การใช้ผงสีเป็นสีใต้เคลือบอาจใช้เฉพาะผงสีเพียงอย่างเดียว หรืออาจจะใช้ผงสีผสมดินขาวก่อนจึงนำไปเพนท์สี เช่น ดินขาวลำปาง ดินขาวนราธิวาส ดินขาวระนอง ดินขาวอังกฤษ ดินขาวนิวซีแลนด์ หรืออาจใช้ผสมกับเนื้อดินสำเร็จรูปจำพวกพอร์ซเลน ซึ่งข้อดีของการใช้เนื้อดินสำเร็จรูปมาผสมคือ เนื้อดินจะมีปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ไม่ถึง 0.5 % และโดยทั่วไปอนุภาคมีขนาดเล็ก มีความละเอียดประมาณ 2-3 ไมครอน

4. **ผงสีที่ใช้เป็นสีบนเคลือบ** (Over Glaze Stain) **สีบนเคลือบมี** 2 **แบบ คือ แบบแรกหลังเผาแล้วจะอยู่บนเคลือบ เรียกว่า สีบนเคลือบ** (On glaze) **อีกแบบหนึ่งหลังเผาสีจะอยู่ใต้ชั้นผิวเคลือบ เรียกว่า สีในเคลือบ** (in glaze or sink in glaze)

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2547 **หน้า** 165) **กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมถ้วยชาม** ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อขาวที่เคลือบแล้วเป็นสีขาวล้วน ถือว่าเป็นเครื่องปั้นดินเผาที่ยังไม่ได้ผ่านการตกแต่ง แต่ถ้าถ้วยชามนั้นมีสีในเนื้อดิน หรือน้ำเคลือบก็จะจัดอยู่ในประเภทที่ผ่านการตกแต่งแล้ว การตกแต่งเครื่องปั้นดินเผาที่เด่นสะดุดตามากที่สุด คือ การตกแต่งด้วยสี ทั้งเนื้อดิน และน้ำเคลือบสามารถทำให้เป็นสีต่าง ๆ ได้ตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาปัจจุบันยังนิยมตกแต่งลวดลายด้วยการใช้สีต่าง ๆ บางครั้งตกแต่งบนผิวดินที่เผาดิบหรือตกแต่งบนผิวเคลือบหลังจากการเผาเคลือบแล้ว ซึ่งการตกแต่งสีบนผิวเคลือบนี้จะต้องนำชิ้นงานไปเผาอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิประมาณ 750-820 องศาเซลเซียส ตลอดจนการตกแต่งด้วยสีเงิน หรือสีทอง หรือสีประกายมุก

ในการนำสีสำเร็จรูปไปใช้ข้างต้นนั้นพอจะสรุปได้ว่า สีสำเร็จรูปในงานเซรามิกส์นั้นสามารถนำมาใช้ในรูปของการทำเป็นสีเขียน หรือสีที่ใช้ผสมในเคลือบและเนื้อดิน ซึ่งเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์นั้นมีสีสันสวยงามมากขึ้น หากเป็นในภาคอุตสาหกรรมที่ผลิตจำนวนชิ้นงานมาก ๆ เมื่อใช้สีสำเร็จรูปนั้นก็สามารถทำให้ควบคุมมาตรฐานของสีผลิตภัณฑ์ได้ และในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงการนำสีสำเร็จรูปไปใช้เพื่อเป็นแนวทางและดำเนินการทดลองการใช้สีสำเร็จรูปในการตกแต่งผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จินดา เข็มประสิทธิ์. (2536) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การเตรียมสีเขียนเซรามิกส์จากแร่บางชนิด จุดมุ่งหมายของการวิจัย เพื่อทำการศึกษาการเตรียมสีเขียนเซรามิกส์จากแร่ธรรมชาติเปรียบเทียบกับจากสารเคมี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แร่ไพโรลูไซต์, แร่อิลเมไนต์, แร่ฮีมาไทต์, แร่รูไทล์, แร่โครไมต์, แร่ซีไลต์ และแร่ทอง ในการวิจัยนี้มีการวิเคราะห์แร่ต่าง ๆ ทั้งวิเคราะห์ทางเคมีและวิเคราะห์ทางกายภาพ ซึ่งในการรวิเคราะห์ทางเคมีจะใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี volumetry, gravimetry และspectrophotometry ส่วนการวิเคราะห์ทางกายภาพใช้ X-ray diffractometer และ Infrared spectrophotometer ผลการวิจัยพบว่าการเตรียมสีธรรมชาติผสมกัน สีที่มีแร่โครไมต์เป็นองค์ประกอบอยู่จะให้สีที่ดี สำหรับสีที่มีแร่ทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่สีที่ได้จะไม่ดีและยังต่างกันมากกับที่เตรียมจากสารเคมี เนื่องจากแร่ทองแดง

