



บรรณานุกรม

- [1] Materials Engineering Prince of Songkla University. “การเผาตกแต่ง” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u7-2.htm#decoration/ (28 กันยายน 2554).
- [2] ศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ. “เคลือบ”. เอกสาร Lampang Ceramic Association, ประจำเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม 2539.
- [3] ประโยชน์ อุณฉานา. “วิทยาแร่เบื้องต้น”. เอกสารประกอบการเรียน: 2546.
- [4] สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. “น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา”. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช, 2534.
- [5] ถิ่นทิพย์ สายอินทวงศ์. “การเคลือบ” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.thaiceramicsociety.com/pc_glaze_1.php (16 มกราคม 2553).
- [6] Glassware Chemical. “แก้ววิทยาศาสตร์ โครงสร้างแก้วและสมบัติแก้ว” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://glasswarechemical.com/category/introduction-of-glass/> (16 มกราคม 2553).
- [7] Seger, H.A. “Collected writings” – Chem. Pub., 1902.
- [8] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. “รวมสูตรเคลือบเซรามิกซ์”. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2547.
- [9] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. “สีเซรามิก”. หน้า 22. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2546.
- [10] T.Robert. “Copper Red Glaze”. Previously Published. Wisconsin: Krause Publications, 1985.
- [11] สารานุกรมเสรี. “ทองแดง” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/ทองแดง> (16 สิงหาคม 2553)
- [12] สารานุกรมเสรี. “Cuprite” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cuprite> (16 สิงหาคม 2553).
- [13] ทวี พรหมพุกฤษ. เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: รุ่งเรืองรัตน์, 2523.
- [14] ครุณี วัฒนศิริเวช และ สุธี วัฒนศิริเวช. “การวิเคราะห์แร่ดิน เคลือบ และ ดำหนิในผลิตภัณฑ์เซรามิก”. กรุงเทพฯ: เอเชียเพรส, 2552.

- [15] อริญ หามูสืบสาย. “การสื่อสารอย่างแม่นยำ”. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554. (อัดสำเนา)
- [16] Ryan and Radford. Whitewares. London, The Institute of Materials 1 Carton House Terrace.
- [17] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ภาควิชาฟิสิกส์. “การสะท้อนของแสง” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/62/light1/ligh_6.htm (22 มกราคม 2553).
- [18] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. “เซรามิกส์”. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์, 2547.
- [19] โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน. เคมี2. พิมพ์ครั้งที่2 กรุงเทพฯ: มูลนิธิสอน. 2551.
- [20] ไพบุลย์ หล้าสมศรี. “ผลของสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์ในเคลือบสีแดงของทองแดงสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.
- [21] A.Paul 2nd. *Chemistry of Glasses*, Chapman and Hall London . 1990
- [22] บัญชา ธนบุญสมบัติ. “การศึกษาวัสดุโดยเทคนิคดิฟแฟรกชัน” พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ญีุ่่น, 2544.
- [23] Department of interior. 2001. “X-ray diffraction primer” [Online]. Available
<http://www.iac.nitech.ac.jp/kiki/xrd/index.html> (11 October 2010).
- [24] University of Cambridge. “X-ray crystallography” [Online]. Available:
<http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=timestoenjoy&month=11-02-2006&group=1&gblog=1>. (11 October 2010).
- [25] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. “XRF” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRF/GettingStartOf_XRFs.htm (11 ตุลาคม 2553).
- [26] Nipon Denshoku Industries. “colorstory_illust_10” [Online]. Available:
http://www.nippondenshoku.co.jp/web/english/colorstory/07_what_is_ucs.htm
 (29 September 2011).
- [27] วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. “เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการทำงาน”. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

- [28] มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. “SEM” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn/courses/5513101/termwork/sem/scan6/sem6.html> (22 กันยายน 2553).
- [29] Padovani ., Sada., Mazzoldi., copper in glazes of Renaissance luster pottery :nanoparticules,ions,and local environment. *Journal of applied physics* : Vol 93, No. 12 : 10058-10063, 2003.
- [30] Trinitat Pradell ., Judit Molera ., Andrew D Smith., Aurelio Climent., Michael S Tite., technology of Islamic luster. *Journal of cultural heritage* : e123-e128, 2008.
- [31] Violeta Lazic., Francesco Colao., Roberta Fantoni ., characterisation of luster and pigment composition in ancient pottery by laser induced fluorescence and breakdown spectroscopy. *Journal of Cultural Heritage*4 : pp. 303s-308s, 2003.
- [32] J.Roque., J. Molera., copper and silver nanocrystals in luster lead glaze: development and optical properties. *Journal of the European Society* 26 : 3813–3824, 2006.
- [33] A. Polvorinos del Rio., J. Castaing., M. Aucouturier., metallic nano-particles in lustre glazed ceramics from the 15th century in Seville studied by PIXE and RBS . *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 249 : 596–600, 2006
- [34] Linda Fröberg., and others. “ effect of soaking time on phase composition and topography and surface microstructure in vitrocryalline whiteware glazes”. *Journal of the European Ceramics Society* 29 : pp. 2153-2161, 2009
- [35] L.M. Schabbach., and others. “color in ceramic glazes: analysis of pigment and opacifier grain size distribution effect by spectrophotometer”. *Journal of the European Ceramic Society* 28, (2008)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

**เสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายพร้อมบทความ
กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประเพณีงานวิทยานิพนธ์**

**การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย 7
(The 7th Naresuan Research Conference)**

ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร

29-30 กรกฎาคม 2554

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ

นเรศวรวิจัย 7

Proceedings of the 7th Naresuan Research Conference Volume 1



ก้าวสู่ศตวรรษที่ 3
มุ่งงานวิจัยพัฒนาชาติไทยให้ยั่งยืน
29-30 กรกฎาคม 2554
มหาวิทยาลัยนเรศวร

นเรศวรวิจัย 7



Proceedings
of the 7th
Naresuan
Research
Conference

7

1 Vol.



Naresuan Research Conference

กองบริหารการวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทรศัพท์ +66 55 968 614, +66 55 968 641
โทรสาร +66 55 968 604
Dra@nu.ac.th
www.research.nu.ac.th



ผลของปริมาณและขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ และ คอปเปอร์คาร์บอเนต ที่มีต่อการ
ปรากฏสีแดงของเคลือบทองแดง

ศิวัช ลาวัลยวดีกุล* และ ศักดิพล เทียนเสม

**Effect of Quantitative and Particle Size Distribution of Copper Oxide and Copper Carbonate on
the Appearance of Red Color in Copper Red Glaze**

Siwat Lawanwadeekul* and Sakdiphon Thainsem

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

Corresponding author. E-mail address: b_siwat@hotmail.com* (L.Siwat)

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการปรากฏสีแดงของเคลือบ โดยการเติมสารคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอเนต ที่ไม่ผ่านการบด และผ่านการบดเป็นเวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง ลงในเคลือบพื้นฐาน ในปริมาณ 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการเคลือบบนชิ้นทดสอบ นำไปผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบรีดักชัน จากนั้นทำการทดสอบสีโดยเครื่อง Colorimeter และ เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคโดยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) และวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังการเผาเคลือบ โดย X-Ray Diffraction (XRD) ผลการศึกษาพบว่า ที่เวลาการบด 4 ชั่วโมงของคอปเปอร์ออกไซด์ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 13.88 ไมโครเมตร ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าการปรากฏของสีแดงดีที่สุด

คำสำคัญ : Copper Glaze, Particle Size, Stoneware

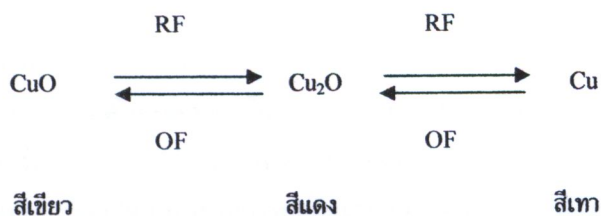
Abstract

The objective of the study was optimization of the appearance of red color in copper red glaze. Copper oxide and copper carbonate non-grinded and grinded for 4, 8 and 16 hours were used as additive. The glaze was coated on the specimen at 10, 15, 20, 25 and 30 %wt. The specimens were fired at 1230°C in reduction atmosphere and tested by the Colorimeter, UV-Visible Spectrophotometer, Scanning Electron Microscope (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD). The results showed 10 percent of 13.88 um average particle size of grinded 4 hours copper oxide that presented in specimens after fired was the optimized parameters for red appearance of specimen.

Keywords: Copper Glaze, Particle Size, Stoneware

บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาในปัจจุบันมีการพัฒนาไปมาก แต่ก็ยังต้องการปรับปรุงพัฒนาสูตรเคลือบที่ใช้อยู่ตลอดเวลา โดยจุดมุ่งหมายหลักของการปรับปรุงและพัฒนาสูตรเคลือบ คือ การลดอุณหภูมิในการเผาโดยที่คุณสมบัติของเคลือบไม่เปลี่ยนแปลง สามารถทำให้เข้ากับเทคนิคการตกแต่งโดยวิธีต่างๆได้ และสามารถควบคุมคุณภาพของน้ำยาเคลือบให้คงที่ ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (ศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ, 2539) เคลือบทองแดง (Copper Red Glaze) เป็นเคลือบอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากราคาซื้อขายค่อนข้างแพง แต่ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เป็นที่ยอมรับกันว่าทำขึ้นได้ยาก โดยเฉพาะการทำให้เกิดสีแดงอย่างเด่นชัด อันเนื่องมาจากการใช้ทองแดงเป็นส่วนประกอบหลักในการทำให้สีแดงปรากฏขึ้น (ไพบูลย์, 2549) เนื่องจากปฏิกิริยาของทองแดงสามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ ซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี เมื่อได้รับความร้อนและบรรยากาศที่แตกต่างกันในการเผา รูปแบบของทองแดงเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้แก่ CuO , Cu_2O และในรูปของโลหะ Cu ดังการแสดงการเปลี่ยนแปลงไปกลับปฏิกิริยาเคมีของโลหะทองแดงและทองแดงออกไซด์ ภายใต้การเผาด้วยบรรยากาศรีดักชันและออกซิเดชัน เกิดปฏิกิริยาดังนี้



รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงไปกลับปฏิกิริยาเคมีของโลหะทองแดงและทองแดงออกไซด์ ภายใต้การเผาด้วยบรรยากาศรีดักชันและออกซิเดชัน

เมื่อสารตั้งต้นของออกไซด์ทองแดงในรูปแบบของคิวปริกออกไซด์ (CuO) ถูกเผาด้วยบรรยากาศรีดักชัน (RF) ได้รูปแบบคิวปริสออกไซด์ (Cu_2O) เมื่อเผาด้วยบรรยากาศรีดักชันอย่างต่อเนื่องกลายเป็นโลหะทองแดง (Cu) ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากบรรยากาศการเผาในเตา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 1230-1300 องศาเซลเซียส หรือมากกว่าด้วยบรรยากาศรีดักชันตลอดกระบวนการเผา เมื่อเสร็จสิ้นการเผาทั้งให้เย็นตัวลงโดยนิยมให้บรรยากาศภายในเตาเป็นออกซิเดชัน (OF) เพื่อลดการเกิดเขม่าภายในเตา จึงทำให้โลหะทองแดง (Cu) จะถูกเปลี่ยนมาเป็นรูปแบบของคิวปริส (Cu_2O) และ คิวปริก (CuO) ตามลำดับสังเกตและประเมินจากสีที่ปรากฏจะพบว่า CuO จะให้สีเขียว Cu_2O จะให้สีแดง ส่วนโลหะของ Cu ให้สีเทา (ไพจิตร, 2546) หลังจากเคลือบถูกเผาในอุณหภูมิสูง วัตถุตั้งต้นซึ่งเป็นสารประกอบต่างๆ จะแตกตัวเป็นไอออน เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงไอออนเหล่านั้นจะมาจับตัวกันเป็นออกไซด์ ซึ่งคอปเปอร์ไอออนเมื่อไปรวมตัวไอออนของสารชนิดอื่น เช่น ซิลิกอน เกิดเป็นคอปเปอร์ซิลิเกต ซึ่งเกิดได้หลายแบบเช่น CuSiO_3 หรือ Cu_2SiO_2 ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของออกไซด์ทองแดงได้ดี ขึ้นกับปัจจัยหลายชนิด เช่น ขนาดอนุภาคและปริมาณของสารตั้งต้น โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าขนาดอนุภาคขนาดใหญ่เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก เมื่อ

ได้รับความร้อนจากการเผาอนุภาคขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากทำปฏิกิริยาได้ดี เหตุนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาถึงขนาดอนุภาคและปริมาณของตัวเติมที่เหมาะสมในการทำให้เกิดสีแดงที่เด่นชัด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำดินหล่อ และ เคลือบพื้นฐานสำเร็จรูปจาก โรงงานแหลมทองเซรามิก จังหวัดลำปาง นำมาทำการศึกษาลักษณะเฉพาะ ของวัตถุดิบโดย การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีโดยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) รุ่น Magix pro T04005 บริษัท Philips ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำดินหล่อและเคลือบใส

ชนิดตัวอย่าง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI
น้ำดินหล่อ	71.69	18.65	1.30	0.22	0.05	0.09	0.13	2.65	0.45	4.50
เคลือบใส	64.62	13.89	0.80	0.10	0.01	7.17	0.19	4.16	2.21	6.53

ทำการขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยการหล่อแบบ ทำให้แห้งโดยการผึ่งแห้งในอากาศ ทำการบดสารคอปเปอร์ ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอเนตในหม้อบด เป็นเวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง นำไปวัดขนาดและการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเครื่อง Particle Size Analyzer (ซึ่งใช้การวัดแบบ D [4, 3]) รุ่น Mastersizer บริษัท Malvern พบว่าสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ผ่านการบดมีขนาดอนุภาค 24.72 ไมโครเมตร ส่วนสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบดเป็นเวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 13.88, 10.84 และ 5.46 ไมโครเมตร ตามลำดับ และสารคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ไม่ผ่านการบดมีขนาดอนุภาค 9.89 ไมโครเมตร ที่ผ่านการบดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.60, 2.06 และ 1.73 ไมโครเมตร ผสมลงในเคลือบใส ในปริมาณ 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก วัดค่าความถ่วงจำเพาะของเคลือบให้อยู่ในระหว่าง 1.50–1.55 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร นำน้ำเคลือบชุบขึ้นทดสอบที่เตรียมไว้ ควบคุมความหนาของเคลือบบนชิ้นทดสอบให้ความหนาในช่วงระหว่าง 2.4–2.9 มิลลิเมตร ผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำขึ้นทดสอบ เผาที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศแบบรีดักชัน นำขึ้นทดสอบที่ผ่านการเผามาทดสอบโดยเครื่องวัดสีรุ่น Color reader CR-10 บริษัท Minolta ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดสี แสดง ออกเป็น ค่า L*, a* และ b*

L* แสดงค่าความสว่างของชิ้นทดสอบ กรณีที่ค่าที่ได้เป็นบวกแสดงว่าชิ้นทดสอบมีความสว่างมาก กรณีเป็นลบแสดงว่าชิ้นทดสอบมีลักษณะมืดหรือทึบ

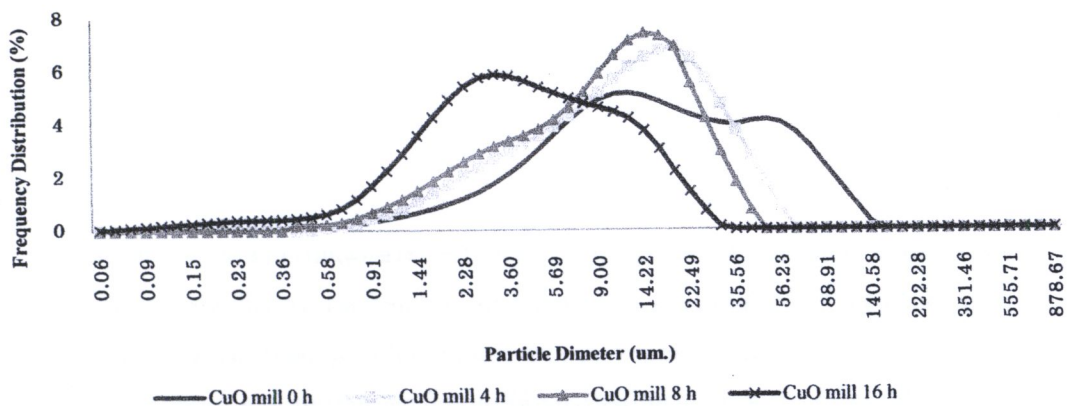
a* กรณีที่ค่าที่ได้เป็นบวกแสดงว่าชิ้นทดสอบมีเจดสีอยู่ในโทนสีแดง กรณีเป็นลบแสดงว่าชิ้นทดสอบมีเจดสีอยู่ในโทนสีเขียว

b* กรณีที่ค่าที่ได้เป็นบวกแสดงว่าชิ้นทดสอบมีเจดสีอยู่ในโทนสีเหลือง กรณีเป็นลบแสดงว่าชิ้นทดสอบมีเจดสีอยู่ในโทนสีน้ำเงิน

วัดค่าการสะท้อนของแสงโดย UV-Visible Spectrophotometer รุ่น 50Conc บริษัท Varian ทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณพื้นผิวของเคลือบและการเกิดผลึกบนผิวของเคลือบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น JSM-5910LV บริษัท JEOL และวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังการเผาเคลือบโดย เครื่อง X-Ray Diffraction; XRD รุ่น X pert pro MPD X-ray บริษัท Panalytical

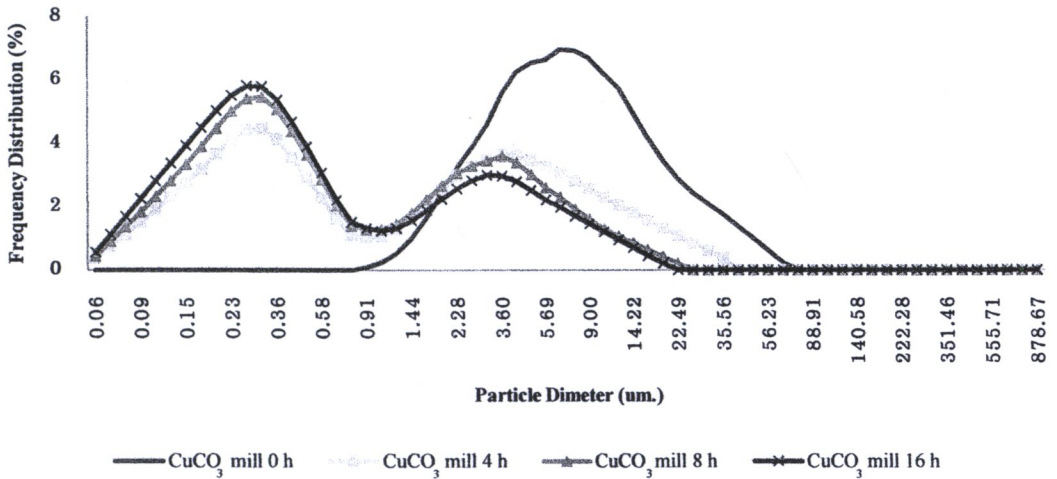
ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

ผลการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ไม่ผ่านการบด และผ่านการบดในหม้อบด เป็นเวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ผ่านการบด และผ่านการบดในหม้อบด เป็นเวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง

จากรูปที่ 2 แสดงความแตกต่างระหว่างการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของ สารคอปเปอร์ออกไซด์ พบว่ามีอาการกระจายตัวค่อนข้างกว้าง โดยขนาดอนุภาคของสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ผ่านการบดมีการกระจายขนาดอนุภาคแบบ Bimodal มีค่าเฉลี่ยที่ 24.72 ไมโครเมตร และเมื่อผ่านการบดเป็นเวลา 4, 8, 16 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคมีแนวโน้มที่จะลดขนาดเล็กลง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 13.88, 10.84 และ 5.46 ไมโครเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ไม่ผ่านบด และผ่านการบดในหม้อบด เป็นเวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3 แสดงความแตกต่างระหว่างการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของ สารคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ไม่ผ่านการบดมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแบบ Monomodal มีค่าเฉลี่ยที่ 9.89 ไมโครเมตร เมื่อผ่านการบดมีการกระจายขนาดอนุภาคมีลักษณะแบบ Bimodal ทั้งหมด มีการลดขนาดอนุภาคลงเล็กน้อย โดยค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ผ่านการบดเป็นเวลา 4, 8, 16 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคที่ 3.60, 2.06 และ 1.73 ไมโครเมตร ตามลำดับ และพบว่าขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของคอปเปอร์คาร์บอเนตมีขนาดเล็กกว่าคอปเปอร์ออกไซด์

หลังการเผาขึ้นทดสอบที่ผ่านการชุบเคลือบ โดยใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ไม่ผ่านการบด และผ่านการบดเป็นเวลา 4, 8, 16 ชั่วโมง เป็นตัวเติมในปริมาณ 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ นำไปทำการทดสอบโดยเครื่องวัดสี ค่าที่ได้จากการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่าที่ได้จากการวัดสีของเคลือบที่ทำการเติมแต่งสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ผ่านการบดและ ผ่านการบดที่เวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง ปริมาณ 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์

Samples	L*	a*	b*
0h CuO 10	+33.02	+0.46	+3.95
0h CuO 15	+30.67	+2.29	+6.09
0h CuO 20	+30.97	+0.40	-1.03
0h CuO 25	+38.09	+0.23	+0.06
0h CuO 30	+38.02	+0.22	+0.12
4h CuO 10	+26.03	+11.79	+10.08
4h CuO 15	+25.49	+2.29	+0.34
4h CuO 20	+37.84	+0.79	-1.03
4h CuO 25	+35.75	+0.42	-0.01
4h CuO 30	+39.34	+0.58	+0.38
8h CuO 10	+24.42	+5.13	+5.31
8h CuO 15	+24.80	+0.20	+0.40
8h CuO 20	+37.84	+0.50	-1.23
8h CuO 25	+35.75	+0.58	-0.69
8h CuO 30	+39.34	+0.51	-0.29
16h CuO 10	+25.94	+5.37	+5.14
16h CuO 15	+27.28	+0.64	-0.24
16h CuO 20	+37.07	+0.42	-0.24
16h CuO 25	+38.86	+0.42	-1.41
16h CuO 30	+37.96	+0.63	-0.38

จากตารางที่ 2 พบว่าเคลือบภายหลังการเผามีเจดสีอยู่ในโทนสีแดง เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นหลังการเผาทำให้คิวปริกออกไซด์ (CuO) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นกลายเป็นคิวปริสออกไซด์ (Cu_2O) ซึ่งให้สีแดง โดยในปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารเติมแต่งคอปเปอร์ออกไซด์ พบการเกิดสีแดงลดลงเกิดสีดำเกิดขึ้นบริเวณผิวเคลือบ

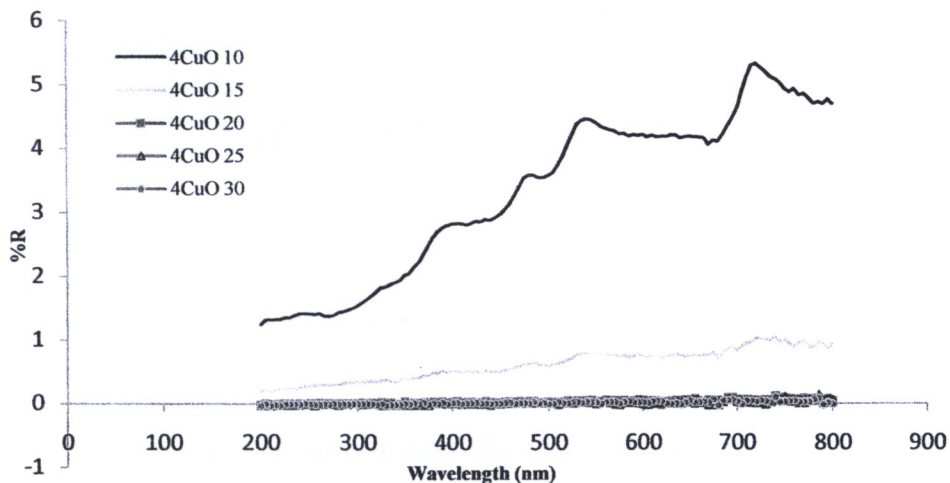
ซึ่งส่งผลให้ค่า a^* ที่มีค่าลดลง และพบว่าคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบด 4 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 13.88 ไมโครเมตร ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ให้ค่าในเจดสีแดงค่อนข้างเด่นชัด โดยค่าของ a^* เป็น +11.79 การที่เกิดสีแดงเด่นชัดเนื่องจากขนาดของอนุภาคและปริมาณที่เหมาะสม สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นคิวปรัสออกไซด์ (Cu_2O) ได้เกือบทั้งหมดทำให้ไม่มีสารคิวปริกออกไซด์ (CuO) ตกค้างบริเวณผิวหน้าของเคลือบ ทำให้เกิดเป็นเจดสีแดงได้ค่อนข้างชัดเจน

ตารางที่ 3 แสดงค่าที่ได้จากการวัดสีของเคลือบที่ทำการเติมแต่งสารคอปเปอร์คาร์บอนเนตที่ไม่ผ่านการบดและ ผ่านการบดเป็นเวลา 4, 8 และ 16 ชั่วโมง ปริมาณ 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์

Samples	L^*	a^*	b^*
0h CuCO_3 10	+27.46	+9.33	+8.37
0h CuCO_3 15	+34.36	+0.29	-1.47
0h CuCO_3 20	+31.42	+0.17	+0.13
0h CuCO_3 25	+36.32	+0.56	-0.55
0h CuCO_3 30	+37.11	+0.34	-0.86
4h CuCO_3 10	+28.99	+2.30	+1.55
4h CuCO_3 15	+34.53	+0.55	-0.32
4h CuCO_3 20	+34.95	+0.66	-0.66
4h CuCO_3 25	+37.01	+0.46	-0.76
4h CuCO_3 30	+38.71	+0.47	+0.06
8h CuCO_3 10	+24.36	+3.41	+3.44
8h CuCO_3 15	+35.53	+0.44	-0.80
8h CuCO_3 20	+36.99	+0.69	-0.81
8h CuCO_3 25	+38.04	+0.63	-1.10
8h CuCO_3 30	+39.35	+0.56	-0.30

16h CuCO ₃ 10	+30.86	+2.25	+1.56
16h CuCO ₃ 15	+35.57	+0.76	-0.38
16h CuCO ₃ 20	+36.86	+0.55	-0.82
16h CuCO ₃ 25	+39.97	+0.61	+0.32
16h CuCO ₃ 30	+40.38	+0.48	-0.01

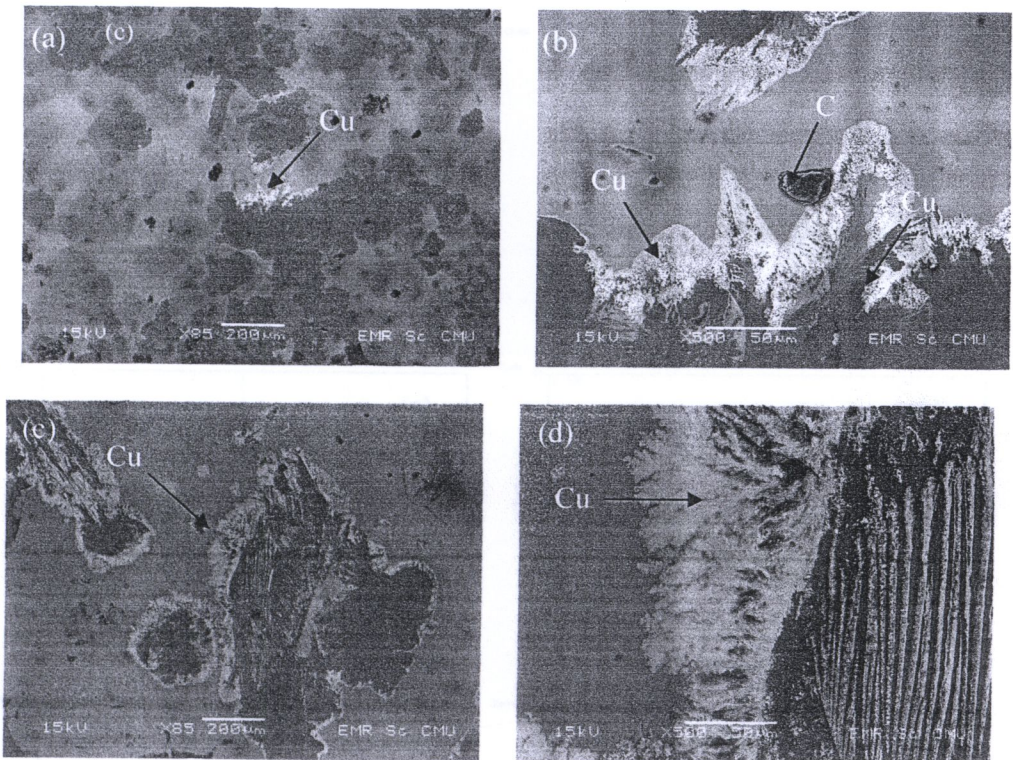
จากตารางที่3 พบว่าเคลือบภายหลังการเผายังคงมีเจดสีอยู่ในโทนสีแดง เนื่องจากค่า a^* มีค่าเป็นบวก คล้ายดังตารางที่2 โดยในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นของคอปเปอร์คาร์บอเนต ทำให้เกิดสีแดงลดลง คอปเปอร์คาร์บอเนตที่ไม่ผ่านการบด ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ให้ค่าสีแดงค่อนข้างเด่นชัด คือ ได้ค่าของ a^* เป็น +9.33 และพบว่าคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ไม่ผ่านการบดมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบด4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นขนาดของอนุภาคและปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสีแดงเด่นชัด



