

## การควบคุมคุณภาพของการผลิตสีเคลือบ

ดร. คชินท์ สายอินทวงศ์

ในยุคที่เศรษฐกิจของโลกที่ยังไม่แน่นอนด้วยพิษวิกฤตเศรษฐกิจที่ลามไปทั่วยุโรป อเมริกาและญี่ปุ่น ซึ่งทั้งหมดนี้คือฐานสำคัญของการส่งออกของประเทศไทย กำลังซื้อที่หดหาย การยกเลิกคำสั่งซื้อ การทบทวนยอดการสั่งซื้อนั้นมีผลมาจากปัจจัยทางเศรษฐกิจ แต่ก็ไม่ใช่ทั้งหมดทีเดียว ส่วนหนึ่งมาจากคุณภาพของตัวสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือไม่ได้ตามข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ ส่วนหนึ่งมาจากการส่งมอบที่ไม่ตรงเวลาของผู้ผลิตอันเนื่องมาจากการผลิตแล้วมีของเสียมาก หรือทำแล้วไม่ผ่านการตรวจสอบของลูกค้า ส่วนหนึ่งมาจากต้นทุนที่สูงขึ้นทำให้ไม่สามารถทำราคาสู้กับคู่แข่งจากจีนหรือเวียดนามได้ หลายๆ โรงงานในเมืองไทยต้องสูญเสียลูกค้าไปเพราะการที่ไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ตามกำหนดเวลาเนื่องจากมีของเสียมากจนต้องทำสินค้าเพิ่ม ปัญหาหลักส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดดำเนินขึ้นบนผลิตภัณฑ์คือกำหนดสีเคลือบนั่นเองเพราะสีเคลือบจะเป็นตัวแสดงความสวยงามของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้าสีเคลือบมีตำหนิก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ขาดความงามไปได้ หลายๆ โรงงานมาดกม้าตายตอนจบเพราะทำตัวอย่างออกมาสวย ลูกค้าวางออเดอร์เรียบร้อย แต่พอผลิตจริงกลับไม่สามารถทำได้อย่างที่รับปากกับลูกค้า กว่าแปดสิบเปอร์เซ็นต์ของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนั้นมาจากสีเคลือบที่ไม่ได้คุณภาพ อาจมีทั้งที่เกิดดำเนินขึ้นเช่นรูพรุน รูเข็ม สีคิงตัว เคลือบถลอก เคลือบร่อน เคลือบราน หรือทำมาแล้วสีไม่เหมือนสีเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการ เกิดปัญหาสีเพี้ยน สีดำนไป หรือสีมันไป ดังนั้นถ้าเราต้องการแก้ไขปัญหานี้เราจะต้องมีการควบคุมกระบวนการผลิตสีเคลือบที่ดีเพียงพอที่จะทำให้คุณภาพของสีเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์ของเราสม่ำเสมอได้ โดยกระบวนการที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพของสีเคลือบจะเริ่มตั้งแต่การตรวจรับวัตถุดิบสำหรับสีเคลือบ กระบวนการผลิตสีเคลือบทั้งการชั่ง การบดและการควบคุมปัจจัยในการบด และการควบคุมคุณภาพของสีเคลือบเองทั้งในช่วงที่เป็นน้ำเคลือบและคุณภาพของเคลือบเมื่อผ่านการเผาแล้ว

การตรวจรับวัตถุดิบสำหรับสีเคลือบ

การตรวจรับวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตสีเคลือบเป็นจุดเริ่มที่สำคัญที่สุด ถ้าวัตถุดิบที่รับเข้ามีความไม่สม่ำเสมอหรือมีสิ่งแปลกปลอมเข้ามาจะทำให้สีเคลือบที่ผลิตไม่ได้ตามมาตรฐานที่เรากำหนดไว้ ทุกโรงงานที่ผมให้คำปรึกษานั้นจะต้องคุมเข้มเริ่มต้นตั้งแต่งาน **Incoming raw materials** เสมอ การตรวจรับวัตถุดิบสำหรับสีเคลือบนั้นเราต้องรู้ความต้องการในการใช้งานวัตถุดิบตัวนั้นๆ ในสูตรเคลือบของเราก่อนที่เราใช้มันเพื่อวัตถุประสงค์อะไร และเราจะได้กำหนดหัวข้อในการตรวจรับได้อย่างเหมาะสม

-การตรวจรับ Flux หรือตัวช่วยหลอมซึ่งได้แก่ เฟลด์สปาร์ชนิดต่างๆ และฟritชนิดต่างๆ จะทำการอัด โคนเพื่อดูค่าการหลอมตัว คูสี คูค่าความใสของเม็ด โคน ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาครั้งเดียวและมีพวก Gas ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างการเผา จำนวนมากเช่นกระเบื้องบุผนังแบบ **Monoporosa** นั้นจำเป็นต้องตรวจเช็คค่า **Softening point** นอกจากนี้เป็นการตรวจหาจุดเหล็กที่อาจปนมากับวัตถุดิบประเภทนี้ โดยเฉพาะเฟลด์สปาร์ที่มีความแข็งมากจึงต้องผ่านทั้งการบดย่อยและบดละเอียดมา ถ้าผู้ผลิตไม่สามารถควบคุมจุดเหล็กได้ดีพอจะทำให้เคลือบของเรามีปัญหาจุดดำซึ่งถ้าลูกค้ามีความเข้มงวดมากก็อาจจะกลายเป็นตำหนิทำให้กลายเป็นของเกรด B หรือของเสียได้



