

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กากตะกอนของเสียอุตสาหกรรม

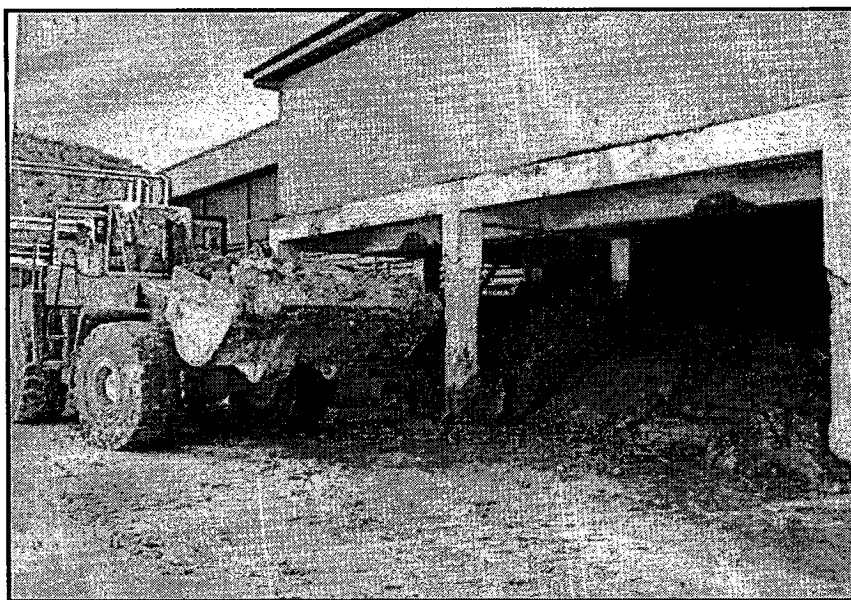
พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 กำหนดคำนิยามของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 หมายความว่า คือสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงานรวมถึงของเสียจากวัตถุดิบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพและน้ำทิ้งที่มีองค์ประกอบหรือมีคุณสมบัติที่เป็นอันตราย [5]

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้ คำนิยาม คำว่าของเสียหมายถึง ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลพิษหรือวัตถุอันตรายอื่นใด ซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษรวมถึงกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้นทั้งที่อยู่ในภาวะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ [6]

จากรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาส่งเสริมการใช้ทรัพยากรแร่และโลหะหมุนเวียนเพื่อการพัฒนาอย่างมีคุณภาพ ของสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้ทำการคัดเลือกของเสียและวัสดุเหลือใช้มาดำเนินการศึกษาและจัดทำแนวทางปฏิบัติที่เป็นเลิศโดยกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเซรามิค อิฐ กระเบื้องและผลิตภัณฑ์สำหรับงานก่อสร้างเป็นหนึ่งในของเสียและวัสดุเหลือใช้ ที่ได้ดำเนินการศึกษาเนื่องจากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2550 ระบุว่าปริมาณกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเซรามิค อิฐ กระเบื้องและผลิตภัณฑ์สำหรับงานก่อสร้างที่ขออนุญาตนำออกนอกโรงงานมีประมาณ 7,070 ตัน ซึ่งปริมาณกากตะกอนจากการสำรวจโรงงานในจังหวัดสระบุรีพบว่ามีปริมาณ 21,526 ตัน [7]

2.1.1 ข้อมูลแหล่งกำเนิด

กากของเสียอุตสาหกรรมเซรามิคได้แก่ ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการขึ้นรูป การตกแต่งชิ้นงานหลังการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาแล้วทั้งการเผาเคลือบและเผาบิสกิต น้ำเสียและน้ำทิ้งตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการทำความสะอาดโรงงาน [8]



รูปที่ 2.1 ตะกอนดินเซรามิกที่ได้จากกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก

2.1.2 คุณลักษณะกากตะกอน

คุณลักษณะของกากตะกอนเซรามิกจากการวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบหลักของกากของเสียประกอบไปด้วยซิลิการ้อยละ 58 อะลูมินา ร้อยละ 32 น้ำในผลึกและอินทรีย์สารและสารอื่นๆร้อยละ 10 [7]

2.1.3 การจัดการกากตะกอน

หลักการจัดการกากอุตสาหกรรมสามารถจำแนกได้เป็น 5 กระบวนการได้แก่การลดการเกิดของเสีย การนำกลับมาใช้ใหม่ การใช้ซ้ำ ส่วนนี้จะเป็นการป้องกันการเกิดมลพิษ การบำบัดและการกำจัดจะเป็นการจัดการที่ปลายเหตุ [9] ในส่วนการป้องกันการเกิดมลพิษจะใช้แนวทางการปฏิบัติตามหลักการ 3R Concept โดยหลักการ 3R Concept เกิดขึ้นเมื่อเดือนมิถุนายน 2548 จากการประชุมสุดยอดผู้นำกลุ่ม G8 โดยนายกรัฐมนตรีญี่ปุ่นเป็นผู้นำเสนอหลักการ 3R Concept เพื่อส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (Sustainable) โดยเน้นให้มีการลดของเสีย มีการใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ให้มากขึ้น ทั้งนี้เพื่อช่วยอนุรักษ์และใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่าที่สุด [10], [11]

การลดการเกิดของเสีย (Reduce) เป็นการลดการเกิดของเสียอุตสาหกรรมตั้งแต่แหล่งกำเนิด การควบคุมการผลิต เช่น การเลือกวัตถุดิบในกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพและบริสุทธิ์มากขึ้น ทำให้เกิดของเสียลดน้อยลงหรือการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตหรือเปลี่ยนเครื่องจักรในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้ของเสียลดน้อยลง [7] , [9]

การใช้ซ้ำ (Reuse) : เป็นการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเดิม เช่นการนำน้ำที่ผ่านระบบบำบัดมาใช้รดกักจับฝุ่นที่ระบบบำบัดอากาศของกระบวนการผลิตผงดิน (Wet Scrubber) [7]

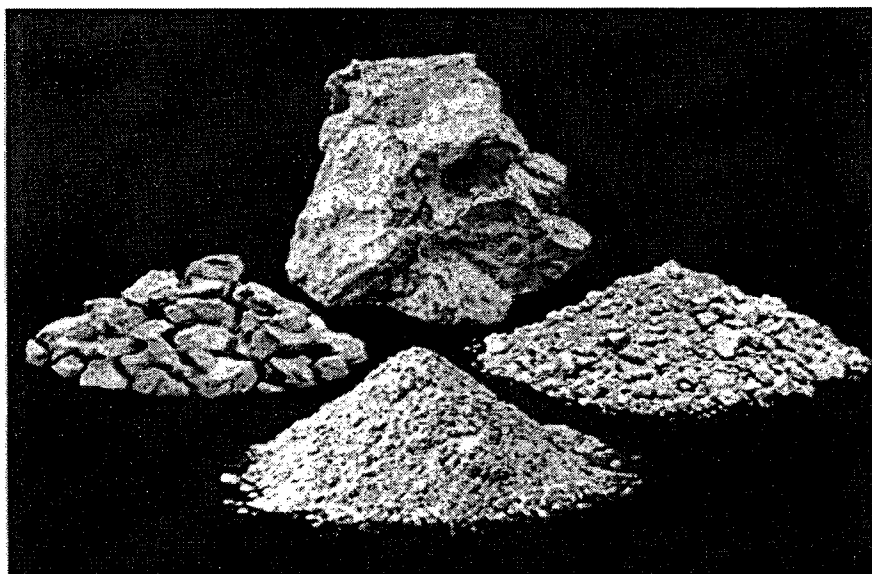
การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Recycle) เป็นการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปปรับใช้กับสูตรการผลิตในกระบวนการผลิตเดิม โดยการแยกของเสียและพัฒนาปรับสูตรการผลิต ซึ่งของเสียและวัสดุ

เหลือใช้ที่สามารถรีไซเคิลได้ ได้แก่ Green Tile, Fired Tile, Body Powder หรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตใหม่เช่นใช้เติมในวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ เป็นต้น [7], [9]

ส่วนการบำบัด และการกำจัดนั้นเป็นการจัดการที่ปลายเหตุ นำไปทำการบำบัดด้วยวิธีการต่างได้แก่ การนำไปบำบัดด้วยวิธีชีวภาพ หรือทางเคมี ส่วนการกำจัดได้แก่ การนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัยโดยมีการปรับเสถียรหรือเป็นของแข็งแล้ว [9]

2.2 ดินดำ (Ball Clay)

ดินดำหรือดินเหนียวขาว ดินดำเป็นดินที่มีขนาดผลึกเม็ดละเอียดมาก อนุภาคของเม็ดดินยึดเกาะกันได้ดี มีอินทรีย์สารที่มีโครงสร้างคล้ายกับที่พบในถ่านหินลิกไนท์เจือปนอยู่ จึงช่วยให้ดินชนิดนี้มีความเหนียว และทำให้มีสีที่เปลี่ยนไปจากสีขาวกลายเป็นสีเทาจนถึงสีดำ แต่เมื่อนำไปเผาในอุณหภูมิที่สูงเนื้อดินจะมีสีขาวหรือครีม อินทรีย์สารต่างๆจะถูกเผาไหม้หมดไปจากเนื้อดิน [12]



รูปที่ 2.2 ดินดำ (Ball clay)

2.2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำ

โดยทั่วไปดินดำหรือดินเหนียวขาวจะประกอบไปด้วยแร่กาเลสินไนท์เป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับดินขาว [12], [13] มีผลึกขนาดเล็กกว่าดินชนิดอื่นๆ แต่เป็นผลึกกาเลสินไนท์ชนิดที่ไม่สมบูรณ์ (Disordered Kaolinite) ในระหว่างผลึกจะมีแร่ธาตุและอินทรีย์สารแทรกอยู่ [12] เช่น Montmorillonite Quartz Mica Ironsulfide Illite เป็นต้น ดินดำหรือดินเหนียวขาวเมื่อแห้งจะมีความแข็งแรงสูง (High Strength) และมีความหดตัวสูง (High Shrinkage) ด้วยเช่นกัน ดินดำหรือดินเหนียวขาวจะมีช่วงอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงกว้างกว่าดินชนิดอื่นๆ จึงเป็นวัตถุดิบที่ปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากการเผาแล้วให้ดียิ่งขึ้น [13] ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำหรือดินเหนียวขาว

โดยทั่วไป คือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot 0.1\text{K}_2\text{O}$ [12] หรืออาจมีสารประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไปตามแหล่งสะสมที่พบโดยประมาณอาจจำแนกได้ดังนี้

Al_2O_3 มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

SiO_2 มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์

H_2O มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ [12], [13]

นอกจากนี้แร่ธาตุอื่นๆเจือปนในปริมาณเล็กน้อย เช่นไทเทเนียม (TiO_2) เฟอร์ริก (Fe_2O_3) แคลเซียม (CaO) แมกนีเซียม (MgO) เหล็กซัลเฟต (FeS) โพแทสเซียม (K_2O) และโซเดียม (Na_2O) เป็นต้น

2.2.2 สมบัติทางกายภาพของดินดำ

ดินดำหรือดินเหนียวขาวโดยทั่วไปที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมในเนื้อดิน (Clay Bodies) นั้นต้องมีสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ดังต่อไปนี้ [13]

ก. ขนาดของเม็ดดิน (Particle Size) มีขนาดเม็ดดินละเอียดกว่าดินขาว (Kaolin) อนุภาคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.05-1.00 ไมโครเมตร

ข. ความเหนียวของดิน (Plasticity) ดินเหนียวเป็นดินที่อมน้ำได้มาก ความเหนียวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ซึ่งประกอบด้วยหลักสำคัญ ดินดำหรือดินเหนียวขาวคือ ปริมาณของอินทรีย์สาร ขนาดของเม็ดดินและวัตถุดิบที่ทำให้ความเหนียวเช่น ดินเบนโตไนท์ จะมีความเหนียวมากกว่าดินขาว (Kaolin) เหมาะสมที่จะนำมาผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ (Other Material)

ค. การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) ดินเหนียวขาวทั่วไปมีการหดตัวเมื่อแห้งมาก แต่บางแหล่งอาจหดตัวน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของ SiO_2 ที่เจือปนในเนื้อดิน ถ้า SiO_2 ในเนื้อดินมีมากดินจะหดตัวน้อยหรือแทบจะไม่มีการหดตัวเลย แต่ถ้าในเนื้อดินมีสารอินทรีย์สูงจะมีการหดตัวมากประมาณ 13-17 เปอร์เซ็นต์

ง. ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Green Strength) ดินดำหรือดินเหนียวขาวจะมีความแข็งแรงเมื่อแห้งมากกว่าดินขาวเพราะมีความเหนียวมากกว่าจึงนิยมใช้ผสมกับเนื้อดินชนิดอื่นๆ (Other Clay) เพื่อให้ได้ทรงรูปได้ง่าย ไม่เปราะ โดยเฉลี่ยความแข็งแรงเมื่อแห้งของดินเหนียวขาว อยู่ระหว่าง 160-180 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือในตำราบางเล่มจะมีความแข็งแรงประมาณ 100-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จ. การหดตัวหลังเผา (Firing Shrinkage) ดินดำหรือดินเหนียวขาวเป็นวัตถุดิบที่มีสมบัติพิเศษคือเมื่อยังไม่เผาจะปรากฏสีดำหรือสีเทา แต่หลังจากการเผาในอุณหภูมิสูงจะปรากฏสีขาวหรือครีม การที่ดินดำหรือดินเหนียวขาวจะปรากฏสีขาวมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับจำนวนธาตุเหล็กในเนื้อดินเหนียวขาวด้วย สำหรับการหดตัวมีการหดตัวสูงประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินเหนียวมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก [12], [13]

2.2.3 ประโยชน์ของดินดำหรือดินเหนียวขาว

ดินดำหรือดินเหนียวขาวมีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ถ้วยชาม อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ โดยนำไปเป็นส่วนผสมประโยชน์ของดินดำหรือดินเหนียวขาวได้แก่

ก. ช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากดินมีความเหนียวมากทำให้สะดวกในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ข. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงก่อนเผา (Green Strength) ให้มีความแข็งแรง ลดการสูญเสียจากการแตกหักก่อนเผาและในขณะเคลื่อนย้าย

ค. ทำให้น้ำสลิป (Slip) มีการไหลตัวที่ดี

ง. ทำหน้าที่เสริมปฏิกริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดิน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นในระหว่างการเผา ทำให้ดินสุกตัวได้เร็วประหยัดเวลาในการเผาช่วยในการหลอมละลาย [12], [13]

2.3 ทัลค์ (Talc)

ทัลค์หรือสตีไทท์ (Steatite) เป็นคำที่เข้าใจว่ามาจากภาษาอาหรับว่า Talk [13] เป็นสารประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตกับน้ำ ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [8], [9] มีความแข็งระดับที่ 1 ใน Moh's Scale [14] เป็นวัตถุดิบแมกนีเซียมตามธรรมชาติที่มีราคาถูกกว่าแมกนีเซียมบริสุทธิ์หรือแมกนีเซียมสังเคราะห์ [12] มักพบอยู่ในหินแปรจำพวกหินชีสต์โดยทั่วไป [13] ทัลค์จัดอยู่ในกลุ่มแร่สเม็คไทท์เมื่อสัมผัสแล้วจะรู้สึกลื่นมือ [12] จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หินสบู่ (Soapstone) [13]



รูปที่ 2.3 ทัลค์ (Talc)

2.3.1 โครงสร้างและลักษณะของแร่ทัลค์

โครงสร้างของแร่ทัลค์มีโครงสร้างแบบ Mica-like Structure เป็นชั้น T-O-T หรือคล้ายกับมอนโนลิโลไนท์ (Montmorillonite) มีชั้นของเตตระฮีดรอล 2 ชั้นที่เป็นซิลิกากับชั้นออกตะฮีดรอลของ Mg^{2+} (Brucite Sheet) แรงยึดระหว่างชั้นไม่แข็งแรงโดยเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ เกิดการเลื่อนของชั้นได้ง่าย [14] เป็นหินที่มีรูปผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) [13], [14] ลักษณะของผลึกเป็นแผ่นหนารูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนและรูปหกเหลี่ยม เนื้อสมานแน่นบางครั้งจะพบว่ามีลักษณะแผ่นเป็นรูปแนวรัศมี มีแนวแตกเรียบสมบูรณ์ชนิดที่เป็นแผ่นบางๆจะโค้งงอได้แต่กลับไม่ได้มีความถ่วงจำเพาะ 2.7-2.8 หรือในตำราบางเล่มจะอยู่ที่ 2.6-2.8 สามารถใช้มัดตัดได้เป็นชิ้นๆ

ลักษณะเนื้อวาวแบบมุกและแบบน้ำมันฉาบ สีของทัลค์จะมีสีเทา สีเขียวแอปเปิล สีขาวหรือสีน้ำเงิน [13]

2.3.2 สมบัติทางเคมีของแร่ทัลค์

สูตรทางเคมีว่า $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

MgO มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 31-31.8 เปอร์เซ็นต์

SiO_2 มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 63.5-64 เปอร์เซ็นต์

H_2O มีสารประกอบอยู่ที่ประมาณ 4.7-5 เปอร์เซ็นต์ [12], [13], [14]

นอกจากนี้จะมีมลทินจากแร่ธาตุอื่นๆเจือปนในปริมาณเล็กน้อย เช่น อะลูมินา เหล็ก แคลเซียม ต่าง และน้ำ [12]

2.3.3 คุณสมบัติที่สำคัญของทัลค์

ก. C.O.E (สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน) สูงประมาณ $270 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ $1,020 \text{ } ^\circ\text{C}$

ข. ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7-2.8 หรือในตำราบางเล่มจะอยู่ที่ 2.6 - 2.8

ค. การขยายตัวหลังจากอบแห้ง

ง. สามารถบดให้เป็นผงละเอียดได้ง่าย

จ. ใส่เคลือบหรือน้ำดินจะทำให้เคลือบหรือน้ำดินเกิด Thixotropy เนื่องจากการบวมน้ำ (Swelling) ของ T-O-T layer ที่มีน้ำไปแทรกอยู่ระหว่างชั้น

ฉ. D.T.A curve เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนที่ $900-1000 \text{ } ^\circ\text{C}$ เนื่องจากเกิดการสลายตัวของน้ำ ในโครงสร้างผลึก (Dehydroxylation) [14]

2.3.4 ประโยชน์การใช้งานของทัลค์

ทัลค์มีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมหลายอย่างแต่ที่นิยมนำมาใช้กันมากคือนำมาบดย่อยเป็น ผงผสมทำสี การผสมยาง ทำยาฆ่าแมลง กระดาษ แป้งฝุ่นทาหน้าหรือทำดินสอสำหรับขีดเสื้อผ้าและ โลหะเป็นต้น [13] สำหรับประโยชน์ของทัลค์ในอุตสาหกรรมเซรามิคได้แก่

ก. ใช้เป็นวัตถุดิบของเนื้อดินในส่วนผสมของกระเบื้องปูพื้น บุผนัง เพื่อป้องกันการขยายตัวของเนื้อดินเมื่อถูกความร้อน ป้องกันการร้าว (Crazing) การเติมทัลค์จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน (Thermal Shock Resistance) ในกระเบื้องบุผนัง การเติมทัลค์ลงไปแทนคาร์บอนเตบางส่วนจะช่วยให้การเผาเร็วขึ้นทั้งในช่วงการเผาและช่วงการเย็นตัว

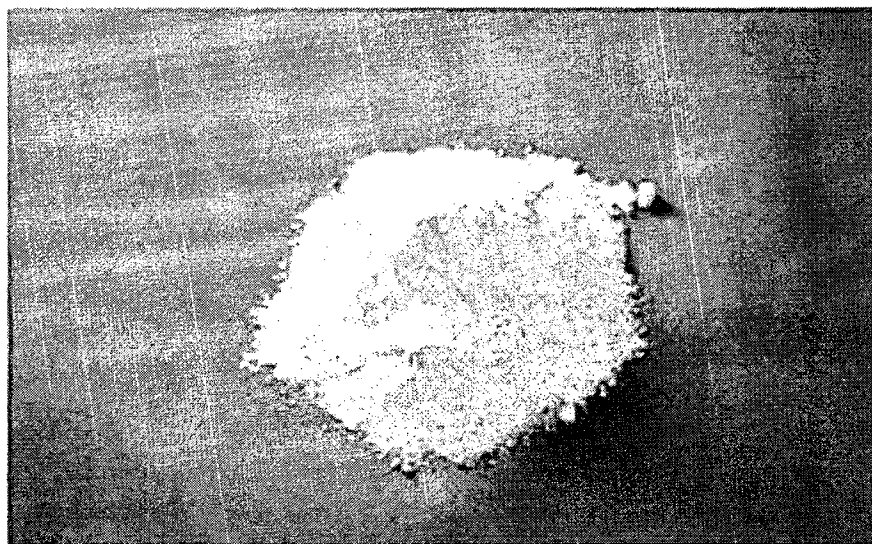
ข. ใช้ผสมในเนื้อดินที่ต้องการการขยายตัวต่ำเมื่ออบด้วยความร้อนสูง ใช้เป็นส่วน ผสมในเนื้อดินในการทำภาชนะสำหรับการปรุงอาหารที่วางบนเปลวไฟโดยตรงได้ เพราะมีแรงต้านทานจากความร้อนได้ดี โดยไม่แตกร้าวเนื่องจากทัลค์มีสมบัติการขยายตัวต่ำ