รูปที่4 แสดงค่าที่ได้จากการวัดค่าการสะท้อนของแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer พบว่า คอปเปอร์ออกไซด์ที่เติมเข้าไปสะท้อน คลื่นแสงในช่วงสีแดงมากที่สุด

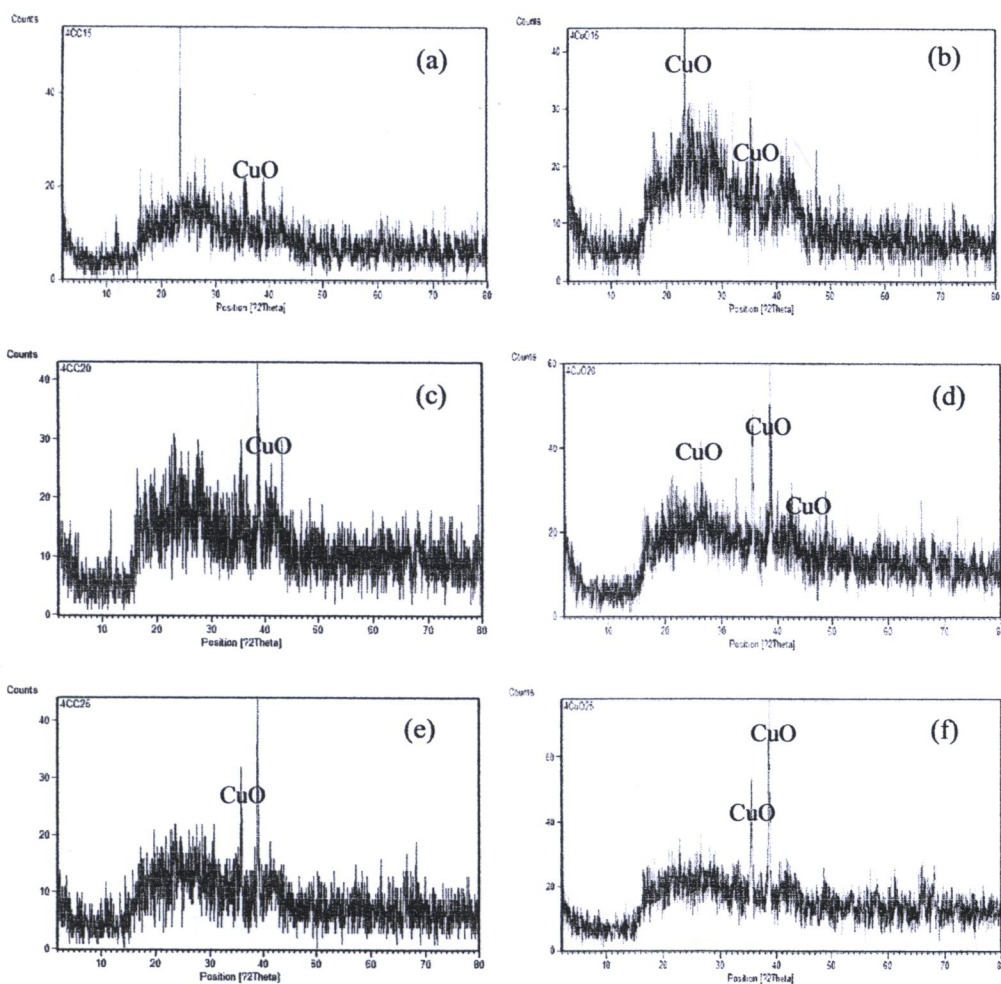
ค่า L^* , a^* และ b^* ที่ได้จากการทดสอบโดยวัดสี เมื่อนำไปวัดค่าการสะท้อนของแสง (%R) โดยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ในรูปที่4 จะพบว่าการสะท้อนอย่างเด่นชัดในช่วงคลื่นสีแดง 610-760 nm ค่าที่ได้ยังแสดงให้เห็นว่า คอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบด 4 ชั่วโมงในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าการสะท้อนของแสงได้เด่นชัดที่สุด ส่วนในปริมาณที่มากขึ้นของคอปเปอร์ออกไซด์ส่งผลให้กราฟมีค่าการสะท้อนของแสงลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์เนื่องจากเกิดสีดำบริเวณผิวของเคลือบ

ผลจากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบการเกิดผลึกของคอปเปอร์ และผลึกของคาร์บอนกระจายตัวอยู่บนผิวเคลือบในบางบริเวณ เมื่อปริมาณของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นการเกิดผลึกขนาดเล็กของโลหะคอปเปอร์เพิ่มขึ้นบนบริเวณชั้นผิวเคลือบ ทำให้เกิด สีแดงได้ไม่เด่นชัด



รูปที่ 5 SEM แสดงการเกิดผลึกบนพื้นผิวของเคลือบ (a) 4h CuO 10 ที่กำลังขยาย 85 เท่า (b) คือ 4h CuO 10 กำลังขยาย 500 เท่าซึ่งขยายจากบริเวณส่วนที่เกิดเป็นผลึกของคอปเปอร์ (c) 4h CuO 15 ที่กำลังขยาย 85 เท่า (d) คือ 4h CuO 15 กำลังขยาย 500 เท่าซึ่งขยายจากบริเวณส่วนที่เกิดเป็นโซนผลึกของคอปเปอร์ ปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์ที่เติมลงไปมากขึ้นทำให้เกิดผลึกเพิ่มขึ้น

ผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังการเผาโดยเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางแร่ (XRD) พบว่าหลังการเผาลักษณะผิวสีดำที่เกิดขึ้นบนผิวเคลือบ ทำให้ค่าการเกิดสีแดงลดลงในตารางที่ 2 และ 3 เกิดจากผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ไม่หมดในช่วงการเผาเนื่องจากใช้ปริมาณที่สูง ส่งผลให้เกิดการตกค้างบริเวณผิวเคลือบทำให้เคลือบไม่ปรากฏสีแดงที่เด่นชัด



รูปที่ 6 XRD แสดงการเกิดผลึกบนพื้นผิวของเคลือบ (a) คือ 4h CuCO_3 15, (b) คือ 4h CuO 15, (c) คือ 4h Cu CO_3 20 (d) คือ 4h CuO 20 (e) คือ 4h CuCO_3 25 และ (f) คือ 4h CuO 25 พบการเกิดของคอปเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

จากรูปที่ 6 พบการเกิดของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ในปริมาณมาก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจากการวัดโดยเครื่องวัดสี ในตารางที่ 2 และ 3 พบว่าเมื่อปริมาณของคอปเปอร์เพิ่มขึ้นการเกิดสีแดงลดลง เนื่องจาก คอปเปอร์ออกไซด์ที่ในปริมาณมาก ไม่สามารถหลอมเป็นเนื้อแก้วได้ทำให้เกิดเป็นลักษณะสีดำด้านบนผิวเคลือบ ส่งผลให้การเกิดสีแดงบนผิวเคลือบลดลง และส่งผลต่อค่าการสะท้อนแสงบนผิวเคลือบ

สรุปผลการศึกษา

ขนาดของอนุภาคและปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอเนตที่เติม ส่งผลต่อการปรากฏสีแดงของเคลือบทองแดง จากผลการทดลองพบว่าขนาดอนุภาคและปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการปรากฏสีแดงที่เด่นชัด คือ คอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบด 4 ชั่วโมงโดยใช้ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าการเกิดสีแดงที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับขนาดและปริมาณที่เท่ากันของคอปเปอร์คาร์บอเนต คอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบด 4 ชั่วโมงเกิดโดยใช้ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เกิดปฏิกิริยาได้ดี มีการเกิดผลึกของทองแดงค่อนข้างน้อย ส่งผลทำให้เกิดเป็นสีแดงบริเวณผิวหน้าชัดเจน เมื่อทำการบดนานขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาง่ายขึ้นทำให้เกิดเป็นผลึกโลหะทองแดงแขวนลอยในเคลือบทำให้เห็นสีแดงไม่ชัดเจน และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของตัวเติมมากยิ่งขึ้นทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาได้ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้ตัวเติมไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนและจับตัวกันกลายเป็นโครงสร้างของแก้วได้

เอกสารอ้างอิง

- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ (2547). *เซรามิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ไพบูรณ์ หล้าสมศรี (2549). ผลของสารเติมแต่งดีบุกออกไซด์ในเคลือบสีแดงของทองแดงสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศูนย์พัฒนาเครื่องเคลือบดินเผาภาคเหนือ(2539). *เคลือบ*, เอกสาร Lampang Ceramic Association, ประจำเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม.
- Bamford, C.R. (1977). *Colour generation and control in glass*. ELSEVIER Inc.
- Padovani ., Sada., Mazzoldi.(2003). Copper in glazes of Renaissance luster pottery :Nanoparticales,ions,and local environment. *Journal of applied physics*: Vol 93, No. 12, 10058-10063.
- Roque, J., Molera, J. (2006). Coper and silver nanocrystals in luster lead glaze: Development and optical properties. *Journal of the European Society*26, 3813–3824.
- Ryan, W., Radford, C. (1987). *Whitewares : Production, Testing and Quality Control*. The institute of materials

- Schabbach, L.M., Bondioli, F., Ferrari, A.M., Manfredini, T. (2008). Color in ceramic glazes: Analysis of pigment and opacifier grain size distribution effect by spectrophotometer. *Journal of the European Ceramic Society* 28, 1777–1781.
- Terence Allen (2003). *Powder Sampling and Particle Size Determination* . ELSEVIER Inc.

