บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่อง การพัฒนาอัตราส่วนผสมเนื้อดินผลิตภัณฑ์สุขภัณฑ์ โดยใช้เศษแก้วชนิดโซดาไลม์มาเป็นอัตราส่วนผสมในเนื้อดินผลิตภัณฑ์สุขภัณฑ์ เพื่อลดอุณหภูมิในการเผา กรณีศึกษา : บริษัทขอนแก่นเซรามิค จำกัด มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของบริษัทขอนแก่นเซรามิค จำกัด
2. กระบวนการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์
   2.1 เนื้อดินเครื่องสุขภัณฑ์ (Sanitaryware bodies)
   2.2 การเตรียมน้ำดินหล่อสุขภัณฑ์
3. แก้ว (Glasses)
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

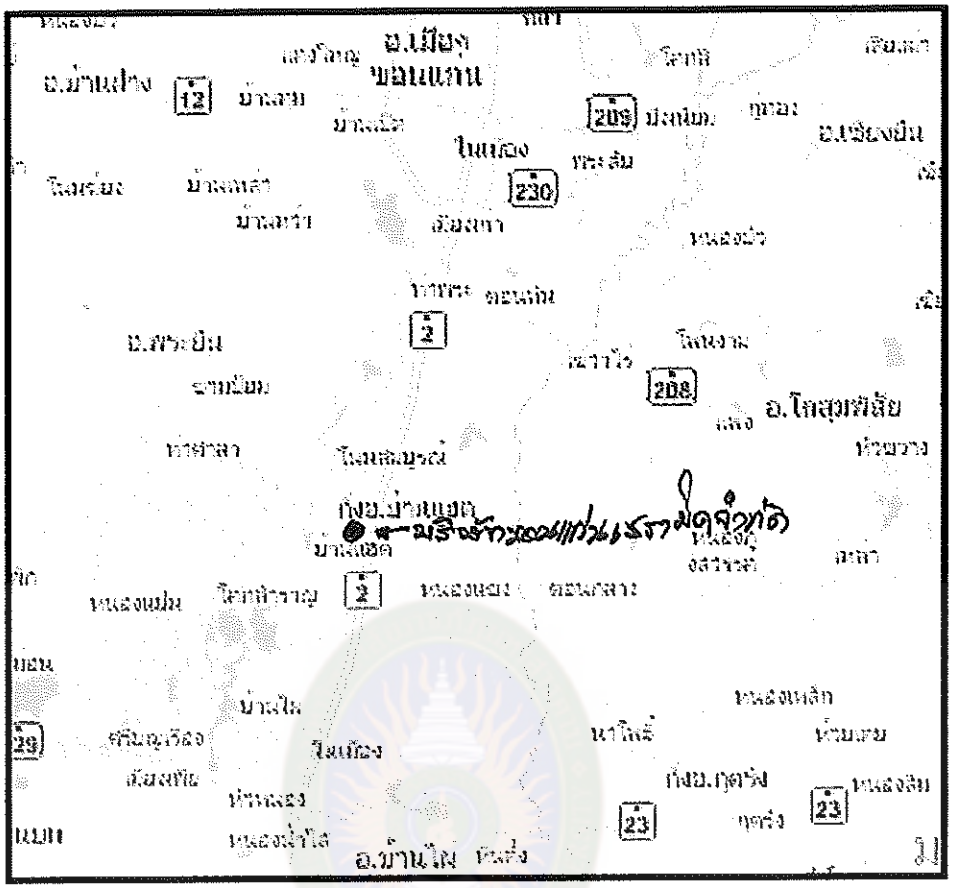
ข้อมูลทั่วไปของบริษัทขอนแก่นเซรามิค จำกัด (ธวัชชัย เฮงประเสริฐ. 2551 : สัมภาษณ์)

บริษัท ขอนแก่นเซรามิก จำกัด มีนายธวัชชัย เฮงประเสริฐ และนางเรวดี เฮงประเสริฐ เป็นกรรมการผู้การ ทุนจดทะเบียน 3,000,000 บาท (สามล้านบาท) ผลิตสุขภัณฑ์เซรามิก นั่งราด และอ่างล้างหน้า สามารถผลิตสุขภัณฑ์ชนิดนั่งยองได้ 1,000 ชิ้น/วัน ยี่ห้อ Mato ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 204 หมู่ 4 ถนนมิตรภาพ ตำบลบ้านแฮด อำเภอบ้านแฮด จังหวัดขอนแก่น 40110 มีจำนวนพนักงานทั้งหมด 84 คน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตสุขภัณฑ์ ได้แก่ ปูนปลาสเตอร์ ดินขาว ดินเหนียว ทราย หินฟันม้า สีเซรามิกส์สีเซรามิกส์ และแร่ธาตุอื่น ๆ

อำเภอบ้านแฮดเป็นอำเภอใหม่ที่แยกออกมาจากอำเภอบ้านไผ่ มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

1. ทิศเหนือติดกับ ต.ท่าพระ
2. ทิศใต้ติดกับ อ. บ้านไผ่
3. ทิศตะวันออกติดกับ อ. โกสุมพิสัย
4. ทิศตะวันตกติดกับ อ. ชนบท

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.1 แสดงแผนที่ตั้งบริษัทขอนแก่นเซรามิค จำกัด

ที่มา : แผนที่จังหวัดขอนแก่น. ม.ม.ป. : เว็บไซต์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กระบวนการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 164 - 231)

1. เนื้อดินเครื่องสุขภัณฑ์ (Sanitaryware bodies) หรือเนื้อดินชนิดวิทเทรียส หมายถึง ดินที่มีความแกร่งสูงมีเนื้อคล้ายแก้วค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับศูนย์ (0-0.2) แม้ว่าใช้ไปเคลือบจะแตกเป็นตำหนิแต่การใส่น้ำก็จะยังไม่รั่วซึมเพราะเนื้อดินแกร่ง เนื้อดินวิทเทรียสไชน่าตามมาตรฐานของอังกฤษจะต้องดูดซึมน้ำไม่เกิน 0.5% โดยปกติเนื้อดินวิทเทรียสจะมีสีค่อนข้างขาว สีขาวทึบแสงเผาจนสุกตัวเนื้อแกร่งคล้ายแก้ว นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์ และอุปกรณ์ในห้องเคมี เคลือบด้วยสีทึบแสง เช่นสีขาวทึบ สีแดง และสีน้ำเงินปิดบังเนื้อดินไว้ ผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์ได้แก่ โถส้วม ถังบรรจุน้ำชักโครก โถปัสสาวะ และอ่างล้างมือที่ใช้ในโรงพยาบาลหรือห้องปฏิบัติการเคมี ผลิตภัณฑ์สุขภัณฑ์ขนาดใหญ่ๆ มีความหนามากกว่าครึ่งนิ้วจะผสมดินทนไฟ (Fire clay) ลงในเนื้อผลิตภัณฑ์ด้วย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงก่อนเผาให้ตั้งอยู่ในรูปทรง สามารถเคลื่อนย้ายไปตกแต่งเคลือบและเข้าเตาเผาได้ปลอดภัย

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเนื้อดินเครื่องสุขภัณฑ์ ส่วนใหญ่ได้แก่ ดิน หิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ประกอบไปด้วยวัตถุดิบต่อไปนี้(

1.1.1 ดินขาวระนอง (Ranong kaolin) พบในบริเวณเหมืองดีบุก ตำบลหาดส้มแป้น อำเภอเมือง จังหวัดระนอง เกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต มาเป็นดินขาว ปะปนอยู่กับหินควอตซ์ หินแกรนิตและแร่ดีบุก เป็นดินขาวล้าง 325 Mesh มีปริมาณของเหล็กและไทเทเนียมต่ำ ดินดิบสีครีมอมเหลือง เมื่อเผาแล้วขาวบริสุทธิ์ เป็นดินขาวชนิดดี เท่าที่พบแห่งแรกในประเทศไทย มีอลูมิน่าสูง สามารถทนไฟสูงถึง 1,785 องศาเซลเซียส นำมาใช้ผสมในเครื่องปั้นดินเผาทั้งในเนื้อดินและน้ำเคลือบเพื่อทำผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาวกระเบื้องบุผนัง ฉนวนไฟฟ้า อิฐทนไฟ สุขภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหารและอื่นๆ มีความเหนียว มีความแข็งแกร่ง มีค่าการหดตัวเชิงเส้นต่ำ ค่าการนำความร้อนต่ำมีมาตรฐานที่กำหนดสมบัติและการวิเคราะห์ทดสอบดินขาวสำหรับเครื่องปั้นดินเผา เช่นมอก. 485 - 2526 , ASTM C 323ฯลฯ โดยมีข้อกำหนด ซิลิกา (SiO2) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า45.0 อะลูมินา (Al2O3) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า30.0 เหล็กออกไซด์ (Fe2O3) ร้อยละ ไม่เกิน 2.0ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO2) ร้อยละ ไม่เกิน 1.5 น้ำหนักที่หายไปในการเผา ร้อยละ ไม่น้อยกว่า 10.5 กากที่ค้างบนแร่งขนาด 45 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่เกิน5.0 การหดตัวเชิงเส้น ร้อยละ ไม่เกิน7.5 หลังอบแห้งที่ 110 องศาเซลเซียส หลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส 12.0 หลังเผาที่ 1350 องศาเซลเซียส 15.5

1.1.2 ดินเหนียวหรือ ดินขาวเหนียว เป็นที่พบในที่ราบต่ำ มีลักษณะตรงกันข้ามกับดินขาวมีเปอร์เซนต์เหล็กค่อนข้างสูง จุดสุกตัวต่ำ มีความเหนียว เนื้อดินละเอียด มีสารประกอบอย่างอื่นปะปนมาก ดินชนิดนี้บางแห่งเรียกว่า ดินดำ เป็นดินที่เกิดจากการชะล้างดินเคโอลินโดยธรรมชาติ มีแร่เหล็กปนอยู่ค่อนข้างสูงกับมีสารอินทรีย์ปนอยู่บ้าง เนื้อดินละเอียด สีคล้ำมีความเหนียว จุดหลอมละลายระหว่าง ๑,๓๐๐ -๑,๔๐๐ องศาเซลเซียส เมื่อเผาสุกแล้วผลิตภัณฑ์จะมีสีขาวหม่นหรือสีเนื้อเหมาะแก่การทำเครื่องปั้นประเภทเนื้อดิน และเนื้อแกร่ง หรือใช้ผสมกับดินเคโอลินให้เนื้อดินแข็งและเหนียวขึ้น เพื่อใช้ทำเครื่องปั้นประเภทเครื่องกระเบื้อง มีองค์ประกอบทางเคมี Al_2O_3 $2SiO_2$ ประโยชน์เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ มีดังนี้

1) ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น

2) พัฒนาผลิตภัณฑ์ก่อนเผาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การสูญเสียเนื่องจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผาในขณะมีการเคลื่อนย้ายลดลง