มีปริมาณ CuO อยู่ในปริมาณน้อยจึงพบว่าแร่ที่นำมาใช้แทนสารเคมีที่ใช้อยู่นั้นสามารถใช้แทนได้ดี ถ้าแร่ชนิดนั้นมีปริมาณของธาตุที่ให้สีสูงพอควร สำหรับแร่อิลเมไนต์และแร่ลูไซต์ไม่นิยมใช้เป็นสีเขียนใต้เคลือบเพราะจะละลายน้ำ และจากการเตรียมสีเขียนจากแร่ผสมกับสารเคมี พบว่าเมื่ออุณหภูมิของการเผาสีสูงขึ้นสีก็จะเข้มขึ้นเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เปลี่ยนไป เมื่อขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นการกระเจิงของแสงจะเพิ่มขึ้น สีที่ได้ก็จะเข้มขึ้น สามารถควบคุมสีที่ปรากฏได้โดยการควบคุมขนาดอนุภาคจากอุณหภูมิในการเผา ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับสีเขียนเซรามิกส์ คือ ไม่เกิน 10 μm

เทียนชัย วงศ์สุฤทธิ์. (2531) ได้การทำวิจัยเรื่องการใช้แร่เป็นตัวให้สีในน้ำเคลือบผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ จุดมุ่งหมายของการวิจัย ศึกษาผลจากเคลือบพื้นฐานต่อการให้สีของแร่ต่าง ๆ และศึกษาการใช้แร่มาทดแทนสารให้สีที่เป็นสารเคมีสำเร็จรูป กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แร่อิลเมาไนต์, แร่ไพไรต์, แร่ไพโรลูไซต์, แร่คาลซิเตอร์ไรต์, แร่วุลแฟรมไมต์ และแร่ซีไรต์ วิเคราะห์ผลโดยการใช้ X-ray diffractometer ผลการวิจัยพบว่า แร่อิลเมไนต์มีเหล็กออกไซด์ 43.9 % แร่ไพไรต์มีเหล็กออกไซต์ 46.6 % แร่ไพโรลูไซต์มีมังกานีสไดออกไซด์ 67.4 % แร่ดีบุกมีทินออกไซด์ 98.9 % แร่โครไมต์มีโครมิคออกไซด์ 48.8 % แร่ทองแดงมีทองแดงออกไซด์ 12.8 % แร่วุลแฟรมไมต์มีทังสเตนออกไซด์ 68.1 % และซีไรต์มีทังสเตนออกไซด์ 75.8 % เมื่อนำแร่มาใช้เป็นสารให้สีในเคลือบเซรามิกส์ แร่อิลเมไนต์ให้สีน้ำตาลปนเหลือง แร่ไพไรต์ให้สีน้ำตาลแดง แร่ไพโรลูไซต์ให้สีน้ำตาลแก่เมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันและในบรรยากาศรีดักชัน 1,250 องศาเซลเซียส แร่ไพโรลูไซต์ให้สีน้ำตาลแก่ แร่ดีบุกให้สีขาวหม่น แร่โครไมต์ให้สีแดงเมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชัน 1,250 องศาเซลเซียสและเมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะให้สีเขียว แร่ทองแดงให้สีแดงเมื่อเผาในบรรยากาศออกซีเดชันจะให้สีเขียวอ่อนเมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชัน แร่วุลแฟรมไมต์ให้สีน้ำตาลอ่อนมีจุดสีน้ำตาลเข้มกระจายไปทั่วเมื่อเผาในบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน 1250 องศาเซลเซียสและแร่ซีไรต์ให้สีเหลืองเล็กน้อยเมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชัน 1,250 องศาเซียลเซียส

รวีวรรณ จันทร์จริยากุล. (2530) ได้ทำการวิจัยเรื่อง น้ำเคลือบเถ้าเบาสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จุดมุ่งหมายของการวิจัย เพื่อศึกษาการเตรียมน้ำเคลือบสำหรับเครื่องปั้นดินเผาจากการใช้เถ้าเบา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เถ้าเบาจากลิกไนต์ หินฟันม้า และดินขาวลำปาง ทำการคำนวณส่วนผสมของน้ำเคลือบด้วยวิธีการใช้ตารางสามเหลี่ยม ทำการเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,260 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน ผลการวิจัยพบว่าน้ำเคลือบที่ประกอบด้วยเถ้าเบา 70 – 100% ให้เคลือบด้าน สีเคลือบเป็นสีน้ำตาลแกมเหลือง

ผิวเรียบแต่สีไม่สม่ำเสมอ น้ำเคลือบที่ประกอบด้วยเถ้าเบา 20 – 60% ให้เคลือบสีน้ำตาลเข้มจนถึงน้ำตาลดำ ผลของเคลือบจะมีความมันวาวเมื่อมีเถ้าเบาไม่เกิน 50% และหินฟันม้าในช่วง 20% ขึ้นไปน้ำเคลือบที่มีปริมาณหินฟันม้าสูงถึง 60 – 80%เคลือบจะมีความมันวาวมากและมีการหดตัวสูง น้ำเคลือบไหลตัวมาก น้ำเคลือบที่มีปริมาณดินขาวลำปางตั้งแต่ 50% ขึ้นไปได้เคลือบด้านผิวเคลือบไม่เรียบ และมีรอยแตก น้ำเคลือบที่มีปริมาณดินขาวลำปางปริมาณ 70 – 100% ผิวเคลือบด้านมีรอยแตกมากและไม่สุกตัว น้ำเคลือบเถ้าเบาให้เคลือบสีน้ำตาลแกมเหลือง สีน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม และสีน้ำตาลดำ การเผาเคลือบในบรรยากาศแบบรีดักชัน เคลือบมีความมันวาวน้อยกว่าการเผาแบบออกซิเดชัน