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค

MALVERN MASTERSIZER

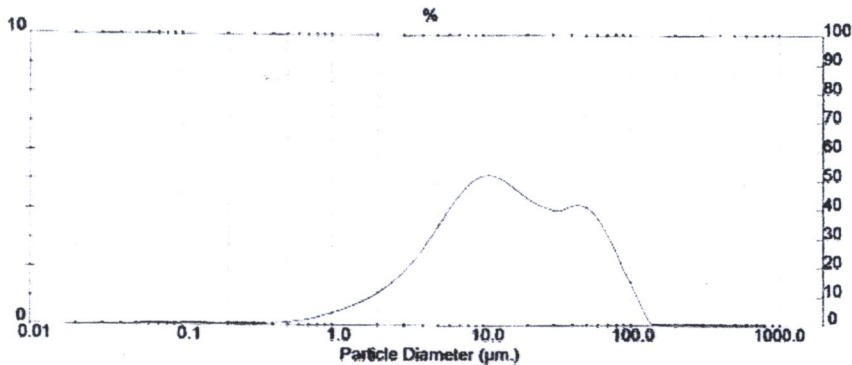
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: copper oxide	Run Number: 4	Measured: 4 Oct 2010 14:18
Sample File: B_41053	Record Number: 4	Analysed: 4 Oct 2010 14:18
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm, ultrasonic 10.5, 2 min		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 18.7 %
Presentation: 3THD	[Particle R.I. = (2.5935, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 1.129 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0162 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.9929 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 3.23 µm	D (v, 0.5) = 14.31 µm	D (v, 0.9) = 90.95 µm
D [4, 3] = 24.22 µm	D [3, 2] = 6.04 µm	Span = 4.034E+00	Uniformity = 1.212E+00

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.050	0.00	0.576	0.10	6.63	2.89	76.32	1.60
0.055	0.00	0.635	0.13	7.31	3.05	84.15	1.31
0.061	0.01	0.700	0.16	8.06	3.18	92.79	1.02
0.067	0.01	0.772	0.19	8.89	3.26	102.3	0.73
0.074	0.01	0.851	0.23	9.80	3.31	112.8	0.42
0.082	0.01	0.938	0.27	10.81	3.31	124.4	0.14
0.090	0.02	1.03	0.32	11.91	3.27	137.2	0.01
0.099	0.02	1.14	0.37	13.14	3.20	151.3	0.00
0.109	0.02	1.26	0.42	14.49	3.11	166.6	0.00
0.121	0.02	1.39	0.48	15.97	3.00	183.9	0.00
0.133	0.02	1.53	0.55	17.62	2.88	202.8	0.00
0.147	0.03	1.69	0.62	19.42	2.79	223.6	0.00
0.162	0.03	1.86	0.70	21.42	2.70	246.6	0.00
0.178	0.03	2.05	0.80	23.62	2.64	271.9	0.00
0.196	0.03	2.26	0.90	26.04	2.55	299.8	0.00
0.217	0.03	2.49	1.01	28.72	2.53	330.6	0.00
0.239	0.04	2.75	1.15	31.66	2.59	364.6	0.00
0.263	0.04	3.03	1.29	34.92	2.65	402.0	0.00
0.290	0.04	3.34	1.46	38.50	2.66	443.3	0.00
0.320	0.04	3.69	1.64	42.45	2.63	488.8	0.00
0.353	0.05	4.07	1.84	46.81	2.54	539.0	0.00
0.389	0.05	4.48	2.05	51.62	2.39	594.3	0.00
0.429	0.06	4.94	2.27	56.92	2.17	655.4	0.00
0.473	0.07	5.45	2.49	62.76	1.90	722.7	0.00
0.522	0.09	6.01	2.70	69.21		796.9	0.00
0.576		6.63		76.32		878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 33544/756

p. 4
04 Oct 10 14:20

รูป ข1 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ผ่านการบด



MASTERSIZER

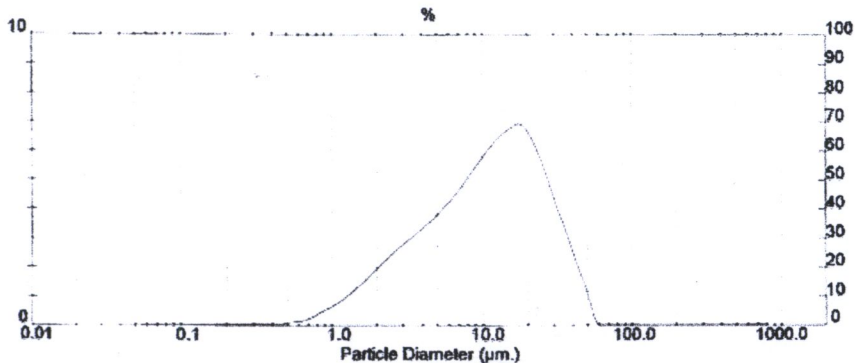
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: copper oxide mill4hr	Run Number: 8	Measured: 4 Oct 2010 14:29
Sample File: B_41053	Record Number: 8	Analysed: 4 Oct 2010 14:29
Sample Path: C:\SIZER\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm, ultrasonic 10.5, 2 min mill 4 hr.		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 19.1 %
Presentation: 3THD	(Particle R.I. = (2.5935, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300)	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.018 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0153 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0185 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 2.48 μ m	D (v, 0.5) = 11.14 μ m	D (v, 0.9) = 29.57 μ m
D [4, 3] = 13.88 μ m	D [3, 2] = 5.89 μ m	Span = 2.432E+00	Uniformity = 7.563E-01

Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %
0.050	0.00	0.576	0.09	6.63	2.98	76.32	0.00
0.055	0.00	0.635	0.12	7.31	3.17	84.15	0.00
0.061	0.00	0.700	0.17	8.06	3.37	92.79	0.00
0.067	0.00	0.772	0.25	8.89	3.57	102.3	0.00
0.074	0.00	0.851	0.33	9.80	3.76	112.8	0.00
0.082	0.00	0.939	0.40	10.81	3.94	124.4	0.00
0.090	0.00	1.03	0.49	11.91	4.11	137.2	0.00
0.099	0.00	1.14	0.58	13.14	4.23	151.3	0.00
0.109	0.00	1.26	0.69	14.49	4.33	166.8	0.00
0.121	0.00	1.39	0.82	15.97	4.41	183.9	0.00
0.133	0.00	1.53	0.94	17.62	4.41	202.8	0.00
0.147	0.00	1.69	1.07	19.42	4.21	223.6	0.00
0.162	0.00	1.86	1.21	21.42	3.93	246.8	0.00
0.178	0.00	2.05	1.35	23.62	3.58	271.9	0.00
0.196	0.00	2.26	1.49	26.04	3.17	299.6	0.00
0.217	0.00	2.49	1.62	28.72	2.76	330.6	0.00
0.239	0.00	2.75	1.75	31.66	2.36	364.6	0.00
0.263	0.00	3.03	1.87	34.92	1.98	402.0	0.00
0.290	0.00	3.34	1.98	38.50	1.55	443.3	0.00
0.320	0.00	3.69	2.10	42.45	1.15	488.8	0.00
0.353	0.00	4.07	2.22	46.81	0.79	539.0	0.00
0.389	0.00	4.48	2.35	51.62	0.29	594.3	0.00
0.429	0.00	4.94	2.49	56.92	0.00	655.4	0.00
0.473	0.03	5.45	2.64	62.78	0.00	722.7	0.00
0.522	0.08	6.01	2.81	69.21	0.00	796.9	0.00
0.576		6.63		76.32	0.00	878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 33544/758

p. 6
04 Oct 10 14:30

รูป ข2 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบดนาน 4 ชั่วโมง



MASTERSIZER

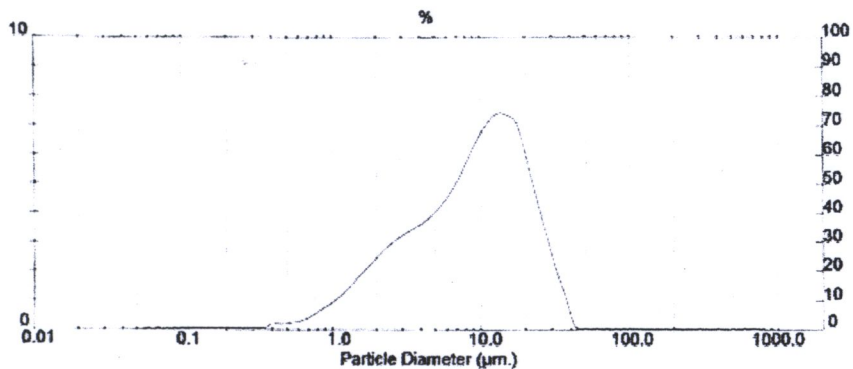
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: copper oxide mill8hr	Run Number: 12	Measured: 4 Oct 2010 14:37
Sample File: B_41053	Record Number: 12	Analysed: 4 Oct 2010 14:37
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm, ultrasonic 10.5, 2 min mill 8 hr.		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 17.3 %
Presentation: 3THD	[Particle R.I. = (2.5935, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]		
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 2.907 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0104 %Vol	Density = 1.000 g/cub. cm	Specific S.A. = 1.2936 sq. m/g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.98 um	D (v, 0.5) = 9.16 um	D (v, 0.9) = 22.31 um
D [4, 3] = 10.94 um	D [3, 2] = 4.64 um	Span = 2.221E+00	Uniformity = 7.011E-01