3) ช่วยทำให้น้ำดินในการเทแบบมีการไหลตัวดีขึ้น

1.1.3 เฟลด์สปาร์ (Feldspar) หรือที่เรียกว่า แร่ฟันม้า เป็นแร่ประกอบหินชนิดหนึ่ง ซึ่งพบปะปนกับแร่ประกอบหินชนิดอื่นๆ แต่ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์นั้นเป็นแร่ที่เกิดในสายเพกมาไทต์หรือในหินแกรนิตชนิดที่มีแร่ไมกาน้อยมาก แร่เฟลด์สปาร์ประกอบ ด้วยธาตุโพแทสเซียม(K)

โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca) อะลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) และออกซิ เจน (O) สำหรับเฟลด์สปาร์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่ ชนิดที่มีสูตรเคมี$KAlSi_3O_8$ เรียก โพแทสเซียม เฟลด์สปาร์ และ $NaAlSi_3O_8$ เรียก โซเดียมเฟลด์สปาร์ ซึ่งชนิดหลังมักจะมีแคลเซียมอยู่ด้วย จังหวัดที่มีการผลิตเฟลด์สปาร์ คือ จังหวัดตาก นครศรีธรรมราช ราชบุรี กาญจนบุรี อุทัยธานี แม่ฮ่องสอน และเชียงใหม่

1.1.4 ทรายหรือควอตซ์ เป็นผลึกของซิลิกา มีความแข็ง ย่อยสลายมาก มีความบริสุทธิ์สูง เมื่อนำมาบดละเอียดหรือเผาใช้ผสมในเนื้อดินเพื่อปั้นผลิตภัณฑ์ จะทำให้เนื้อดินลดการหดตัวทนไฟสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์โปร่งใส ทั้งยังใช้ผสมในน้ำเคลือบ ทำให้เคลือบเป็นมัน ทนการกัดกร่อนได้ดี มีองค์ประกอบทางเคมี SiO_2

2. กระบวนการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 การเตรียมเนื้อดินสำหรับทำเครื่องสุขภัณฑ์ ต้องใช้ดินขาวและดินเหนียวบอลเคลย์คุณภาพดีที่สุดในการผลิต เพราะผลิตภัณฑ์ที่หล่อเป็นชิ้นงานขนาดใหญ่ ต้องการความแข็งแรงของเนื้อดิน จึงต้องมีความเหนียวและความละเอียดที่ได้มาตรฐาน โดยใช้เครื่องปั้นความเร็วสูงเพื่อเตรียมเป็นน้ำดิน ซึ่งจะต้องมีความหนืดหรือข้นกว่าน้ำดินที่ใช้หล่อผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก โดยน้ำยาที่ใช้เติมในน้ำดินหล่อเพื่อกันดินตกตะกอน คือโซเดียมซิลิเกตหรือโซเดียมคาร์บอเนตความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.70 ขึ้นไป เพื่อช่วยให้เนื้อดินมีความข้นมีการไหลตัวดีและแห้งตัว ถอดแบบได้เร็ว เหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่

2.2 การทำแบบพิมพ์ ซึ่งวัตถุดิบที่ทำแบบพิมพ์เป็นปูนปลาสเตอร์ ซึ่งสมบัติเมื่อผึ่งให้แห้งจะสามารถดูดซึ่มน้ำได้ เหมาะกับการนำไปใช้การหล่อน้ำดินเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สุขภัณฑ์

2.3 เมื่อผลิตภัณฑ์แห้งดีแล้วนำมาพ่นน้ำเคลือบให้หนา 1 มม. ด้วยน้ำเคลือบทึบแสงปิดบังเนื้อดินไว้ทั้งหมด คุณสมบัติของเคลือบต้องทนต่อกรดและด่างได้ดี ผิวเคลือบแข็งแกร่งทนทาน

2.4 เผาแกร่งในอุณหภูมิ 1,200 ^{o}C ใช้เวลา 18 - 20 ชั่วโมงด้วยเตาอุโมงค์ บรรยากาศในการเผาสันดาปสมบรูณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสูตรเนื้อดินสุขภัณฑ์ของอังกฤษและอเมริกา (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 165)

สูตรเนื้อดินสุขภัณฑ์ 1,200 ^{o}C OF		
วัตถุดิบ	สูตรอังกฤษ (%)	สูตรอเมริกัน (%)
ดินดำ	23	25
ดินขาว	27	25
ควอทซ์	30	20
เฟลด์สปาร์หรือ	20	20

ในประเทศอังกฤษนิยมใช้วัตถุดิบเฟลด์สปาร์เป็นตัวหลอมละลาย แต่ในอเมริกานิยมใช้เนฟเฟลีนไซยาไนท์แทน ซึ่งมีปริมาณของ(โพแทส 5% และโซดา 9%) มีจุดหลอมละลายต่ำกว่าเฟลด์สปาร์ในประเทศอังกฤษมีการเตรียมดินชนิดพิเศษเพื่อส่งให้กับโรงงานผลิตสุขภัณฑ์โดยเฉพาะ ดังนั้นการเตรียมดินหล่อสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่จึงไม่มีปัญหา

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ ในห้องอบจะจำกัดอุณหภูมิความร้อนไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส โดยไล่ความชื้นออกให้สุขภัณฑ์แห้งตัวอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ เมื่อแห้งสนิทนำไปพ่นเคลือบ

การเคลือบเครื่องสุขภัณฑ์ ในน้ำเคลือบผสมกาวหรือตัวยึดเคลือบ เมื่อแห้งไม่ให้หลุดเป็นฝุ่นติดมือเมื่อยกผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ ๆ ที่หยิบยกได้ยากต้องใช้วิธีพ่นน้ำเคลือบด้วยเครื่องพ่นเคลือบ (Spray gun) หรือเครื่องพ่นเคลือบคอมพิวเตอร์ทำงานโดยหุ่นยนต์ ถ้าผลิตจำนวนมากแต่ถ้ามีการเปลี่ยนรูปแบบบ่อยควรใช้คนพ่น การควบคุมความหนาของเคลือบโดยผสมสีย้อมที่สกัดจากพืชหรือสีย้อมผ้าที่ไม่มีปฏิกิริยากับเคลือบภายหลังการเผาเคลือบที่ผสมสีต่าง ๆ ทำให้เห็นความหนาของเคลือบได้ชัดเจนขึ้น น้ำเคลือบที่พ่นบนชิ้นงานดินดิบจะหนาประมาณ 1 มม. เพราะเป็นเคลือบดิบ เมื่อเผาแล้วจะหดตัวพร้อมเนื้อผลิตภัณฑ์แต่เครื่องถ้วยชามที่เผาดิบก่อนชุบเคลือบ ความหนาของน้ำเคลือบที่ไม่เกิน 0.5 มม. เป็นมาตรฐานสำหรับเคลือบใส นำผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบแล้วเข้าเตาเผา เผาในอุณหภูมิ 1,200 ^{o}C ในบรรยากาศสันดาปสมบรูณ์ (Oxidation firing = OF.) ใช้เวลาในการเผาประมาณ 20 ชั่วโมง สำหรับชิ้นใหญ่ที่มีความหนาพวกโถส้วม ส่วนผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่น อ่างล้างหน้าและโถเก็บน้ำ จะเผาด้วยเตาเผาเร็วใช้ระยะเวลาในการเผาประมาณ 7 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิหลังการเผาเคลือบจะถูกซ่อมแซมด้วยน้ำเคลือบสูตรพิเศษที่มอุณหภูมิการเผาต่ำลงเล็กน้อย ระยะเวลาในการเผาซ่อมครั้งที่ 2 ประมาณ 8-10 ชั่วโมง

น้ำเคลือบสุขภัณฑ์ที่เป็นสีจะใช้ผงสีสำเร็จรูปจากต่างประเทศ สีสะเตนส่วนใหญ่จะต้องเผาแบบสันดาปสมบรูณ์ เพื่อป้องกันสีเปลี่ยนแปลง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ยุบตัวหรือทดสอบไม่ผ่านมาตรฐานการใช้งาน (Function test) ในระบบการชำระล้าง จะถูกทุบทิ้ง

สูตร เคลือบสีขาวทึบสำหรับเครื่องสุขภัณฑ์ 1,200 ^{o}C OF.

(วัตถุดิบ)	(%)
เฟลด์สปาร์	50
หินปูน	7
ซิงค์ออกไซด์	8
ควอทซ์	18
ดินขาว	5
เซอร์โคเนียมซิลิเกต	12

เคลือบต้องผ่านการบดจนมีเนื้อเนียนละเอียดได้มาตรฐานมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนใน 75% ของเคลือบทั้งหมด ห้ามบดละเอียดเกินไปเคลือบจะหดตัวรวมกันเป็นกระจุกทำให้เนื้อดินเป็นตำหนิ (Crawling) ซึ่งมักจะเกิดกับเคลือบทึบที่มีส่วนผสมของเซอร์โคเนียมซิลิเกต ในน้ำเคลือบต้องเติมกาว C.M.C 1% เพื่อการยึดเกาะของเคลือบไม่ให้เป็นฝุ่นติดมือ เพราะในสูตรเคลือบมีปริมาณของดินขาวน้อยจึงมีวัตถุดิบที่มีความเหนียวเป็นตัวเกาะยึดไม่พอ ถ้าเคลือบแห้งจะหลุดเป็นฝุ่นติดมือได้ง่ายเมื่อขนย้ายเข้าเตาเผา

คุณสมบัติของเนื้อดินสุขภัณฑ์ของอังกฤษ

ก่อนเผา	น้ำยากันดินตกตะกอนใช้โซดาแอชและโซเดียมซิลิเกตเป็นตัวหลัก โดยใช้โซดาแอช 0.05% และโซเดียมซิลิเกต 0.02% และเพิ่มโซเดียมดีสเปค (Dispex) ในการปรับแต่งน้ำยาให้มีความหนืดในขั้นตอนสุดท้ายหลังจากใส่ 2 ตัวแรกแล้ว	
	ความแกร่งของดินดิบ 23 กก. / ซม^{2}	
หลังเผา	เผาครั้งเดียวในอุณหภูมิ	1,200-1,220 ^{o}C OF.
	เนื้อดินดูดซึมน้ำน้อยกว่า	0.05%
	หดตัว	11.7%
	ความแข็งแกร่งหลังเผา	844 กก./ซม^{2}
	การรานตัวทดสอบผ่านมาตรฐานเกิน	10 รอบ
	การขยายตัวของเนื้อดินที่ 600 ^{o}C	0.42%
	การขยายตัวของเคลือบที่ 600 ^{o}C	0.38%

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2 การเตรียมน้ำดินหล่อสุขภัณฑ์

2.2.1 น้ำดิน (Slip) และการหล่อน้ำดิน (Casting)