สำหรับฟritนั้น นอกจากการตรวจรับเรื่องการหลอมตัว ค่า **Softening point** แล้ว สิ่งสำคัญอีกประการคือค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (C.O.E) ซึ่งเราจะต้องดูให้มีค่าที่เหมาะสมกับเนื้อดินของเราด้วย เพราะโดยปกติแล้วค่า COE ของเนื้อดินจะต้องมีค่าที่สูงกว่าสี่เคลือบในช่วง 8-12% จึงจะไม่เกิดปัญหาทั้งเรื่องเคลือบร่อนและเคลือบราน และอีกเรื่องที่สำคัญมากในการใช้ฟritสำหรับสี่เคลือบแต่เป็นเรื่องที่เกือบทุกโรงงานมักจะไม่ได้ตรวจสอบนอกจากโรงงานใหญ่ๆบางแห่งที่มีระบบการตรวจรับวัตถุดิบที่เข้มงวดก็คือเรื่องการกินสีของฟritแต่ละตัว ซึ่งฟritแต่ละเบอร์หรือแต่ละผู้ผลิตนั้นจะมีค่าองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้การเกิดปฏิกิริยาต่อสีเซรามิกแตกต่างกันไปด้วย จากตัวอย่างในภาพประกอบจะเห็นว่าเราใส่สีเหลืองเข้าไปในฟritแต่ละเบอร์ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ปรากฏว่ามีฟritบางตัวที่ไปทำให้สีเหลืองซึ่งปกติเป็นสีที่เผง่ายที่สุด แต่ฟritกลับทำให้สีเหลืองหายไป เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีบางตัวของฟritมีผลต่อสี **Pr-Zr-Si Yellow** แต่ถ้าเราไม่ตรวจสอบการกินสีของฟritและเราต้องการผลิตสีเหลืองดังกล่าว นักเซรามิกโรงงานนั้นๆก็จะต้องเติมสีเหลืองลงไปเพิ่มจนกว่าสีเหลืองนั้นจะเข้มได้ตามที่เราต้องการซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนในการผลิตอย่างมาก ดังนั้นถ้าเราต้องใช้ฟritในสูตร ต้องทดลองเรื่องการเข้ากันได้ระหว่างสีเซรามิกกับฟritชนิดนั้นๆ ด้วย



ภาพแสดงผลของฟritต่อสีเสตนสีเหลือง (Pr-Zr-Si)

-การตรวจรับสารเคมีและแร่อื่นๆ สารเคมีและแร่ที่ใช้ในเคลือบนั้น ได้แก่ หินปูน โคลไรท์ ทัลคัม แบเรียม คาร์บอนेट วอลลาสโตไนท์ ซิงค์ออกไซด์ เซอร์โคเนียมซิลิเกต ทราย ควอตซ์ และอื่นๆ ซึ่งการตรวจรับวัตถุดิบเหล่านี้ต้องตรวจในหัวข้อที่เราต้องการใช้งานและดูความ Sensitive ของตัวมันเอง โดยหาจุดที่มัน sensitive ง่ายและทำการตรวจสอบตามวิธีการที่ได้กำหนดขึ้นเพื่อให้เห็นปัญหา ตัวอย่างเช่น

SiO<sub>2</sub> ตรวจสอบโดยการหาขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค หา% Residue on 325 mesh ทดลองแทนลงในสูตรเคลือบมาตรฐาน (เคลือบใส) และดูสีหลังเผา รวมทั้งค่าความมันของเคลือบ

ZnO ทดสอบกับสูตรสีเคลือบที่มีstainที่sensitiveกับ ZnO

เช่น สีน้ำตาล(Cr-Fe-Zn-Ni) ซึ่งเป็นสีที่ชอบ ZnO

สีแดง maroon (Sn-Cr-Ca-Si) ซึ่งไม่ถูกกับ ZnO

สีดำ (Fe-Cr-Co-Mn-Ni) ซึ่งไม่ถูกกับ ZnO

BaCO<sub>3</sub> ทดสอบค่า LOI เพื่อดูImpurities ทดสอบกับสูตรสีเคลือบที่มีstainที่sensitiveกับ BaO

เช่น สีดำ (Fe-Cr-Co-Mn-Ni)

ZrSiO<sub>4</sub> ทดสอบในสูตรเคลือบสีเคลือบสีขาวทึบ (Opaque) และทำการวัดค่าสีขาว (ค่า L)

ทดสอบค่าความละเอียด (%Residue, PSD)

Dolomite ทดสอบค่า LOI ทดสอบในสูตรเคลือบสีแดง maroon ทดสอบค่าความละเอียด

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ทดสอบในสูตรเคลือบด้าน (Matt glaze) ทดสอบในสูตรเคลือบที่มีสีstain สีน้ำเงิน (Co-Al-Zn)

ทดสอบค่าความละเอียด ตรวจสอบ% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

-การตรวจรับสีและออกไซด์ที่เป็นตัวให้สี

1. ความสม่ำเสมอของสีในแต่ละlot ต้องตรวจสอบสีที่เข้ามาเทียบกับสีมาตรฐานที่เราเก็บตัวอย่างไว้ โดยควรเทียบทั้งในเคลือบที่เป็นเคลือบใส และเคลือบทึบแสง รวมทั้งเคลือบด้านในกรณีที่มีบางโรงงานมีการผลิตเคลือบด้านในปริมาณมาก เพื่อดูค่าความเข้มของสีและความสม่ำเสมอของสีในแต่ละ Lot

2. ความละเอียดของสี ความละเอียดของสีสะท้อนนั้นจะตรวจสอบได้สองวิธีคือการหาค่าการหักเหแสงกับการหาโดยใช้เครื่อง Laser particle size analyzer ซึ่งการหาด้วยการหักเหแสงจะเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกเหมาะสำหรับโรงงานทั่วไปที่ไม่มีเครื่องมือแพงๆ โดยการหาค่าการหักเหแสงนั้นควรดูถึงจุดประสงค์ในการใช้งานของสีสะท้อนของเราว่าต้องการนำไปใช้กับการเคลือบแบบใด ถ้าเป็นการเคลือบธรรมดาไม่ว่าจะใช้การสเปรย์ การชุบ การเคลือบโดยใช้ Campana Double disc Water fall จะใช้สีสะท้อนธรรมดาที่ไม่ต้องละเอียดมาก สามารถมีค่า %Residue บนตะแกรงขนาด 325 mesh ได้น้อยกว่า 0.3% แต่ถ้าเป็นงานที่ต้องการความละเอียดมากเช่นเป็นสีที่ใช้กับการสกรีนแบบ Roto color, การเขียนสีได้เคลือบ หรือการผลิตสีเคลือบโดยใช้การปั่นใน Basic glaze สีสะท้อนพวกนี้จะต้องมีความละเอียดมาก โดยคุมค่า %Residue 325 mesh คือเท่ากับศูนย์ นั่นหมายถึงว่าที่ตะแกรงเบอร์นี้จะต้องไม่มีผงสีเหลืออยู่ หรือถ้ามีเหลือก็ต้องน้อยจนวัดค่าไม่ได้ แต่ถ้าเราอยากควบคุม %Residue จะต้องไปคุมที่ตะแกรงเบอร์ 400 mesh แทน โดยให้ค่าไม่เกิน 0.3%