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.050	0.00	0.576	0.19	6.63	3.27	76.32	0.00
0.055	0.00	0.635	0.24	7.31	3.54	84.15	0.00
0.061	0.00	0.700	0.31	8.06	3.83	92.79	0.00
0.067	0.00	0.772	0.40	8.89	4.12	102.3	0.00
0.074	0.00	0.851	0.49	9.80	4.38	112.8	0.00
0.082	0.00	0.938	0.58	10.81	4.59	124.4	0.00
0.090	0.00	1.03	0.69	11.91	4.73	137.2	0.00
0.099	0.00	1.14	0.81	13.14	4.76	151.3	0.00
0.109	0.00	1.26	0.95	14.49	4.70	166.8	0.00
0.121	0.00	1.39	1.10	15.97	4.62	183.9	0.00
0.133	0.00	1.53	1.25	17.62	4.30	202.8	0.00
0.147	0.00	1.69	1.39	19.42	3.88	223.6	0.00
0.162	0.00	1.86	1.55	21.42	3.11	246.6	0.00
0.178	0.00	2.05	1.69	23.62	2.59	271.9	0.00
0.196	0.00	2.26	1.82	26.04	2.08	299.8	0.00
0.217	0.00	2.49	1.94	28.72	1.57	330.6	0.00
0.239	0.00	2.75	2.04	31.68	1.11	364.6	0.00
0.263	0.00	3.03	2.13	34.92	0.71	402.0	0.00
0.290	0.00	3.34	2.21	38.50	0.20	443.3	0.00
0.320	0.00	3.69	2.29	42.45	0.00	488.8	0.00
0.353	0.00	4.07	2.39	46.81	0.00	539.0	0.00
0.389	0.00	4.48	2.50	51.62	0.00	594.3	0.00
0.429	0.00	4.94	2.65	56.92	0.00	653.4	0.00
0.473	0.00	5.45	2.82	62.76	0.00	722.7	0.00
0.522	0.00	6.01	3.03	69.21	0.00	796.9	0.00
0.576	0.16	6.63		76.32	0.00	878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 33544756

p 9
04 Oct 10 14:39

รูป ข3 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบดนาน 8 ชั่วโมง

MALVERN MASTERSIZER

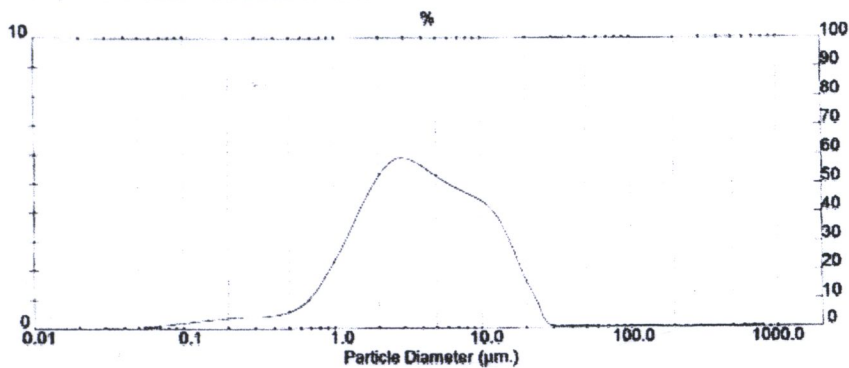
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: copper oxidemil16hr	Run Number: 18	Measured: 4 Oct 2010 14:44
Sample File: B_41053	Record Number: 17	Analysed: 4 Oct 2010 14:44
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm, ultrasonic 10.5, 2 min mls 16 hr.		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 13.8 %
Presentation: 3THD	[Particle R.I. = (2.5935, 0.1000)]	Dispersant R.I. = 1.3300	Residual: 2.555 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0034 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 3.4866 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.00 μ m	D (v, 0.5) = 3.65 μ m	D (v, 0.9) = 12.82 μ m
D [4, 3] = 5.46 μ m	D [3, 2] = 1.72 μ m	Span = 3.235E+00	Uniformity = 9.797E-01

Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %
0.050	0.02	0.576	0.51	6.63	3.09	76.32	0.00
0.055	0.03	0.635	0.62	7.31	3.02	84.15	0.00
0.061	0.05	0.700	0.78	8.06	2.95	92.79	0.00
0.067	0.06	0.772	0.98	8.89	2.88	102.3	0.00
0.074	0.08	0.851	1.21	9.80	2.81	112.8	0.00
0.082	0.10	0.938	1.45	10.81	2.70	124.4	0.00
0.090	0.11	1.03	1.70	11.91	2.52	137.2	0.00
0.099	0.13	1.14	1.98	13.14	2.29	151.3	0.00
0.109	0.15	1.26	2.28	14.49	1.99	166.8	0.00
0.121	0.17	1.39	2.55	15.97	1.65	183.9	0.00
0.133	0.18	1.53	2.83	17.62	1.30	202.8	0.00
0.147	0.20	1.69	3.09	19.42	0.98	223.6	0.00
0.162	0.21	1.86	3.33	21.42	0.70	246.6	0.00
0.178	0.23	2.05	3.52	23.62	0.38	271.9	0.00
0.196	0.24	2.28	3.66	26.04	0.09	299.8	0.00
0.217	0.25	2.49	3.74	28.72	0.03	330.6	0.00
0.239	0.26	2.75	3.77	31.66	0.00	364.6	0.00
0.263	0.26	3.03	3.75	34.92	0.00	402.0	0.00
0.290	0.26	3.34	3.70	38.50	0.00	443.3	0.00
0.320	0.26	3.69	3.61	42.45	0.00	488.8	0.00
0.353	0.28	4.07	3.52	46.81	0.00	538.0	0.00
0.389	0.30	4.48	3.42	51.62	0.00	594.3	0.00
0.429	0.32	4.94	3.33	56.92	0.00	655.4	0.00
0.473	0.36	5.45	3.24	62.76	0.00	722.7	0.00
0.522	0.42	6.01	3.16	69.21	0.00	796.9	0.00
0.576		6.63		76.32	0.00	878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel ++[44] (0)1684-892456 Fax: ++[44] (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 33544/756

p. 10
04 Oct 10 14:45

รูป ข4 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผ่านการบดนาน 16 ชั่วโมง

MASTERSIZER

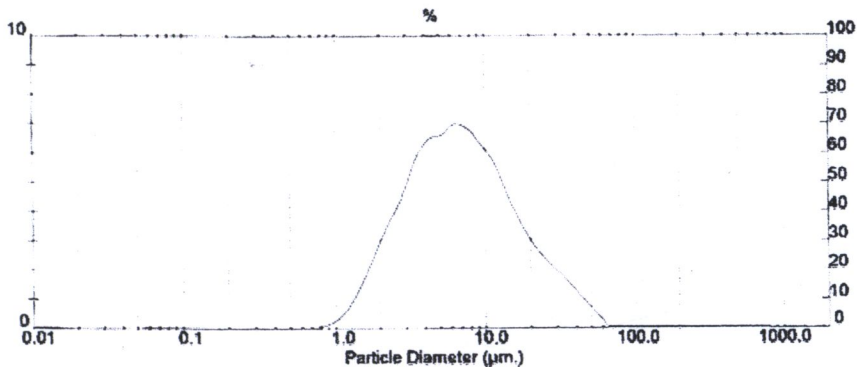
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: copper carbonate	Run Number: 5	Measured: 4 Oct 2010 14:58
Sample File: B_41063	Record Number: 23	Analysed: 4 Oct 2010 14:58
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm, ultrasonic 10.5, 2 min		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14
Presentation: 3PAD	[Particle R.I. = (1.5960, 0.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Obscuration: 20.8 %
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 0.980 %
Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0132 %Vol	Density = 1.000 g/cub cm	Specific S.A. = 1.2003 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 2.35 um	D (v, 0.5) = 6.68 um	D (v, 0.9) = 21.87 um
D [4, 3] = 9.89 um	D [3, 2] = 5.00 um	Span = 2.919E+00	Uniformity = 9.070E-01

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.050	0.00	0.576	0.00	6.63	4.44	76.32	0.00
0.055	0.00	0.636	0.00	7.31	4.37	84.15	0.00
0.061	0.00	0.700	0.00	8.06	4.24	92.79	0.00
0.067	0.00	0.772	0.04	8.89	4.04	102.3	0.00
0.074	0.00	0.851	0.08	9.80	3.86	112.8	0.00
0.082	0.00	0.938	0.16	10.81	3.67	124.4	0.00
0.090	0.00	1.03	0.26	11.91	3.35	137.2	0.00
0.099	0.00	1.14	0.41	13.14	3.00	151.3	0.00
0.109	0.00	1.26	0.62	14.49	2.68	166.8	0.00
0.121	0.00	1.39	0.88	15.97	2.38	183.9	0.00
0.133	0.00	1.53	1.17	17.62	2.11	202.8	0.00
0.147	0.00	1.69	1.47	19.42	1.88	223.6	0.00
0.162	0.00	1.86	1.82	21.42	1.69	246.6	0.00
0.178	0.00	2.05	2.15	23.62	1.52	271.9	0.00
0.196	0.00	2.26	2.41	26.04	1.38	299.8	0.00
0.217	0.00	2.49	2.65	28.72	1.24	330.6	0.00
0.239	0.00	2.75	2.95	31.66	1.11	364.6	0.00
0.263	0.00	3.03	3.39	34.92	0.95	402.0	0.00
0.290	0.00	3.34	3.78	38.50	0.80	443.3	0.00
0.320	0.00	3.69	4.00	42.45	0.64	488.8	0.00
0.353	0.00	4.07	4.14	46.81	0.49	539.0	0.00
0.389	0.00	4.48	4.19	51.62	0.34	594.3	0.00
0.429	0.00	4.94	4.22	56.92	0.19	655.4	0.00
0.473	0.00	5.45	4.36	62.76	0.03	722.7	0.00
0.522	0.00	6.01	4.48	69.21	0.00	796.9	0.00
0.576	0.00	6.63		76.32		878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, UK
 Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer S Ver 2.19
 Serial Number: 33544736

p. 13
 04 Oct 10 14:59

รูป ข5 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ผ่านไม่การบด

MASTERSIZER

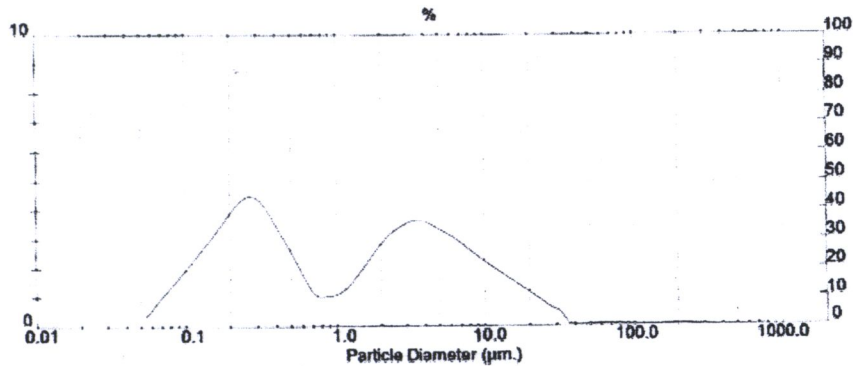
Result: Histogram Report

Sample ID: copper carbonate 4hr			Sample Details		Measured: 4 Oct 2010 15:06
Sample File: B_41053			Run Number: 14		Analyse: 4 Oct 2010 15:06
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\			Record Number: 32		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm, ultrasonic 10.5, 2 min mill 4 hr					