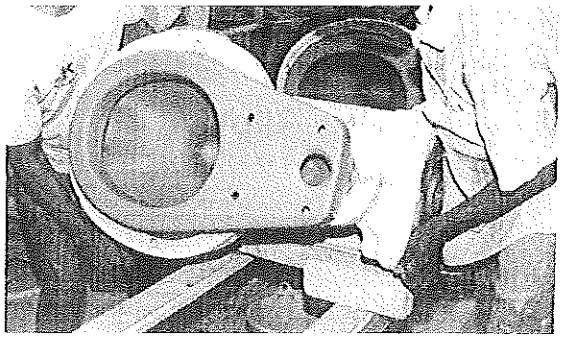
น้ำดิน (Slip) หมายถึงส่วนผสมของดินกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม คือ จำกัดปริมาณของน้ำให้น้อยที่สุด โดยเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อช่วยให้ดินกระจายตัวไม่ตกตะกอน และทำให้น้ำดินไหลตัวได้ดี

การหล่อน้ำดิน (Casting) หมายถึง การขึ้นรูปผิตภัณฑ์เซรามิก โดยการเทน้ำดินเหลวลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์เนื้อปูนปลาสเตอร์มีรูเล็ก ๆ สามารถดูดซึมน้ำได้ดี รอจนกระทั่งแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ดูดซึมน้ำออกจากดินหล่อ เกิดการจับตัวของเนื้อดินที่ผิวปูนด้านในของแบบพิมพ์จนได้ความหนาตามต้องการจึงเทดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ การหล่อน้ำดินมีวิธีการหล่ออยู่ 3 วิธีคือ

1) การหล่อแบบเทออก (Drain or hollow casting)หรือหล่อกลวง น้ำดินถูกเทลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์แล้วทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง ให้พิมพ์ดูดน้ำออกจากดินหล่อ เมื่อได้ความหนาตามต้องการ เทดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์

2) การหล่อตัน (Solid casting) น้ำดินถูกฉีดเข้าไปในแบบพิมพ์จนเต็ม และทิ้งให้แข็งอยู่ในแบบจะได้รูปร่างของผลิตภัณฑ์เต็มแบบในช่องว่างของแม่พิมพ์ซึ่งจำกัดเนื้อที่ภายในของการเทน้ำดิน หรือจำกัดความหนาของชิ้นงาน

3) การหล่อแบบผสม (Double casting) ในบางครั้งมีการหล่อโดยใช้เทคนิคผสมในชิ้นเดียวกัน คือคล้ายเทคนิคหล่อตัน แต่ช่องว่างภายในแบบพิมพ์มีความหนามากกว่าเมื่อเทน้ำดินทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจนชิ้นงานมีความหนาตามต้องการ เทดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ เทคนิคผสมนี้เรียกว่า ดับเบิ้ลคาสติ้ง (Double casting) นิยมใช้หล่อผลิตภัณฑ์ประเภทอ่างล้างหน้า และเครื่องสุขภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งต้องการความหนา บางไม่เท่ากัน ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่มีความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบาหลังการขึ้นรูป



ภาพที่ 2.2 เครื่องสุขภัณฑ์ขนาดใหญ่ใช้เทคนิคการหล่อแบบผสม

ที่มา : (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 228)

2.3 วัตถุดิบในการเตรียมดินหล่อ

2.3.1 ดินขาว (Kaolin, China clay) เป็นวัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์ ทำให้เนื้อดินมีสีขาวหลังการเผา ช่วยให้สีเคลือบหลังการเผาสวยงาม ดินขาวช่วยในการหดตัวขณะที่ปล่อยผลิตภัณฑ์ให้แห้งในแบบพิมพ์ได้ดี ช่วยให้น้ำดินหล่อแบบแห้งเร็วเปรียบเสมือนเนื้อของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสีขาว ทุกชนิด

2.3.2 ดินดำ (Ball clay) เป็นวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดความเหนียว ช่วยให้ดินหล่อแบบเกิดการไหลตัวดี ทำให้ส่วนผสมต่าง ๆ ในเนื้อดินยึดเกาะกันได้ดี ขึ้นรูปได้ง่ายทำหน้าที่คล้ายกาวผลิตภัณฑ์ที่แห้งมีความแข็งแกร่ง หยิบยกและเคลื่อนย้ายได้โดยไม่เปราะแตกง่าย

2.2.3 ซิลิกาหรือทราย (Silica) เป็นวัตถุดิบที่เสริมความแข็งแกร่งให้ผลิตภัณฑ์ เปรียบเหมือนโ ครงกระดูกของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความทนไฟ ไม่ทรุดตัวหลังการเผา และช่วยเปิดเนื้อดินทำให้เนื้อดินผึ่งแห้งได้เร็วขึ้นโดยไม่แตกร้าว

2.2.4 หินฟันม้า (Feldspar) ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้อนุภาคของดินและทรายหลอมตัว เป็นเนื้อเดียวกันในขณะเผา ทำให้ดินสุกตัวในอุณหภูมิที่ต้องการ ลดการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์หลังการเผา เพิ่มความโปร่งแสงให้ผลิตภัณฑ์ปอร์ซเลน

2.2.5 สารเคมีที่ช่วยให้น้ำดินเกิดการกระจายตัว(Deflocculant) การเตรียมน้ำดินหล่อให้มีการไหลตัวได้ดี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมสารเคมีที่เหมาะสมลงไป ซึ่งนอกจากน้ำดินจะไหลตัวได้ดีแล้ว จะต้องมีความข้นหรือความหนืด (Viscosity) คงที่ ระยะเวลาการแข็งตัวของน้ำดินสั้น การหล่อผลิตภัณฑ์ทุกครั้งได้ผลสม่ำเสมอมีมาตรฐานเดียวกัน สิ่งเหล่านี้เป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำดินหล่อ

น้ำยาโซเดียมซิลิเกตถ้าใช้ตามลำพังตัวเดียว การเทพิมพ์หล่อทำได้ดีและแห้งเร็ว แต่เมื่อตัดแต่งชิ้นงานที่หล่อจะเปราะแตกหักได้ง่าย เนื้อดินแข็งกระด้างตัดแต่งได้ยากปัจจุบันนิยมใช้โซเดียมคาร์บอเนตคู่กับน้ำยาโซเดียมซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาแอช เป็นตัวที่ทำให้เนื้อดินหลังการหล่อมีความอ่อนนุ่มขึ้น ในขณะที่โซเดียมซิลิเกตทำให้น้ำดินไหลตัวดีกว่า ถ้ามีปัญหาดินหล่อตกแต่งได้ยาก ควรเติมโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำดินปริมาณ 0.05-0.1% โดยใช้รวมกับน้ำยาโซเดียมซิลิเกต 0.2% คงเดิม

2.4 คุณสมบัติของน้ำดินหล่อ

ถ้านำดินและน้ำมาผสมกันในอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่งจะได้ดินข้นเหลวการไหลตัวไม่ดี ดินจะเกาะตัวกันเป็นก้อน ในทางเคมีบอกว่าการที่ดินจมในน้ำดินเกาะกันเป็นก้อนหรือดินตกตะกอน เนื่องจากประจุไฟฟ้าของผลึกดินเป็นขั้วดูด เมื่อเกิดปฏิกิริยาดูดกันทำให้ดินรวมตัวเป็นก้อนได้ง่าย น้ำดินหล่อจะต้องเติมสารเคมีที่ช่วยให้ดินเกิดการกระจายตัว สารเคมีจะช่วยทำปฏิกิริยาในน้ำดิน ทำให้ผลึกดินเกิดประจุไฟฟ้าขั้วต่างกัน และผลักกันเม็ดดินจึงเกิดการกระจายตัวอยู่ในน้ำได้อย่างสม่ำเสมอไม่ตกตะกอนอีก คุณสมบัติของน้ำดินหล่อที่ดี ควรมีลักษณะดังนี้

2.4.1 มีเนื้อดินมากมีอัตราส่วนของน้ำน้อยที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ เพื่อให้เนื้อดินหดตัวน้อยถอดแบบได้เร็ว

2.4.2 น้ำดินต้องไหลตัวดี ไหลเป็นสายได้ไม่ขาดตอนเพื่อการเทดินออกจากแบบพิมพ์ภายในก้นภาชนะเรียบไม่มีตำหนิของน้ำดินเป็นก้อน และเก็บรายละเอียดของแบบพิมพ์ได้ดี

2.4.3 ทิ้งไว้นาน ๆ น้ำดินต้องไม่ตกตะกอน หรือแข็งตัวเป็นวุ้นในแบบพิมพ์ทำให้เทดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ไม่ได้

นอกจากคุณสมบัติใหญ่ ๆ จากสามข้อข้างบนแล้วน้ำดินหล่อที่ดีจะต้องไม่เปราะแตกง่ายเมื่อผลิตภัณฑ์หล่อเสร็จแล้ว หลังการเผาต้องไม่บิดเบี้ยวยุบตัวเสียรูปทรง ในการลงทุนทำอุตสาหกรรมทุกชนิด จะต้องมีการควบคุมคุณภาพในการผลิตทุกขั้นตอน ถ้าเกิดการสูญเสียในปริมาณมากทำให้ไม่คุ้มทุนการผลิต เพราะวัตถุดิบและค่าแรงมีราคาแพง การควบคุมน้ำดินหล่อเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการหล่อน้ำดิน ถ้าดินหล่อได้มาตรฐานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อได้เร็วขึ้น ยืดอายุการใช้งานของแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ดังนั้นในโรงงานสุขภัณฑ์ขนาดใหญ่ทุกเช้าจะต้องมีการตรวจเช็คคุณภาพน้ำดินหล่อให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด เพราะถ้าควบคุมคุณภาพของน้ำดินหล่อไม่ได้จะเกิดปัญหาตามมาทันที ตั้งแต่การหล่อ การตกแต่ง และการเผา

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของน้ำดินหล่อที่ดี (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 231)

คุณสมบัติของน้ำดินหล่อที่ดี	หล่อเทออก	หล่อตัน
มีการไหลตัวดีมีความหนืดน้อย	✓	
มีความคงที่เมื่อตั้งทิ้งไว้นาน ๆ ไม่ตกตะกอนง่าย	✓	✓
ไหลตัวออกจากพิมพ์ได้เกลี้ยงในการเทออก	✓	
สามารถหล่อตันได้ดี		✓
ถอดแบบพิมพ์ได้เร็ว	✓	✓
มีความหนาเร็ว	✓	
มีอัตราการหดตัวต่ำ	✓	✓
ชิ้นงานแข็งแกร่งก่อนเผา	✓	
ชิ้นงานสามารถเชื่อมติดกันได้ง่าย	✓	
ไม่มีฟองอากาศในน้ำดิน	✓	
ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อนหรือย่นในการถอดพิมพ์	✓	✓
มีค่าการแข็งตัวเป็นวุ้นช้า	✓	
มีค่าการแข็งตัวเป็นวุ้นเร็ว		✓
สามารถตัดแต่งได้ง่าย ไม่หักหรือบิ่น	✓	