3. ความแรงของสี เราต้องตรวจสอบความแรงหรือความเข้มของสีดูด้วยว่าเข้มเพียงพอตามที่เรากำหนดหรือไม่ เนื่องจากสีบางรายมีราคาถูกมาก โดยเฉพาะสีจากจีน แต่มีค่าความเข้มต่ำ ทำให้ต้องเติมสีในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งสุดท้ายต้นทุนการผลิตอาจไม่ต่ำอย่างที่เรากำหนดก็ได้

4. ปริมาณ soluble salt ในสี สีอะครีลิกบางตัวนั้นผู้ผลิตจะต้องมีการเคมิมสารเคมิมบางตัวลงไปเพื่อให้การเผา เกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเมื่อเผามาแล้วจะเกิดเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ค้างอยู่ในตัวผงสี ดังนั้นผู้ผลิตสี จำเป็นจะต้องทำการล้างสีเพื่อให้เกลือเหล่านี้ออกไปจากสีให้หมด เพราะถ้าทำการล้างไม่ดีพอเมื่อนำไปใช้ในสูตร สีเคลือบจะทำให้สีเคลือบมีความหนืดมากขึ้น และเมื่อนำมาเคลือบบนชิ้นงานจะทำให้เกิดปัญหาการบวม ขุ่นบนเคลือบ รวมทั้งเกิดปัญหาการเชื่อมขุ่นบนเคลือบด้วย การตรวจเช็คปริมาณ soluble salt ในสีอะครีลิกนั้น สามารถทำได้โดยนำสีอะครีลิกมาล้างในน้ำป้อนนาน 30 นาที แล้วปล่อยให้ตกตะกอน แล้วใช้ชุดวัดความต่าง ศักย์ไฟฟ้ามาวัดค่าที่น้ำ ถ้าค่าความต่างศักย์มีค่าสูง แสดงว่าในสีอะครีลิกนั้นมีเกลืออยู่มาก ซึ่งไม่ควรนำมาใช้งาน เพราะจะทำให้เกิดปัญหากับเรา แนะนำให้ส่งคืนผู้ขายและขอ Lot ใหม่มาแทน

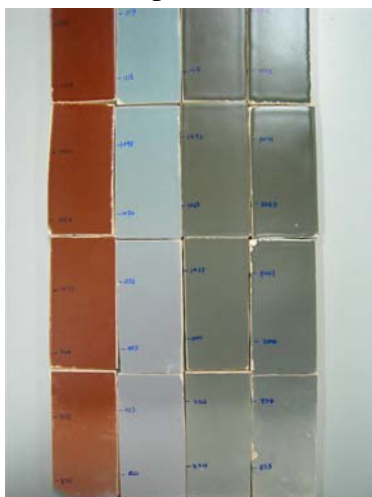
5. โทนสีที่เราต้องการ ขึ้นอยู่กับสีตัวอย่างหรือเคลือบตัวอย่างที่ถูกคัดเลือก ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสีพิเศษที่มาจากสีผสมของผู้ผลิต ซึ่งไม่แนะนำให้ซื้อ แนะนำให้เราผสมเองจากสีอะครีลิกที่เรามี อาจทำการทดลองเก็บเอาไว้ เป็นตัวอ้างอิงว่าสีนี้ผสมกับสีนั้นแล้วได้ออกมาเป็นโทนอย่างไร และอย่าผสมกันมากเกินไป เพราะนั่นจะทำให้เราทำงานยากทั้งในตอนปรับสีเวลาที่สีไม่ผ่าน Firing test และทั้งการซั่งสีในการเตรียมวัตถุดิบของแผนก ผลิตสีเคลือบ

6. องค์ประกอบทางเคมีของสี ซึ่งทุกครั้งที่ซื้อสีจากผู้ขายจะต้องขอรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี ของสีด้วยทุกครั้งเพื่อที่เราจะได้ทราบว่าสีที่เราซื้ออยู่นี้เข้ากันได้กับเคลือบและวัตถุดิบในสูตรเคลือบหรือไม่

7. คำหันทที่พบ เมื่อทำการทดสอบสีในเคลือบนอกจากจะต้องดูเรื่องของเจดสี ความเข้มสีแล้ว สิ่งที่เป็น อีกเรื่องที่ต้องดูด้วยคือเรื่องคำหันทที่เกิดขึ้น ที่มีผลมาจากสีอะครีลิก เช่น รุเข็ม เคลือบเป็นหลุม สีเข้มขอบ

8. ราคา สิ่งสำคัญของการเลือกใช้สีอะครีลิกในแต่ละตัวก็คือเรื่องราคาเพราะสีอะครีลิกมีราคาสูงและถ้าในสูตร ที่ใช้เปอร์เซ็นต์สีมากก็จะกลายเป็นต้นทุนที่สูงมาก แต่ต้นทุนก็ไม่ใช่ว่าเรื่องที่เราต้องพิจารณาอย่างเดียว เนื่องจากเราต้องดูค่าความเข้มของสีและเจดสีประกอบกันไปด้วย สีบางบริษัทมีราคาถูกจริงแต่ความเข้ม ของสีอ่อนเนื่องจากการผสมตัวที่จะลดต้นทุนลงไปเช่น ใส่ทรายเพิ่ม ใส่เฟลด์สปาร์เพิ่ม ซึ่งจะทำให้สีที่ ใช้มีค่า L,a,b ต่างไปจากเดิม และถ้าสีอ่อนเกินไปผู้ผลิตก็จำเป็นต้องเติมสีเข้าไปในจำนวนมากและทำ ให้ต้นทุนของเคลือบสูงขึ้น

9. ค่า Firing range ของสี เนื่องจากสีแต่ละตัวหรือแต่ละผู้ผลิตนั้นมีค่าความกว้างในการเผาที่แตกต่างกัน ซึ่งสีอะครีลิกที่ไม่ควรมีค่านี้แคบเกินไปเพราะจะทำให้เกิดปัญหาเจดเพี้ยนได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิในการ เผาเปลี่ยนแปลงไป การทดสอบสามารถทำได้โดยการนำสีเคลือบที่ใส่สีอะครีลิกนั้นๆ ไปเผาที่เตา Temperature Gradient เพื่อดูค่าสีที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงอุณหภูมิ



-การตรวจรับตัว Additive ได้แก่พวก Binder, Deflocculant, Dispersing agent

การตรวจรับสารเคมีเหล่านี้จำเป็นต้องดูจุดประสงค์ของการนำไปใช้งานและจึงนำมากำหนดวิธีการตรวจวัด เช่น ตัว Binder จุดประสงค์ในการเติมก็เพื่อให้เคลือบยึดเกาะกับเนื้อดินได้ดีไม่กระเทาะง่าย ดังนั้นการตรวจรับ Binder จะตรวจดูการยึดเกาะโดยการเติมลงไปเคลือบ จับเวลาดูเรื่องการแห้งตัว และนำเทปกาวมาติดที่ผิวเคลือบมาตรฐานกับเคลือบที่ทดสอบตัวยึดเกาะแล้วลอกเทปกาวออกเพื่อดูว่าผงสีเคลือบหลุดลอกออกมาอย่างน้อยเพียงใด ถ้าหลุดออกมาแสดงว่าการยึดเกาะไม่ดีพอ และถ้าเคลือบแห้งตัวเร็วเกินไปก็จะมีปัญหาในเรื่องของรูเข็มหลังเผาได้ สำหรับตัว Deflocculant นั้น จะนำมาเติมในเคลือบสูตรมาตรฐานเทียบกับสูตรที่ใช้ตัว Deflocculant มาตรฐาน และดูเรื่องการไหลตัว (Flow test) หรือดูค่า Overswing หรือวัดโดยใช้เครื่อง Brookfield และทำการวัดค่า Thixotropy ของน้ำเคลือบเทียบกับมาตรฐานด้วย

กระบวนการผลิตสีเคลือบ กระบวนการผลิตสีเคลือบนั้นมีส่วนสำคัญมากที่จะทำให้เคลือบของเรามีคุณภาพหรือไม่ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง และพนักงานรวมทั้งหัวหน้าที่ดูแลงานด้านการผลิตสีเคลือบนั้นจะต้องเป็นบุคคลที่มีระเบียบวินัยในการทำงานที่ดีมาก กระบวนการเตรียมสีเคลือบนี้เริ่มตั้งแต่

-การชั่งวัตถุดิบ

การชั่งวัตถุดิบนั้นจะต้องดูค่าความเหมาะสมของความละเอียดของเครื่องชั่งกับปริมาณน้ำหนักที่เราชั่ง ถ้าชั่งปริมาณน้อยหรือเป็นสีหรือวัตถุดิบที่ถ้าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงจะทำให้ผลผลิตเปลี่ยนแปลงจะทำได้ไม่ดี

จำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งที่ละเอียดเพียงพอเช่น ใช้ความละเอียดเป็นทศนิยมสองตำแหน่ง

ภาชนะที่ใช้บรรจุวัตถุดิบก็ต้องดูแลรักษาความสะอาด ไม่ควรใส่ไว้ในภาชนะที่เป็นเหล็กหรือสังกะสีเพราะมีโอกาสเกิดสนิมขึ้นได้จากความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบเองหรือเกิดการกัดกร่อน โดยวัตถุดิบบางตัวเช่น NaCl, MgCl<sub>2</sub>

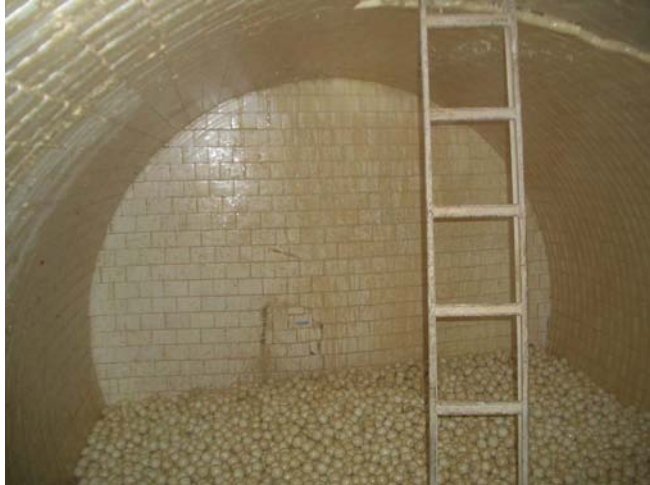
หลังจากการชั่งวัตถุดิบแล้วควรเก็บตัวอย่างของวัตถุดิบแต่ละตัวใส่ถุงพลาสติกไว้อย่างน้อย 100 กรัมในกรณีที่เป็นวัตถุดิบและ 50 กรัมในกรณีที่เป็นสีสะเตน เพื่อเอาไว้ตรวจสอบถ้ากรณีทีสีเคลือบ Batch นั้นพบปัญหาสีเพี้ยนหรือพบตำหนิบางประการเช่นรูเข็ม สีเคลือบดึงตัว หน้าหลุม



-การบดสีเคลือบ

ต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบด ได้แก่ การควบคุมระดับของลูกบด, สัดส่วนของลูกบด, ปริมาณการเติมวัตถุดิบ, ปริมาณการเติมน้ำ, การเติม Additive, ความเร็วรอบของหม้อบด, ขนาดของหม้อบด (รายละเอียดหาอ่านได้ใน [www.thaiceramicsociety.com](http://www.thaiceramicsociety.com)) ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้ช่วงโมเมนต์น้ำเคลือบของเราใกล้เคียงกันในแต่ละ Batch ซึ่งจะทำให้ความละเอียดของน้ำเคลือบมีความสม่ำเสมอ เพราะการที่ปัจจัยในการบดเปลี่ยนแปลงไปนั้นเช่นใช้หม้อบดคนละขนาดกันแต่บดสีเคลือบสูตรเดียวกัน หรือระดับลูกบดที่เปลี่ยนไป

จนทำให้ช่วงโหมงบดมากขึ้นจะทำให้ค่า Particle size distribution ของน้ำเคลือบแตกต่างกันต่างๆที่เราอาจจะเช็คค่า%กากค้างตะแกรง (%Residue) ได้ใกล้เคียงกัน ทำให้ผิวหน้าและเจดสีของเคลือบหลังเผามีความผันแปรไปจากเดิมได้ นอกจากนี้ภายในหม้ออบเราจำเป็นต้องหมั่นตรวจตรา รวมทั้งฝ่าหม้อ เพราะมีโอกาสที่ Liner จะสึกจนถึงชั้นของเหล็กซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาจุดเหล็กปนไปในน้ำเคลือบได้



-การกรองสีเคลือบและการผ่านแม่เหล็ก

การกรองสีเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งอีกเรื่องหนึ่ง ซึ่งถ้าเราใช้ตะแกรงกรองน้ำเคลือบที่มีความละเอียดไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาหยาบ รุปรุนเกิดขึ้นกับผิวเคลือบของเราได้ โดยปกติถ้าในกรณีที่เป็นเคลือบฟritสำหรับกระเบื้องเซรามิก สีเคลือบที่กรองควรใช้ตะแกรงอย่างน้อย 150 เมช สำหรับงานสุขภัณฑ์และถ้วยชามซึ่งเป็นเคลือบที่ใช้วัตถุดิบ (Raw glaze) และต้องการความเรียบเนียนของผิวหน้ามากควรใช้ตะแกรงกรองเคลือบอย่างน้อย 200 เมช การที่เราใช้ตะแกรงเบอร์ละเอียดในการกรองเคลือบจะทำให้ใช้เวลาในการกรองนานขึ้น ยิ่งถ้าสีเคลือบมีความหนืดมากก็จะทำให้เกิดปัญหาในการกรองได้

สำหรับแม่เหล็กที่ใช้ในการดูดเศษเหล็กในน้ำเคลือบนั้นนิยมใช้เป็นชุด Ferro magnetic ที่มีรังผึ้งอยู่ภายใน เมื่อเปิดระบบไฟฟ้า ที่รังผึ้งก็จะถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เมื่อเราเปิดน้ำเคลือบเข้าสู่ชุด Ferro magnetic ก็จะสามารถดูดเศษเหล็กต่างๆที่อยู่ภายในน้ำเคลือบได้ การต่อชุด Ferro magnetic นั้นควรต่อให้น้ำเคลือบเข้าทางด้านล่างเพื่อให้น้ำเคลือบมีเวลาที่พอจะค่อยๆผ่านรังผึ้งซึ่งจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการดูดเหล็กที่ดีกว่า การปล่อยเข้าด้านบนและอาศัยแรงโน้มถ่วงให้เคลือบไหลลงซึ่งน้ำเคลือบจะไหลเร็วกว่า นอกจากชุด Ferro magnetic แล้วบางโรงงานอาจใช้เป็นแท่งแม่เหล็กถาวรวางไปในท่อแล้วปล่อยให้เคลือบวิ่งผ่าน ซึ่งประสิทธิภาพจะดีกว่าการดูดเหล็กโดยอาศัย Ferro magnetic ข้อควรระวังของการใช้แม่เหล็กก็คือสำหรับสีที่เราตั้งใจใส่เหล็กเข้าไปเช่นเคลือบโลหะ เคลือบสีดำ เคลือบเหล็ก น้ำเคลือบไม่ควรผ่านแม่เหล็กเพราะชุดแม่เหล็กจะดูดเอาเหล็กในเคลือบออกไปบางส่วนทำให้สัดส่วนในสูตรเพี้ยนไปจากเดิม



### การเก็บสต็อกน้ำเคลือบ

ในการเก็บสีเคลือบนั้นส่วนใหญ่จะเก็บไว้ในถังพลาสติกซึ่งจะต้องปิดฝาอย่างดีเพื่อป้องกันสิ่งเจือปนที่อาจจะตกลงไปในสีเคลือบ บางโรงงานที่ต้องใช้สีเคลือบปริมาณมากอาจจัดเก็บไว้ในบ่อกวนช้า ซึ่งก็ต้องปิดฝาเช่นกัน สำหรับการใส่สีเคลือบในบ่อกวนนั้นจะต้องระมัดระวังในเรื่องของน้ำมันจากมอเตอร์เกียร์ที่ใช้ขับใบกวนที่จะหยดปนเปื้อนลงไปบ่อกวนได้ และปัญหาที่พบมากอีกประการคือถ้าในกรณีที่มีสีเคลือบหนืดเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาสีเคลือบเป็นวุ้นหรือจับกันเป็นก้อนซึ่งจะทำให้คุณสมบัติด้านการไหลตัวของเคลือบเปลี่ยนแปลงไป การเก็บสีเคลือบไว้นานเกินไปนั้นจะทำให้สีเคลือบเกิดการบวมหรือเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะเคลือบที่มีการเติม CMC และมีดินในสูตรปริมาณมาก เพราะ CMC จะถูกแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำทำลายไป ทำให้ค่าความหนืดเปลี่ยนไป ดังนั้นถ้าจำเป็นต้องเก็บสีเคลือบไว้นาน ก่อนนำมาใช้ใหม่ควรทำ Firing test ซ้ำอีกครั้งถึงแม้ว่าสีเคลือบจะเคยผ่าน Firing test มาแล้วครั้งหนึ่ง เพราะคุณสมบัติอาจเปลี่ยนแปลงไปแล้วก็ได้





## การควบคุมคุณภาพของสีเคลือบก่อนเผา

### ความหนาแน่น (Density)

ค่าความหนาแน่นของเคลือบนั้นสำคัญทั้งในตอนที่บด ตอนที่ถ่ายน้ำเคลือบ และตอนเคลือบสี ในขั้นตอนของการบด ถ้าเราใช้ค่าความหนาแน่นสูงเกินไปจะทำให้เคลือบบดไม่ละเอียดและต้องใช้เวลาในการบดนานขึ้น ส่วนตอนถ่ายสีถ้าเราถ่ายที่ความหนาแน่นสูงมากก็จะทำให้มีค่าความหนืดสูงมากเช่นกันซึ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียของน้ำเคลือบที่ค้างอยู่ในหม้อบดจำนวนมาก ยิ่งถ้ามีการเปลี่ยนสีและต้องล้างหม้อบดใหม่ก็จะยิ่งทำให้เกิดความสูญเสียมากขึ้น สำหรับความหนาแน่นที่เราใช้ในการเคลือบสีนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการเคลือบเป็นหลัก ถ้าเคลือบโดยการหุบจะใช้ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.4-1.5 g/cc ถ้าใช้การสเปรย์จะอยู่ที่ 1.6-1.7 g/cc ถ้าใช้การเคลือบโดย Double disc จะใช้ที่ 1.5-1.65 g/cc ถ้าใช้การเคลือบแบบ Water fall/ Campana จะใช้ที่ 1.8-2.0 g/cc (ขึ้นกับชนิดของสีเคลือบและฝีมือของนักเซรามิกในการกำหนดสูตรเพราะยิ่งถ้าความหนาแน่นสูง แสดงว่ามีน้ำในสูตรน้อย ก็จะพบปัญหาเรื่องการแตกร้าวลดลง)



### ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสีเคลือบจะส่งผลทั้งในด้านประสิทธิภาพในการบดเพราะถ้าสีเคลือบมีความหนืดสูงมากจะทำให้การบดยากขึ้นเพราะน้ำเคลือบจะไปจับกับลูกบดทำให้ลดการกระทบของลูกบดกับวัตถุดิบทำให้เวลาในการบดนานขึ้น นอกจากนี้ความหนืดยังกระทบกับประสิทธิภาพในการถ่ายสีเคลือบซึ่งถ้าหนืดมากก็จะมีสีค้างหม้อบดอยู่มากทำให้เกิดความสูญเสียของสีเคลือบ และที่สำคัญซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็คือเรื่องของการเคลือบสี การที่สีเคลือบมีความหนืดสูงกว่าค่าที่กำหนดจะทำให้การเคลือบมีปัญหาหน้าไม่เรียบ รวมทั้งหน้าเป็นรูพรุน เคลือบเข้ม สีดิ่งตัว หน้าเป็นหลุม ทำให้ผลิตภัณฑ์กลายเป็นตำหนิไปในที่สุด ดังนั้นเมื่อทางนักวิจัยกำหนดค่าความหนืดในการบด การถ่าย และการใช้งานมาให้ทำได้นั้น ทางหน่วยงานผลิตสีเคลือบควรจะต้องทำตามสเปคนี้กันอย่างเคร่งครัด ซึ่งค่าที่นักวิจัยกำหนดจะมีอยู่สองค่าที่สำคัญคือค่า Viscosity และ Thixotropy

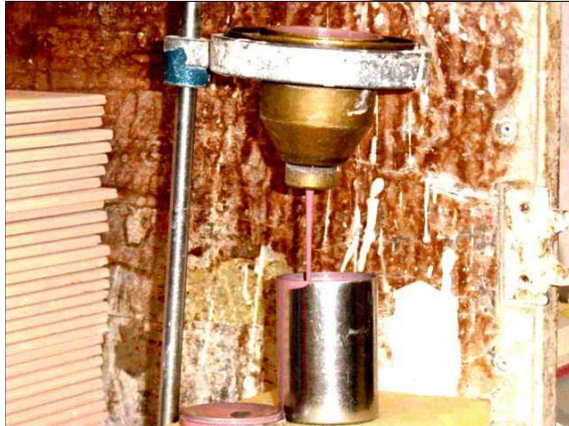
การวัดค่าความหนืดของสีเคลือบนั้นสามารถวัดได้หลายวิธี วิธีที่สะดวกและนิยมมากที่สุดคือการวัดการไหลตัวด้วย Ford cup ซึ่งถ้วยนี้จะมีปริมาตร 100 cc. และมีรูเปิดอยู่ที่ 4 mm. การวัดด้วย Ford cup จะเหมาะกับการใช้งานในโรงงานเพราะถ้วยวัดนี้ใช้งานง่าย ไม่เสียหายง่าย พนักงานทุกคนสามารถใช้งานได้

เพียงแต่มีข้อเสียคือค่าที่ได้จะหยาบเกินไป และถ้าความหนืดมากเกินไปในกรณีของสีสกรีนที่ใช้ Medium oil เป็นตัวผสมจะไม่สามารถวัดด้วยการใช้ Ford cup ได้

เครื่องมือที่ละเอียดขึ้นในการวัดค่าความหนืดคือเครื่อง Torsion viscometer ใช้วัด Overswing ซึ่งค่าที่ได้จะละเอียดกว่า Ford cup แต่การทำงานต้องอาศัยความละเอียด แม่นยำ และต้องหมั่น Calibrate เครื่องอยู่เสมอๆ แต่เครื่องนี้ก็ติดปัญหาตรงที่ว่าไม่สามารถวัดความหนืดที่ค่าสูงๆ ได้และเครื่องมือนี้ค่อนข้างบอบบางต้องมีที่ตั้งประจำและมีผู้ดูแลเฉพาะเป็นพิเศษ

เครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดค่าความหนืดมากที่สุดคือเครื่อง Brookfield เพราะเครื่องนี้สามารถวัดค่าความละเอียดได้ทั้งในกรณีที่ของเหลวมีค่าความหนืดต่ำมากไปจนถึงของเหลวที่มีความหนืดสูงมากได้ โดยการเปลี่ยนใบ Spindle และปรับค่าความเร็วของใบ Spindle เครื่องนี้สามารถวัดได้ทั้งค่า Viscosity, Thixotropy, Yield point ซึ่งค่าที่ได้จะมีความละเอียดสูง ข้อเสียของเครื่องนี้คือมีราคาแพง ต้องดูแลเป็นพิเศษ ใช้เวลาในการวัดนานกว่า Ford cup

สำหรับเครื่องที่ดีที่สุดในการวัดค่าความหนืดก็คือเครื่อง Viscometer ซึ่งนอกจากจะใช้ในการวัดค่า Viscosity, Thixotropy, Yield point ได้แล้ว ยังสามารถวัดค่า Shear rate, Shear stress และเขียนกราฟของ Rheology ได้ด้วย



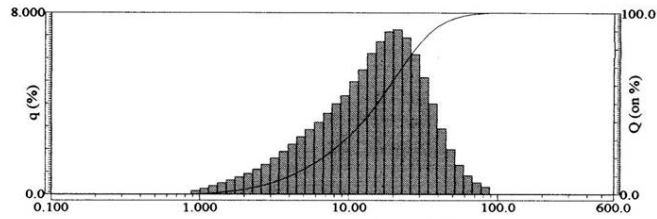
## % กากล้างตะแกรง (% Residue)

เมื่อเราทำการบดสีเคลือบให้ได้ตามเวลาในการบดที่กำหนดไว้แล้วนั้น ตัววัดที่จะบอกว่าสีเคลือบของเรานั้นได้ความละเอียดตามที่เรต้องการหรือไม่ก็คือการวัดค่า % กากล้างตะแกรง (% Residue) การวัดค่าจะนำเอาสีเคลือบมาผ่านตะแกรงตามเบอร์ที่ทางนักวิจัยได้กำหนดไว้ ซึ่งโดยปกติถ้าเป็นการวัดค่ากากของสีเคลือบควรจะใช้ตะแกรงเบอร์ 325 เมช ซึ่งถ้าสีเคลือบมีค่ากากล้างตะแกรงมากกว่า spec ก็จะทำให้ผิวหน้าเคลือบหลังเผาเกิดปัญหาหยาบหยาบ ผิวหน้าไม่มันเท่าSTD ผิวเคลือบมีลักษณะเป็นเหมือนเปลือกไข่ (Egg shell) หรือมีลักษณะเป็นผิวส้ม (Orange peel) แต่ถ้าสีเคลือบมีค่ากากล้างตะแกรงต่ำกว่า spec จะทำให้เกิดปัญหาสีเคลือบดึงตัว แต่การวัดค่า%กากล้างตะแกรงก็ยังมีโอกาสผิดพลาดได้ แม้แต่การวัดโดยพนักงานคนเดียวกัน วัดค่าแต่ละครั้งยังได้ค่าไม่เท่ากัน เพราะการวัดค่ากากล้างตะแกรงเป็นการสุ่มตัวอย่างสีเคลือบมาเพื่อทำการวัดเท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการค่าที่ถูกต้องและละเอียดขึ้น จำเป็นต้องใช้การหาค่าการกระจายตัวของอนุภาคโดยใช้เครื่อง Particle size analyzer

## ค่าการกระจายตัวของอนุภาค (Particle size distribution)

เป็นค่าของความละเอียดของสีเคลือบที่ใช้เลเซอร์เป็นตัวนับและคำนวณขนาดของอนุภาค จึงมีความแม่นยำสูงกว่าการวัดค่าความละเอียดโดยการเช็ดด้วยตะแกรง แต่มีราคาของเครื่องที่แพงมาก รวมทั้งการใช้งานต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญจึงจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการทดสอบก็มีต้นทุนที่สูง ดังนั้นในการนำตัวอย่างมาตรวจสอบจึงควรเลือกตัวอย่างที่เป็นประโยชน์ที่สุดในการนำไปวิเคราะห์ผลเพื่อการควบคุมคุณภาพค่าที่อ่านได้นิยมมักดูค่าที่ d90 ซึ่งหมายถึงว่าอนุภาคที่ 90% ของทั้งหมดมีค่าเป็นขนาดเฉลี่ยที่ไมครอน เช่น ตัวอย่างจากกราฟนี้จะพบว่าค่า d90~39 micron นอกจากนี้ก็มีค่า d50 ที่มักสนใจที่จะดูค่า รวมทั้ง%ของอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 2 และ 10 micron เพื่อจะดูขนาดอนุภาคที่ละเอียดว่ามีค่าอยู่เท่าใด ในโรงงานที่ต้องการควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวด หรือโรงงานประเภทที่ผลิตเกรด A มากกว่า 90% จะใช้ค่า d90 ในการควบคุมความละเอียดของสีเคลือบแทนการใช้ค่า % Residue แต่อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญก็คือเราต้องควบคุมประสิทธิภาพในการบดให้ได้ เราจึงจะได้ค่าความละเอียดที่ถูกต้อง ดังนั้นการมาคุมที่ค่าปลายทางคือค่า PSD นี้ก็จะทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ซึ่งแนวคิดที่ถูกต้องคือเราต้องคุมตั้งแต่ต้นทางก็คือ ซังสูตรให้ถูก ตรวจวัดดูดิบให้ดี หากค่าความชื้นให้ถูกต้อง ควบคุมการบดให้เหมาะสม โดยดูหัวโม่บด ตรวจเช็คระดับลูกบดเสมอและมีการถ่ายลูกบดเพื่อมาคัดขนาด คุมค่าความชื้นและความหนาแน่นในการบดเคลือบ กรองด้วยตะแกรงที่เหมาะสมเสมอ ถ้าทำได้เท่านั้นค่า d90 ของเราก็จะไม่วิ่งไปไหนไกลและจะควบคุมค่าการกระจายตัวของข้อมูลได้ดี



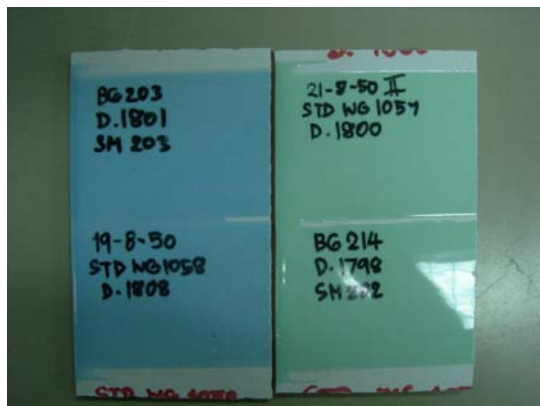


No.	Diameter(µm)	q (%)	Upper %	No.	Diameter(µm)	q (%)	Upper %	No.	Diameter(µm)	q (%)	Upper %
1	0.115	0.000	0.000	27	3.905	1.887	9.492	53	133.103	0.000	100.000
2	0.131	0.000	0.000	28	4.472	2.206	11.698	54	152.453	0.000	100.000
3	0.150	0.000	0.000	29	5.122	2.531	14.229	55	174.616	0.000	100.000
4	0.172	0.000	0.000	30	5.867	2.850	17.079	56	200.000	0.000	100.000
5	0.197	0.000	0.000	31	6.720	3.179	20.258	57	229.075	0.000	100.000
6	0.226	0.000	0.000	32	7.697	3.577	23.835	58	262.376	0.000	100.000
7	0.259	0.000	0.000	33	8.816	3.989	27.824	59	300.518	0.000	100.000
8	0.296	0.000	0.000	34	10.097	4.345	32.169	60	344.206	0.000	100.000
9	0.339	0.000	0.000	35	11.565	4.960	37.129	61	394.244	0.000	100.000
10	0.389	0.000	0.000	36	13.246	5.491	42.620	62	451.556	0.000	100.000
11	0.445	0.000	0.000	37	15.172	6.212	48.831	63	517.200	0.000	100.000
12	0.510	0.000	0.000	38	17.377	6.728	55.559	64	592.387	0.000	100.000
13	0.584	0.000	0.000	39	19.904	7.164	62.724				
14	0.669	0.000	0.000	40	22.797	7.250	69.973				
15	0.766	0.000	0.000	41	26.111	6.901	76.874				
16	0.877	0.000	0.000	42	29.907	6.169	83.043				
17	1.005	0.150	0.150	43	34.255	5.140	88.184				
18	1.151	0.257	0.406	44	39.234	3.989	92.172				
19	1.318	0.382	0.788	45	44.938	2.889	95.062				
20	1.510	0.509	1.297	46	51.471	1.977	97.038				
21	1.729	0.630	1.927	47	58.953	1.296	98.334				
22	1.981	0.765	2.692	48	67.523	0.825	99.159				
23	2.269	0.912	3.604	49	77.339	0.517	99.676				
24	2.599	1.095	4.699	50	88.583	0.324	100.000				
25	2.976	1.321	6.020	51	101.460	0.000	100.000				
26	3.409	1.585	7.605	52	116.210	0.000	100.000				

### การควบคุมคุณภาพของเคลือบหลังเผา

- เกรดสี ดูด้วยสายตา หรือวัดด้วยเครื่องวัดสี

การเทียบเกรดสีนั้น จำเป็นจะต้องเผาเทียบร่วมกับตัว STD เสมอ เพื่อที่จะได้ใช้เปรียบเทียบกันเอง เนื่องจากบางครั้งเตาของเราอาจมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและบรรยากาศทำให้สีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ เมื่อเผาเทียบกันแล้วจะนำมาดูด้วยสายตาเพื่อเปรียบเทียบสี หรือจะใช้เครื่องวัดสีเพื่อดูค่า L,a,b เพื่อใช้ร่วมในการเปรียบเทียบก็จะมีค่าที่ถูกต้องมากขึ้น และค่าจากเครื่องวัดสีนี้ยังใช้เป็น Guide line ในการปรับสีได้ด้วย



- ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

สีเคลือบหลังเผานั้น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (COE) เพราะถ้าค่า COE ของเคลือบเกิดต่ำลงจนห่างจากเนื้อดินมากก็จะพบปัญหาเคลือบร่อนหรือกระเทาะหลุดออกมาจากเนื้อ

คืนได้ แต่ถ้าเคลือบมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อดินหรือสูงกว่าก็จะพบปัญหาเคลือบรạnตัวได้เช่นกัน ซึ่งความแตกต่างของ COE ที่เกิดขึ้นในการผลิตสีเคลือบในแต่ละครั้งต่างๆที่มาจากเคลือบสูตรเดียวกันนั้นก็มาได้จากค่าความละเอียดในการบดที่เปลี่ยนไป ปริมาณสีอะเตนที่อาจเติมเพิ่มเพื่อปรับสีในกรณีที่ไม่ผ่าน Firing test ขนาดของเม็ดฟritที่เปลี่ยนแปลงไป การมีฟritเม็ดใหญ่ค้างอยู่ในหม้อบดและถูกบดต่อใน Batch ถัดไป รวมทั้งปริมาณ soluble salt ที่มีอยู่ในสีอะเตนราก็ด้วย



-ความมันเงา

ในกรณีที่เคลือบมันเงา เราจะต้องดูค่าความมันเงาของเคลือบหลังเผาด้วย วิธีการตรวจสอบอาจใช้สายตาเปรียบเทียบหรือใช้เครื่องมือวัดค่าความมัน ที่เรียกว่าเครื่อง Glossy meter

-การไหลตัวของเคลือบที่อุณหภูมิสูง นอกเหนือจากการหาค่าการไหลตัวโดยดูจากโคนแล้ว การหาค่าการไหลตัวของเคลือบที่อุณหภูมิใช้งานก็เป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งมันจะเป็นตัวบอกว่าเคลือบมีการไหลตัวเทียบกับตัว STD อย่างไร ถ้าไหลตัวมากกว่าหรือน้อยกว่าเกินค่าขอบเขตที่กำหนดไว้แสดงว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในเคลือบของเรา อาจเป็นวัตถุดิบเปลี่ยนไปหรือการบดมีปัจจัยอะไรบางอย่างเปลี่ยนไป เราจะได้หาทางเข้าไปแก้ไขได้ก่อนที่เคลือบนั้นจะนำไปใช้งาน



-ตำหนิต่างๆที่เกิด ตำหนิที่พบบ่อยๆที่มีสาเหตุมาจากสีเคลือบก็คือ รุเข็ม รุพรุน สีดิ่งตัว หน้าหลุม เคลือบไม่เรียบ สีเพี้ยน เคลือบกะเทาะ เคลือบร่อน ซึ่งสาเหตุในการเกิดนั้นหลายตัวได้เขียนถึงไปแล้วในบทความฉบับก่อนๆ สำหรับการป้องกันนั้นก็ก็ต้องควบคุมกระบวนการผลิตสีเคลือบตามแนวทางที่ได้แนะนำไว้นี้ ถ้าเราทำตามได้ทั้งหมดและควบคุมให้อยู่ในค่า Control ที่เรากำหนดไว้รับรองว่าตำหนิเหล่านี้จะมีโอกาสเกิดน้อยมากหรืออาจหายไปจากโรงงานเราเลยก็ได้

จะเห็นได้ว่าการทำสีเคลือบให้ได้คุณภาพที่ดีนั้นต้องควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอน โดยเริ่มตั้งแต่การตรวจรับวัตถุดิบที่เดียว ในโรงงานที่ให้ความสำคัญต่อคุณภาพนั้นจะไม่ละเลยขั้นตอนใดเลย ถ้าเราไม่ยอมถูกลูกค้าต่อว่าหรือ reject สินค้า เราต้องเริ่มตระหนักต่อคุณภาพในทุกขั้นตอนเช่นนี้เสมอ หวังว่าทุกคนคง Get ในสิ่งที่ผมอยากจะบอกนะครับ