System Details				
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 11.6 %	
Presentation: 3PAD	[Particle R.I. = (1.5960, 0.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]		
Analysis Model: Polydisperse				Residual: 1.849 %
Modifications: None				

Distribution Type: Volume		Concentration = 0.0044 %Vol		Density = 1.000 g / cub. cm		Specific S.A. = 15.3962 sq. m / g
Mean Diameters:		D (v, 0.1) = 0.14 µm		D (v, 0.5) = 1.30 µm		D (v, 0.9) = 10.24 µm
D [4, 3] = 3.60 µm		D [3, 2] = 0.39 µm		Span = 7.794E+00		Uniformity = 2.521E+00

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.050	0.22	0.576	1.11	6.63	1.84	76.32	0.00
0.055	0.31	0.635	0.85	7.31	1.73	84.15	0.00
0.061	0.50	0.700	0.68	8.06	1.62	92.79	0.00
0.067	0.65	0.772	0.68	8.89	1.50	102.3	0.00
0.074	0.81	0.851	0.67	9.80	1.40	112.8	0.00
0.082	0.97	0.938	0.69	10.81	1.30	124.4	0.00
0.090	1.13	1.03	0.76	11.91	1.21	137.2	0.00
0.099	1.29	1.14	0.88	13.14	1.11	151.3	0.00
0.109	1.46	1.26	1.03	14.49	1.01	166.8	0.00
0.121	1.64	1.39	1.21	15.97	0.91	183.9	0.00
0.133	1.82	1.53	1.40	17.62	0.82	202.8	0.00
0.147	1.99	1.69	1.59	19.42	0.72	223.6	0.00
0.162	2.19	1.86	1.78	21.42	0.62	246.6	0.00
0.178	2.39	2.05	1.95	23.62	0.52	271.9	0.00
0.196	2.57	2.26	2.07	26.04	0.42	299.6	0.00
0.217	2.73	2.49	2.16	28.72	0.36	330.6	0.00
0.239	2.84	2.75	2.31	31.66	0.23	364.6	0.00
0.263	2.88	3.03	2.24	34.92	0.01	402.0	0.00
0.290	2.81	3.34	2.31	38.50	0.00	443.3	0.00
0.320	2.64	3.69	2.34	42.45	0.00	488.8	0.00
0.353	2.42	4.07	2.32	46.81	0.00	539.0	0.00
0.389	2.17	4.48	2.26	51.62	0.00	594.3	0.00
0.429	1.91	4.94	2.19	56.92	0.00	655.4	0.00
0.473	1.66	5.45	2.10	62.76	0.00	722.7	0.00
0.522	1.39	6.01	2.03	69.21	0.00	796.9	0.00
0.576		6.63	1.95	76.32	0.00	878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 33544/756

p. 14
04 Oct 10 15:07

รูป ข6 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ผ่านการบดนาน 4 ชั่วโมง

MALVERN INSTRUMENTS MASTERSIZER

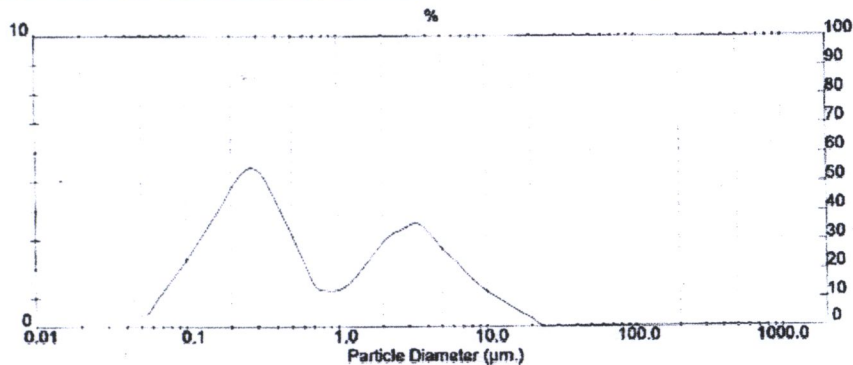
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: copper carbonate 8hr	Run Number: 17	Measured: 4 Oct 2010 15:15
Sample File: B_41053	Record Number: 35	Analysed: 4 Oct 2010 15:15
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm. ultrasonic 10.5, 2 min mill 8 hr.		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 11.4 %
Presentation: 3PAD	[Particle R.I. = (1.5960, 0.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 2.135 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0039 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 18.5666 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.13 μ m	D (v, 0.5) = 0.49 μ m	D (v, 0.9) = 5.81 μ m
D [4, 3] = 2.06 μ m	D [3, 2] = 0.32 μ m	Span = 1.165E+01	Uniformity = 3.751E+00

Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %	Size (μ m)	Volume In %
0.050	0.27	0.576	1.40	8.63	1.27	76.32	0.00
0.055	0.38	0.635	1.08	7.31	1.13	84.15	0.00
0.061	0.81	0.700	0.66	8.06	1.01	92.79	0.00
0.067	0.80	0.772	0.82	8.89	0.87	102.3	0.00
0.074	0.98	0.851	0.81	9.80	0.77	112.8	0.00
0.082	1.18	0.938	0.82	10.81	0.69	124.4	0.00
0.090	1.38	1.03	0.88	11.91	0.60	137.2	0.00
0.099	1.57	1.14	0.99	13.14	0.51	151.3	0.00
0.109	1.78	1.26	1.13	14.49	0.42	166.8	0.00
0.121	2.00	1.39	1.31	15.97	0.33	183.9	0.00
0.133	2.21	1.53	1.49	17.62	0.25	202.8	0.00
0.147	2.43	1.69	1.66	19.42	0.17	223.6	0.00
0.162	2.67	1.86	1.84	21.42	0.03	246.6	0.00
0.178	2.91	2.05	1.99	23.62	0.00	271.9	0.00
0.196	3.14	2.26	2.08	26.04	0.00	299.8	0.00
0.217	3.33	2.49	2.14	28.72	0.00	330.6	0.00
0.239	3.47	2.75	2.21	31.66	0.00	364.6	0.00
0.263	3.52	3.03	2.30	34.92	0.00	402.0	0.00
0.290	3.45	3.34	2.29	38.50	0.00	443.3	0.00
0.320	3.25	3.69	2.17	42.45	0.00	488.8	0.00
0.353	2.97	4.07	2.03	46.81	0.00	539.0	0.00
0.389	2.67	4.48	1.86	51.62	0.00	594.3	0.00
0.429	2.37	4.94	1.69	56.92	0.00	655.4	0.00
0.473	2.08	5.45	1.56	62.78	0.00	722.7	0.00
0.522	1.74	6.01	1.43	69.21	0.00	796.9	0.00
0.576		6.63		76.32	0.00	878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer S Ver. 2.19
Serial Number: 33544756

p. 18
04 Oct 10 15:16

รูป ข7 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ผ่านการบดนาน 8 ชั่วโมง



MASTERSIZER

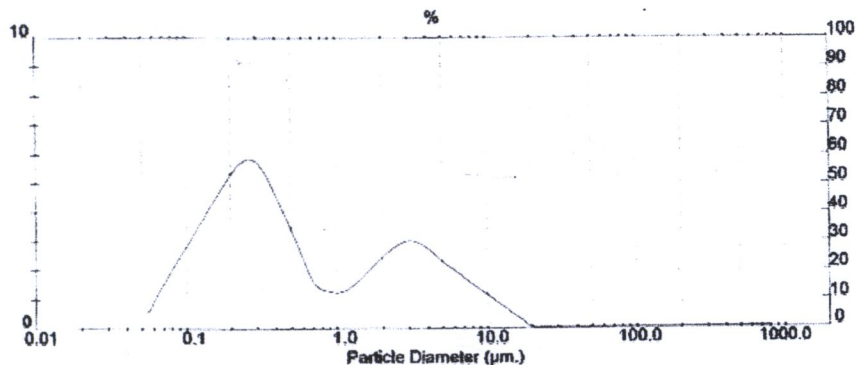
Result: Histogram Report

Sample Details		
Sample ID: copper carbonate16hr	Run Number: 23	Measured: 4 Oct 2010 15:24
Sample File: B_41003	Record Number: 41	Analysed: 4 Oct 2010 15:24
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: pump speed 2550 rpm, ultrasonic 10.5, 2 min mill 16 hr.		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14
Presentation: 3PAD	[Particle R.I. = (1.5960, 0.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]	Obscuration: 12.0 %
Analysis Model: Polydisperse		Residual: 2.090 %
Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0043 %Vol	Density = 1.000 g/cub.cm	Specific S.A. = 21.0743 sq. m/g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.12 um	D (v, 0.5) = 0.39 um	D (v, 0.9) = 8.17 um
D [4, 3] = 1.73 um	D [3, 2] = 0.28 um	Span = 1.289E+01	Uniformity = 3.896E+00

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.050	0.33	0.578	1.51	6.63	1.12	76.32	0.00
0.055	0.48	0.635	1.17	7.31	1.01	84.15	0.00
0.061	0.76	0.700	0.93	8.06	0.91	92.79	0.00
0.067	0.99	0.772	0.85	8.89	0.81	102.3	0.00
0.074	1.21	0.851	0.82	9.80	0.71	112.8	0.00
0.082	1.45	0.938	0.79	10.81	0.61	124.4	0.00
0.090	1.68	1.03	0.81	11.91	0.51	137.2	0.00
0.099	1.90	1.14	0.88	13.14	0.40	151.3	0.00
0.109	2.13	1.26	0.98	14.49	0.30	166.8	0.00
0.121	2.37	1.39	1.11	15.97	0.21	183.9	0.00
0.133	2.59	1.53	1.26	17.62	0.09	202.8	0.00
0.147	2.81	1.69	1.40	19.42	0.00	223.6	0.00
0.162	3.04	1.86	1.54	21.42	0.00	246.6	0.00
0.178	3.26	2.05	1.67	23.62	0.00	271.0	0.00
0.196	3.46	2.26	1.77	26.04	0.00	299.8	0.00
0.217	3.62	2.49	1.86	28.72	0.00	330.6	0.00
0.239	3.72	2.75	1.92	31.66	0.00	364.6	0.00
0.263	3.74	3.03	1.92	34.92	0.00	402.0	0.00
0.290	3.64	3.34	1.87	38.50	0.00	443.3	0.00
0.320	3.43	3.69	1.79	42.45	0.00	488.8	0.00
0.353	3.16	4.07	1.68	46.81	0.00	539.0	0.00
0.389	2.85	4.48	1.55	51.62	0.00	594.3	0.00
0.429	2.54	4.94	1.43	56.92	0.00	655.4	0.00
0.473	2.21	5.45	1.33	62.76	0.00	722.7	0.00
0.522	1.87	6.01	1.23	69.21	0.00	796.9	0.00
0.576		6.63		76.32	0.00	878.7	0.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892789

Mastersizer 5 Ver. 2.19
Serial Number: 33544756

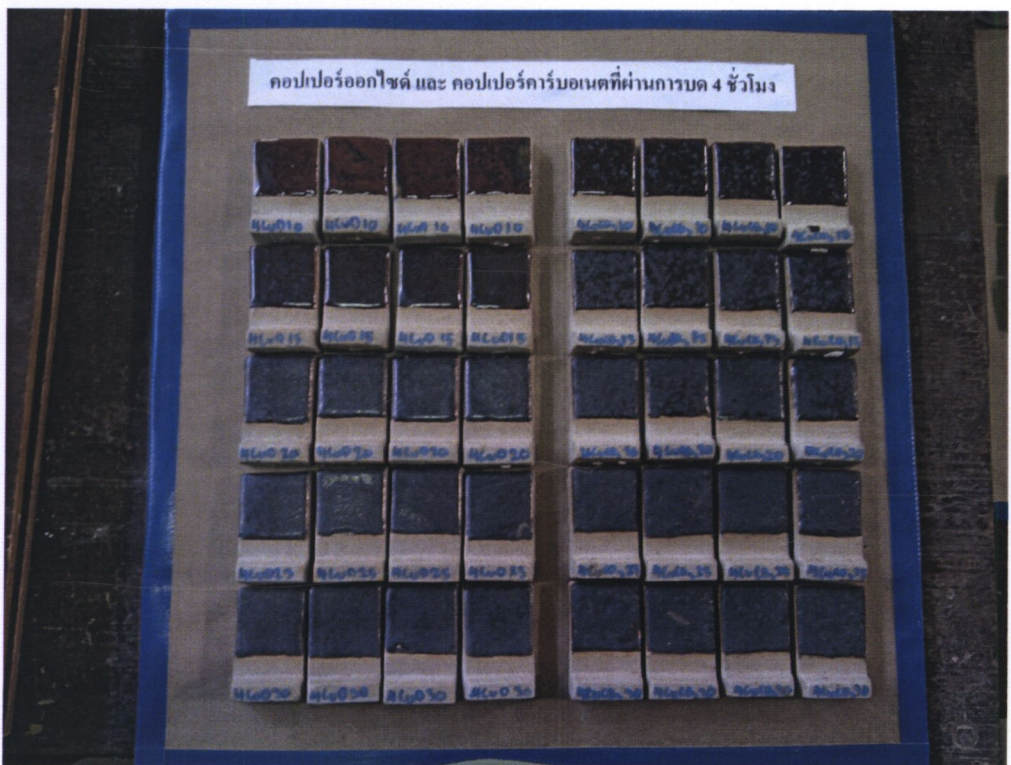
p. 19
04 Oct 10 15:25

รูป ข8 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ผ่านการบดนาน 16 ชั่วโมง

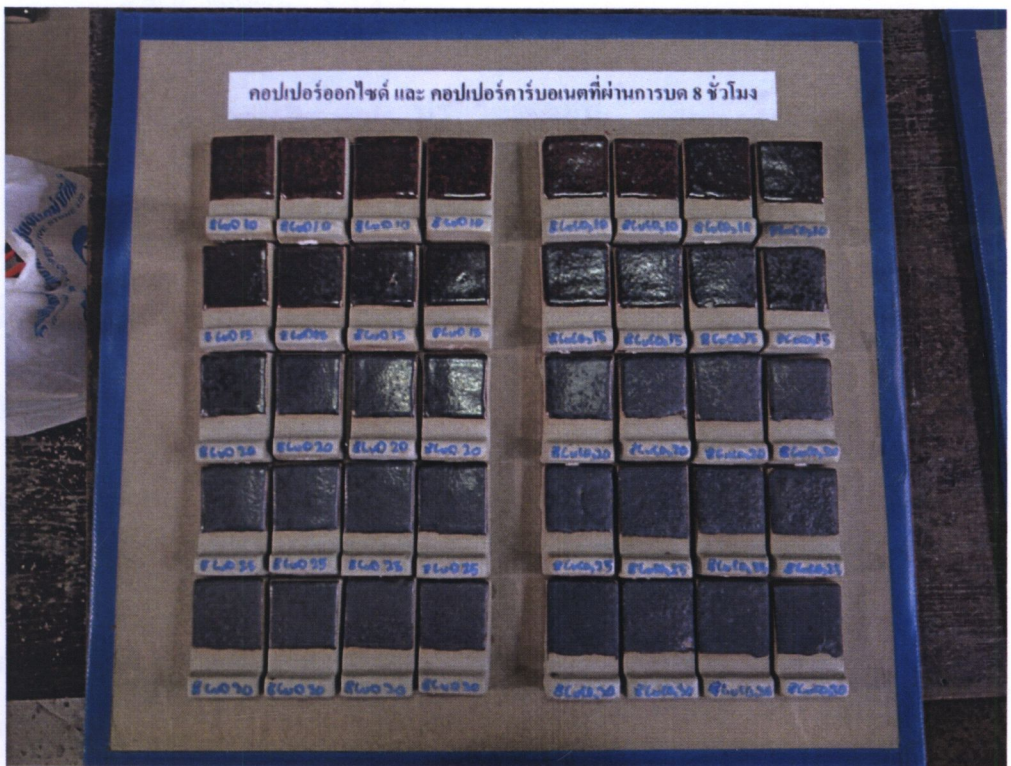
ภาคผนวก ค
ผลิตภัณฑ์ขึ้นทดสอบจากการทดลอง



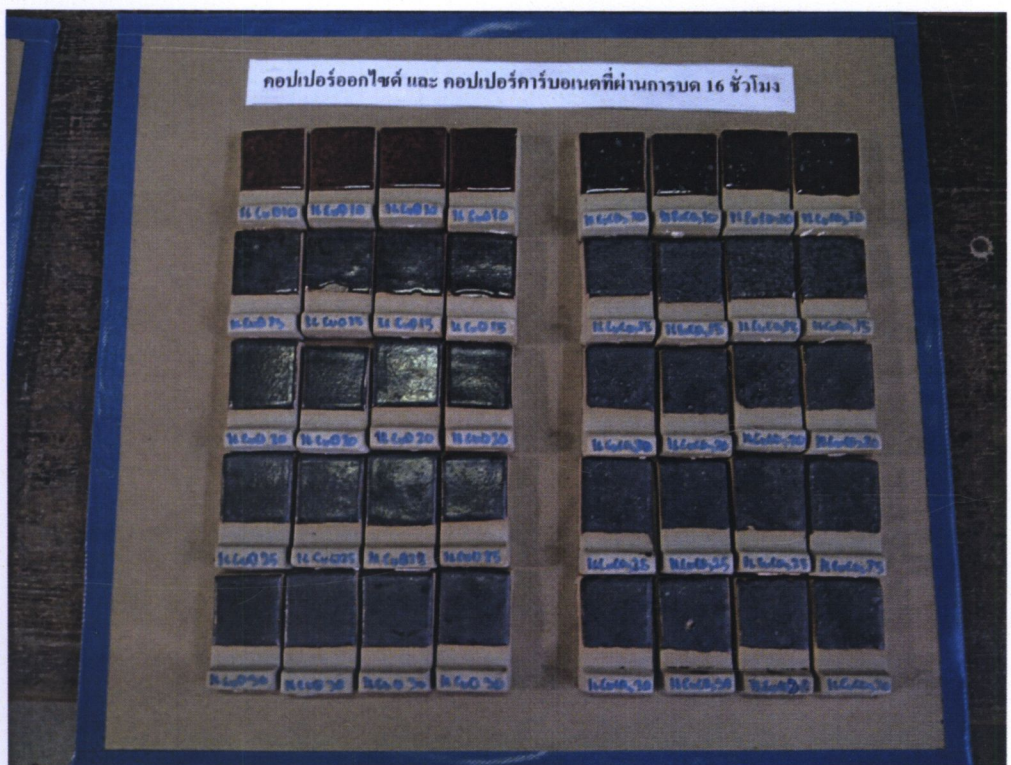
รูป ค1 ชั้นทดสอบที่ทำการทดสอบเคลือบประกายโลหะที่ขายสำเร็จรูป



รูป ค2 ชั้นทดสอบคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอเนตที่ผ่านการบด 4 ชั่วโมง



รูป ค3 ชั้นทดสอบคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอนेटที่ผ่านการบด 8 ชั่วโมง



รูป ค4 ชั้นทดสอบคอปเปอร์ออกไซด์และคอปเปอร์คาร์บอนेटที่ผ่านการบด 16 ชั่วโมง



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายศิวัช ลาวัลย์วดีกุล
วัน เดือน ปี เกิด	22 กันยายน 2530
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาอุตสาหกรรมบัณฑิต (อส.บ.) สาขา วิชาเทคโนโลยีเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ(เชียงใหม่)
การนำเสนอผลงาน	Oral Presented นเรศวรวิจัย 7
การตีพิมพ์	การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย 7