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.5 ส่วนผสมของดินหล่อ ในน้ำดินหล่อส่วนใหญ่จะมีปริมาณของดินขาว 70-80 % มีดินเหนียวประมาณ 20% และซิลิกาหรือทรายละเอียดประมาณ 10% ดินขาวมีความเหมาะสมในการนำมาเตรียมดินหล่อ เพราะหดตัวร่อนออกจากแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ได้เร็ว ถ้าใช้ดินดำที่มีความเหนียวในการเตรียมน้ำดินหล่อจะทำให้ถอดแบบได้ช้า ใช้เวลานานในการหล่อผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น ดินแดงเทอราคอตตาก็เช่นกันมีความเหนียวมาก ไม่นิยมใช้ดินดำหรือดินแดงล้วน ๆ มาเตรียมเป็นน้ำดินหล่อ นอกจากมีส่วนผสมของดินขาวอยู่อย่างต่ำหนึ่งต่อหนึ่ง จึงได้ดินหล่อที่ถอดแบบได้เร็ว การที่ถอดแบบได้ช้าจะทำให้เสียค่าแรงงานในการผลิตสูงขึ้นต่อชิ้นต่อวัน ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

การใช้ปริมาณของน้ำยาโซเดียมซิลิเกต ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ถ้ามีปริมาณของดินขาวมากในส่วนผสมจะใช้น้ำยาในปริมาณ 0.2-0.3% ต่อน้ำหนักดินแห้ง 100 กรัม แต่ถ้าในส่วนผสมของเนื้อดินมีปริมาณของดินดำ หรือดินแดงที่มีความเหนียวสูง ควรใช้น้ำยาน้อยลงเหลือ 0.1-0.15 % ก็จะเพียงพอ เพราะในดินเหนียวเนื้อละเอียดมีเกลือแร่และสารอินทรีย์บางอย่างมีเม็ดดินละเอียดตกตะกอนได้ยากอยู่แล้ว

วัตถุดิบที่มีทรายมากไม่ควรนำมาเตรียมน้ำดิน ต้องนำไปบดให้ละเอียดและกรองผ่านตะแกรง # 325 เมช

ตาราง 2.3 สูตรน้ำดินหล่อที่ผ่านการทดสอบแล้ว (ไพจิตร อึ่งศิริวัฒน์. 2541 : 232)

วัตถุดิบ	สูตรน้ำดินหล่อ				
	ดินหล่ออุตสาหกรรม	เนื้อดินปอร์ซเลน	เนื้อสีขาว 1	เนื้อสีขาว 2	เนื้อสีเทา
ดินขาวระนอง	–	30	–	–	–
ดินขาวลำปางล้าง	70	25	80	90	60
ดินดำล้าง ปราจีน, สุราษฎร์, คอมพาวด์ดำ)	20	10	20	10	30
หินลำปาง	–	35	–	–	–
ซิลิกา	10	–	–	–	10
การหดตัวหลังเผา	10	13-15	11	12	10

ปริมาณน้ำ 45 ลิตรต่อดินแห้ง 100 กิโลกรัม

ปริมาณน้ำยา โซเดียมซิลิเกต 0.2-0.3%

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

น้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำดินหล่อจะต้องเป็นน้ำบริสุทธิ์ ปราศจากแร่ธาตุและหินปูน น้ำในโรงงานที่บำบัดและหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่อาจมีปริมาณของเกลือหลงเหลืออยู่ ไม่ควรนำมาใช้ผสมดินหล่อ เพราะจะทำให้น้ำดินหล่อไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้น น้ำที่นำมาใช้ผสมดินหล่อจะต้องมีคุณภาพสะอาดเท่าน้ำดื่ม น้ำอุ่นจะทำให้ดินละลายตัวได้เร็วกว่าน้ำเย็น

เศษดินที่ผ่านการหล่อแล้ว สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ผสมดินครั้งใหม่ไม่เกิน 30% ของปริมาณทั้งหมด เพราะเศษดินได้ปนเปื้อนพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ และมีน้ำยาเก่าอยู่แล้ว ถ้านำเศษ ดินล้วน ๆ มาเตรียมน้ำดินหล่อใหม่จะเกิดปัญหาดินอืด แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ไม่ยอมดูดน้ำดินหรือดูดได้ช้ามาก ดินจะอ่อนยุบตัวแกะออกจากแบบไม่ได้ เนื่องจากมีน้ำยามากเกินไป

2.6 การเตรียมน้ำดินหล่อ

การเตรียมน้ำดินหล่อสามารถเตรียมได้ 2 วิธีคือ การเตรียมจากวัตถุดิบแห้ง และการเตรียมจากวัตถุดิบที่เปียกหรือมีความชื้น ซึ่งผ่านการบดจนละเอียดมาแล้ว

2.6.1 การเตรียมน้ำดินหล่อจากวัตถุดิบแห้ง วัตถุดิบทุกชนิดที่จะนำมาผสมน้ำดินหล่อควรผ่านการบดละเอียดมาแล้ว และกรองผ่านตะแกรง # 100 เมช ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบดินขาว ดินดำ เฟลด์สปาร์ หรือซิลิกา วัตถุดิบเหล่านี้จะต้องแห้งสนิทก่อนนำมาชั่งตามอัตราส่วนผสม

ตัวอย่าง การคำนวณสูตรดินหล่อ ปริมาณ 100 กก.

ดินขาวล้าง	70	กก.
ดินสุราษฎร์ล้าง	20	กก.
ซิลิกา	10	กก.
รวม	100	กก.

ปริมาณน้ำ 45 ลิตร : ดินแห้ง 100 กก.

ปริมาณน้ำยาโซเดียมซิลิเกต 0.25 กรัม : ดินแห้ง 100 กรัม

การคำนวณปริมาณน้ำยา

วัตถุดิบ 100 กรัม เติมน้ำยา = 0.25 กรัม

วัตถุดิบ 100,000 กรัม เติมน้ำยา = $\frac{0.25 \times 100,000}{100}$ กรัม

$\therefore$ น้ำยาโซเดียมซิลิเกต = 250 กรัม

วิธีเตรียมดินหล่อจากวัตถุดิบแห้ง

1) ชั่งวัตถุดิบแห้งทุกชนิดตามอัตราส่วนผสมของสูตร ชั่งปริมาณของน้ำยาโซเดียมซิลิเกต และตวงปริมาณน้ำตามอัตราส่วน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2) เตรียมถังกวนน้ำดิน เป็นถังสแตนเลส ถังพลาสติก ไฟเบอร์กลาส หรือโอ่งมังกร ไม่ควรมีสนิมและมีความทนทานดี ใส่น้ำ 45 ลิตร ลงในถัง เติมน้ำยาละลายในน้ำให้หมด ถ้ารู้สึกว่าน้ำยามาก ใส่แค่ 3 ใน 4 ส่วน น้ำยาที่เหลือเก็บไว้ปรับน้ำดินตอนใกล้เสร็จ

3) นำวัตถุดิบที่มีความเหนียวใส่ก่อน เช่นดินดำ โรยลงไปจนหมด ขณะที่กวนถังอยู่ตลอดเวลาด้วยไม้พายหรือสว่านไฟฟ้าต่อด้ามติดใบพัดเพื่อการทุ่นแรง ระวังใบพัดจะตีโดนขอบถังพลาสติกแตกได้ จากนั้นใส่ดินขาวจนหมดแล้วเติมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวตามต้องกวนอยู่ตลอดเวลาให้วัตถุดิบผสมกับน้ำและน้ำยาจนทั่ว

4) เมื่อเติมวัตถุดิบและน้ำยาลงไปหมดแล้วตรวจดูน้ำดินที่ได้ ถ้ามีความเหลวไหลตัวดี และมีค่าความถ่วงจำเพาะเกิน 1.60 แปลว่าใช้ได้ ซึ่งคุณภาพของน้ำดินมีอยู่ 3 เกณฑ์ คือ 1. ใช้ได้ 2. ดี และ 3.ดีมาก ส่วนมากผู้หัดเตรียมน้ำดินที่ยังไม่มีความชำนาญคุณภาพของน้ำดินหล่อจะอยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้

5) การปรับคุณภาพน้ำดินหล่อถ้ารู้สึกว่าน้ำดินที่เตรียมมีความข้นเกินไปให้เติมน้ำยาเพิ่มอีก 50 กรัม แล้วกวนต่อไป ถ้าดินเหลวไหลตัวดีแสดงว่าใช้ได้แล้ว แต่ถ้าเติมน้ำยาครบ 300 กรัมแล้ว น้ำดินยังไม่ยอมไหลตัวให้เพิ่มปริมาณน้ำทีละ 500 cc. กวนต่อไปจนกว่าน้ำดินจะเหลวโดยปกติน้ำดินที่เพิ่งเตรียมเสร็จจะมีความข้นมากแต่เมื่อนำน้ำดินไปหมักไว้ 3-5 วัน ก่อนใช้น้ำดินจะไหลตัวดีขึ้นน้ำดินที่กวนเสร็จเรียบร้อยแล้วควรกรองผ่านตะแกรง #100 เมช ก่อนนำไปหมัก ในกรณีที่น้ำดินเหลวเกินไปควรเพิ่มปริมาณวัตถุดิบทีละ 500 กรัม แล้วกวนต่อไป

6) น้ำดินที่ผสมเรียบร้อยแล้ว ควรหมักไว้อย่างน้อย 3 ก่อนนำไปใช้ เพื่อให้เม็ดดินดูดน้ำยาไว้เต็มที่ น้ำดินจะมีความเหนียวมากขึ้นและมีการไหลตัวดีขึ้น

2.6.2 การเตรียมน้ำดินหล่อจากวัตถุดิบเปียก วิธีนี้เป็นที่นิยมของโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุดิบทุกชนิดถูกชั่งตามอัตราส่วนของเนื้อดิน โดยนำหักค่าความชื้นออกนำมาบดในหม้อบดเติมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวลงบดก่อน เช่น เฟลด์สปาร์ และซิลิกา บดไปประมาณ 9-10 ชั่วโมง หรือ 1 วัน จึงเติมดินดำลงไปบดต่อแล้วเติมดินขาวประการสุดท้าย บดรวมกันประมาณ 5 - 6 ชั่วโมง เมื่อวัตถุดิบมีความละเอียดดีแล้วเกรอะดินให้แห้ง หรือนำมาเข้าเครื่องฟิลเตอร์เพรสอัดเอาน้ำออกจากเนื้อดิน จะได้ดินแผ่น (Filler cake) หรือดินเหนียวเปียก พร้อมที่จะนำมาใช้งานได้

วิธีเตรียมน้ำดินหล่อจากวัตถุดิบเปียก

1) ดิน 2 ถุง หรือดิน 100 กก. เปียก ใช้น้ำประมาณ 10-12 กิโลกรัม (ลิตร)

2) เอาน้ำ 2 ลิตร เทใส่ลงในถังกวนดิน ละลายน้ำยาโซเดียมซิลิเกต 160 กรัม ลงในน้ำให้หมด

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3) ตัดดินเหนียวเป็นชิ้นเล็กใส่ลงในถังกวน ถังกวนที่ใช้ผสมดินจะเป็นถังกวนชนิดมีความเร็วรอบสูง (High speed blunger) สามารถดีดิน 100 กก. ได้ภายใน 45 นาที จนดินละลายรวมกับน้ำและน้ำยา การผสมแบบเปียกที่ไม่จำเป็นต้องกรองน้ำดิน เพราะว่าซื้อดินสำเร็จมาใช้ซึ่งเนื้อดินได้ผ่านการกรองและบดมาแล้ว