ค. เป็นส่วนผสมในเนื้อดินทำวัสดุทนไฟสามารถเผาในอุณหภูมิสูงๆโดยขยายตัวต่ำ

ง. ผสมในน้ำเคลือบมีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายในน้ำเคลือบอุณหภูมิสูงทำให้ผิวเคลือบมีความเนียนลื่นมือ [12], [13], [14]

2.4 สารช่วยการกระจายลอยตัว (Flocculant) [15]

โซเดียมไอออน (Na^+) เป็นสารเคมีที่ช่วยให้อนุภาคเกิดการกระจายลอยตัว เป็นตัวช่วยให้ดินและอนุภาคอื่นๆ ลอยตัวในส่วนผสมของน้ำดินหรือน้ำสลิปและควบคุมการตกตะกอนให้เกิดน้อยลง [15], [16] โดยเมื่อเติมโซเดียมไอออนเข้าไปในน้ำดินหรือน้ำสลิป โซเดียมไอออนจะเข้าไปรบกวนโครงสร้างแบบเจล (Gel Structure) ของน้ำดินหรือน้ำสลิป เพราะโซเดียมไอออนเป็นไอออนที่มีขนาดใหญ่และมีประจุบวกต่ำ (คือ +1) จึงยึดเกาะกับโครงสร้างแบบเจลไม่แน่น ทำให้โครงสร้างเกิดการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ส่งผลให้น้ำสลิปไหลตัวได้ดี คือ ดีฟล็อกคูแลนท์ (Deflocculant) ในทางตรงกันข้ามไอออนที่มีประจุบวกสองบวกสาม เช่น แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) เป็นไอออนที่มีประจุสูงๆและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจึงเข้าไปยึดกับโครงสร้างแบบเจลน้ำสลิปได้แน่นทำให้น้ำสลิป ฟล็อกคูแลนท์ (Flocculant) คือ ขันไหลยากและตกตะกอน สารช่วยกระจายลอยตัวที่ใช้ในงานเซรามิกมี 2 ชนิด คือพวกอัลคาไลน์ (Alkali Cation Type) ได้แก่สารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate ; Na_2CO_3) เป็นต้น และพวกโพลีแอนิออน (Polyanion Type) ได้แก่ โซเดียมโพลีอะครีเลต (Sodium Polyacrylate) แอมโมเนียมโพลีอะครีเลต (Amonium Polyacrylate) พวกโพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) แต่สารเคมีประเภทนี้จะไม่นิยมใช้กับน้ำดินเพราะมีผลต่อแบบพิมพ์ ทำให้แบบพิมพ์สึกหรออย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.4 สารช่วยการกระจายลอยตัว

ในการนำสารช่วยกระจายลอยตัวมาใช้นิยมใช้พวกอัลคาไลน์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่าและมีผลกระทบต่อด้านอื่นต่ำกว่าโดยเฉพาะผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหลวซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับความหนืดของน้ำดินในงานเซรามิกคือโซเดียมซิลิเกต และ โซเดียมคาร์บอเนตโดยโซเดียมซิลิเกต จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ช้ากว่าโซเดียมคาร์บอเนต แต่โซเดียมคาร์บอเนตอาจมีผลต่อการทรงตัว

ของผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูปได้ ในการใช้งานจึงนิยมใช้ทั้งโซเดียมซิลิเกตและโซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกัน

นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณของดีฟลอคคูแลนท์ที่เติมลงไปด้วยเพราะหากเติมในปริมาณ ที่มากเกินไปจะทำให้มีโซเดียมไอออนส่วนเกิน ซึ่งกำจัดได้ยากมากในน้ำสลิป สาเหตุที่กำจัดโซเดียม ไอออนส่วนเกินออกจากน้ำสลิปได้ยากมากเพราะว่าเกลือของโซเดียมเกือบทุกชนิดละลายน้ำการที่มี โซเดียมไอออนมากเกินไปในน้ำสลิปจะทำให้ชั้นดับเบิลเลเยอ (Double Layer) ที่หุ้มรอบอนุภาค เซรามิคบางลง ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคเซรามิคไม่แขวนลอยอย่างเสถียรในน้ำสลิป การเติมดีฟลอคคู แลนท์เข้าไปอีกกลับจะทำให้ น้ำสลิปตกตะกอนมากยิ่งขึ้น

2.5 กระบวนการผลิตเซรามิค

กระบวนการผลิตเซรามิคมีอยู่ด้วยกัน 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเนื้อดิน การขึ้นรูป การเคลือบและการเผา [16]

2.5.1 การเตรียมวัตถุดิบและการเตรียมเนื้อดิน

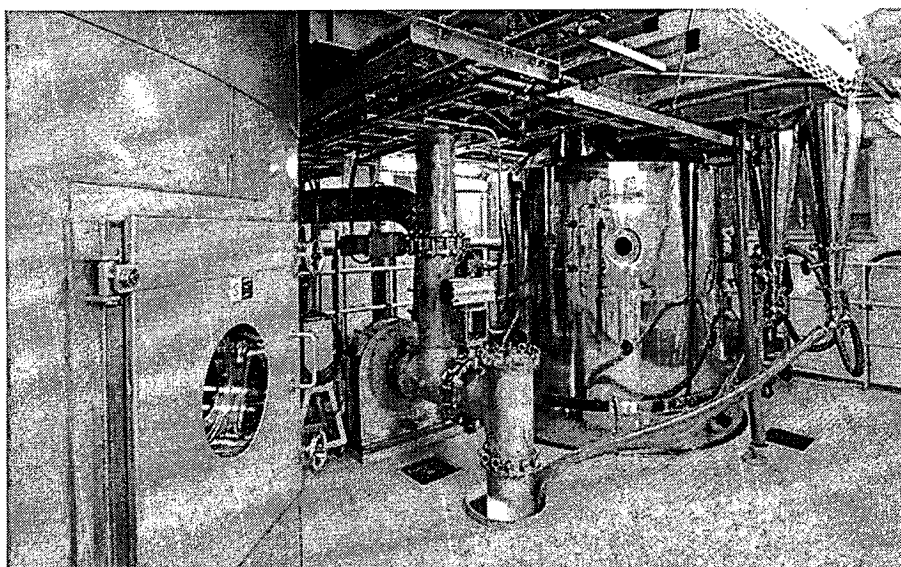
ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องเซรามิคขั้นตอนในการผลิตผงดินสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธี การกดอัด (Pressing) โรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นผู้ผลิตส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเตรียมเนื้อดิน ด้วยวิธีแบบเปียก (Wet Process) ซึ่งเริ่มต้นจากนำวัตถุดิบทั้งวัสดุแข็ง (Hard Materials) และวัสดุไม่แข็ง (Soft Materials) มาชั่งตามสัดส่วนที่ต้องการและใส่ลงบอลมิลล์ (Ball Mill) เติมน้ำและ สารเคมีในการไหล ตัวทำการบดจนได้ความละเอียดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงถ่ายลงบ่อเพื่อทำการอบแห้งและทำให้ เป็นผงดิน (Granulate) โดยใช้เครื่องพ่นอบแห้ง (Spray Dryer) น้ำดินจะถูกฉีดขึ้นไปด้วยความดันสูง ผ่านหัวฉีด (Nozzle) ควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างเหมาะสม [14] เม็ดดินจะมีปริมาณน้ำใน รูปของความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 [18] สิ่งสำคัญในการเตรียมน้ำดินได้แก่

ก. ความหนาแน่นน้ำสลิป (Density) และเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (Solid) ของน้ำสลิป ความ หนาแน่นของน้ำสลิปและเปอร์เซ็นต์ของแข็งควรมีค่าสูงที่สุดเท่าที่การไหลตัวของน้ำสลิปยังอยู่ใน เกณฑ์ที่ทำงานได้ เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานความร้อนในการระเหยของน้ำมากเกินไปความจำเป็น เพราะยิ่งถ้าความหนาแน่นของน้ำสลิปต่ำหมายถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำสลิปจะมีค่ามากจึงต้องใช้ พลังงานความร้อนมากในการระเหยน้ำ [14]

ข. ความหนืดของน้ำสลิป (Viscosity) ความหนืดของน้ำสลิปควรมีค่าที่เหมาะสมกับขนาด ของปั๊มลูกสูบ (Piston Pump) จำนวนของก้านหัวฉีด ขนาดของรูหัวฉีดโดยที่ความหนืดไม่ควรมีค่าสูง เกินไป จนทำให้ปั๊มทำงานหนักเกินไปและการไหลตัวผ่านหัวฉีดเป็นไปได้ยากลำบากจะทำให้ปริมาณ การผลิตลดต่ำลงและขนาด ของเม็ดดินจะมีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินจะมี ค่าเปลี่ยนไปด้วยในกรณีที่การไหลตัวของน้ำสลิปมีค่าต่ำเกินไปทำให้ขนาดของเม็ดดินเล็กลงการ ควบคุมความชื้นจะเป็นไป ได้ยาก น้ำสลิปพุ่งสูงและกระจายจนไปเกาะติดอยู่ที่ผนังของหอบ (Spray Chamber) และเมื่อมีปริมาณดินสะสมมากก็จะเกิดการถล่มลงมายังสายพานด้านล่างทำให้ความชื้นมี ค่าแตกต่างกันและเกิดการล้นที่ตะแกรง篩ด้านล่างทำให้เกิดการสูญเสียของผงดินในขณะทำการผลิต นอกจากค่าการไหลตัวที่เหมาะสมในการพ่นอบแห้งแล้ว สิ่งจำเป็นที่ต้องคำนวนหาคือจุดที่ประหยัด ต้นทุนในการผลิตของกระบวนการเนื่องจากการที่ต้องการให้น้ำสลิปมีค่าความหนาแน่นสูงแต่มีการ

ไหลตัวที่ตินั้นจำเป็นที่จะต้องเติมสารที่ช่วยในการไหลตัวเพื่อช่วยให้น้ำสลิป สามารถผลิตเป็นผงดินได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการดังนั้นจึงควรทำการคำนวณต้นทุนในการเติมสารที่ช่วยในการไหลตัวที่ทำให้การไหลตัวดีขึ้นเปรียบเทียบกับต้นทุนในการใช้พลังงานความร้อนในการระเหยน้ำที่จุดของปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน [14]

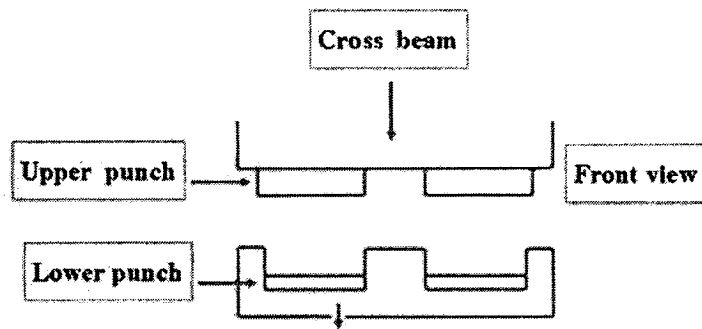
ค. ความละเอียดของน้ำดิน (%Residue) ในการบดน้ำสลิปนั้นจะมีการควบคุมค่าความละเอียดของน้ำสลิปก่อนการถ่ายแล้วก็ตามแต่การตรวจสอบความละเอียดของน้ำสลิปก็เป็นแค่เพียงการสุ่มตัวอย่างเท่านั้น ดังนั้นหลังจากมีการถ่ายน้ำสลิปออกจากหม้อบดแล้วจำเป็นต้องผ่านตะแกรง篩ที่มีความละเอียดพอสมควรเพื่อกรองเอาเศษวัตถุดิบที่ยังมีขนาดใหญ่หรือสิ่งสกปรกต่างๆหลังจากกระบวนการบดไม่ให้หลุดลงไปในปีที่เตรียมไว้สำหรับเครื่องพ่นอบแห้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันที่บริเวณรูหัวฉีด ส่งผลให้ความชื้นของผงดินเปลี่ยนไปรวมทั้งขนาดของเม็ดดินด้วย ขนาดของตะแกรงที่ใช้ใช้นั้นไม่ควรมีความละเอียดจนเกินไปจนน้ำสลิปไหลผ่านไม่ทัน แต่ก็ไม่ควรหยาบเกินไปจนเศษวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ผ่านไปได้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมเซรามิกใช้กันอยู่ที่ 60-100 Mesh [14]



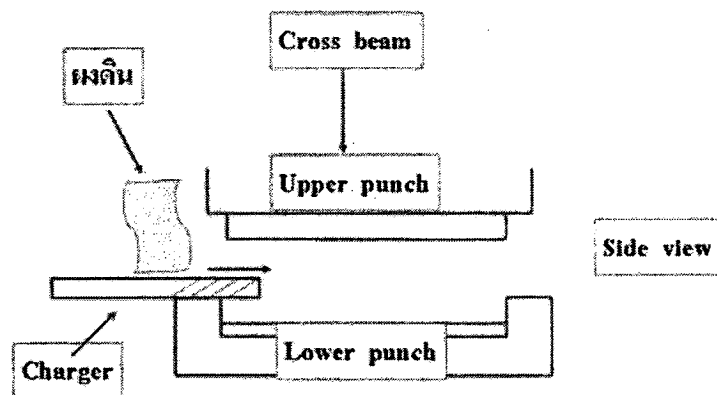
รูปที่ 2.5 Spray Dryer

2.5.2 การอัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดดินฝุ่น

การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นนิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องเซรามิกทั้งกระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง กระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นจะต้องใช้เครื่องอัดที่มีกำลังแรง อัดสูงโดยเครื่องอัดที่มีกำลังแรงอัดสูงต้องใช้แม่พิมพ์ที่เป็นโลหะเนื้อแข็ง [12] เครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้องประกอบไปด้วย Cross Beam ชุดป้อนผงดิน Charger Complete Set ซึ่งประกอบไปด้วย Upper Punch Lower Punch Liner [14] แสดงในรูปที่ 2.6



(ก) ด้านหน้าเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง



(ข) ด้านข้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง

รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง

ก. แรงอัดที่ใช้ผลิตกระเบื้อง กำลังแรงอัดของเครื่องที่ใช้เพื่อการผลิตกระเบื้องที่มีขนาดใหญ่ ต้องใช้แรงอัดที่สูงกว่ากระเบื้องที่มีขนาดเล็กทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของเนื้อดินที่ใช้ในการผลิตด้วย ดินที่มีความชื้นมากจะใช้แรงอัดน้อยกว่าดินที่มีความชื้นน้อย

ดินฝุ่นแห้ง	ความชื้น 2-7%	ใช้แรงอัด 300-500 ก.ก. / ซม. ²
ดินฝุ่นกึ่งแห้	ความชื้น 9-12%	ใช้แรงอัด 100-250 ก.ก. / ซม. ²
ดินเหนียว	ความชื้น 15-20%	ใช้แรงอัด 100-150 ก.ก. / ซม. ²

อัตราส่วนของน้ำในเนื้อดินที่ใช้ในการขึ้นรูปต้องมีความชื้นที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกครั้งเป็นมาตรฐานเพื่อควบคุมอัตราการหดตัวของเนื้อดินให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ [12]

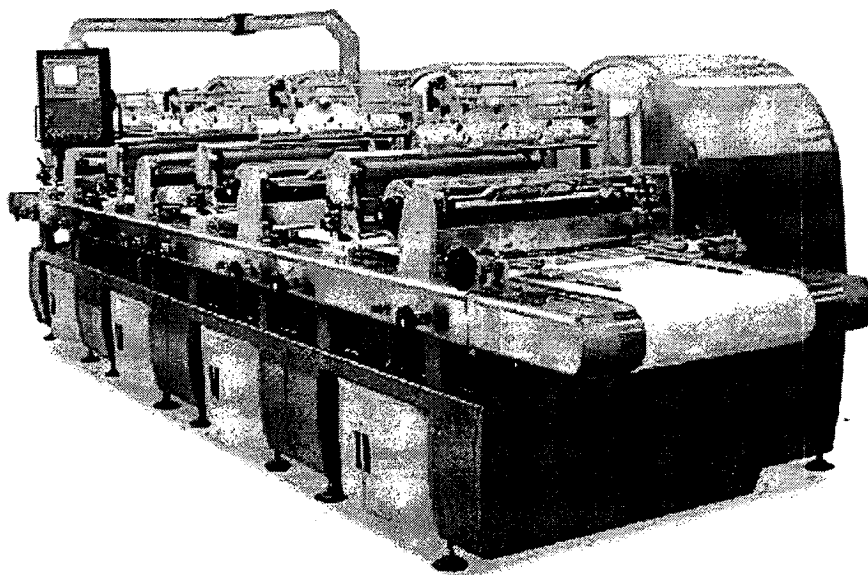
ข. ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปแบบอัด

ความชื้นผงดิน (Moisture) ถ้าความชื้นของผงดินสูงเกินไปจะทำให้ผงดินติดหน้าแบบพิมพ์ สำหรับผงดินที่มีความชื้นต่ำเกินไปจะเกิดปัญหามุมและขอบกระเบื้องได้ง่ายและเกิดรอยแยกในเนื้อกระเบื้อง (Lamination)

- 1). ขนาดอนุภาคของเม็ดดิน (Grain Size Distribution) ส่งผลต่อการจับตัวของกระเบื้องดิบ ถ้าการกระจายตัวของผงดินไม่เหมาะสมจะทำให้ค่าความหนาแน่นของกระเบื้องดิบเปลี่ยน แปลงไป ส่งผลต่อการหดตัวของกระเบื้องหลังเผา
- 2). แรงอัดในการขึ้นรูป (Pressing Pressure) แรงดันในการขึ้นรูปที่สูงจะส่งผลให้กระเบื้องดิบมีความหนาแน่นที่สูง การหดตัวหลังเผาจะมีค่าต่ำ
- 3). ความเร็วในการป้อนผงดิน (Speed of Charger) ส่งผลต่อความหนาแน่นของกระเบื้อง ในช่วงด้านหัวและท้ายของแผ่น
- 4). ความเร็วในการอัดขึ้นรูป (Cycle of Pressing) ส่งผลต่อความหนาแน่นและตำหนิต่างๆที่อาจเกิดขึ้นรวมทั้งปริมาณการผลิตด้วย
- 5). การออกแบบแม่พิมพ์ (Mold Design) ทำให้ความหนาแน่นของกระเบื้องดิบในแต่ละจุดไม่เท่ากัน ส่งผลให้มีการหดตัวไม่เท่ากันทำให้เกิดกระเบื้องร้าวในขณะอบแห้ง

2.5.3 การเคลือบสี

ในการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกให้มีความงดงามเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนถาวรนั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกจำเป็นที่จะต้องเคลือบสำหรับเหตุผลดังกล่าวการเคลือบนั้นมีเทคนิคอยู่มากมายเพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสวยงาม [14] แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเคลือบสีกระเบื้อง

ก. วัตถุดิบที่ใช้ในการเคลือบล้วนแต่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ซึ่งวัตถุดิบที่เป็นพิษการเตรียมเคลือบได้แก่ นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ โครเมียมออกไซด์ แบเรียมออกไซด์ ตะกั่วและซิลิกา [17]

ข. องค์ประกอบของสูตรเคลือบ การแบ่งกลุ่มวัตถุดิบในสูตรการเคลือบตามกฎหมายของเซเกอร์นักเคมีชาวเยอรมันได้จำแนกวัตถุดิบในการเตรียมน้ำยาเคลือบออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1). วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นด่าง (Alkali หรือ Basic Group) หรือวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายในเคลือบช่วยลดอุณหภูมิการเผาให้ต่ำลงทำให้น้ำยาเคลือบหลอมละลายเร็วขึ้น และเพิ่มการไหลตัวของเคลือบทำให้เคลือบมีผิวเรียบ

2). วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นกลาง (Intermediate Group หรือ Amphoteric Oxides) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติช่วยให้เคลือบมีความหนืด ไม่ไหลหลุดออกจากผิวผลิตภัณฑ์ขณะหลอมละลาย และลดการแตกกรันของน้ำยาเคลือบ

3). วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นกรด (Acid Group) เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทนไฟในน้ำยาเคลือบเพิ่มจุดหลอมละลาย ทำให้น้ำยาเคลือบมีความแข็งแรงทนทานต่อรอยขีดข่วนและแรงกระแทก เป็นวัตถุดิบที่สามารถทนต่อฤทธิ์กรดหรือด่างได้ดี

ค. คุณสมบัติของวัตถุดิบในน้ำยาเคลือบ

1). สารตะกั่ว (PbO) จุดหลอมละลาย $770^{\circ}C - 1,120^{\circ}C$ ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายที่ให้แก้วในอุณหภูมิต่ำ $900^{\circ}C - 1,120^{\circ}C$ ถ้าเผาในอุณหภูมิเกิน $1,180^{\circ}C$ สารตะกั่วจะระเหยเป็นไอ สารตะกั่วเป็นสารพิษไม่ควรใช้ตะกั่วโดยตรงในการเตรียมเคลือบควรนำตะกั่วมาหลอมกับซิลิกาให้เป็นฟริตเสียก่อน

2). บอแรกซ์ (Borax $Na_2 B_2O_3 \cdot 10H_2O$) จุดหลอมละลาย $741^{\circ}C$ ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายที่ให้แก้วในอุณหภูมิต่ำ $900^{\circ}C - 1,100^{\circ}C$ เป็นด่างที่ให้โซเดียมและบอริกออกไซด์อยู่รวมกันเป็นสารละลายน้ำได้ จึงนิยมนำมาหลอมเป็นฟริตก่อนใช้เคลือบผลิตภัณฑ์

3). ฟริต (Frit) ฟริตคือวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเคลือบอุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำจากวัตถุดิบที่เป็นพิษหรือวัตถุดิบที่ละลายน้ำได้ นำมาเผาหลอมรวมกับซิลิกาซึ่งเป็นแก้ว ทำให้วัตถุดิบที่หลอมตัวเป็นแก้วมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและไม่ดูดซึมเข้าทางผิวหน้า ฟริตถูกนำมาบดให้ละเอียดในรูปผงเคลือบสำเร็จรูปก่อนนำมาใช้เป็นน้ำยาเคลือบในอุณหภูมิต่ำนิยมเตรียมจากวัตถุดิบตะกั่วและบอแรกซ์หรือทั้งสองชนิดรวมกัน ฟริตนิยมนำมาใช้ผสมในน้ำยาเคลือบอุณหภูมิต่ำปริมาณ 80-100% โดยน้ำหนัก เนื่องจากเคลือบฟริตมีส่วนผสมของซิลิกาและอะลูมินาอยู่บ้างแล้ว จึงใช้เป็นเคลือบสำเร็จรูปในอุณหภูมิต่ำได้ ถ้าเคลือบในอุณหภูมิปานกลาง $1,150^{\circ}C - 1,200^{\circ}C$ จะใช้ฟริตในปริมาณที่น้อยลงเพื่อลดอุณหภูมิการหลอมละลายของเคลือบโดยใช้ปริมาณ 20 - 40% ร่วมกับวัตถุดิบตัวหลอมละลายอื่นๆในสูตรเคลือบ ส่วนการเคลือบในอุณหภูมิสูงโดยปกติไม่นิยมใช้ ฟริตเป็นส่วน ประกอบในวัตถุดิบ แต่ในการเคลือบอุณหภูมิสูงบางชนิดที่พิเศษอาจจะใช้ฟริตในสูตรเคลือบด้วย แต่ในปริมาณไม่เกิน 5%

4). ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) วัตถุดิบจุดหลอมละลายสูง หลอมละลายได้แก้วที่อุณหภูมิ $1,800^{\circ}C$ สังกะสี (Zinc) เป็นด่างที่นิยมใช้ในเคลือบอุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง $1,150^{\circ}C - 1,250^{\circ}C$ โดยใช้ร่วมกับด่างตัวอื่นๆ เช่น หินปูน โซดาเฟลด์สปาร์ เป็นต้น ถ้าใช้เฉพาะสังกะสีตัวเดียวเคลือบจะไม่หลอมละลาย

5). แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นวัตถุดิบที่มีจุดหลอมละลายสูงมาก $2,800^{\circ}C$ จัดเป็นวัตถุดิบทนไฟแต่มีคุณสมบัติเป็นด่างหรือตัวหลอมละลายในเคลือบอุณหภูมิสูง $1,250^{\circ}C$ ขึ้นไปถึง $1,300^{\circ}C$ แมกนีเซียมไม่ได้ใช้เป็นตัวหลอมละลายหลักในสูตรเคลือบใช้ในปริมาณน้อยมาก ประมาณ 1-10 % ถ้าใช้ในปริมาณมากเคลือบจะทนไฟสูงและเกิดเป็นเคลือบกึ่งด้าน (Semi Matt) วัตถุดิบที่ให้แมกนีเซียมได้แก่ หัลค์ โดโลไมต์ (Dolomite) แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium Carbonate)

6). ลิเทียมออกไซด์ (Li_2O) วัสดุที่มีจุดหลอมละลายให้แก้วในอุณหภูมิ $1,150^\circ\text{C}$ คุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายที่ดีในเคลือบอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง $1,150^\circ\text{C} - 1,230^\circ\text{C}$ ลิเทียมมีราคาแพงจึงไม่นิยมใช้ในเคลือบอุตสาหกรรม ลิเทียมมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งสีเคลือบวัสดุที่ให้ลิเทียมได้แก่ ลิเทียมคาร์บอเนต ลิเทียมเฟลด์สปาร์หรือเลปิโดไลต์

7). สตรอนเชียมออกไซด์ (SrO_2) เป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลาย $2,430^\circ\text{C}$ มีคุณสมบัติเป็นต่าง ใช้ในเคลือบอุณหภูมิปานกลาง $1,150^\circ\text{C} - 1,250^\circ\text{C}$ โดยปกติจะใช้ไม่เกิน 30% ในสูตรเคลือบอุณหภูมิปานกลางโดยใช้ร่วมกับต่างตัวอื่นๆด้วย เช่น โซดาเฟลด์สปาร์ ซิงค์ออกไซด์ แบเรียมคาร์บอเนตโดยใช้ร่วมกันหลายๆตัว เพื่อลดอุณหภูมิในการหลอมละลายได้ดีกว่าใช้เพียงตัวเดียว สตรอนเชียมมีราคาแพงจึงไม่นิยมใช้ในเคลือบอุตสาหกรรมที่ใช้เคลือบในปริมาณมาก วัสดุที่ให้สตรอนเชียมได้แก่ สตรอนเชียมคาร์บอเนต

8). แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) เป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลาย $1,923^\circ\text{C}$ คุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายที่อุณหภูมิปานกลางถึงอุณหภูมิสูง $1,180^\circ\text{C} - 1,250^\circ\text{C}$ โดยปกติแบเรียมไม่เข้าหลอมละลายหลักจึงใช้เป็นตัวเร่งตัวหนึ่งในการหลอมละลายของเคลือบ แต่ใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย 5-8 % ถ้าใช้ในปริมาณมากก็ไม่ได้ทำให้เคลือบละลายเร็วขึ้น แต่ใช้เกิน 20% ขึ้นไปในเคลือบมักจะทำให้สีด้านแทน ถ้าเผาเกินอุณหภูมิไปเล็กน้อย $20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$ จะเกิดเป็นฟองบนผิวเคลือบ จึงต้องระวังเรื่องการเผาเป็นพิเศษ

9). แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือหินปูนเป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลายสูง $2,500^\circ\text{C}$ มีคุณสมบัติเป็นตัวหลอมละลายหลักในเคลือบอุณหภูมิสูง $1,250^\circ\text{C} - 1,300^\circ\text{C}$ สามารถใช้เพียงอย่างเดียวในสูตรเคลือบเพื่อเป็นตัวหลอมละลายได้ แต่โดยปกติจะใช้ร่วมกับโซดาหรือโพแทสเฟลด์สปาร์ ปริมาณที่ใช้ 15-25% ในเคลือบอุณหภูมิสูงช่วยให้น้ำยาเคลือบมีความแข็งแรง วัสดุที่ให้แคลเซียม ได้แก่ หินปูนสีขาว (Whiting Limestone) แคลไซด์ (CaCO_3) หินปูนสีเทา (Gray Limestone)

10). เฟลด์สปาร์ ($\text{KNaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) หรือหินฟันม้าเป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลาย $1,180^\circ\text{C} - 1,200^\circ\text{C}$ มีคุณสมบัติเป็นเคลือบได้ตามธรรมชาติ มีต่าง กลาง และกรดอยู่ครบในส่วนประกอบของเคลือบเป็นวัสดุหลักในสูตรเคลือบ มีตั้งแต่ 40-60% ในสูตรเคลือบอุณหภูมิสูงเกือบทุกชนิดถ้าใช้โพแทสเฟลด์สปาร์เพียงอย่างเดียวทำเคลือบจะต้องเผาลงถึงอุณหภูมิ $1,400^\circ\text{C}$ จึงจะได้เคลือบใส ดังนั้นเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิในการหลอมละลายได้ดีและได้เคลือบใส จะต้องใช้เฟลด์สปาร์ร่วมกับตัวหลอมละลายอื่นๆด้วย เฟลด์สปาร์ที่นิยมใช้ในสูตรเคลือบ มี 2 ชนิด คือโพแทสเฟลด์สปาร์และโซดาเฟลด์สปาร์

11). เนฟเฟลีนไชยาไนต์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2$) เป็นเฟลด์สปาร์ที่มีตัวหลอมละลายมากกว่าเฟลด์สปาร์ธรรมดา มีจุดหลอมละลายต่ำ $1,100^\circ\text{C} - 1,200^\circ\text{C}$ เหมาะสำหรับทำเคลือบหิน เพราะสามารถใช้เป็นวัสดุหลักได้ทันที 70-80% ในสูตรเคลือบวัสดุนี้นหายากในประเทศไทยต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

12). อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) มีจุดหลอมละลายอยู่ที่ $2,050^\circ\text{C}$ มีคุณสมบัติเป็นตัว กลางทำให้ผิวเคลือบหนืดติดเกาะกับเนื้อดินได้ดี ไม่ไหลออกจากตัวผลิตภัณฑ์ขณะเผาลงถึงจุดสุกตัวหลอมละลาย ช่วยทำให้เคลือบติดที่ยังไม่ได้เผามีความแข็งแรงสามารถเกาะติดผิวผลิตภัณฑ์ได้แน่นไม่หลุดเป็นฝุ่นติดมือ

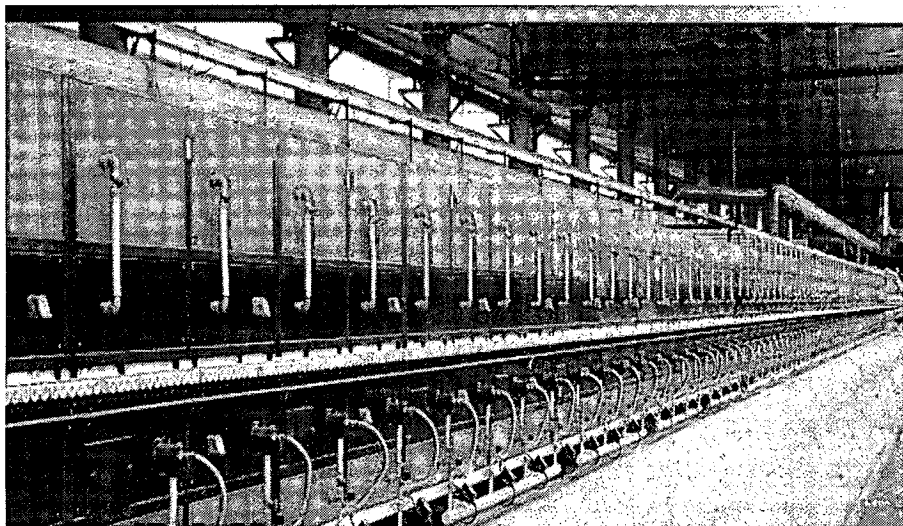
ขณะจับหรือทำให้เคลือบมีตำหนิได้ง่าย โดยปกติจะใช้ดินขาวเป็นวัตถุดิบที่ให้อะลูมินาในเคลือบ เพื่อช่วยให้เคลือบลอยตัวไม่ตกตะกอนกันถึงและช่วยให้เคลือบไม่หลุดเป็นฝุ่นและมีคุณสมบัติเป็นตัวหนืด ในขณะที่เคลือบหลอมละลายวัตถุดิบที่ให้อะลูมินาได้แก่ ดินขาว และ อลูมินาไฮดรอกไซด์

13). ซิลิกา (SiO_2) จุดหลอมละลาย $1,750^\circ\text{C}$ เป็นทรายแก้วหรือหินแก้วหลักของแร่ควอตซ์ มีค่าความแข็ง 7 ทำให้บดละเอียดได้ยาก มีคุณสมบัติเป็นกรด ทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ ลดการไหลตัวของน้ำเคลือบทำให้ผิวเคลือบมีความแข็งแรงทนต่อการรอยขีดข่วน ทนแรงกระแทก ทนกรดและด่างได้ดี ในเคลือบอุณหภูมิสูงเกือบทุกชนิด มีปริมาณซิลิกาในสูตร 25-30% วัตถุดิบที่ให้ซิลิกาได้แก่ ควอตซ์ (Quartz) ฟลิน (Flint) ซิลิกา ทรายแก้วบริสุทธิ์และเฟลด์สปาร์ทุกชนิด

2.5.4 การเผากระเบื้อง

ในกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้จากการเผามาจากการรวมตัวกันของวัตถุดิบทั้งวัตถุดิบแบบอ่อน (Soft Materials) และวัตถุดิบแบบแข็ง (Hard Materials) เข้าด้วยกันและคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีจะเปลี่ยนไประหว่างการเผา เช่นความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน การนำความร้อนและอื่นๆ ซึ่งสมบัติเหล่านี้มาจากชนิดและจำนวนเฟสที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผา ในระหว่างการเผาในเตามีขั้นตอนในการเผาที่สำคัญอยู่ 4 ขั้นตอนคือ การอบแห้ง (Drying) การสลายตัวของส่วนประกอบ (Decomposition) การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) และการเผาจนเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ (Vitrification) แสดงในรูปที่

2.8



รูปที่ 2.8 เตาเผากระเบื้องเซรามิก

ก. การอบแห้ง (Drying) ในช่วงก่อนให้ความร้อน (Pre Heating) ของเตาก่อนเข้าสู่ช่วงการเผาเพื่อเป็นการขจัดน้ำ กลไกการขจัดน้ำในดินต้องทำอย่างระมัดระวังเพราะถ้าเร็วเกินไปผลิตภัณฑ์จะแตกหักได้ง่ายโดยความดันภายในของรูพรุนของตัวผลิตภัณฑ์เอง ในขั้นตอนแรกที่อุณหภูมิประมาณ 120°C น้ำในดินอันได้แก่ ความชื้นและน้ำที่เดิมเข้ามาจะถูกขับไล่ ออก โดยให้ความร้อน

อย่างช้าๆและระมัดระวังน้ำในโครงสร้าง (Chemical Combine Water) จะไม่ถูกไล่ออกด้วย จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 590°C เมื่อการอบแห้งสมบูรณ์แล้วอาจเกิดการแตกร้าว (Crack) ได้ถ้าร้อน สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วที่ผิวหน้าแต่ภายในยังคงมีความชื้นอยู่เมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้ำภายในจะกลายเป็นไอขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาตรของไอน้ำเพิ่มขึ้น (PV=NRT) ทำให้เกิดการแตกร้าว (Crack) ที่ไม่สม่ำเสมอ

ข. การสลายตัวของส่วนประกอบ (Decomposition) ในระหว่างขั้นการสลายตัวของ ส่วนประกอบ (Decomposition) สารอินทรีย์ในดินถูกย่อยสลายไปและน้ำภายในโครงสร้าง (Chemically Combined Water) ถูกกำจัดออกไปโดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเริ่มประมาณ 100°C จนถึง อุณหภูมิ 500°C ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในเนื้อดินจะเริ่มถูกขจัดไปด้วย

ค. การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) การเกิดออกซิเดชันเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการเผาไหม้ที่เผาไหม้ได้ถูกขจัดออกและเกิดออกซิเดชันของเหล็ก (Fe) และสารประกอบอื่นๆ สำหรับการผลิตให้ได้ สีที่ดีจะต้องมีออกซิเดชันที่สมบูรณ์ ความร้อนจะต้องควบคุมอย่างดีและหลีกเลี่ยงการให้ความร้อนที่ มากเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดแกนดำ (Black Core) ภายในและสีที่มีผลต่อสภาวะออกซิเดชัน มากๆ ถ้าเผาอย่างเร่งรีบหรือ ค่าพารามิเตอร์ระหว่าง ก๊าซ กับอากาศที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สีหลังเผา ของผลิตภัณฑ์ผิวด้านไปไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีการเผาเคลือบต่างๆ แกนดำ (Black Coring) ในผลิตภัณฑ์เนื่องจากการออกซิเดชันไม่เพียงพอของพวกสารอินทรีย์อย่างไร ก็ตามแกนดำ ในผลิตภัณฑ์ไม่ได้เกิดจากคาร์บอนเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดเนื่องจากการลดลงของ เหล็กได้ ช่วงของการเกิดออกซิเดชันที่ดีที่สุดสำหรับการเผายู่อระหว่าง 930°C -1040°C ซึ่งเป็นช่วง สำคัญสำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และจะทำให้การทำงานยืดหยุ่นขึ้นโดยสามารถเพิ่มผลผลิตได้หรือ เปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรได้

ง. การเผาจนเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ (Vitrification) ระหว่างช่วงการเผาขั้นตอนสุดท้ายนั้น ผลิตภัณฑ์จะถูกให้ความร้อนเต็มที่ทำให้เกิดการหลอมตัวเกิดเป็นเฟสของเนื้อแก้วขึ้น (Vitrification) และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นระหว่างช่วงนี้จะมีผลสำคัญ มากกว่าช่วงอื่นๆ เพราะต้องระวังไม่ให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมากเกินไปจนทำให้เกิด Over Firing

1). องค์ประกอบสำคัญสำหรับการเผา เตาเผาเป็นแหล่งที่ให้ความร้อนเพื่อที่จะทำให้น้ำในดิน ที่มาจากวัตถุดิบต่างๆเกิดปฏิกิริยาแต่ความร้อนไม่ใช่สิ่งจำเป็นอย่างเดียวสำหรับการเกิดปฏิกิริยาเพื่อ เปลี่ยนวัตถุดิบให้กลายเป็นเนื้อเซรามิค สภาพแวดล้อม บรรยากาศ กระบวนการเผาทั้งทางกายภาพ และทางเคมีก็สิ่งสำคัญในการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ด้วย ก๊าซต่างๆที่มีใน เตาจะเป็น O_2 , N_2 , CO_2 , CO , SO_3 สำหรับ O_2 และ N_2 ได้มาจากอากาศที่ถูกใส่เข้ามาจากหัวเผา (Burner) หรือจากพัดลม (Blower) ของเตา การเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Fuel) เช่น ถ่านหิน น้ำมันก๊าซ ก๊าซธรรมชาติ จะทำให้เกิด CO_2 และไอน้ำซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์ ถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีการเกิด CO และ H_2 เกิดขึ้นสำหรับสารประกอบของซิลิเคต เกิดมาจากมลทินของตัวเชื้อเพลิงปฏิกิริยาทางเคมีของผลิตภัณฑ์ถูกควบคุมโดยสัดส่วนของ O_2 และ CO ซึ่งก๊าซทั้งสองจะมีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดกับ Fe, Mn, V, C ในผลิตภัณฑ์ทั้งในส่วนเนื้อดิน และสีเคลือบ คาร์บอนโดยธรรมชาติจะเป็นธาตุประกอบอยู่ในวัตถุดิบในรูปของสารอินทรีย์ทั้งในดิน ชนิดต่างๆหรือแร่อื่นๆหรือในบางโอกาส คาร์บอนอาจถูกเติมลงไปโดยเป็นตัวหล่อลื่นและตัวควบคุม

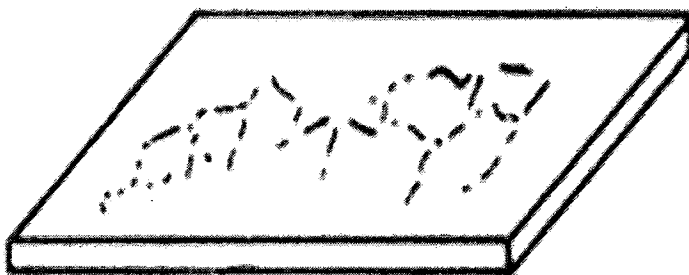
ความพรุน (Porosity) แต่ไม่ว่าในกรณีใดก็ตามคาร์บอนจะต้องถูกเผาไหม้ออกไปในช่วงที่เหมาะสมของกระบวนการเผา ตัวคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแข็งจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซออกไปจากเนื้อดิน โดยผ่านรูพรุนที่เปิด (Open Pore) ถ้าการเผาไหม้ไม่สามารถไล่คาร์บอนออกไปได้หมดจะกลายเป็นแกนสีดำ (Black Coring) อยู่ภายในเนื้อดินซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หลังเผาและความสวยงามของผิวเคลือบหลังเผาด้วย

2). ในเนื้อดินเซรามิกจะมีสารประกอบต่างๆอยู่มากมาย ทั้งที่เราต้องการและไม่ต้องการ สารประกอบบางตัวเมื่อถูกเผาไหม้จะมีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะสีหลังเผาทั้งสีของเนื้อดินและสีเคลือบ นอกจากนี้ก๊าซบางตัวก็ส่งผลถึงสภาพแวดล้อมภายนอกด้วยในขั้นตอนการเผาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมให้ปริมาณของออกซิเจนมีเพียงพอในการเผาไหม้ ออกซิเจนจะช่วยกำจัดสารประกอบคาร์บอนในเนื้อดินและ Oxidize สารประกอบอื่นๆอย่างสมบูรณ์เมื่อเผาผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอน คาร์บอนจะต้องเคลื่อนออก ในขณะที่เนื้อดินจะยังคงมีรูพรุนอยู่ในการเผาทำให้เกิดบรรยากาศออกซิเดชันตั้งแต่ช่วง Preheating 550°C - 980°C เพื่อช่วยกำจัดคาร์บอนหรือก็คือสารอินทรีย์ต่างๆที่มีอยู่ในเนื้อดินสภาวะ Oxidizing จำเป็นอย่างยิ่งโดยจะช่วยกำจัด Sulfur ซึ่งในวัตถุดิบบางตัวมีพวก Iron Sulfide (Pyrite และ Pyrrhotite) ซึ่งปกติในการเผาไหม้พวก Sulfur จะกลายเป็นก๊าซ SO_2 ซึ่งเมื่อถูกปล่อยออกไปจากเตาจะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม สภาวะ Oxidizing ที่ดีจะช่วยเปลี่ยน Sulfur ให้กลายเป็น SO_3 ซึ่งจะถูกดูดซับที่พื้นผิวภายในของเนื้อดินจึงขจัดปัญหา Sulfurous gas ออกมาจากในเตาได้ สำหรับสารประกอบ V_2O_5 จะถูก Oxidize เป็น Inert chemical ใน SiO_2 และ Al_2O_3 เมื่อจำนวนออกซิเจนไม่เพียงพอในการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นไฮโดรคาร์บอนจะให้ CO ซึ่ง Gas นี้จะเป็น Reducing Agent กับ Fe, V และ Mn ซึ่งต้องการในผลิตภัณฑ์เซรามิกเพราะว่า Fe ในรูป Ferrous (FeO) จะเป็นสีดำและเป็น Flux ในพวก Aluminosilicate Product ทำให้เกิดจุดดำที่ผิวหน้าของเคลือบส่วนในพวกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาวมากๆ เช่น Porcelain สี Blue-White ได้มาจากบรรยากาศที่มี CO อยู่ นอกจากนี้ CO ในบรรยากาศของเตาจะไป Reduce V ที่เป็นรูปแบบที่ Reactive มากและ MnO จะละลายได้ดีมากใน Acid Solution จึงไม่เป็นที่ต้องการใน Ceramic Body

2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.613-2529

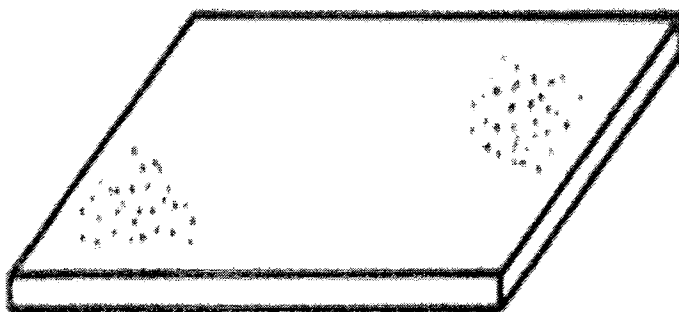
2.6.1 นิยาม

- 1). การลอกตัว (Peeling) หมายถึง การแยกตัวระหว่างเคลือบกับเนื้อกระเบื้อง
- 2). การราน (Crazing) หมายถึง การเกิดรอยร้าวบนผิวเคลือบ แสดงในรูปที่ 2.9



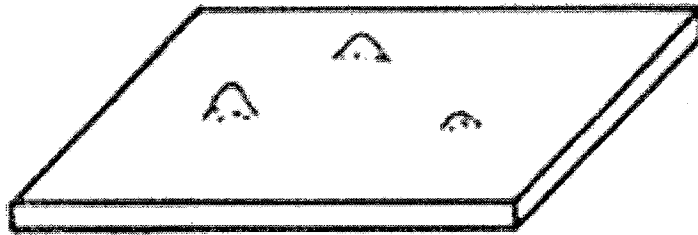
รูปที่ 2.9 การราน (Crazing)

- 3). รอยร้าว (Crack) หมายถึง รอยแตกที่ลึกถึงเนื้อกระเบื้อง
- 4). รูเข็ม (Pinhole) หมายถึง รูเล็กๆ ที่ปรากฏบนผิวเคลือบ แสดงในรูปที่ 2.10



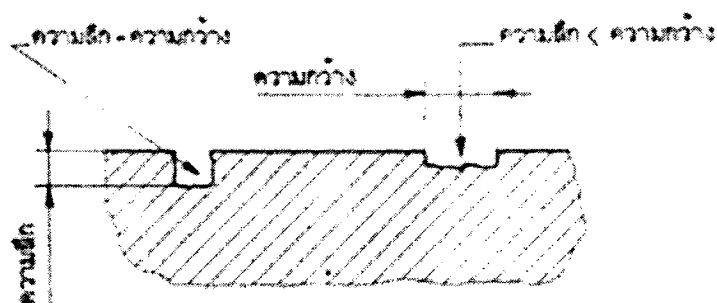
รูปที่ 2.10 รูเข็ม (Pinhole)

5). รอยพอง (Blister) หมายถึงรอยนูนที่ผิวเคลือบซึ่งเกิดจากการขยายตัวของก๊าซหรือฟองอากาศที่อยู่ภายในเมื่อกระแทกแตกจะเกิดเป็นโพรงขึ้นที่ผิวเคลือบนั้น แสดงในรูปที่ 2.11



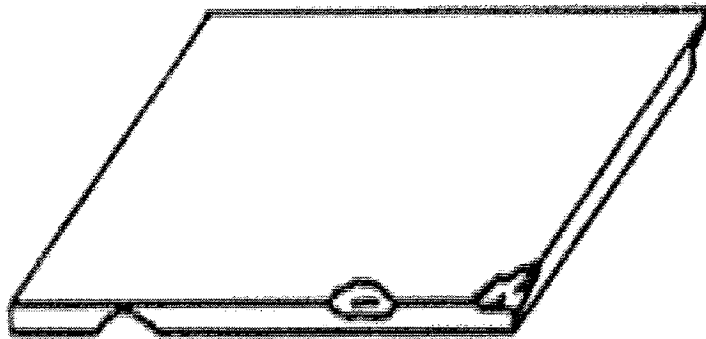
รูปที่ 2.11 รอยพอง (Blister)

6). หลุม (Pitting) หมายถึงการเกิดหลุมเล็กๆที่ผิวหน้ากระเบื้องซึ่งมีความลึกเท่ากับหรือน้อยกว่าความกว้าง แสดงในรูปที่ 2.12



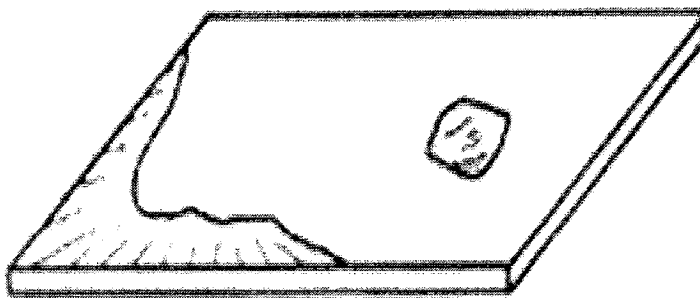
รูปที่ 2.12 หลุม (Pitting)

7). รอยบิ่น (Chip) หมายถึงรอยตามแนวขอบหรือตามมุมของกระเบื้องซึ่งเกิดจากเนื้อกระเบื้องแตกหลุดออกไป แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รอยบิ่น (Chip)

8). การหลุดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling) หมายถึงการที่เคลือบหลุดตัวจนเนื้อของกระเบื้องบางส่วนไม่มีเคลือบฉาบอยู่ แสดงในรูปที่ 2.14

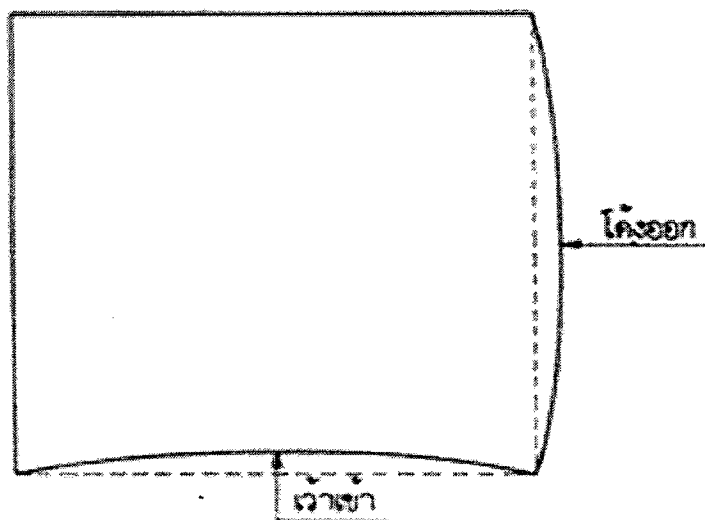


รูปที่ 2.14 การหลุดตัวของเคลือบ (Glaze Crawling)

9). ความบิดเบี้ยว (Warpage) หมายถึงความบิดเบี้ยวจากรูปร่างของกระเบื้องที่กำหนดเนื่องจากกรรมวิธีผลิต

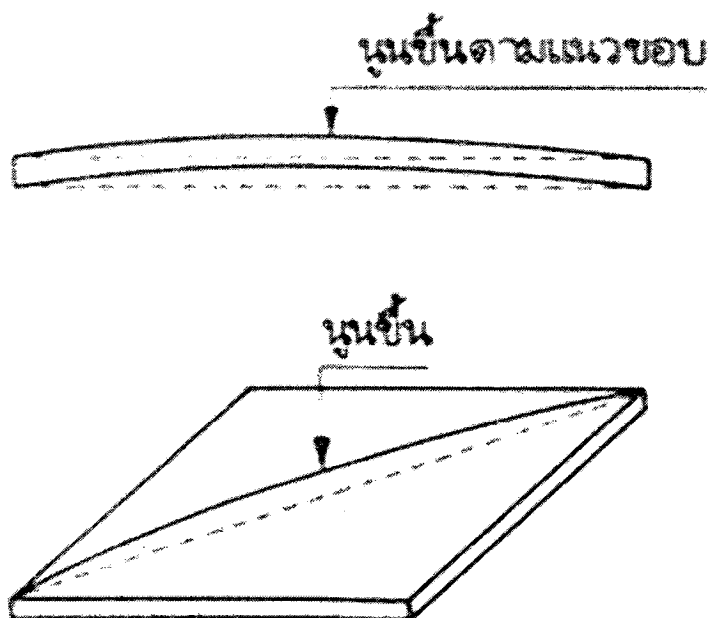
10). โค้งออก หมายถึง ความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องโค้งออก แสดงในรูปที่ 2.15

11). เว้าเขา หมายถึงความบิดเบี้ยวในลักษณะที่ส่วนกลางของขอบกระเบื้องเว้าเขาแสดงในรูปที่ 2.15



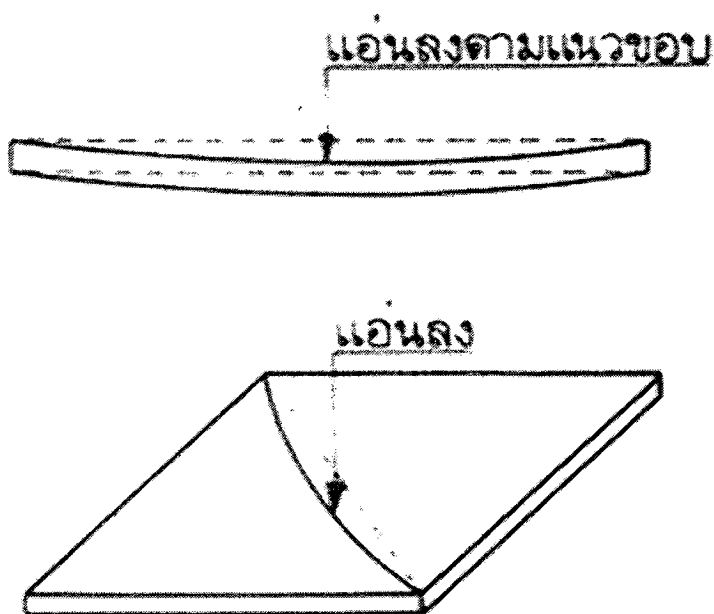
รูปที่ 2.15 การโค้งออก และ เว้าเข้า

12). นูนขึ้น (Convex) หมายถึงความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้ากระเบื้อง เนื่อง จากสวนกลางตามแนวเส้นทแยงมุม หรือสวนกลางตามแนวขอบของกระเบื้องสูงขึ้น แสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 นูนขึ้น (Convex)

13). แอนลง (Concave) หมายถึง ความบิดเบี้ยวไปจากแนวระนาบของผิวหน้า กระเบื้อง เนื่องจากส่วนกลางตามแนวเส้นทแยงมุมหรือส่วนกลางตามแนวขอบของกระเบื้องต่ำลง แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แอนลง (Concave)

14) ความสอบ (Wedging) หมายถึงลักษณะของด้านตรงข้ามของกระเบื้องสอบเข้าหากัน เนื่องจากความยาวของ ด้านตรงข้ามอีกคู่หนึ่งไม่เท่ากัน

15) การดูดซึมน้ำ เป็นการทำให้กระเบื้องอึดตัวด้วยน้ำแล้วชั่งในน้ำเพื่อคำนวณหาสมบัติต่างๆ โดยใช้ความสัมพันธ์ของมวลแห้ง มวลเมื่ออึดตัวและมวลที่ชั่งในน้ำ การทำให้อึดตัวด้วยน้ำมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีการต้มและวิธีการแช่น้ำภายใต้สุญญากาศ การต้มทำให้รูพรุนเปิดอึดตัวได้ง่าย ส่วนวิธีแช่น้ำภายใต้สุญญากาศทำให้น้ำซึมเข้าไปในรูพรุนเปิดเกือบทั้งหมด [xx]

16). ความทนสารเคมี เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระเบื้องที่ทดสอบต่อสารเคมีที่นำมาทำการทดสอบในระยะเวลาที่กำหนด [yy]

17). ความต้านทานแรงกระแทก เป็นการตรวจสอบความต้านทานแรงกระแทกของกระเบื้อง โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การคืนสภาพ [zz]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำตะกอนและวัสดุเหลือใช้ในการผลิตกระเบื้อง

มีนักวิชาการและนักวิจัยจำนวนมากไม่น้อยที่ทำการศึกษาค้นคว้าและพัฒนากระเบื้องที่มีส่วนผสมของตะกอนและวัสดุเหลือใช้ อาทิเช่น

1. Cho, Rea Ung: การเตรียมเนื้อกระเบื้องจากเศษเหลือทิ้งของเซรามิค เศษกระเบื้องและปูนพลาสเตอร์ และตะกอนที่แห้งแล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้กระบวนการขึ้นรูปแบบอัดเคลือบเงาและการเผา [xx] ได้กล่าวไว้ว่าการใช้ประโยชน์จากตะกอนเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมเพื่อผลิตกระเบื้องเศษเหลือทิ้งของภาชนะเซรามิค เศษกระเบื้อง เศษปูนพลาสเตอร์ ตะกอนของน้ำทิ้งที่เป็นกรด ตะกอนที่ได้จากการผลิตโซดาแอช ตะกอนน้ำทิ้งจากชุมชน ตะกอนอะลูมิเนียม ผงเหล็กและเหล็กกล้าที่ผ่านการบดละเอียด จากการทดลองส่วนผสมของของตะกอนพบว่า ตะกอนเศษเหลือทิ้งของภาชนะเซรามิคสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 13-17% เศษกระเบื้องสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 13-17% เศษปูนพลาสเตอร์สามารถผสมในวัตถุดิบได้ 4-6% ตะกอนของน้ำทิ้งที่เป็นกรดสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% ตะกอนที่ได้จากการผลิตโซดาแอชสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% ตะกอนน้ำทิ้งจากชุมชนสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 18-22% ตะกอนอะลูมิเนียมสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% ผงเหล็กและเหล็กกล้าที่ผ่านการบดละเอียดสามารถผสมในวัตถุดิบได้ 9-11% โดยส่วนผสมดังกล่าวมีการไล่ความชื้นออกก่อนที่จะทำให้แห้งด้วยความร้อนและขึ้นรูปแบบอัดกับแผ่นโลหะจากนั้นนำมาเคลือบเงาและเผาที่อุณหภูมิ 1200-1500 องศาเซลเซียส

2. L.Catarino, J.Sousa, I.M.Martins, M.T.Vieira, M.M.Oliveira: ผลิตภัณฑ์เซรามิคจากเศษหิน [xx] ได้กล่าวไว้ว่า เศษที่เกิดจากการใช้เครื่องจักรในกระบวนการตัดหินชนวนนำมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปและเผาในอุตสาหกรรมเซรามิค เช่น กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องมุงหลังคา โดยการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าความหนาแน่นจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1150-1170 ° C และจากนั้นความหนาแน่นจะเริ่มลดลง เนื่องจากขนาดของอนุภาควัตถุดิบและการใช้เศษผงหินในปริมาณที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปเป็นตัวแปรที่สำคัญและเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการใช้ของเสียด้วยเหตุผลทางเศรษฐกิจและกระเบื้องที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้น

3. P.Torres, R.S.Manjate, S.Quaresma, H.R.Fernandes, J.M.F.Ferreira :การพัฒนาองค์ประกอบพื้นฐานของกระเบื้องเซรามิคจากตะกอนควอตซ์และหินแกรนิต [xx] จากการศึกษาจากตะกอนที่ได้จากอุตสาหกรรมตัดและขัดหินธรรมชาติ (หินแกรนิตและควอตซ์) พบว่ามีลักษณะการกระจายตัว ขนาดอนุภาคและองค์ประกอบทางเคมี ความร้อนและศักยภาพในการเป็นส่วนประกอบหลักในกระเบื้องจากการประเมินผล มีเป้าหมายในการออกแบบสูตรให้มีคุณสมบัติที่ดีกว่า การดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าและกำลังดัดที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอ้างอิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องโดยการอัดรีด ลักษณะการดูดซึมน้ำ 8-9% และค่ากำลังดัด 17-18 MPa โดยเผาที่อุณหภูมิ 1100 ° C, 1125 ° C, 1150 ° C และ 1200 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าทุกสูตรที่มีการปรับปรุงมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากการรวมตัวกันของตะกอนหินแกรนิต มีแรงดัดมีค่ามากขึ้น การดูดซึมน้ำลดลงอ้างอิงตามผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ISO 13006