4) ตรวจสภาพน้ำดินและปรับน้ำดินให้มีค่าความถ่วงจำเพาะตามต้องการหมักน้ำดินไว้ 2 วันก่อนใช้ ในถังหมักดินจะที่มีพัดกวนช้า เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากดิน น้ำดินที่เตรียมสำหรับการหล่อตันควรมีค่าความถ่วงจำเพาะไม่ต่ำกว่า 1.78-1.80 แล้วแต่ขนาดของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีขนาดใหญ่ควรมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงเกิน 1.80 และควรมีความละเอียดและเหนียวมากกว่าดินหล่อกลวง ตามโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่นิยมเตรียมน้ำดินด้วยวิธีเปียก เพราะได้น้ำดินมีคุณภาพดีกว่าการเตรียมด้วยวิธีแห้ง ซึ่งทางโรงงานต้องเตรียมดินเหนียวเพื่อใช้ขึ้นรูปด้วยวิธีจิกเกอร์อยู่แล้ว การเตรียมน้ำดินหล่อด้วยวิธีผสมเปียกสามารถเตรียมได้ง่ายกว่าวิธีแห้ง ดังได้อธิบายมาแล้ว

การเตรียมน้ำดินหล่อให้มีมาตรฐานทุกครั้ง ควรใช้วัตถุดิบ น้ำ และน้ำยาชนิดเติมในปริมาณเท่าเดิม และต้องเตรียมน้ำดินหล่อให้มีความหนาแน่น หรือค่าความถ่วงจำเพาะเท่าเดิมทุกอย่างจึงแน่ใจได้ว่าคุณภาพของน้ำดินหล่อที่ออกมาใช้ได้ ไม่มีปัญหาในการผลิต

2.3.6 การทดสอบทางกายภาพของน้ำดินหล่อ ควรมีการทดสอบคุณภาพโดยละเอียดก่อนนำไปใช้งาน เพื่อ ควบคุมคุณภาพของน้ำดินหล่อให้มีมาตรฐานเดียวกัน เช่น ตรวจสอบค่าความหนาแน่นของเนื้อดิน หรือค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการไหลตัวของน้ำดิน น้ำดินแข็งเป็นวุ้นเร็วเกินไปหรือไม่ น้ำดินมีอัตราการหล่อและถอดแบบได้เร็ว ผลิตภัณฑ์ที่หล่อเสร็จแล้วมีความแข็งแรงขณะผึ่งแห้ง มีการหดตัวน้อย ไม่บิดเบี้ยวหรือแตกร้าวได้ง่ายเป็นต้น

1) ความหนาแน่น (Density) น้ำดินที่มีค่าความหนาแน่นสูง มีความข้นมากกว่าน้ำดินที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ

ค่าความหนาแน่น (D) หมายถึงค่าของมวลต่อปริมาตร

$$D = \frac{\text{มวลน้ำหนัก(กรัม)}}{\text{ปริมาตร(ลิตร)}}$$

ตัวอย่าง น้ำดิน 1 ลิตร (1000 cc.) มีน้ำหนัก 1,700 กรัม

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{1700}{1000}$$

ความหนาแน่น (D) = 1.7 กรัม / cc.

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

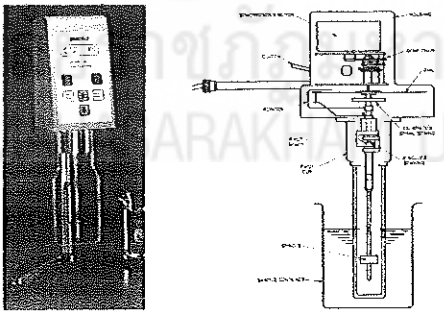
การหาค่าความหนาแน่นของน้ำดิน ถ้านำมาชั่งน้ำหนักและปริมาตรทั้งหมดของวัตถุดิบไม่สะดวกและทำได้ยาก มีวิธีหาค่าความหนาแน่นของน้ำดิน โดยวิธีง่าย ๆ 2 วิธีคือ

1. วัดด้วยเครื่องไฮโดรมิเตอร์ มีหน่วยวัดเป็น (Be โบรเม่) มีค่า 1.00-2.00 วิธีใช้แท่งโฮโดรมิเตอร์ จับด้วย 2 นิ้ว ในแนวดิ่งตรงด้านปลายอยู่เหนือของเหลวที่จะวัดประมาณ 1/2" ปล่อย นิ้วออกจากแท่งไฮโดรมิเตอร์ช้าๆ ให้จมลงไปในของเหลวด้วยน้ำหนักของตัวมันเอง ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที อ่านค่าที่ได้ ควรเช็ดแท่งไฮโดรมิเตอร์ด้วยผ้าชื้น ๆ ก่อนใช้งาน การวัดด้วยแท่งไฮโดรมิเตอร์สะดวกทำได้ง่าย แต่มีความผิดพลาดสูง ถ้าใช้ไม่ถูกวิธี

2. วัดด้วยวิธีชั่งน้ำหนักตวงด้วยเหยือกตวง 1 ลิตรนำไปชั่งน้ำหนักแล้วหารด้วย 1000 กรัม ออกมาเป็นค่าความถ่วงจำเพาะ หรือใช้หลอดตวง 100 ml. หักน้ำหนักหลอดออกจะได้ค่าความถ่วงจำเพาะต่อปริมาตรของวัตถุดิบ 100 cc. นำมาหารด้วย 100 จะเป็นค่าความถ่วงจำเพาะได้น้ำหนักเป็นกรัม / cc.

2) ค่าความหนืด มีผลต่อการไหลตัวของน้ำดิน น้ำดินที่ดีต้องมีความเข้มข้นสูงแต่มีการไหลตัวดี เพื่อให้น้ำดินไหลไปตามส่วนต่าง ๆ ของแบบพิมพ์ได้ทุกซอกทุกมุม และช่วยให้เทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ได้หมดในเวลาอันสั้น ไม่มีตำหนิก้อนน้ำดินอยู่ด้านในของแบบพิมพ์ ถ้าน้ำดินไหลตัวไม่ดีจะเกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาในการหล่อ ซึ่งมีเครื่องที่ช่วยในวัดความหนืดดังนี้

1. เครื่องวัดความหนืดของน้ำดินหล่อระบบบรูคฟีลด์ (Brookfield)



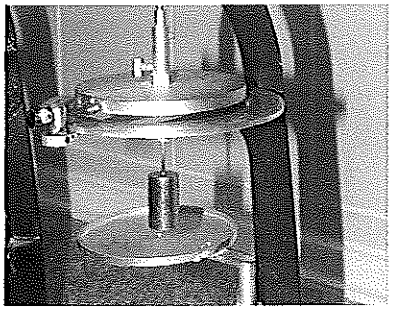
ภาพที่ 2.3 เครื่องวัดความหนืดของน้ำดินหล่อระบบบรูคฟีลด์ (Brookfield)

(ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 237)

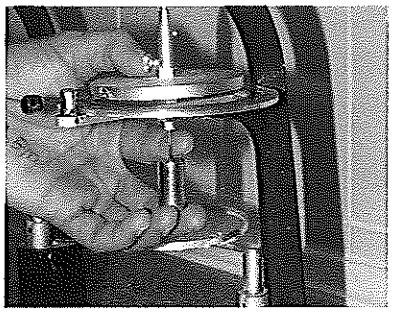
2. การวัดความหนืด โดยใช้เครื่อง(Kallenkamp) มีลำดับขั้นตอนการหาค่าโอเวอร์สวิง และทิกโซโทรปี (OVER SWING & THIXOTROPY) มีดังต่อไปนี้

2.1 ทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องวัดค่าความหนืด (Kallenkamp) ที่ใช้ในการหาค่า โอเวอร์สวิง และทิกโซโทรปี (OVER SWING & THIXOTROPY)) ให้แห้งและตั้งเครื่องให้พร้อมใช้งาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.4 เครื่องวัดค่าการไหลตัว/ความหนืด

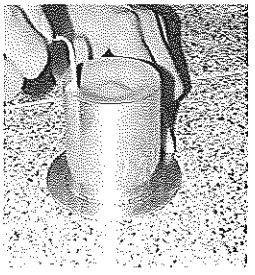


ภาพที่ 2.5 ทำการเซตค่าศูนย์ วัดค่าความหนืด

2.2 กวนน้ำดิน ในกระป๋อง แล้วเทลงใส่ถ้วยเช็ค ตีด้วยเหล็กขึ้นลงประมาณ 1 นาทีเมื่อครบก็หยุด นำถ้วยเช็คเข้าเครื่องวัดค่าการไหลตัว/ความหนืด (Kallenkamp) แล้วอ่านค่าโอเวอร์สวิง (OVER SWING) เมื่อเวลาเริ่มต้น จดบันทึกค่าที่อ่านได้

ภาพที่ 2.6 กวนเวอร์จิ้นสลิป

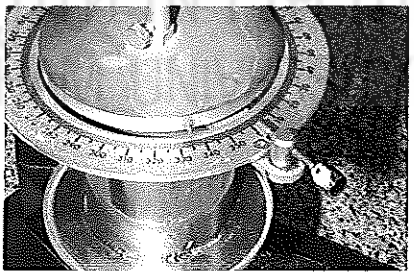
ภาพที่ 2.7 เทเวอร์จิ้นสลิปใส่ถ้วยเช็ค



ภาพที่ 2.8 ตีเวอร์จิ้นสลิปในถ้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
RAJABHAT NAKHONSAWAN UNIVERSITY

ภาพที่ 2.9 นำถ้วยเวอร์จิ้นสลิปเข้าเครื่อง



ภาพที่ 2.10 อ่านค่าโอเวอร์สวิง (OVER SWING)

2.3 เมื่อครบ 5นาที จดบันทึกค่า (ค่าที่ต่างกันของโอเวอร์สวิง (OVER SWING) ของทั้งสองเวลาคือค่าทิกโซโทรปี (thixotropy) ดังตัวอย่างการหาค่า Thixotropy ต่อไปนี้

- ค่าโอเวอร์สวิง (OVER SWING) ที่อ่านได้ตอนแรก = 350 ‘
- ค่าที่อ่านได้หลังจากทิ้งไว้ 5 นาที = 345 ‘
- ค่าทิกโซโทรปี (THIXOTROPY) ก็คือ 350’ – 345’ = 5 ‘

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบการจับเวลากับค่าความหนืด (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 238)

ตารางจับเวลาการไหลตัวของน้ำดิน 300 cc.		
ความถ่วงจำเพาะ	ความหนืด (พอยส์)	เวลาการไหล (วินาที)
1.70-1.72	1.9-3.5	15-20 (ค่อนข้างใส)
1.73-7.74	4.0-6.0	20-25 (ปานกลาง)
1.75 ขึ้นไป	7.0-9.0	38-47 (ข้น-ข้นมาก)

ความเป็นวุ้น ทิกโซไทรปี (Thixotropy) หมายถึง ความข้นของน้ำดินที่จับตัวในสภาพเป็นวุ้น เมื่อตั้งน้ำดินทิ้งไว้ สังเกตได้จากน้ำดินที่มีผิวหน้าจับเป็นแผ่นลอยเป็นฝา คุณสมบัตินี้ช่วยให้น้ำดินแห้งตัวและถอดพิมพ์ได้เร็ว แต่ถ้ามีมากเกินไปจะเกิดผลเสียตามมาคือ เทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ได้ยาก ชิ้นงานติดแบบพิมพ์และเสียรูปทรงได้ง่าย (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 240)

ในน้ำดินหล่อที่ดีจะต้องมีค่าความข้นจนเป็นวุ้นอยู่ในระดับหนึ่ง เพื่อการถอดแบบพิมพ์ได้ โดยทดสอบได้โดยการเทน้ำดินลงในแบบพิมพ์มาตรฐาน ตั้งทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมงนำมาเทน้ำดินออก ถ้าน้ำดินยังไหลออกได้ดีแสดงว่าไม่มีปัญหา หรือทดสอบโดยการตั้งน้ำดินเปิดฝาถังทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง ผิวหน้าของน้ำดินจับตัวเป็นฝาและน้ำดินแข็งตัวหรือไม่ ถ้าไม่แข็งตัวเป็นวุ้นแสดงว่าน้ำดินใช้ได้ดี ปกติก่อนจะนำน้ำดินหล่อมาใช้งานจะต้องกวนน้ำดินทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อสลายตัวจากสภาพการเป็นวุ้น น้ำดินมีความเหลวสม่ำเสมอ จะช่วยลดปัญหาได้

ความแข็งแรงของชิ้นงานเมื่อแห้ง(Green Strength) ขึ้นอยู่กับปริมาณของดินดำหรือดินเหนียวในเนื้อดินหล่อ ดินดำมีความละเอียดและมีความเหนียวเมื่อเปียก เมื่อแห้งดินดำจะแข็งแกร่ง ไม่เปราะหรือแตกหักได้ง่ายเหมือนดินขาว ดินดำเป็นวัตถุดิบที่ให้ความเหนียวในเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก ทำให้ขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้ง่ายและยึดวัตถุดิบในเนื้อดินเข้าด้วยกัน ให้ความแข็งแกร่งก่อนเผา

เครื่องสุขภัณฑ์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ที่ขึ้นรูปด้วยน้ำดินหล่อ จะต้องใช้เนื้อดินคุณภาพดีที่มีความละเอียดและมีความเหนียว เพื่อให้ชิ้นงานทรงตัวอยู่ตามรูปทรงโดยไม่เปราะแตกง่าย ผลิตภัณฑ์เมื่อแห้งมีความแข็งแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายไปตกแต่งพ่นน้ำเคลือบ หรือลำเลียงเข้าเตาเผาได้โดยไม่แตกร้าว การที่เตรียมสูตรส่วนผสมของเนื้อดินได้มาตรฐาน สามารถลดปัญหาในการผลิต

การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้ว ควรจะมีค่าการหดตัวน้อย เพราะถ้ามีอัตราการหดตัวสูง ชิ้นงานจะบิดเบี้ยวได้ง่ายทำให้เสียรูปทรง อัตราการหดตัวของเนื้อดินขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบที่มีความเหนียวและน้ำในดินหล่อ ถ้ามีปริมาณของน้ำในน้ำดินหล่อมาก เมื่อน้ำระเหยออกไปเนื้อดินจะหดตัวมาก ดังนั้น ปัจจัยหลักในการเตรียมน้ำดินหล่อก็คือจำกัด

วิทยานิพนธ์ งานวิจัย
สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปริมาณของน้ำให้ต่ำที่สุดและให้มีเนื้อดินอยู่ในปริมาณสูง วัตถุดิบที่มีความเหนียวใช้ในปริมาณที่จำกัด พอให้ขึ้นรูปได้และมีความแข็งแกร่งในการผึ่งแห้ง

การทดสอบค่าความเป็นกรดและด่าง (pH testing) นอกจากนี้จะต้องมีการทดสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำดินให้มีมาตรฐานคงเดิมทุกครั้ง

2.3.7 การปรับปรุงคุณภาพของน้ำดินหล่อ การหล่อชนิดเทออกทั่วไปที่มีชิ้นงานขนาดสูงไม่เกิน 1 ฟุต การเตรียมน้ำดินไม่ค่อยมีปัญหามาก ควรตั้งมาตรฐานให้มีความถ่วงจำเพาะอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 1.75 - 1.80 แต่ถ้าเป็นน้ำดินหล่อเครื่องสุขภัณฑ์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ จะต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะไม่ต่ำกว่า 1.80 จะมีปัญหาในการหล่อและจะยุบตัวได้ง่าย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่มีความหนา และมีน้ำหนักมาก มาตรฐานดินหล่อที่ดีจึงเป็นมาตรฐานดินหล่อสุขภัณฑ์

การควบคุมคุณภาพดินหล่อให้ใช้งานได้ดีมี 3 ประการ คือ

1) การไหลตัว (Fluidily)

2) ความข้นเป็นวุ้น (Thixotropy)

3) ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specitic gravity)

การปรับปรุงคุณภาพดินหล่อ (Fine tune) หรือปรับน้ำดินหล่อในขั้นตอนสุดท้ายจะทำหลังจากที่ผสมน้ำดินหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้วน้ำดินที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะไม่ถึงเป้าหมายที่ต้องการ น้ำในดินไหลตัวไม่ดี หรือน้ำดินมีค่าความแข็งตัวเป็นวุ้นเร็วเกินไป ต้องปรับน้ำดินในขั้นตอนนี้โดยเติมน้ำยา น้ำ หรือเนื้อดินตามความเหมาะสมเพื่อปรับน้ำดิน

ตารางที่ 2.5 ปฏิกิริยาน้ำดินเมื่อเติมวัตถุดิบในการปรับคุณภาพ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 241)

เติมวัตถุดิบ	การไหลตัว	ค่าความข้นเป็นวุ้น	ค่าความถ่วงจำเพาะ
1. น้ำยา	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลงเล็กน้อย
2. น้ำ	เพิ่มขึ้น	ลดลงเล็กน้อย	ลดลง
3. เนื้อดิน	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น

ในการปรับน้ำดิน บางครั้งจะต้องเติมวัตถุดิบ 2 ชนิดพร้อมกัน เช่นในกรณีที่น้ำดินมีอัตราการไหลตัวดี แต่มีค่าความขันเป็นวุ้นอยู่ในเกณฑ์สูง จะต้องเติมน้ำยาและเนื้อดินเพิ่มในดินหล่อ โดยปกติถ้าเป็นเนื้อดินสูตรเดิมคงที่การปรับทำได้ไม่ยากเพราะมีมาตรฐานเดิมอยู่แล้ว ปัญหาที่เกิดจาก น้ำดินหล่อไม่ได้มาตรฐานที่พบบ่อย ๆ คือ น้ำดินมีค่าการไหลตัวสูงแต่มีค่าความแข็งตัวเป็นวุ้นต่ำเกินไป หรือน้ำดินมีค่าการไหลตัวต่ำและมีค่าความแข็งตัวเป็นวุ้นสูง

199673

ตารางที่ 2.6 ปัญหาที่พบในน้ำดินหล่อ เนื่องจากน้ำดินมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน(ไพจิตร อึ่งศิริวัฒน์. 2541 : 241)

คุณภาพของน้ำดิน	ปัญหาในการหล่อน้ำดิน
ค่าการไหลตัวสูง/แต่ค่าความแข็งตัวเป็นวุ้นต่ำ (น้ำมากเกินไป)	หล่อได้ช้า, ดินยุบตัวง่าย, เปราะแตกง่าย ขณะตัดแต่ง, แตกร้าวง่ายขณะผึ่งแห้ง
ค่าการไหลตัวต่ำ/แต่ค่าความแข็งตัวเป็นวุ้นสูง (ดิน + น้ำยามากเกินไป)	มีฟองอากาศในน้ำดิน (รูเข็มหลังเผาเคลือบ) เทน้ำดินออกได้ช้า ดินอืด การแห้งตัวช้า

จะเห็นได้ว่าการเตรียมน้ำดินหล่อให้ได้มาตรฐานจริง ๆ นั้นทำได้ยาก ต้องควบคุมวัตถุดิบ การบด การผสม และตรวจสอบโดยละเอียดทุกขั้นตอน เพื่อให้ได้น้ำดินหล่อที่ดีมีคุณภาพคงเดิมทุกประการ

แก้ว (Glasses) (ศศิเกษม ทองยงค์. 2520 : 1- 9)

แก้ว คือ วัสดุที่มีความแข็ง โปร่งแสง เปราะ มีความแวววาว มีจุดหลอมละลายสูง ไม่ละลายน้ำ และสารละลายใด ๆ ไม่ติดไฟ

ในพจนานุกลมกล่าวไว้ว่า แก้ว คือ สารประกอบซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งแสง มีความเปราะในตัว

หรือในทางเทคนิคกล่าวไว้ว่า แก้ว คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหลอมอนินทรีย์สาร มีการเย็นตัวจนกระทั่งแข็ง โดยไม่มีการตกผลึก ส่วนประกอบทางเคมี มี SiO_2, B_2O, Na_2CO_3, $CaCO_3$ $MgCO_3$ (Dolomite)

แก้วทำจากอนินทรีย์สารคือ ทรายแก้วเป็นสารประกอบสำคัญ นอกจากนั้นก็เป็นอนินทรีย์สารออกไซด์ต่าง ๆ เช่น Ferric Oxide, Phosperie Oxide แก้วมีส่วนประกอบทางเคมีไม่แน่นอน แต่ส่วนผสมจะต้องอยู่ในขอบเขตจำกัด ถ้าหากจัดสัดส่วนของส่วนผสมเกินออกไปจากที่กำหนดจะทำให้แก้วหลอมละลายหรือเกิดความยุ่งยากต่าง ๆ เกิดขึ้น แก้วแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. แก้วที่เกิดมาโดยธรรมชาติ (God-made glass) เป็นแก้วที่เรียกว่า Obsidian เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของสารหลอมเหลว (Magma) ที่พ่นออกมาจากช่องภูเขาไฟ มีสีเทาหรือสีม่วงดำ ต่อมาในยุคหินที่มนุษย์เริ่มรู้จักใช้ไฟในการหุงต้ม ตรงเชิงตตะกอนเตาเมื่อได้รับความร้อนสูงพอ อาจทำให้เกิดการหลอมละลายที่ผิวเป็นลูกปัดแก้ว (Glass Bead) กลม ๆได้ แก้วธรรมชาติ เช่น หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz) มีจุดหลอมเหลวสูงมาก กล่าวคือ ทรายแก้วบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวที่ 1710 ^{o}C เมื่อละลายแก้วเรียกว่า Fused Silica

2. แก้วที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-mode glass) เป็นแก้วที่มนุษย์คิดประดิษฐ์ขึ้น ได้แก่

2.1 แก้วซิลิกา (Fused silica or vitreous) ได้จากกรรมวิธีการหลอมทรายแก้วหรือควอตซ์ที่บดละเอียด โดยไม่ผสมวัตถุดิบอื่น ๆ ลงไป มีจุดหลอมเหลวสูง (1710 ^{o}C) มีการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนน้อย ส่วนมากใช้ทำเครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการ (Lab) แก้วชนิดนี้เวลาหลอมมักมีฟองมาก จึงนิยมทำการหลอมในสุญญากาศ (Vacuum) มีความหนืดสูง มีความคงทน (Stability) ทางเคมี และทนไฟได้ดี

2.2 แก้วซิลิกา 96 เปอร์เซ็นต์ มีสมบัติเกือบจะเหมือน Fused silica แต่มีจุดหลอมต่ำกว่ามีการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงกว่า เพราะมีสารช่วยหลอมละลาย (Fluxing oxide) ผสมอยู่ เพื่อลดจุดหลอมให้ต่ำลงและสะดวกในการขึ้นรูป ใช้ทำเครื่องใช้ในห้อง Lab พวกหลอดแก้ว (Tubes) หรือถ้วยแก้ว (Rod)

2.3 แก้วโซดาไลม์ เป็นชนิดที่ใช้มากที่สุดโดยการใช้โซดา (Soda) หรือโปแตช (Potash) ผสมเป็นสารช่วยหลอมละลาย (Fluxing oxide) เพื่อลดจุดหลอมให้ต่ำลงลดความหนืดให้สะดวกในการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังมีไลม์ (CaO) แมกนีเซีย (MgO) และอลูมินา (AI_2O_2) ปนอยู่เล็กน้อยเพื่อให้แก้วมีความคงทนต่อสารเคมี แก้วชนิดนี้ถ้าผลิตบางจะไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหัน (Thermal chock) ใช้ทำกระจกหน้าต่าง กระจกแผ่น หลอดแก้ว ถ้วยแก้ว แก้วกันกระสุน (Bullet proof glass) แก้วกระจกรถ เป็นต้น วัตถุดิบที่ใช้เป็นตัวลดอุณหภูมิในการผลิตและหลอมแก้ว ได้แก่ โซดาแอซ (Na_2CO_3) สารชนิดนี้เมื่อเอาไปผสมกับทรายแก้วในอัตราส่วน 10-16% จะลดอุณหภูมิในการหลอมลงมา 700-800 องศาเซลเซียส ทำให้ทรายแก้วหลอมตัวได้ง่ายขึ้น โซดาแอซ เมื่อผสมกับทรายแก้ว จะได้แก้วชนิด Sodium silicate (Na_2SiO_2) คุณสมบัติละลายในน้ำได้ง่าย ดังนั้นจึงใส่หินปูน ($CaCO_3$) ลงไปด้วยเพื่อไม่ให้ละลายน้ำ เมื่อหลอมตัวเป็นแก้วแล้วเลยถูกเรียกว่า (Soda lime glass) นอกจากนี้เศษแก้ว (Cullet) ก็ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์เช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้ประมาณ 10-75% ของวัตถุดิบ

แก้วโซดาไลม์มีราคาถูก หลอมละลายง่าย ถูกใช้ทำขวดน้ำชนิดต่าง ๆ ทั้งชนิดใสและมีสี ซึ่งเราสามารถพบเห็นได้ทั่วไป และใช้ทำกระจกแผ่น กระจกหน้าต่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำกระจกนิรภัยหรือที่เรียกว่า Safety Glass กระจกกันกระสุนหรือเรียกว่า Bullet proof glass และลูกถ้วยไฟฟ้า

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแก้วโซดาไลม์ทำให้แก้วชนิดนี้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง ความใสของแก้วโซดาไลม์ถูกนำไปใช้ทำกระจกหน้าต่าง นอกจากนั้นความเรียบและความไม่มีรูพรุนของพื้นผิวทำให้ขวดน้ำหรือภาชนะที่ทำจากแก้วชนิดนี้ทำความสะอาดได้ง่าย ภาชนะที่ทำจากแก้วโซดาไลม์ใส่น้ำ เครื่องดื่ม อาหาร รสชาติจะไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มีสิ่ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อันตรายใด ๆ ปนเปื้อน ปริมาณของอัลไคด์ที่มีสูงในแก้วทำให้จุดหลอมเหลวของแก้วลดต่ำลง แต่จะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal expansion coefficient) ลงประมาณ 20 เท่า จาก ~0.5 x 10-6/K ถึง 9x10-6/K ซึ่งแก้วโซดาไลม์เป็นแก้วชนิด Soft glass (แก้วที่มีค่า a ต่ำกว่า 6x10-6/K จึงเรียกว่า Hard glass) เพราะมีค่า Thermal expansion สูง ความต้านทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันย่อมมีค่าน้อย ดังนั้น ต้องดูแลอย่างมากในขณะใช้งานโดยเฉพาะเมื่อนำไปบรรจุของเหลวที่อุณหภูมิสูง

2.4 แก้วตะกั่ว (Lead alkali silicate glass) แก้วชนิดนี้ได้จากการแทนที่แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ด้วยตะกั่ว (PbO) ตามปกติแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จะใช้ไม่เกิน 15% แต่ถ้าใช้ ตะกั่วแทนสามารถใช้ได้ถึง 80% โดยตะกั่วทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย (Fluxing oxide) เนื่องจากมีส่วนผสมของตะกั่วจึงมีความแวววาวสุกใสสวยงาม นิยมใช้ทำหลอดแสงสว่าง ทั้งชนิดธรรมดาและหลอดนีออน นอกจากนั้นยังนิยมเอาไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทงานศิลป์ (Art ware) และแก้วเจียระไนอีกด้วย (Gystal glass) มีความต้านทานไฟฟ้าได้ดี จึงนำไปใช้ผลิตอุปกรณ์ วิทยุ และเครื่องหลอดโทรทัศน์หลอดวิทยุต่าง ๆ เป็นต้น

2.5 แก้วโบโรซิลิเกต (Boro silicate glass) แก้วชนิดนี้ใช้บอแรกซ์ (Borax) เป็นตัวช่วยหลอมละลาย (fluxing agent) โดย B_2O_3 จะลดความหนืดของแก้วลงแต่ทำได้น้อยกว่า Soda การขึ้นรูปค่อนข้างลำบาก แต่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (Thermal chock) ได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนของสาร (Chemical corrosion) ใช้ทำพวกภาชนะหุงต้ม เพราะทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันกัน ภาชนะที่ใช้ในห้องทดลอง (Lab) และเลนส์ของกล้องดูดาว (Telescope morror)

2.6 แก้วอลูมินาซิลิเกต (Alumina silicate glass) ได้แก่ แก้วที่มี Al_2O_3 มากกว่า 20% มี CaO และ MgO ปริมาณน้อยมีจุดหลอมสูงมีการขยายตัวน้อยเมื่อได้รับความร้อน จึงเหมาะที่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทที่จะต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูง (Height temperature) และภาชนะหุงต้ม (Coking ware)

2.7 แก้วสี (Color glass) เป็นแก้วที่มีสี ทำได้โดยผสมพวกสารให้สี (Color rants) ที่เป็นออกไซด์ของโลหะ (Metteric oxide) ลงไปปริมาณเล็กน้อยประมาณ 1-4% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีที่ต้องการ

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตแก้ว มีดังนี้

1. ทรายหรือทรายแก้ว (Glass sand) เป็นตัวทำให้เกิดแก้ว ทรายแก้วที่ดีจะต้องมีปริมาณของเหล็กต่ำ และสารประกอบอื่นประเภท Impurities เจือปนอยู่น้อย มิฉะนั้นจะได้เนื้อแก้วที่ไม่ค่อยใส คือจะมีสีปะปนอยู่ในเนื้อและยากในการหลอมละลาย วัตถุดิบประเภทนี้ในประเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ไทยเรามีปริมาณมากและคุณภาพดี ที่ใช้มีอยู่ 2 แห่ง คือ ทรายแก้วจากจังหวัดระยอง กับที่จังหวัดสงขลา

2. ตัวช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมแก้ว (Fluxes) ที่นิยมใช้ได้แก่ โซดาแอช (Na_2CO_3) ชนิดหนัก (Dense) สารนี้เมื่อนำไปผสมกับทรายในอัตรา 10-16% จะลดอุณหภูมิการหลอมลงมา 700-800 ^{o}C ทำให้ทรายแก้วหลอมตัวง่ายขึ้น เช่น

- โซดาแอช (Na_2CO_3) เมื่อผสมกับทรายแก้ว (SiO_2) จะได้แก้วชนิด Sodium silicate (Na_2SiO_3) หรือเราเรียกว่า Water glass คุณสมบัติละลายน้ำได้ง่าย ดังนั้นจึงใส่หินปูน($CaCO_3$) ลงไปด้วยเพื่อไม่ให้ละลายน้ำ เมื่อหลอมตัวเป็นแก้วแล้วจึงเรียกว่า Soda-lime glass นอกจากนั้นยังอาจใส่ Alkaline earths ตัวอื่น ๆ ได้อีก เช่น Magnesium, Barium เป็นต้น ฟลักตัวอื่น ๆ ที่นิยมใช้ได้แก่ Feldspar, Lead Oxide และ Boric Oxide ใน Borax ($Na_2B_4O_7$ $10H_2O$) หรือ ($H_2BO_3.10H_2O$) Boric Oxide นิยมใช้ทำ Boric silicate glass อย่างไรก็ดีควรถือหลักเกณฑ์โดยทั่วไปว่า แก้วประเภทใดที่มีจำนวนฟลักสูงจะใช้อุณหภูมิหลอมต่ำ ราคาถูก แต่ถ้าใส่ฟลักน้อยจะทำให้เนื้อแก้วมีคุณภาพดีและมีราคาแพงขึ้น

- เศษแก้ว (Cullet) ก็ยังทำหน้าที่เป็นฟลักเช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้ในอัตราส่วนประมาณ 40-75% ของวัตถุดิบ

3. ตัวฟอกสี (Decolorizing agent) ได้แก่ ซิลิเนียม (Selenium) และโคบอลท์ (Cobalt) ใช้ในปริมาณเล็กน้อย แต่เป็นสารที่มีราคาแพง ใช้สำหรับฟอกสีเขียวที่เกิดจากออกไซด์ของเหล็ก (เหล็กเป็นตัวทำให้เกิดสีในแก้ว) หากมีปริมาณเกิน 0.06% แม้ตัวฟอกสีก็ช่วยไม่ได้ฉะนั้นจะต้องควบคุมปริมาณตัวที่ทำให้เกิดสีด้วยการใช้ซิลิเนียมมีข้อเสียบ้างเล็กน้อยคือ ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินจะทำให้ความสดใสของเนื้อแก้วลดลงอีกประการหนึ่งคือ ถ้าใช้ตัวไล่ฟอง (Arsenic) มากจะมีผลต่อความสมบัติในการฟอกสีของซิลิเนียมด้วย

4. ตัวไล่ฟอง ได้แก่ อาร์ซินิคออกไซด์ (As_2O_3) หรือโซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$) การหลอมแก้วแต่ละครั้งจะเกิดฟองขึ้นอย่างมากมาย เนื่องจากสารพวกคาร์บอเนต (Carbonate) ขณะที่ทำปฏิกิริยาในการหลอมจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอเนตออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดฟอง ฟองนี้จะขจัดได้โดยการเติมพวก As_2O_3 หรือ $NaNO_3$

5. ตัวช่วยทำให้เกิดสีและทึบ (Coloring and Opacifiying Agent) ใช้ในการทำพวกแก้วสีและแก้วทึบ ได้แก่

แก้วสีน้ำเงินใช้	Co_2O_3
แก้วสีฟ้าใช้	$CuSO_4$
แก้วสีเหลืองใช้	$CdSF$, $Fe_2O_3 + C$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แก้วสีเขียวใช้ $K_2Cr_2O_7$, Cr_2O_3

แก้วสีชาใช้ $C + Fe_2O_3 + S$

แก้วสีม่วงใช้ NiO, MnO

แก้วสีเหลืองเขียวใช้ U

แก้วสีแดงใช้ SeO_2+CdSF, SeO_2+C,Au

ส่วนสารที่ทำให้เกิดแก้วทึบแสงก็มี Fluorite (F) กับ Phosphate (p) เป็นต้น

6. ตัวควบคุมความหนืดหรือการไหลตัวของแก้ว (Vicosity fluidity) นิยมใช้อลูมินา (Al_2O_3) หรือเฟลด์สปาร์ (Feldspar) ซึ่งต้องมีความบริสุทธิ์พอสมควร ไม่ควรมีปริมาณเหล็กสูง ฉะนั้นอลูมินาที่ได้จากดิน (Clay) บ็อกไซท์ (Bauxite) ยิบไซท์ (Gibbsite) และไดสปอร์ (Diaspore) จึงไม่นิยมใช้ในการทำแก้วเพราะมีเปอร์เซ็นต์เหล็กสูง นอกจากนั้นอลูมินายังเป็นตัวเพิ่มความแข็ง (Strenge) แก่เนื้อแก้วด้วย ควรใช้ไม่เกิน 2% จากเฟลด์สปาร์เพราะราคาถูกกว่า Calcined Alumina

สรุปแล้วในอุตสาหกรรมแก้ว วัตถุดิบที่ใช้มีมากมายหลายชนิด ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติโดยตรง กับวัตถุดิบที่ผ่านการสังเคราะห์หรือกรรมวิธีทางเคมี

การนำแก้วมาใช้ใหม่นั้นมีด้วยกัน 4 ลักษณะ คือ

1. นำกลับมาใช้ใหม่ตามการใช้งานแบบเดิม เช่น ขวดน้ำอัดลม เบียร์ และภาชนะใส่อาหารต่าง ๆ ก่อนใช้งานก็จะต้องล้างทำความสะอาดเสียก่อน

2. ดัดแปลงเป็นของใช้ใหม่ ๆ เปลี่ยนรูปทรงหรือลักษณะการใช้งาน เช่น นำขวดแก้วมาตัดแต่ง แก้วนำมาทำหลังคาโบสถ์ขวดโหลเลี้ยงปลากัด ใช้เป็นวัตถุดิบทางวิศวกรรมแต่ต้องมีการควบคุมส่วนผสม ขนาด และความบริสุทธิ์การนำมาใช้จะไม่นำแก้วหลายชนิดมาปนกัน ตัวอย่างเช่น

– ใช้แทนก้อนกรวดหยาบในคอนกรีต เราสามารถนำเศษแก้วบดหยาบมาใช้แทนก้อนกรวดได้เศษขวดแก้วหรือกระจกแผ่นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เนื่องจากมีสารอัลคาไลน์สูง เป็นสาเหตุให้เกิดการขยายตัวมากและแตกในที่สุดใช้เป็นกรวดมวลเบาในการผลิตคอนกรีตก่อสร้าง

– ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุขัดสีต่าง ๆ อยู่ในรูปของเม็ดแก้ว (Glass beads) ใช้ขัดและตกแต่งผิวชิ้นงานโลหะ

– ใช้ผสมกับยางมะตอยประมาณ 30% ช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งให้กับผิวถนนและลดการดูดซับความชื้นทำให้แข็งแรงมากขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

– ใช้ผสมแทนหินฟันม้าหรือซิลิกาในการผลิตเซรามิก เช่น พอร์ซเลน ก้อนอิฐ เพราะนอกจากจะให้ความแข็งแรงและความทนทานต่อผลิตภัณฑ์แล้วยังทำหน้าที่ช่วยเป็น ฟลักช่วยลดจุดสุกตัวให้ต่ำลงซึ่งทำให้ประหยัดพลังงาน

– เป็นส่วนประกอบของกระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องบุผนังภายในอาคารบ้านเรือน รวมทั้งอุปกรณ์ตกแต่งบ้านซึ่งผสมอยู่ 50% ขึ้นไปหรืออาจใช้ถึง 100% ลักษณะที่ได้จะโปร่งใสหรือโปร่งแสงมีความแวววาวต่างจากกระเบื้องทั่วไปกระเบื้องที่มีส่วนผสมของแก้วที่ใช้แล้วหรือทำจากแก้วใช้แล้วมีข้อดีตรงที่มีความแข็งแรงสูงทนต่อการเสียดสีสูงและสึกกร่อนได้ดี ดูแลรักษาง่ายดูดซึมน้ำน้อยเพียง 0.03%

3. ใช้แทนวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิก

4. ผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ แก้วสามารถทำเป็นโฟมได้โดยการนำแก้วที่ผ่านการบดจนมีขนาดสม่ำเสมอมาผสมกับดิน หินปูน น้ำและสารก่อโฟม จากนั้นจึงนำไปอัดเป็นแผ่นแล้วนำไปเผา สารก่อไฟจะกลายเป็นก๊าซขยายตัวและทำให้เกิดโพรงพรุน ๆ ในเนื้อผลิตภัณฑ์แผ่นแก้วมีความพรุน ทนต่อเปลวไฟ ไม่ละลายน้ำ ทนต่อสารเคมีและตัดเป็นชิ้นส่วนได้ง่าย เป็นฉนวนกันเสียงและกันความร้อนได้ดี

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุชา พรรณแสง (2550 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษา การนำน้ำดินเอนโกบที่มีส่วนผสมของเศษแก้วชนิดโซดาไลม์มาใช้แทนเฟลด์สปาร์เพื่อเคลือบบนผลิตภัณฑ์บ้านหม้อ พบว่า 1) สูตรเอนโกบที่มีความเหมาะสมที่สุดโดยการคัดเลือกจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเซรามิกส์คือ สูตรที่ 5 ซึ่งส่วนผสมได้แก่ ดินขาว 10 เปอร์เซ็นต์เศษแก้วชนิดโซดาลาม์ 40 เปอร์เซ็นต์หินเขี้ยวหนุมาน 50 เปอร์เซ็นต์ลักษณะของเอนโกบที่ออกมาหลังการเผาสีของเอนโกบมีสีขาวผิวของเอนโกบเรียบสม่ำเสมอและยึดเกาะกับผลิตภัณฑ์ได้ดี 2) ผลการเปรียบเทียบการเคลือบเอนโกบระหว่างวิธีการชุบเคลือบและวิธีการพ่นเคลือบปรากฏว่าสามารถใช้ได้ดีทั้ง 2 วิธี 3) เคลือบเศษแก้วมีการไหลตัวได้ดีโดยมีการไหลตัว 1 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส 4) เมื่อนำเคลือบเศษแก้วมาเคลือบทับเอนโกบอีกชั้นหนึ่ง ผลที่ออกมาคือถ้าพ่นเคลือบให้มีความหนาพอดีไม่บางและไม่หนาจนเกินไปผิวเคลือบมีความมันวาวเป็นเนื้อแก้วและยึดเกาะกับเอนโกบได้ดี

โฆษิต อิสรจินดา (2540 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษา ผลของขนาดวัตถุดิบที่มีต่อการหลอมแก้วโซดาไลม์การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาควัตถุดิบที่มีต่อการหลอมแก้วโซดาไลม์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาถึงลักษณะการหลอมตัวของเม็ด sods ash บนวัตถุดิบแต่ละชนิดที่มีขนาดอนุภาคต่างกันที่ 1,000 องศาเซลเซียส และส่วนที่ 2 เพื่อดู

การหลอมของส่วนผสมวัตถุดิบแก้วที่มีสูตรเดียวกัน แต่มีขนาดอนุภาคต่างกัน แล้วเปรียบเทียบลักษณะปรากฏโดยหลอมที่ 1,400 องศาเซลเซียส ณ เวลาต่าง ๆ กัน แล้วนำผลการทดลองทั้ง 2 มาสรุปร่วมกัน จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วัตถุดิบที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วและรุนแรงกว่าวัตถุดิบที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ แต่การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดเฉพาะตรงที่สัมผัสกันเท่านั้น ทำให้การหลอมตัวเกิดอย่างไม่สม่ำเสมอและเกิดฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ขณะเดียวกันการเลือกผสมวัตถุดิบที่มีความละเอียดให้เหมาะสม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการหลอมแก้วเกิดได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง ใช้เวลาน้อยลง

ภัทธาวุธ มลต์วิเศษ (2548 : 103-112) ได้ทำการทดลอง การนำเศษแก้วสีชาไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระเบื้องเซรามิกจากการศึกษาผลการนำขวดแก้วสีชาที่ใช้แล้วมาใช้แทนแร่เฟลด์สปาร์ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระเบื้องเซรามิกในอัตราส่วนต่างกัน (0%, 25%, 50%, 75%, และ 100%) ขึ้นรูปและเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 1,000, 1,1000, และ 1,200 องศาเซลเซียส จากนั้นทดสอบคุณภาพในด้านกำลังรับแรงดัด ค่าหดตัวหลังการเผา ค่าการดูดซึมน้ำ การทนสารเคมี การทนการรานและวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นด้วยวิธี X-ray Diffraction (XRD) ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนการใช้แก้วสีชา 100% แทนแร่เฟลด์สปาร์ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมสามารถผลิตเป็นกระเบื้องเซรามิกได้และประหยัดพลังงานในการผลิตด้วย

ลดา พันธ์สุขุมธนา (2550 : เวบไซต์) ได้ทดลองใช้เศษแก้วในกระเบื้องดินแดง จากผลการทดลงพบว่า การเติมเศษแก้วในดินแดงมีผลทำให้ดินแดงมีการสุกตัวเพิ่มมากขึ้น คือ มีสมบัติการดูดซึมน้ำลดลง การหดตัวเมื่อเผาเพิ่มขึ้น ความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้น และมีผลให้สมบัติการขยายตัวเมื่อร้อนเพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติความทนสารเคมี และความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยเฉียบพลันไม่เปลี่ยนแปลง โดยเศษแก้วขวดสีชามีแนวโน้มทำให้เกิดการสุกตัวของดินแดงมากกว่าเศษแก้วกระจกสีใส

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY