บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 เซรามิก

เซรามิก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ซึ่งกรรมวิธีการผลิตต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด หรือโดยส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนผิวโลก ได้แก่ เครื่องปั้นดินเผา วัตถุทนไฟ วัสดุก่อสร้างที่เป็นดินเผา วัสดุขัดถู โลหะเคลือบ ซีเมนต์ แก้ว วัสดุที่ใช้ในงานเกี่ยวข้องกับแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539)

3.2 อุตสาหกรรมเซรามิกของไทย

อุตสาหกรรมเซรามิก หมายถึง โรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดหรือส่วนใหญ่ ผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนเปลือกโลก ซึ่งกรรมวิธีการผลิตต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง (กองเศรษฐธรณี กรมทรัพยากรธรณี, 2544)

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานหลักของไทยโดยเฉพาะ มีประวัติการผลิตและการพัฒนาที่ยาวนานมาตั้งแต่โบราณ ตั้งแต่ยุคบ้านเชียง อายุมากกว่า 4,500-5,600 ปี (กองเศรษฐธรณี กรมทรัพยากรธรณี, 2544) เริ่มจากภาชนะปั้นดินเผา รูปสัตว์ดินเผาโดยค่อยๆ มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ภายหลังเมื่อติดต่อค้าขายกับชนชาติจีนในสมัยยุคสุโขทัย จึงได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตเครื่องปั้นดินเผาจากดินขาวแบบ “สังคะโลก” ซึ่งเป็นต้นแบบของผลิตภัณฑ์เซรามิกในประเทศไทยต่อมา เมื่อถึงยุครัตนโกสินทร์การผลิตภาชนะเครื่องปั้นดินเผาได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีการทำชามกระเบื้องจากดินขาวที่จังหวัดลำปาง และราชบุรี โดยชาวจีนที่อพยพเข้ามาอยู่ในประเทศไทย สำหรับอุตสาหกรรมแก้วนั้นเริ่มจากได้มีการนำเครื่องแก้วจากประเทศตะวันตกเข้ามาใช้ตอนปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา จนกระทั่งหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงมีการสร้างโรงงานผลิตเครื่องแก้วขึ้นภายในประเทศ ทั้งนี้เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ ภายหลังปี พ.ศ. 2500 อุตสาหกรรมเซรามิก ถูกพัฒนาขยายตัวเติบโตอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

3.3 บทบาทและสภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่มีผลิตภัณฑ์มากมายหลายชนิด เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานของอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมรถยนต์ ตลอดจนอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ เป็นอุตสาหกรรมที่สามารถทำรายได้จากการส่งออกถึงปีละประมาณหลายพันล้านบาท ปัจจุบันแนวโน้มการส่งออก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้เพิ่มขึ้นสูงมาก อุตสาหกรรมเซรามิก แบ่งกว้างๆ ได้ 2 ประเภท คือ เซรามิกชนิดสวยงามและเซรามิกประยุกต์

เซรามิกชนิดสวยงาม ได้แก่ กระเบื้อง เครื่องสุขภัณฑ์ ถ้วยชาม ของชำร่วย เครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า

เซรามิกประยุกต์ แบ่งเป็น เซรามิกในงานโครงสร้าง เซรามิกในงานอิเล็กทรอนิกส์

- เซรามิกในงานโครงสร้าง เป็นเซรามิกที่ต้องรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานบดและตัดสิ่งของ คาร์ไบด์ ไนไตรด์ โบไรด์ อะลูมินา เซอร์โคเนีย เส้นใยเซรามิก ชิ้นส่วนเซรามิกในเครื่องยนต์ ตัวต้านทานอุณหภูมิสูง และ ตัวต้านทานการสึกหรอ

- เซรามิกพวกอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ เฟอร์ไรต์ ไบโอเซรามิก ตัวนำยิ่งยวด เซรามิกในอโลหะที่มีอำนาจแม่เหล็ก (อย่างแรงและอย่างอ่อน) แบเรียมไททาเนต นิวเคลียร์เซรามิก ตัวเก็บประจุ ที่เก็บชิพ ไอซี ซับสเตรท อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า (เกิดจากการกดดันทางกลไกที่มีต่อผลึกที่ไม่นำไฟฟ้า) เทอร์มิสเตอร์ แวร์ริสเตอร์ ตัวกำเนิดประกายไฟ อ๊อปติคอล ไฟเบอร์ เซรามิกในเครื่องส่งสัญญาณ (เซนเซอร์) และ คะตะลิสต์แคริเออร์

อุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็น เซรามิกชนิดสวยงาม โดยกระเบื้อง เครื่องสุขภัณฑ์และกระจกนั้น เป็นวัสดุตกแต่งซึ่งการผลิตจะเน้นเพื่อตอบสนองต่ออัตราการเติบโตและความต้องการใช้ภายในประเทศ (โดยเฉพาะธุรกิจอสังหาริมทรัพย์) ส่วนถ้วยชามเซรามิก เครื่องแก้วใช้บนโต๊ะอาหาร การผลิตจะเน้นเพื่อการส่งออก บรรจุภัณฑ์แก้ว (ขวดแก้ว) เป็นสินค้าขนส่งที่ลำบากเพราะแตกหักง่าย และต้นทุนในการดูแลค่อนข้างสูง ทำให้ผลผลิตที่ได้เกือบทั้งหมดสนองความต้องการภายในประเทศ ซึ่งจะมีการส่งออกบ้างในรูปของบรรจุภัณฑ์ที่ไปพร้อมๆ กับผลิตภัณฑ์ และลูกถ้วยไฟฟ้า จะผลิตเพื่อตอบสนองกิจการสาธารณูปโภค (ไฟฟ้า) เป็นสำคัญ

3.4 สถานภาพทั่วไปของผลิตภัณฑ์เซรามิก

อุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นเซรามิกชนิดสวยงามดังนั้น ผลิตภัณฑ์เซรามิกในภาพรวมที่จะนำเสนอต่อไปนี้จะมีอยู่ 5 ประเภทด้วยกัน คือ

1. กระเบื้องเซรามิก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สินค้าประเภททุนและเทคโนโลยีการผลิตสูงมาก โรงงานส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดใหญ่ได้มาตรฐาน และสามารถขยายกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นได้ตลอดเวลา

2. เครื่องสุขภัณฑ์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ต้นทุน และเทคโนโลยีการผลิตสูงโรงงานส่วนใหญ่ได้มาตรฐาน มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่อง

3. ถ้วยชามเซรามิก เป็นอุตสาหกรรมที่จะเน้นแรงงานและความสามารถในการออกแบบมาก ครองตลาดทั้งในและต่างประเทศ เป็นอุตสาหกรรมเซรามิกที่ทำรายได้สูงสุดจากการส่งออก

4. ของชำร่วยและเครื่องประดับ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เน้นการออกแบบเป็นสำคัญ และเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานมากช่วยสร้างงานในท้องถิ่น เป็นผลิตภัณฑ์ที่เคยสร้างรายได้เป็นอันดับสอง จากการส่งออกรองจากถ้วยชาม แต่ในสถานการณ์ปัจจุบันสูญเสียอันดับการครองตลาดให้กับสินค้าเครื่องสุขภัณฑ์

5. ลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีในการผลิตระดับสูง การตลาดขึ้นอยู่กับกิจการสาธารณูปโภค (ไฟฟ้า) เป็นสำคัญ

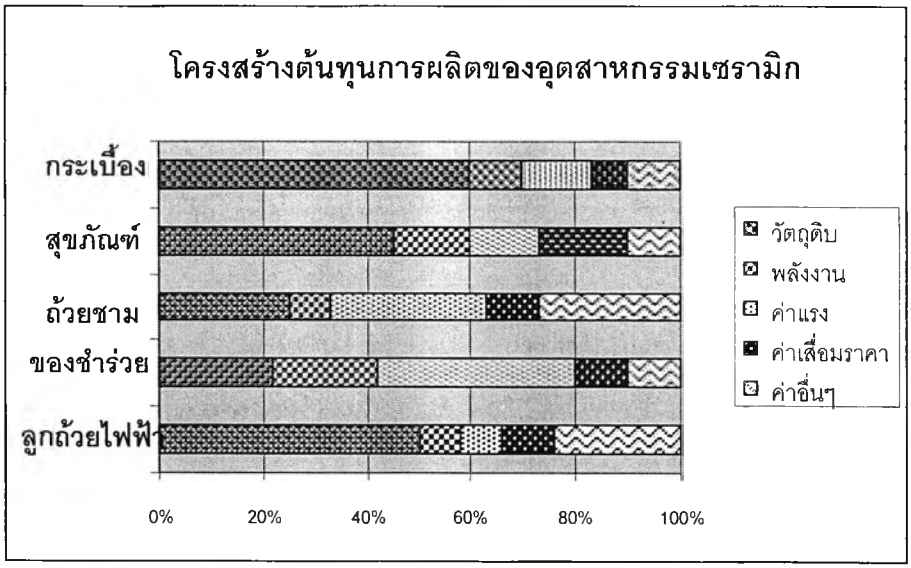
3.5 โครงสร้างต้นทุนการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิก

ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เซรามิก มีองค์ประกอบหลัก คือ ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าพลังงาน ค่าเสื่อมราคา และอื่นๆ (ดังรูปที่ 3.1) ซึ่งสัดส่วนและต้นทุนดังกล่าวจะแตกต่างกันไปขึ้นกับเทคนิคการผลิต และสัดส่วนการใช้วัตถุดิบนำเข้ามาของผู้ผลิต (ดังรูปที่ 3.2)

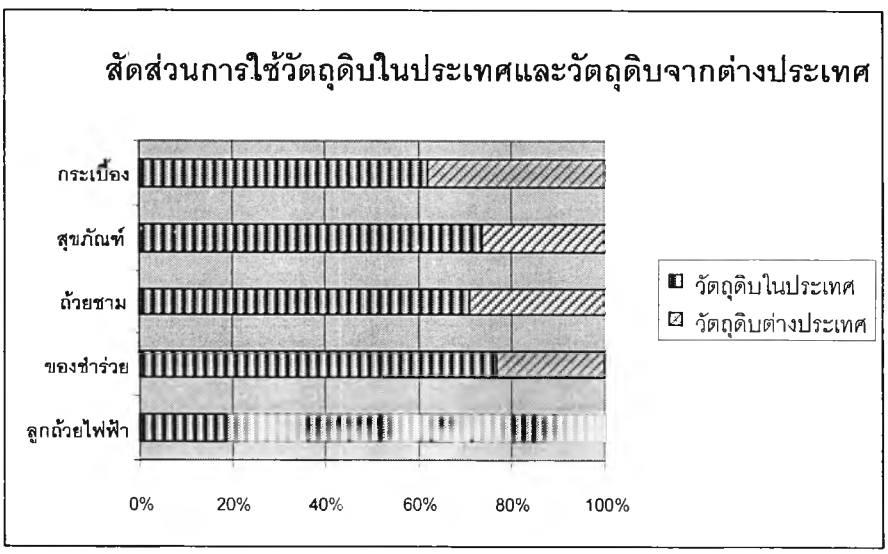
กระเบื้องเซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีต้นทุนวัตถุดิบสูงที่สุด คือสูงถึง 60% ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นวัตถุดิบนำเข้าถึง 38% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ จะมีต้นทุนวัตถุดิบประมาณ 25-50% เนื่องจากมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น โดยเฉพาะถ้วยชาม และของชำร่วย จะอยู่ในส่วนการออกแบบ และฝีมือแรงงานเป็นส่วนใหญ่ ดังจะเห็นได้จากมีต้นทุนด้านแรงงานสูงถึง 27-38% สำหรับต้นทุนค่าพลังงานและไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์เซรามิกทุกประเภทจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 10-19%

3.6 วัตถุดิบในการผลิตเซรามิก

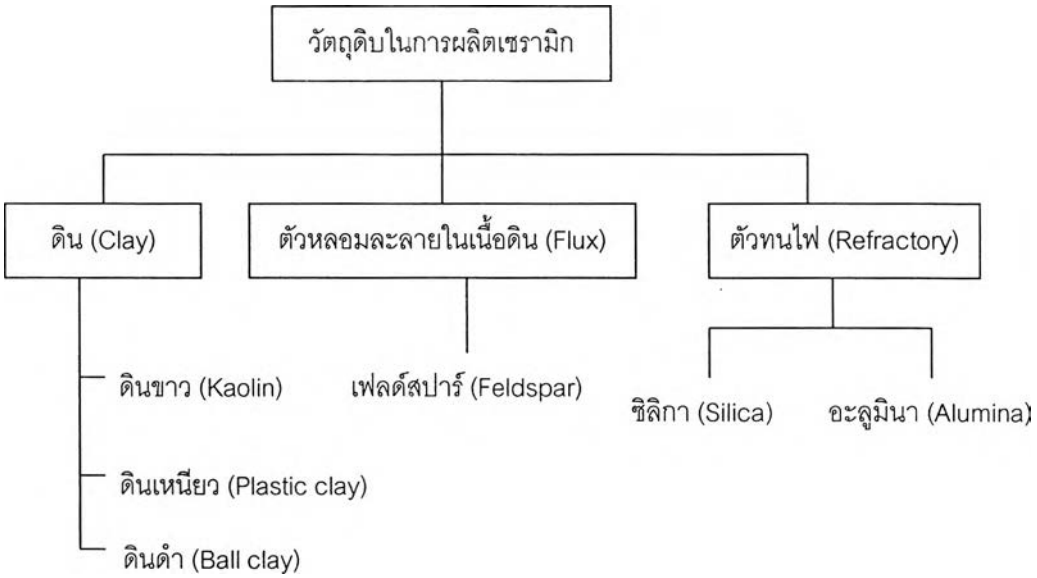
วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกบางอย่างได้มาจากสินแร่ตามธรรมชาติ เช่น ดินต่างๆ (Clays) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ควอตซ์ (Quartz) และทรายทะเล เป็นต้น นอกจากนี้วัตถุดิบบางอย่างได้จากการสกัดจากสินแร่ตามธรรมชาติ และนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น อะลูมินา (Alumina) ซึ่งได้มาจากการแยกสกัดแร่บอกไซต์ (Bauxite) นอกจากนี้ก็มีพวกเฟอไรต์ (Ferrites) และยังมีสารอินทรีย์บางชนิดที่ใช้เป็นตัวช่วยในการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยใหม่ต้องการวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่มีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูง ทั้งนี้เพราะสิ่งสกปรกเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจจะน้อยกว่า 1% ก็มีอิทธิพลต่อโครงสร้างซึ่งเชื่อมโยงไปถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539) ผลิตภัณฑ์เซรามิกทำมาจากวัตถุดิบทนไฟพวกอนินทรีย์สาร ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิดตามอุณหภูมิการเผา สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ในระบบอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผานิยมแบ่งวัตถุดิบในการผลิตเซรามิก ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ดิน ตัวหลอมละลายในเนื้อดิน และ ตัวทนไฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเซรามิก
(กองเศรษฐธรณี กรมทรัพยากรธรณี, 2544)



รูปที่ 3.2 สัดส่วนการใช้วัตถุดิบในประเทศและวัตถุดิบจากต่างประเทศ
(กองเศรษฐธรณี กรมทรัพยากรธรณี, 2544)



รูปที่ 3.3 แผนผังวัตถุดิบบางชนิดในการผลิตเซรามิก (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

3.6.1 ดิน (Clays)

ดินเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก มีความเหนียว เมื่อถูกน้ำจะจับตัวเป็นก้อน สามารถนำมาปั้นเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่าย ความเหนียวและสีของดิน มีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งทั้งในด้านโครงสร้างผลึกของดินและคุณสมบัติภายหลังการเผา ตัวอย่างเช่น สี การหดตัว ความแข็งแกร่ง และความทนไฟ เป็นต้น

แร่ดินที่ใช้เตรียมเนื้อดินในอุตสาหกรรมเซรามิกได้แก่

3.6.1.1 ดินขาว (Kaolin, China clay) ดินขาวส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม (Residual clay) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดหยาบจึงมีความเหนียวน้อย ประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์ (Kaolinite) มากกว่าดินชนิดอื่นๆ ดินขาวที่พบตามแหล่งนี้ มีส่วนประกอบต่างกันด้วยเหตุผล 2 ประการเนื่องจากโครงสร้างของดินขาวมีการแทนที่กันของโลหะธาตุที่มีประจุบวก และเนื่องจากมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ซึ่งได้แก่ ควอตซ์ (Quartz) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ฮีมาไทท์ (Hematite) ฟลูโอไรต์ (Fluorite) เป็นต้น

ดินขาวที่ขุดขึ้นมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มีอยู่ 3 ชนิด คือ

- ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์และมีความทนไฟสูง สามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้
- ดินขาวที่เป็นเกรดของฟิลเลอร์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทำสี ทำยาง ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย และอื่นๆ โดยใช้ดินขาวที่มีเนื้อสีขาวบริสุทธิ์ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี

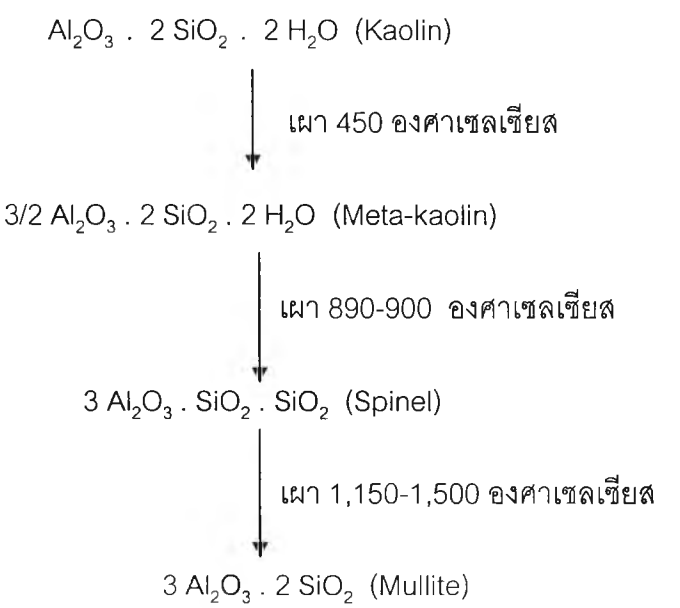
แต่ไม่ได้นำไปเผาผ่านความร้อนในกระบวนการผลิต

- ดินขาวซึ่งเป็นดินสอพองซึ่งไม่ใช่ดินขาว แต่เป็นปูนขาวชอล์ก (Chalk) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เกิดจากผลึกของหินปูนตามธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นผลึกละเอียดสีขาว บางครั้งเป็นสีอมชมพูและน้ำตาลอ่อน ซึ่งใช้เป็นเนื้อดินปั้นขึ้นรูปไม่ได้ ใช้ผสมทำปูนซีเมนต์

ตารางที่ 3.1 สมบัติต่าง ๆ ของดินขาว (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

สูตรดินขาว	Al_2O_3 . 2 SiO_2 . 2 H_2O
ส่วนประกอบ	39.5% 46.5% 14%
รูปผลึก	เป็นแผ่นหกเหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 – 10.0 ไมครอน
ความเหนียว	ต่ำ
ความทนไฟ	1,750 – 1,770 องศาเซลเซียส
ความหดตัว	น้อย
ความแข็งแกร่งหลังเผา	สูง

สมบัติทางเคมีของดินขาว มีปฏิกิริยาแตกตัวในขั้นตอนการเผาดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเรียงตัวของผลึกในโครงสร้างตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงมากขึ้น



รูปที่ 3.4 ปฏิกิริยาของดินขาว เมื่อผ่านอุณหภูมิต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงผลึกทางโครงสร้างเคมี (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

สมบัติทางกายภาพของดินขาว (Physical properties of kaolin)

- ขนาดของอนุภาค (Particle size) โดยขนาดของอนุภาคดินนั้นจะมีผลต่อความเหนียว (Plasticity) และการหดตัวของเนื้อดินปั้นเมื่อแห้ง (Drying shrinkage) ดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าเม็ดหยาบ ส่วนดินที่มีเม็ดหยาบจะมีความเหนียวน้อย (Low plasticity) ดินขาวโดยทั่วไปมีเม็ดหยาบและมีความเหนียวน้อย

- รูปร่างของอนุภาค (Particle shape) รูปร่างของแร่เกาลินไนท์โดยทั่วไปจะเป็นแผ่นหกเหลี่ยม (Hexagonal plates) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.05 – 10.0 ไมครอนโดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

- คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (Base exchange capacity) ปกติดินขาวที่บริสุทธิ์จะไม่มีการแลกเปลี่ยนอนุมูลหรือดูดซับอนุภาคและโมเลกุลอื่นๆ ถ้าดินขาวไม่บริสุทธิ์ก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนอนุมูลหรือดูดซับผลึกของแร่ที่มีขนาดเล็กไว้ที่ผิว ผลึกเกาลินไนท์บริสุทธิ์มีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง แร่ธาตุและอินทรีย์สารแทรกเข้าไปในโครงสร้างผลึกไม่ได้จึงคงความบริสุทธิ์ได้ดี

- คุณสมบัติเมื่อแห้ง (Drying properties) ดินขาวที่บริสุทธิ์มีการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage) ไม่สูง ดินขาวที่เม็ดละเอียด (Fine grained) จะมีค่าการหดตัวมากกว่าดินเม็ดหยาบ

- ความแข็งแรงของเนื้อดินก่อนเผา (Green strength) ดินขาวมีความแข็งแรงน้อยเปราะแตกได้ง่ายเมื่อแห้งเพราะมีความเหนียวน้อย

- สมบัติหลังจากการเผา (Firing properties) ดินขาวที่คุณภาพดีเมื่อเผาแล้วควรจะได้สีขาว แต่ถ้าเป็นสีครีมหรือสีน้ำตาลอ่อน แสดงว่ามีแร่ธาตุเจือปนอยู่สูง ดินขาวที่มีการหดตัวเกิน 20% หลังการเผา ไม่ควรใช้ดินขาวนั้นในเนื้อดินปั้นปริมาณมาก

3.6.1.2 ดินเหนียว (Plastic clay) คือดินที่มีเนื้อละเอียดซึ่งมีแร่ธาตุปนอยู่ตามธรรมชาติค่อนข้างสูง ไม่บริสุทธิ์เหมือนดินขาว เมื่อขุดพบมีสีต่างๆ สีเหลือง สีเทา สีดำ หรือสีส้มแดง หลังการเผาดินก็จะมีสีต่างๆ กันไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล สีแดง หรือสีเหลืองอมเทา ดินดำ (Ball clay) จัดว่าเป็นดินเหนียวประเภทหนึ่งด้วย แต่ดินดำแตกต่างจากดินเหนียวคือดินดำมีแร่ธาตุเจือปนอยู่ในปริมาณต่ำ ค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่มีอินทรีย์สารเจือปนอยู่สูง ดินดำบางชนิดมีความเหนียวน้อย บางชนิดมีความเหนียวมาก

3.6.1.3 ดินดำ (Ball clay) ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ ดินเหนียวขาวที่เกิดจากดินขาว ซึ่งย้ายถิ่นไปตกตะกอนสะสมในแหล่งใหม่ (Sedimentary clay) ดินดำเป็นดินที่มีขนาดผลึกเม็ดละเอียดมาก อนุภาคของดินยึดเกาะกันได้ดีมีอินทรีย์สารที่มีโครงสร้างคล้ายกับที่พบในถ่านหินลิกไนท์ จึงส่งผลช่วยให้ดินชนิดนี้มีความเหนียวและทำให้มีสีเปลี่ยนไปจากสีขาว

กลายเป็นสีเทาจนถึงสีดำ แต่เมื่อนำไปเผาในอุณหภูมิสูงเนื้อดินจะมีสีขาวหรือสีครีม อินทรีย์สารต่างๆ จะถูกเผาไหม้หมดไปจากเนื้อดิน

ดินดำมีเนื้อละเอียดหลังการเผามีสีขาวและมีความทนไฟ 1,300 องศาเซลเซียส โดยไม่บิดเบี้ยวมักเป็นดินที่มีคุณภาพดี นิยมนำมาใช้ผสมในผลิตภัณฑ์สีขาว เช่น โบนไชน่าและไวท์เอิร์ทเทินแวร์ ส่วนดินดำทั่วไปที่คุณภาพปานกลางมีทรายเจือปนอยู่ค่อนข้างมาก ใช้ทำเนื้อดินขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน ทำท่อน้ำดินเผาหรือผสมในเนื้อดินทำกระเบื้องปูพื้น

ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำ (Chemical properties of Ball clay)

ในดินดำประกอบด้วยแร่เกาลินไนท์เป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับดินขาว แต่เป็นผลึกเกาลินไนท์ชนิดไม่สมบูรณ์ (Disordered kaolinite) ในระหว่างผลึกมีแร่ธาตุและอินทรีย์สารแทรกอยู่โดยประมาณจะมีซิลิกา 40 – 60% อะลูมินา 30% น้ำผลึกและอินทรีย์สารประมาณ 10% นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่ในดินด้วย เช่น ไทเทเนียม (TiO_2) เฟอร์ริก (Fe_2O_3) แคลเซียม (CaO) แมกนีเซียม (MgO) เหล็กซัลเฟต (FeS) โพแทสเซียม (K_2O) และ โซเดียม (Na_2O) เป็นต้น

ตารางที่ 3.2 สูตรเคมีของดินดำ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

ประเภทของดินดำ	สูตรเคมี
1. ดินดำทั่วไป (มีอะลูมินา 20 – 25% ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี)	$Al_2O_3 . 4 SiO_2 . 2 H_2O . 0.1 K_2O$
2. ดินดำ-ดินเหนียวอุตสาหกรรม (มีอะลูมินา 30 – 38% ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี)	$Al_2O_3 . 2 SiO_2 . 2 H_2O . 0.1 K_2O$
3. ดินดำปนทราย (มีซิลิกา 60 – 80% ตามผลวิเคราะห์ทางเคมี)	$Al_2O_3 . 9 SiO_2 . 2 H_2O . 0.2 K_2O$

สมบัติทางกายภาพของดินดำ (Physical properties of Ball clay)

- ขนาดของดินจะมีผลึกละเอียดมากน้อยเพียงใด จะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบเมื่อถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมาก ขนาดเม็ดอนุภาคจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.05 – 1.00 ไมโครเมตร

- ความเหนียว (Plasticity) ดินดำเป็นดินที่อมน้ำได้มาก ความเหนียวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ซึ่งประกอบด้วยหลักสำคัญคือ ปริมาณของอินทรีย์สาร ขนาดของเม็ดดิน และ วัตถุดิบที่ให้ความเหนียว เช่น ดินเบนโตไนท์ เป็นต้น

- การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage) ดินดำที่มีทรายปนอยู่สูงแทบไม่มีการหดตัว แต่ดินที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณ 13 – 17 %

- การหดตัวหลังเผา (Firing shrinkage) มีการหดตัวสูงประมาณ 15% เนื่องจากดินดำมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก

- ความแข็งแรงของดินเมื่อแห้งก่อนเผา (Green strength) โดยเนื้อดินจะมีความแข็งแรง (Strength) ประมาณ 100 – 1000 psi (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

- สีหลังเผา เป็นสีขาวนวล

- มีแร่ธาตุพวกด่างและไมกา ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายช่วยลดอุณหภูมิในการเผา

ตารางที่ 3.3 ข้อดีและข้อเสียของดินดำ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เพิ่มความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อดินปั้นขึ้นรูปได้ดี 2. เพิ่มความแข็งแรงก่อนเผา ลดการสูญเสียจากการแตกหักก่อนเผาในขณะเคลื่อนย้าย 3. ทำให้น้ำดินหล่อที่ใช้ในการเทแบบไหลตัวดี 4. เสริมปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในระหว่างการเผา ทำให้ดินสุกตัวเร็ว	1. มีสิ่งเจือปนสูง เช่น คาร์บอน เหล็ก ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการเผามีตำหนิ 2. ถ้าผสมในปริมาณมากเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ค่อยโปร่งแสง มีการหดตัวสูง 3. มีองค์ประกอบไม่แน่นอน ทำให้ควบคุมอัตราส่วนผสมได้ยาก

3.6.2 ตัวหลอมละลายในเนื้อดิน (Flux)

คือวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายหรือลดอุณหภูมิในการเผา การที่ใช้ตัวหลอมละลายผสมในเนื้อดินเพื่อให้เนื้อดินสุกตัวในอุณหภูมิที่ต้องการนั้น ตัวหลอมละลายจะทำหน้าที่ประสานผลึกของวัตถุดิบต่างๆ ให้หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และในขณะที่เนื้อดินถูกเผาผ่านความร้อนวัตถุดิบที่เป็นตัวหลอมละลายถูกบดละเอียดผสมอยู่ในเนื้อดิน จะเริ่มเกิดการหลอมตัวก่อนแล้วดึงเอาวัตถุดิบทนไฟที่อยู่รอบๆ ผลึกมาหลอมเข้าด้วยกัน ทำให้ช่องว่างที่อยู่ระหว่างผลึกเม็ดดินหายไป และเนื้อดินเกิดการหดตัวรวมกันหลอมจนเนื้อแน่นคล้ายแก้ว ในระหว่างที่เตาเผาเย็นตัวลงเนื้อดินก็จะค่อยๆ เย็นตัวกลายเป็นของแข็ง

ความพรุนตัวของดินหรือคุณสมบัติของดินภายหลังการเผาขึ้นอยู่กับปริมาณของวัตถุดิบที่เป็นตัวหลอมละลาย ถ้าใช้วัตถุดิบตัวหลอมละลายในปริมาณมากเกินไปดินอาจยุบตัวหลังการเผา ดังนั้นหลักสำคัญในการผสมเนื้อดินปั้น ต้องพยายามให้เนื้อดินมีช่วงเผาสุกตัวยาว คือสามารถเผาให้สุกตัวได้ในอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกัน ประมาณ 30 – 50 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการเผามากยิ่งขึ้น หากเผาเกินอุณหภูมิไปบ้างเล็กน้อยในบางครั้งผลิตภัณฑ์ก็ไม่เกิดความเสียหาย

ตัวหลอมละลายที่ใช้ผสมในอุตสาหกรรมมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น หินฟันม้า (Feldspar) เนฟเฟลีนไซยาไนท์ (Nepheline syenite) โบนแอช (Bone ash) ทัลค์ (Talc) หินปูน ($CaCO_3$) โดโลไมท์ (Dolomite) เป็นต้น แต่จะกล่าวถึงตัวหลอมละลายเฉพาะที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ หินฟันม้า หรือ เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

เฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในกลุ่มที่ให้ด่างหรือวัตถุดิบช่วยในการหลอมละลาย ด่างในแร่เฟลด์สปาร์อยู่ในรูปผลึกที่ไม่ละลายน้ำ จึงสะดวกในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมในเนื้อดินและน้ำเคลือบได้โดยตรง ไม่ต้องนำมาหลอมเป็นฟริต (Frit) ก่อนใช้ เฟลด์สปาร์ใช้ผสมในเนื้อดินและน้ำเคลือบอุณหภูมิสูง เพื่อลดจุดหลอมละลายในการเผา เป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในดินปริมาณที่ใช้ในเนื้อดินประมาณ 25% ปริมาณที่ใช้เคลือบประมาณ 40 – 60%

ตารางที่ 3.4 สมบัติทางกายภาพของเฟลด์สปาร์ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

ความถ่วงจำเพาะ	2.56 – 2.63
อุณหภูมิที่หลอมละลาย	1,150 – 1,532 องศาเซลเซียส
ความแข็ง	6.0 – 6.5 โมห์สเกล

เฟลด์สปาร์ เป็นสารประกอบของอะลูมิโนซิลิเกตและอัลคาไลหรืออัลคาไลเอิร์ท ดังนั้นเฟลด์สปาร์จึงมีวัตถุดิบที่เป็นด่างคือตัวหลอมละลาย มีอะลูมินาเป็นตัวกลางและมีซิลิกาซึ่งเป็นตัวทนไฟด้วย จึงจัดเป็นวัตถุดิบที่ให้เป็นตัวเคลือบได้ตามธรรมชาติ เฟลด์สปาร์ทำหน้าที่ลดความเหนียวของเนื้อดินก่อนเผา เป็นตัวประสานให้ผลึกของดินหลอมตัวกันแน่น เนื้อดินหลอมเป็นแก้ว ลดการดูดซึมน้ำ ลดอุณหภูมิในการเผา เพิ่มความโปร่งแสงให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการเผาโดยปกติเฟลด์สปาร์เริ่มหลอมละลายเล็กน้อยที่อุณหภูมิประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส เฟลด์สปาร์สามารถแบ่งออกตามประเภทของสารประกอบได้หลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ชนิดของเฟลด์สปาร์จำแนกตามสารประกอบ (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

ประเภทของเฟลด์สปาร์	จุดหลอมละลาย	สูตรเคมี
1.โพแทสเฟลด์สปาร์ (Orthoclase)	1,220 °C	K_2O . Al_2O_3 . 6 SiO_2 (16.9 %) (18.3 %) (64.8 %)
2. โซดาเฟลด์สปาร์ (Albite)	1,170 – 1,200 °C	Na_2O . Al_2O_3 . 6 SiO_2 (11.8 %) (19.4 %) (68.8 %)
3. ไลม์เฟลด์สปาร์ (Anorthite)	1,550 °C	CaO . Al_2O_3 . 2 SiO_2 (20.1 %) (36.6 %) (43.3 %)
4. แบเรียมเฟลด์สปาร์ (Celsian)	1,715 °C	BaO . Al_2O_3 . 2 SiO_2 (40.85 %) (27.15 %) (32.00 %)
5. ลิเทียมเฟลด์สปาร์ (Petalite) ลิเทียมเฟลด์สปาร์(Spodumene) ลิเทียมเฟลด์สปาร์ (Lepidolite)	1,200 °C 1,250 °C 1,150 °C	Li_2O . Al_2O_3 . 8 SiO_2 Li_2O . Al_2O_3 . 8 SiO_2 Li_2O . Al_2O_3 . 8 SiO_2 (8.03 %) (27.40 %) (64.57 %)

นอกจากนี้ยังใช้เฟลด์สปาร์ในการเตรียมน้ำเคลือบ ซึ่งใช้ปริมาณ 30 – 70% ในน้ำเคลือบอุณหภูมิสูงทุกชนิดและใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมการผลิตแก้วซึ่งใช้ในอัตราส่วนประมาณ 30 – 40 %

3.6.3 ตัวทนไฟ (Refractory)

มีคุณสมบัติช่วยเปิดเนื้อดินให้มีความพรุนตัว ช่วยลดการหดตัวของเนื้อดินขณะผึ่งแห้งและลดความเหนียวของเนื้อดินลงด้วย นอกจากนี้ตัวทนไฟยังได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเนื้อผลิตภัณฑ์ให้คงอยู่ในสภาพดีไม่บิดเบี้ยวแตกร้าวหลังการเผา ทำให้เนื้อดินมีลักษณะพื้นผิวหยาบหรือละเอียดตามต้องการ และเพิ่มความแข็งแกร่งให้เนื้อดินหลังการเผา

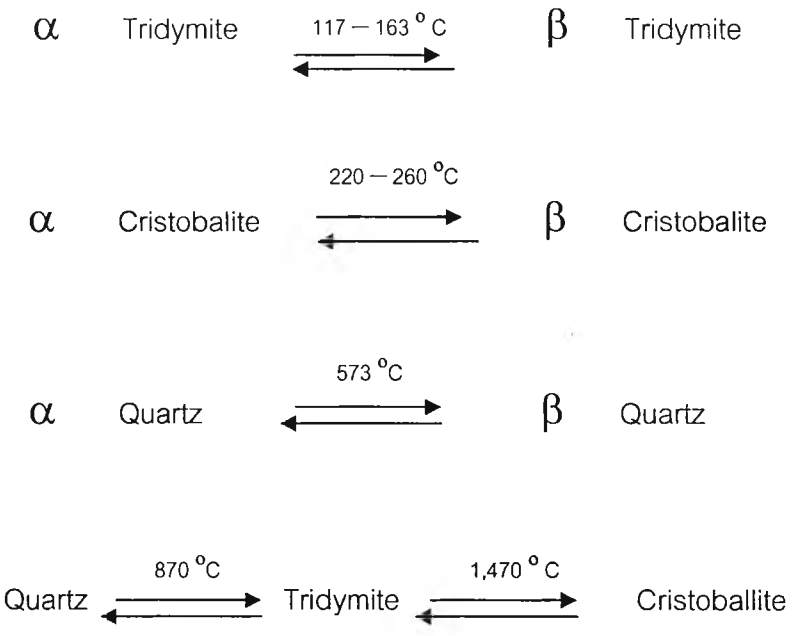
ตัวทนไฟที่ใช้ในการผลิตเซรามิกได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา วัตถุดิบกลุ่มซิลิมาไนท์ (Silimanite group) คัลไซน์เคลย์ (Calcined clay) ไพโรฟีลไลท์ (Pyrophyllite) เซอร์คอน (Zircon) เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะซิลิกา และอะลูมินาซึ่งใช้ในการวิจัยนี้

3.6.3.1 ซิลิกา (Silica, SiO_2) โดยปกติในดินทุกชนิดและในเฟลด์สปาร์จะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบในสูตรเคมีอยู่แล้ว ในการเตรียมเนื้อดินจะมีการเพิ่มซิลิกาเข้าไปในสูตรดินด้วยอีกส่วนหนึ่งโดยใช้ซิลิกาบดละเอียด ซิลิกาที่เพิ่มเข้าไปต่างหากนี้ เรียกว่า ซิลิกาอิสระ การเพิ่มซิลิกานี้บางครั้งเป็นอันตรายหลังการเผามาก เพราะจะทำให้เนื้อดินขยายตัวมากกว่าสารเคลือบ (Thermal expansion) โดยปกติแล้วสารเคลือบจะไม่รานตัว ถ้าเนื้อดินและสารเคลือบหดตัวในอัตราส่วนใกล้เคียงกัน (ซิลิกาที่ประกอบอยู่ในเฟลด์สปาร์และเนื้อดินมีการขยายตัวและหดตัวน้อยกว่าซิลิกาอิสระที่เพิ่มเข้าไป) ซิลิกาถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิต คือ ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิก ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบ ใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและการก่อสร้าง ได้แก่ ทราย

ตารางที่ 3.6 สมบัติทางกายภาพของซิลิกา (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

ความถ่วงจำเพาะ	2.65
ความแข็ง	7 โมห์สเกล
จุดหลอมละลาย	1,728 องศาเซลเซียส
โครงสร้างผลึก	รูปหกเหลี่ยมเป็นร่างสามมิติ

ซิลิกาเมื่อถูกเผาผ่านความร้อนจะเปลี่ยนโครงสร้างของรูปผลึกอยู่หลายช่วงอุณหภูมิของการเผาโดยอะตอมของรูปผลึกถูกจัดเรียงตัวใหม่จากรูปแบบหนึ่งเปลี่ยนแปลงเป็นอีกแบบหนึ่ง ซึ่งแต่ละแบบจะสามารถคงสภาพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง และการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกนี้ เรียกว่า อินเวอร์ชัน (Inversion) การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นเมื่อผลึกของซิลิกาถูกเผาผ่านความร้อน แต่เมื่อสิ้นสุดการเผา ซิลิกาจะเย็นตัวลง ผลึกต่างๆ จะย้อนกลับมาเป็นรูปเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase) ของซิลิกาที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 3.5 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของผลึกซิลิกาเมื่อได้รับความร้อน (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

3.6.3.2 อะลูมินา (Alumina, Al_2O_3) อะลูมินา คือ อะลูมิเนียมออกไซด์ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า คอรันดัม (Corundum) ได้จากการเผาอะลูมินาไฮเดรต $Al(OH)_3$ ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส เพื่อขจัดน้ำผลึกออกไป อะลูมินาเป็นประโยชน์มากในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ แม้อะลูมินาจะมีราคาแพงกว่าเฟลด์สปาร์แต่ในอุตสาหกรรมแก้วที่ต้องการแอลคาไลน้อยๆ จำเป็นต้องใช้อะลูมินา ข้อดีอีกประการหนึ่งของอะลูมินา คือ มีปริมาณเหล็กน้อย สารประกอบมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง โดยทั่วไปอะลูมินามักพบในรูปของไฮเดรท (Hydrate) คือ ผลึกของอะลูมินามีการรวมตัวทางเคมีกับน้ำ เช่น หินบอกไซท์ (Bauxite) ซึ่งประกอบด้วยแร่ที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ จิบไซท์ (Gibbsite, $Al_2O_3.3H_2O$) ไดอะสปอร์ (Diaspore, $Al_2O_3.2\ H_2O$) โบห์ไมท์ (Boehmite, $Al_2O_3\ .\ H_2O$)

ตารางที่ 3.7 สมบัติทางกายภาพของอะลูมินา (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, 2541)

ความถ่วงจำเพาะ	3.9 – 4.1
ความแข็ง	9 โมห์สเกล
จุดหลอมละลาย	2,050 องศาเซลเซียส
จุดสุกตัวได้เนื้อแก้ว (Sintered alumina)	1,600 – 1,900 องศาเซลเซียส
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	ดี

อะลูมินาเป็นวัตถุที่มีความทนไฟสูง มีความทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี มีความแข็งแกร่งและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวนี้เอง อะลูมินาถูกนำมาใช้ในการผลิตวัตถุทนไฟ เบ้าหลอม หัวเทียน และแผ่นรองวงจรไฟฟ้า และได้มีการนำ อะลูมินามาผสมในเนื้อดินทำถ้วยชามด้วย อย่างไรก็ตามการนำอะลูมินามาใช้ก็มีผลเสียในบางกรณีเช่น อัตราการขยายตัวของดินจะต่ำไม่เท่ากับอัตราการขยายตัวของสารเคลือบเพราะผลึกอะลูมินาเมื่อเผาผ่านความร้อนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกซับซ้อนเหมือนซิลิกา นอกจากนี้อะลูมินายังเป็นวัตถุดิบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะหนักถึง 3.95 ถ้าใช้ผสมเนื้อดินปริมาณ 35 % จะทำให้เนื้อดินหลังการเผามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 20% และอะลูมินามีค่าความแข็งสูงถึง 9 ซึ่งรองจากเพชร (ค่าความแข็งเท่ากับ 10) ทำให้การบดย่อยให้เป็นผงละเอียดทำได้ช้าและค่อนข้างยาก

อะลูมินาถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิต คือ ใช้ผสมเนื้อดินปั้นชนิดปอร์เซเลน เรียกว่า อะลูมินา ปอร์เซเลน (Alumina porcelain) และผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้าแรงสูง เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง ใช้ในอุตสาหกรรมที่จะต้องทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี (Abrasion – resistance purposes) และใช้ทำวัสดุทนไฟในเตาเผา (Refractory purposes) ใช้ในอุตสาหกรรมทำอิฐทนไฟ (High alumina bricks) ใช้ในการเตรียมน้ำเคลือบ เป็นส่วนของน้ำเคลือบเกือบทุกชนิดและมีคุณสมบัติทำให้เคลือบด้านถ้าใช้ในปริมาณมาก

3.7 ทรายแก้ว

ทราย (Sand) ตามความหมายของวิชาตะกอนศาสตร์ (Sedimentology) หมายถึงเม็ดวัตถุตะกอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 0.063-2.000 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยวัตถุที่เป็นเศษหิน เศษแร่ ขนาดเล็ก มีลักษณะร่วนซุย ไม่เกาะติดกัน ได้แก่ ควอตซ์ (Quartz) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) หินบะซอลล์ หินปูน หินภูเขาไฟ แร่ยิปซัม เป็นต้น ทรายเกิดตามธรรมชาติด้วยกระบวนการกัดกร่อนและผุสลายจากหินและแร่ที่เป็นต้นกำเนิด จากนั้นอาจถูกกระแสน้ำ คลื่นแรงโน้มถ่วง น้ำแข็งและลม นำพาไปสะสมอยู่ในบริเวณภูมิประเทศลักษณะต่างๆ มีทั้งทรายที่สะสมตัวบนบกโดยแม่น้ำลำธาร กระแสลมและทรายที่สะสมในทะเลที่สัมพันธ์กับคลื่นกระแสน้ำ สำหรับตะกอนกรวด (Gravel) นั้น หมายถึงตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร ขึ้นไป ลักษณะทรายจำแนกตามการใช้ประโยชน์หลักแบ่งเป็น

ทรายสำหรับงานด้านโยธาในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง คือวัตถุผสมละเอียดที่มีขนาดผ่านตะแกรงร่อน 4.75 มิลลิเมตรได้ จะเป็นเศษหิน แร่ ก็ได้ พบได้ทั่วไป มีความสะอาดระดับหนึ่งมีเม็ดทรายแข็งแกร่ง ทนทาน มีแหลมคม ไม่ขยายตัวมาก มีสารประกอบอื่นเจือปนอยู่น้อย โดยทรายที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์จะเรียกวัสดุผสมละเอียด (Fine aggregate) จะมีขนาดประมาณ 0.07-4.75 มิลลิเมตร แยกการใช้งานตามขนาดของเม็ดทราย

ทรายละเอียด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1.5 มิลลิเมตร ใช้งานในปูนก่อ ปูนฉาบ

ทรายกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-3 มิลลิเมตร ใช้ในงานคอนกรีต ปูนก่อที่ต้องรับแรงอัด ปูนฉาบผนังใต้ดิน พื้นคาน

ทรายหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-4.75 มิลลิเมตร ใช้ในงานคอนกรีต เทพื้น ฐานราก และงานที่ต้องการแรงอัดมาก

ทรายอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะหมายถึง ทรายแก้ว (Silica sand) คือทรายที่มีปริมาณซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) มากกว่า 95% และสารประกอบอื่นๆ เจือปนอยู่ได้ปริมาณเล็กน้อย

3.7.1 ทรายแก้วที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

ในอุตสาหกรรมเซรามิก ทรายแก้วเป็นส่วนประกอบของเนื้อเซรามิกคุณภาพสูงสีขาวถึง 30 – 40 % เพราะทรายแก้วเพิ่มความขาวให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้แกร่ง แห้งง่าย เพิ่มการยึดเกาะระหว่างเนื้อเซรามิกและตัวเคลือบ คงทนต่อความร้อน แตกยากโดยเฉพาะทรายแก้วจาก ฟลินท์ และทรายแก้วที่เป็นผลพลอยได้ จากการทำเหมืองซอล์ก

3.7.2 คุณสมบัติของทรายแก้วในอุตสาหกรรมเซรามิก ต้องมีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่

- ปริมาณซิลิกา (Si_2O) ไม่น้อยกว่า 99%
- ปริมาณเหล็ก (Fe_2O_3) ไม่เกิน 0.01%
- ขนาดของเม็ดทรายละเอียด ขนาดน้อยกว่า 0.10 มิลลิเมตร (200 เมช)
- มีความชื้นในปริมาณที่กำหนด ไม่เกิน 1%
- ผ่านกระบวนการล้าง แต่งแร่เพื่อแยกเอาแร่เหล็ก และแร่หนักออก
- ผ่านกระบวนการคัดขนาดได้ทรายแก้วที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

3.8 แก้ว (Glass)

3.8.1 ลักษณะทั่วไปของแก้ว

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแก้ว หรือกระจกจะแตกต่างกันตรงสัดส่วนของส่วนผสมที่ใช้ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้วประกอบด้วย วัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบหลักที่จะทำให้เกิดโครงสร้างแห่งความเป็นแก้ว คือ ทรายแก้วหรือซิลิกา (Silica) ส่วนประกอบที่เสริมเข้าไปเพื่อให้การหลอมแก้วเป็นไปได้ง่ายขึ้น และมีสมบัติต่างๆ ตามความต้องการ เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) ที่ช่วยเพิ่มสมบัติในด้านความคงทนทางเคมีของผิวแก้ว ตะกั่วออกไซด์ (PbO) เพิ่มความหนาแน่นให้แก้ว ช่วยให้แก้วมีเสียงกังวานไพเราะ เนื้อแก้วเป็นประกาย โซดาแอช (Na_2CO_3) เป็นตัวช่วยหลอม ช่วยลดอุณหภูมิการหลอมให้ต่ำลง โบแรกซ์ (B_2O_3) ช่วยให้แก้วมีประสิทธิภาพการขยายตัวต่ำ

สามารถทนต่อความร้อนและการผุกร่อนทางเคมี สารฟอกสี (Depolarizing agent) เป็นพวกซิลิเนียมและโคบอลท์ (Selenium & Cobalt) เป็นสารที่ช่วยฟอกสีเขียวที่เกิดจากออกไซด์ของเหล็กซึ่งมักมีเจือปนอยู่ นอกจากนี้อาจมีการเติมสารปรุงแต่ง เพิ่มเติมตามความต้องการใช้งานของผลิตภัณฑ์ การเติมเศษแก้ว (Cullet) จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิของการหลอม

หัวใจของกระบวนการผลิตแก้ว คือ เตาหลอมแก้วที่ใช้ในงานอุณหภูมิสูง ดังนั้นต้นทุนส่วนหนึ่งของการผลิตจึงมักอยู่ที่ค่าเชื้อเพลิงเป็นสำคัญ โดยเทคโนโลยีของการหลอมแก้วจึงเน้นไปที่ประสิทธิภาพของการหลอม เพื่อประหยัดพลังงานและมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

กลุ่มอุตสาหกรรมแก้วในประเทศ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ได้ดังนี้

1. กลุ่มผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์แก้ว (Glass ware)
2. กลุ่มผลิตภัณฑ์กระจกแผ่น (Flat glass)
3. กลุ่มผลิตภัณฑ์อื่น (Glass fiber and other product)

3.8.2 กลุ่มผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ขวดแก้ว

ในบรรดาผลิตภัณฑ์เครื่องแก้วชนิดต่างๆพบว่า ประมาณ 85% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็นผลิตภัณฑ์ภาชนะบรรจุภัณฑ์แก้วที่มีการใช้กันมานาน และคาดว่ายังคงความสำคัญต่อไปในอนาคต เนื่องจากผลิตภัณฑ์คู่แข่งชนิดอื่นได้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้แก้วมีความสำคัญที่เด่นชัดและเป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุที่มีสมบัติดีนานัปการ มีลักษณะของวัสดุที่มีความเฉื่อยในการทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายใน และมีความใสสะอาดมองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในได้อย่างชัดเจน ทนต่อแรงกดและความดันได้ดี สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์ให้เก็บรักษาไว้ได้นานและยังสามารถนำภาชนะแก้วกลับมาใช้ได้ใหม่หลายครั้ง อีกทั้งรูปทรงของการผลิตแก้วก็ยังสะดวกต่อการออกแบบให้หลากหลาย อย่างไรก็ดี ต้นทุนการผลิตดูจะเป็นปัจจัยที่ทำให้แก้วมีราคาค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น

บรรจุภัณฑ์แก้วโดยทั่วไปอาจแบ่งออกเป็นชนิดต่างตามรูปทรงแก้ว เช่น ขวดปากกว้าง ขวดปากแคบบางชนิดอาจแบ่งตามสมบัติของเนื้อแก้ว เช่น แก้วบอโรซิลิเกต หรือบางแห่งอาจแบ่งตามกระบวนการของการเคลือบผิว (Surface treatment) เช่นแก้วที่เคลือบซิลิโคน (Silicone coating) เป็นต้น นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์แก้ว ยังสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่ม ตามความต้านทานความดัน แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. ขวดแก้วที่ไม่จำเป็นต้องมีความต้านทานความดัน มักเป็นขวดปากกว้าง สำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายๆ ครั้ง เช่น ขวดอาหาร ขวดเครื่องสำอาง เป็นต้น

2. ขวดแก้วที่ต้องมีความต้านทานความดัน ขวดประเภทนี้มักเป็นขวดปากแคบ และมีโอกาสที่จะแตกได้ง่ายหากนำกลับมาใช้เช่นเดิมอีก ดังนั้นการนำกลับมาใช้ใหม่จึงมักนิยมใช้ บรรจุอย่างอื่นแทน ขวดดังกล่าวอาจได้แก่ ขวดเบียร์ ขวดน้ำอัดลม เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์ภาชนะแก้วจะมีตั้งแต่ จาน ชาม ขวด โถ ไปจนถึงเครื่องแก้วชนิดต่างๆ โดยขวดแก้วจะมีส่วนแบ่งตลาดสูงที่สุด โดยนับตั้งแต่ขวดแก้วเพื่อใช้บรรจุเครื่องดื่มชูกำลัง ขวดเบียร์ ขวดสุรา ขวดยา และขวดอาหาร ขวดเครื่องดื่มเกลือแร่ ขวดน้ำอัดลม เป็นต้น อย่างไรก็ดี สัดส่วนความต้องการของขวดชนิดต่างๆ เท่าที่ผ่านมาอยู่ในระดับที่ค่อนข้างคงที่ แม้ในบางครั้งจะมีเครื่องดื่มชนิดใหม่ๆ เข้าสู่ท้องตลาดบ้างก็ตาม

3.8.3 เทคโนโลยีในการผลิต

วัตถุดิบต่างๆ จะผ่านการชั่ง กวนผสมให้เข้ากันแล้วลำเลียงป้อนเข้าสู่เตาหลอมพร้อมๆ กับเศษแก้ว การหลอมอาจใช้อุณหภูมิสูงถึง 1600 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้วัตถุดิบรวมทั้งเศษแก้วหลอมละลายเข้ากันเป็นน้ำแก้วปราศจากฟองอากาศ ไหลไปตามรางน้ำแก้วพร้อมผลิตเป็นรูปขวดต่อไป

ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material & Mixing)
2. การหลอม (Melting)
3. การขึ้นรูป (Forming)
4. การอบ (Annealing)
5. การตรวจสอบและคัดเลือก (Inspection & Selecting)
6. การตกแต่ง (Decorating)

3.8.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการหลอมแก้ว

1. ทรายแก้ว SiO_2 (55%)
2. โซดาแอซ $NaCO_3$ (20%)
3. หินปูนบดละเอียด หรือโดโลไมท์ $CaCO_3$ หรือ $Ca.Mg(C0_3)_2$ (15%)
4. อะลูมินา Al_2O_3 (2%)
5. อื่นๆ (สารเคมี เศษแก้ว 8%)

3.8.5 แก้วสีต่างๆ (Color glasses)

ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีต่างๆ ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดนั้น จะต้องใส่สารที่ให้สี โดยอาจจะใส่สารเคมี ลงในขั้นตอนที่ 1 หรือขั้นตอนที่ 2 (ช่วงลดอุณหภูมิลงมาเหลือ 1200 องศาเซลเซียส)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารเคมีที่ทำให้เกิดสีในเนื้อแก้ว ได้แก่

สีชา	ใช้ถ่าน + สนิมเหล็กแดง + โซเดียมซัลเฟต และ ยางสน
สีแดง	ใช้แคดเมียมซัลไฟด์ + ซิลิเนียม คลอไรด์ของทอง
สีชมพู	ใช้ซิลิเนียม
สีฟ้า	ใช้จุนสี (คอปเปอร์ซัลเฟต)
สีน้ำเงิน	ใช้โคบอลท์ออกไซด์
สีเขียว	ใช้เกลือของโครเมต เช่น โปแตสเซียมโครเมต โครเมียมออกไซด์
สีดำ	ใช้แมงกานีสออกไซด์ + โคบอลท์ + นิกเกิลออกไซด์
สีเหลือง	ใช้แคดเมียมซัลไฟด์
สีเขียวใส	ใช้สนิมเหล็กแดง (Fe_2O_3 + FeO)

3.8.6 ผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วของประเทศไทย

ปัจจุบันโรงงานขนาดใหญ่มีอยู่รวมกัน 5 ราย กำลังการผลิตรวม 943,708 ตัน/ปี โดยกว่า 80% เป็นกำลังการผลิตรวมของบริษัทผู้ผลิตรายใหญ่ จากตารางที่ 1 พบว่าในปี 2537 ผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุด คือ บริษัทอุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย จำกัด มีกำลังการผลิต 401,500 ตัน/ปี และบริษัทบางกอกกลาส จำกัด มีกำลังการผลิต 365,250 ตัน/ปี

ตารางที่ 3.8 กำลังการผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วของประเทศไทย พ.ศ. 2533-2537 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541)

ผู้ผลิต	กำลังการผลิต หน่วยต่อตัน				
	2533	2534	2535	2536	2537
บริษัท ทำเครื่องแก้วไทย จำกัด (มหาชน)	214,500	240,000	305,250	317,550	401,500
บริษัท บางกอกกลาส จำกัด	190,000	200,000	274,500	284,980	365,250
บริษัท สยามกลาสอินดัสทรี จำกัด	45,000	55,000	80,000	90,000	90,000
องค์การแก้ว	64,000	64,000	64,000	64,000	64,000
บริษัท แก้วปราการ จำกัด	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
รวม	524,500	570,000	734,750	767,530	942,708

อัตราการนำขวดแก้วและเศษแก้วกลับมาใช้ใหม่ มีจำนวน 19% ที่ผู้ผลิตเรียกคืนเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ และมีเพียง 34% ที่มีการนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตใหม่

3.8.7 ภาวะและกลไกการตลาดของอุตสาหกรรมขวดแก้วและกรรมวิธีการผลิตในปัจจุบัน (สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2545)

ความต้องการแก้วในเมืองไทยปี 2542 มีประมาณ 1.17 ล้านตัน/ปี (ประมาณ 4,000 ล้านขวด/ปี) นำกลับมารีไซเคิลได้ 0.47 ล้านตัน/ปี (ประมาณ 1,600 ล้านขวด/ปี) และมีการนำกลับมาใช้ซ้ำอีกประมาณ 0.35 ล้านตัน/ปี (ประมาณ 1,200 ล้านขวด/ปี) ส่วนที่คงเหลือตกค้างเป็นขยะถึง 0.35 ล้านตัน/ปี (ประมาณ 1,200 ล้านขวด/ปี) คิดเป็น 30% ของปริมาณขวดแก้วที่ใช้ และคิดเป็น 5 - 8 % ของปริมาณขยะทั้งหมด ซึ่งมีปัญหาในการจัดการมาก ไม่สามารถทำลายหรือย่อยสลายหรือลดปริมาตรได้ เมื่อเกิดการแตกหักจะก่อให้เกิดอันตราย และผู้คัดแยก(ซาเล้ง) ยังไม่นิยมรับซื้อแก้วหลายชนิด ทั้งที่อุตสาหกรรมต้องการใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน ในการผลิตแก้ว 1 ตัน ต้องใช้วัตถุดิบที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ (ทราย หินฟันม้า หินปูน โซดาแอช ฯลฯ) ประมาณ 1.2 ตัน โดยวัตถุดิบ 0.2 ตัน ที่หายไป จะเสียไปในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ดังนั้นการใช้แก้วที่ใช้แล้วจะสามารถลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติลด มลภาวะและที่สำคัญสามารถลดการใช้พลังงาน เนื่องจากแก้วมีจุดหลอมเหลวประมาณ 900 องศาเซลเซียส แต่วัตถุดิบมีจุดหลอมเหลวประมาณ 1,450 - 1,600 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้เศษแก้วแทนวัตถุดิบจึงสามารถลดพลังงานคือ ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ เมื่อปริมาณน้ำมันเตาลดลง ปริมาณแก๊สพิษที่เกิดจากน้ำมันเตาก็ลดลงด้วย และยังลดการเสียดุลทางการค้ากับต่างประเทศได้ เนื่องจากน้ำมันเตาและวัตถุดิบบางตัวเราต้องสั่งซื้อเข้ามาจากต่างประเทศ การแยกแก้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สามารถทำได้ 2 วิธี โดยขวดดีจะนำไปบรรจุสินค้าใหม่ (Reuse) ส่วนขวดแตกและเศษแก้วจะนำไปแปรรูปเพื่อกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ขวดแก้วที่สภาพดีเมื่อทำความสะอาดแล้วสามารถนำมาบรรจุสินค้าได้เลย (Reuse) ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดขยะแล้ว ยังสามารถลดการใช้พลังงาน ทรัพยากรธรรมชาติ และมลภาวะที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้ถึง 100% เนื่องจากไม่ต้องนำเข้ากระบวนการผลิตอีก การผลิตขวดแก้ว 3,500 ขวด (1 ตัน) ต้องใช้วัตถุดิบคือ ทราย 0.811 ตัน โซดาแอช 0.262 ตัน หินปูน 0.217 ตัน หินฟันม้า 0.053 ตัน น้ำมันเตา 153 ลิตร ซึ่งคิดเป็นพลังงานจากเชื้อเพลิง และพลังงานที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตถึง 7,800 เมกะจูล ดังนั้น ถ้านำขวดแก้วมาใช้บรรจุใหม่ 1 ล้านขวด/วัน (285.7 ตัน/วัน) สามารถลดการใช้ทรายลงได้ประมาณ 84,000 ตัน/ปี โซดาแอช ประมาณ 27,000 ตัน/ปี หินปูนประมาณ 22,000 ตัน/ปี หินฟันม้าประมาณ 5,500 ตัน/ปี และน้ำมันเตาประมาณ 16 ล้านลิตร/ปี ซึ่งเมื่อคิดเป็นพลังงานทั้งด้านเชื้อเพลิง และพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะประหยัดได้ 817 เมกะจูล ขวดแตกหรือเศษแก้วสามารถใช้แทนวัตถุดิบในการผลิตขวดแก้ว (Recycle) ได้สูงถึงประมาณ 95% จากบทเรียนในสหรัฐอเมริกาการผลิตแก้ว 3.5 ล้านขวด (1,000 ตัน) เมื่อใช้เศษแก้วเพิ่มขึ้นจาก 15% เป็น 60% จะสามารถลดการใช้วัตถุดิบบริสุทธิ์ลงได้ถึง 600 ตัน ประหยัดน้ำได้ประมาณ 400 ลูกบาศก์เมตร

ลดการใช้พลังงานประมาณ 1 ล้านจูล ลดปริมาณอากาศเสียประมาณ 3 ตันและปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิต 80 ตัน

การผลิตขวดแก้วในประเทศไทย เมื่อใช้เศษแก้วเพิ่มขึ้น 3.5 แสนขวด/วัน (100 ตัน/วัน) สามารถลดวัตถุดิบในประเทศคือ ทราย 26,350 ตัน/ปี หินปูน 7,045 ตัน/ปี และหินฟันม้า 1,715 ตัน/ปี ลดวัตถุดิบต่างประเทศ คือ โซดาแอช ได้ 8,505 ตัน/ปี และสามารถลดการใช้น้ำมันเตาได้ประมาณ 9.2 แสนลิตร/ปี หรือคิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ถึง 36 ล้านเมกะจูล การนำขวดแก้วมาใช้บรรจุสินค้าใหม่ (Reuse) สามารถลดการใช้พลังงานทรัพยากรธรรมชาติ และมลภาวะที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้มากกว่าการแปรรูปเพื่อกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) อย่างชัดเจน แต่การใช้ซ้ำจะทำได้เฉพาะภาชนะแก้วที่อยู่ในสภาพที่ดีเท่านั้น ส่วนการรีไซเคิลจะสามารถรองรับภาชนะที่แตกแล้วหรือเศษแก้วได้ ในภาวะวิกฤตเศรษฐกิจตกต่ำ การนำขวดแก้วกลับมาใช้ซ้ำ จึงเป็นหนทางในการประหยัดต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมผู้ผลิตแก้ว และธุรกิจเอกชนที่ใช้แก้วมาก เช่น อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ขวดแก้วที่ผลิตใหม่มีต้นทุนการผลิตประมาณ 3.50 บาท/ขวด แต่ขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำมีต้นทุนเพียง 1.40 บาท/ขวด ดังนั้นการใช้ขวดแก้วซ้ำ จึงสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 2.10 บาท/ขวด

การลดปริมาณขวดแก้วจึงเป็นสิ่งจำเป็นของสังคมปัจจุบัน เราสามารถมีส่วนร่วม โดยการนำขวดแก้วกลับมาใช้ใหม่ หรือนำเข้ากระบวนการแปรรูปไม่จำกัดจำนวนครั้ง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาใหม่นี้ยังคงมีคุณสมบัติคงเดิม เป็นการลดการใช้พลังงาน ทรัพยากรธรรมชาติ ลดปริมาณขยะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2540 - 2544) โดยระบุไว้ในแนวทางการฟื้นฟูบูรณะทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้านการกำจัดกากของเสียและลดปริมาณมูลฝอย โดยให้มีการลดปริมาณกากของเสีย และการใช้ประโยชน์ของเสีย ตลอดจนการนำกลับมาใช้ใหม่อย่างเหมาะสม

3.9 กระเบื้องเซรามิก

3.9.1 ความหมายของกระเบื้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระเบื้อง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัด (Pressing) หรืออัดรีด (Extrusion) ดินและส่วนผสมอื่น เช่น หิน ทราย สี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จนเนื้อกระเบื้องแข็งแกร่งมีอัตราการดูดซึมน้ำค่อนข้างต่ำ สามารถทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน มีลักษณะเป็นแผ่น แต่ละแผ่นมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 90 ตารางเซนติเมตร มีสีและรูปร่างใดๆ ก็ได้ มีทั้งประเภทเคลือบและไม่เคลือบ

3.9.2 ชนิดกระเบื้อง

กระเบื้องเซรามิก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ กระเบื้องปูพื้น และกระเบื้องบุผนัง ทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะที่คล้ายกันมาก แต่มีรายละเอียดและคุณสมบัติ บางประการที่ทำให้ทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่เหมือนกัน

3.9.2.1 กระเบื้องปูพื้น เป็นกระเบื้องที่ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงเป็นพิเศษจึงมีคุณสมบัติที่สามารถรับน้ำหนักได้ดี ทนทานต่อการขีดข่วน และมีการดูดซึมน้ำต่ำ ดังนั้น กระเบื้องปูพื้นจะถูกเผาแค่ครั้งเดียวกระเบื้องมีความแข็งแกร่ง และสีเคลือบหลอมตัวเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อกระเบื้อง จึงทนทานไม่หลุดลอกง่าย แต่ในเรื่องความละเอียดอ่อนและความสวยงามของลวดลายจะมีความนุ่มนวล น้อยกว่ากระเบื้องบุผนัง

3.9.2.2 กระเบื้องบุผนัง ไม่จำเป็นต้องมีความทนทานเหมือนกระเบื้องปูพื้น จึงรับน้ำหนักและต้านทานการขีดข่วนน้อยกว่า รวมทั้งมีการดูดซึมน้ำที่มากกว่า เนื่องจากกระเบื้องบุผนัง จะเน้นไปที่เรื่องของการตกแต่ง จึงมีสีสันและลวดลายที่นุ่มนวล ละเอียดอ่อน สวยงาม ราคากระเบื้องจึงสูงกว่ากระเบื้องปูพื้น

3.9.3 กระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิกโดยทั่วไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมเนื้อดิน ทำการผสมส่วนผสมเนื้อดินตามสูตรโดยการร่อนผ่านตะแกรงให้ส่วนผสมเข้ากันแล้วเติมน้ำให้มีความเหนียว
2. นำไปทำการขึ้นรูป ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการขึ้นรูปด้วยแรงอัดเป็นต้น
3. นำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วเข้าตู้อบ (Drier) ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งสม่ำเสมอไม่บิดเบี้ยวและแห้งในเวลาสั้น
4. ทำการตกแต่งชิ้นงานก่อนเผา โดยทำการตัดแต่งส่วนที่เกินออก
5. การเผา ซึ่งจะต้องใช้อุณหภูมิระยะเวลาและวิธีการแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของเนื้อดิน วัตถุประสงค์ในการเผาและรูปทรงของผลิตภัณฑ์

3.9.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยใช้แรงอัด

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ใช้แพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์วัตถุกันไฟ กระเบื้องและผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพิเศษ แรงอัดจะอัดบนแบบที่มีผงเนื้อดินปั้นแห้งๆ หรือมีความชื้นเล็กน้อยอยู่ภายในแบบ แบบที่ใช้เป็นโลหะแข็ง

3.9.4.1 การขึ้นรูปโดยการอัดเนื้อดินปั้นแห้งๆ (Dry and dust pressing)

ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์และงานด้านไฟฟ้า มีขนาดเล็กๆ บางชนิดมีรูปร่างง่ายๆ แต่มีหลายชนิดที่มีรูปร่างซับซ้อน ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องการขนาดมาตรฐาน

ถูกต้องเพื่อจะได้ใช้แทนกันได้ในวงจรของงานและต้องมีคุณสมบัติทางด้านไดอิเล็กตริก คุณสมบัติทางกลศาสตร์สม่ำเสมอ

ในบางกรณีผลิตภัณฑ์เซรามิกเหล่านี้ ใช้ร่วมกันหรือใช้แทนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกผลิตภัณฑ์พลาสติกมีข้อดีที่มีขนาดสามารถผลิตได้มาตรฐานแน่นอน ความแน่นอนของขนาดผลิตภัณฑ์เซรามิกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น การหดตัว ขนาดของอนุภาค และการกระจายของขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์หลังจากขึ้นรูปและวิธีการเผา วิธีการที่สามารถทำให้ได้สิ่งต่างๆ เหล่านี้ที่จะเป็นวิธีการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างและขนาดต่างๆ ได้เพราะการปรับปรุงส่วนใดส่วนหนึ่งในวงจรการผลิตจะต้องมีการออกแบบใหม่เสมอ

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยการอัดผงเนื้อดินปั้นในแบบโลหะเป็นวิธีการที่ทำให้ได้สิ่งต่างๆ ที่ต้องการเหล่านั้น และวิธีการขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดโดยอัตโนมัติได้มีการพัฒนาขึ้นมาใช้กันอย่างกว้างขวาง

การขึ้นรูปโดยการอัดผงเนื้อดินแห้ง ๆ (Dry pressing) ใช้กับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานประยุกต์ทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า เป็นวิธีการอัดผงกลมๆ ของเนื้อดินปั้นแห้งๆ ภายในโลหะด้วยแรงอัดที่สูง ความชื้นในผงเนื้อดินปั้นไม่เกิน 40 % ผงเนื้อดินปั้นกลมเคลื่อนที่ได้อิสระแต่มีความเหนียวไม่ดีเท่าที่ควรแต่เมื่อถูกแรงอัดจะอัดตัวกันได้หนาแน่นดี

วิธีการที่กล่าวมาแตกต่างไปจากการขึ้นรูปโดยการอัดผงกลมๆ ของเนื้อดินปั้นซึ่งเกือบแห้ง (Semi dry หรือ Dust press แต่บางครั้งก็เรียกรวมๆ กันว่า Dry press) ซึ่งในอุตสาหกรรมกระเบื้องต่างๆ วิธีการหลังนี้เหมาะสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก ซึ่งมีดินเป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้นเป็นปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้ผงเนื้อดินปั้นมีความเหนียวดี วิธีการนี้จะอัดผงเนื้อดินปั้นซึ่งมีความชื้นระหว่าง 10 – 15% ภายในแบบโลหะ แรงอัดที่ใช้ในการอัดไม่สูงมาก ข้อดีของวิธีการนี้ คือ แบบที่ใช้ออกแบบค่อนข้างง่าย แต่การดัดแปลงให้เข้ากับงานทำงานแบบอัตโนมัติไม่ค่อยดีนักและไม่สามารถทำให้ขนาดของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันน้อยมากพอ

3.9.5 ตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิก

- **ความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบ** ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก เช่น ความแข็งแรง สีสัน และความเรียบของเนื้อผลิตภัณฑ์
- **ส่วนผสมของเนื้อดิน** ขึ้นอยู่กับสูตรที่ใช้ในการผลิตและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
- **ขนาดของวัตถุดิบ** มีผลต่อความละเอียดของเนื้อผลิตภัณฑ์ ความเรียบเนียน รวมไปถึงวิธีการในการผลิต

- **อุณหภูมิในการเผา** ซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อผลิตภัณฑ์ ความหนาบางของผลิตภัณฑ์

3.9.6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา

การเผาเซรามิก คือการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตา ภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้กลายเป็นถาวรวัตถุมีความแข็งแรงเหมือนหินช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวรและสวยงาม

กระบวนการเผาอาจแยกออกได้หลายขั้นตอนตามอุณหภูมิต่างๆ แต่ขั้นตอนเหล่านี้มักจะเกิดต่อเนื่องกันจนไม่สามารถแยกแต่ละขั้นตอนได้อย่างเด่นชัดได้

- อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นการอบแห้งที่สมบูรณ์ เป็นการขจัดความชื้นที่ถูกดูดซับบนผิวให้แห้ง (Free water) ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัว
- อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส เกิดการเผาไหม้ของพวกอินทรีย์สาร อินทรีย์สารเหล่านี้จะเกิดการเผาไหม้รวมตัวกับออกซิเจนโดยเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ หรือ น้ำ การเผาไหม้จะเกิดได้ดีถ้าเราใช้อากาศเข้าช่วย
- อุณหภูมิ 450-600 องศาเซลเซียส เป็นการเผาไหม้ของอินทรีย์สารที่มีในเนื้อดินปั้น มีการขจัดกลุ่มไฮดรอกไซด์ ออกจากเกาลินไนท์ ทำให้กลายเป็น เมตาเกาลิน มีโครงสร้างการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลทำให้เกิดการหดตัวพร้อมกับเกิดรูพรุนในเนื้อผลิตภัณฑ์
- อุณหภูมิ 573 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของ ควอตซ์ โดยเปลี่ยนจากรูปควอตซ์ที่เกิดที่อุณหภูมิปกติไปเป็นรูปควอตซ์ที่เกิดที่อุณหภูมิสูง ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดการขยายตัว ในช่วงนี้ถ้าเผาอย่างรวดเร็วจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกหัก
- อุณหภูมิ 950-980 องศาเซลเซียส การเกิดผลึกในเนื้อดิน ในเนื้อดินจะมีการจัดเรียงตัวใหม่ โดยเกิดการเปลี่ยนจาก เมตาเกาลิน ไปเป็นสพิแนล และในที่สุดเกิด มัลไลท์ขนาดเล็กๆ ขึ้น
- อุณหภูมิ 1050-1150 องศาเซลเซียส การเกิดแก้ว เป็นอุณหภูมิที่เฟลด์สปาร์จะทำปฏิกิริยากับควอตซ์ เกิดเป็นแก้วตามบริเวณรอบอนุภาคของเฟลด์สปาร์ ซึ่งสัมผัสกับเนื้อดินก่อน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น เฟลด์สปาร์จะหลอมตัวหมด และจะเกิดแก้วขึ้นในเนื้อดิน การละลายของควอตซ์ ในเนื้อแก้วและดิน ถ้าควอตซ์ มีขนาดเล็กจะละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงขึ้น
- อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เกิดมัลไลท์ขั้นที่สอง เป็นผลึกรูปเข็มที่สานกันไปมาอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ มีส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรง ผลึกรูปเข็มจะฝังตัวอยู่ในเนื้อแก้ว

โดยจะทำหน้าที่คล้ายเหล็กเส้นในคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำให้มีมัลไลท์ เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์

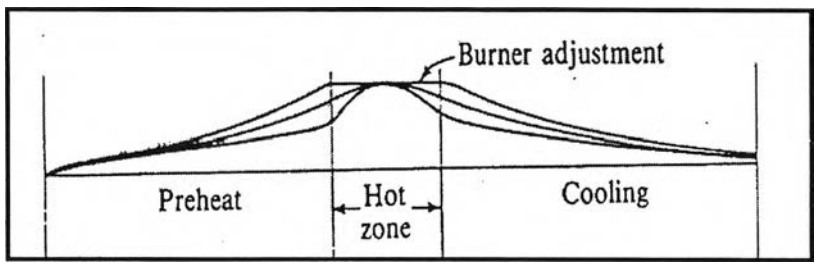
- อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส จะเหลือเฟสของ มัลไลท์ แก้ว และ ควอตซ์ ในเนื้อผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอนไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างเด่นชัด ในการควบคุมปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นระหว่างการเผา จำเป็นต้องรู้ถึงองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการสุกตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีได้หลายอย่าง ได้แก่ ธรรมชาติของดิน ธรรมชาติของซิลิกา ธรรมชาติของเฟลด์สปาร์ อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิรวมถึงการปล่อยให้เย็นตัวลง

3.9.7 การควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

การควบคุมอุณหภูมิอย่างดีเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก การเผาแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ตอน คือ การอุ่นผลิตภัณฑ์ (Preheat zone) การเผาผลิตภัณฑ์ (Hot zone) และการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว (Cooling zone) ดังแสดงในรูปที่ 3.6

ในช่วงการเผาผลิตภัณฑ์ (Hot zone) จะเป็นการเผาแบบแช่ไฟ (Soaking) โดยปัจจุบันพบว่าเวลาในช่วงนี้เพียง 1 ชั่วโมงก็เพียงพอที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงดี (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539)



รูปที่ 3.6 การควบคุมอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539)

3.9.8 การตรวจสอบโครงสร้างที่เพิ่มความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบโครงสร้างที่เพิ่มความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่นโดยตรวจสอบศึกษาเฟสของแร่มัลไลท์ที่เกิดขึ้น

สาโรจน์ ปัชโชติพงษ์ (2545) ทำการวิเคราะห์เฟสของสารประกอบด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ พบว่า ในแท่งทดสอบหลังเผาเกิดเฟสของสารประกอบที่สำคัญ คือ ควอตซ์ (Quartz, SiO_2) อัลไบท์ (Albite, $NaAlSi_3O_8$) และคอรันดัม (Corundum, Al_2O_3) ซึ่งในเฟสของคอรันดัม เป็นส่วนที่มีความแข็งสูงถึง 9 แต่ไม่พบเฟสของมัลไลท์ (Mullite, $3Al_2O_3.2SiO_2$) ซึ่งมี

โครงสร้างคล้ายเข็มที่มีความแข็งแรงสูง และเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงสูงในเซรามิกประเภทอะลูมินาเอิร์ทเทินแวร์ จึงทำให้แท่งทดสอบเซรามิกที่ผลิตได้มีความแข็งสูงแต่ไม่แข็งแรง เปราะแตกหักได้ง่าย

เนื่องจากแร่มัลไลท์จะเริ่มเกิดเป็นผลึกเล็กๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส และเกิดเป็นผลึกรูปยาวคล้ายเข็มสานกันขนาดใหญ่เมื่ออุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส และจะเกิดได้ดีเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็ก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองไม่สูงพอ แต่จากการทดลองก็พบว่าหากเพิ่มอุณหภูมิในการเผาขึ้นไปจะทำให้เกิดการหลอมตัวของผิวนอกของแท่งทดสอบ และเกิดการขยายตัวทำให้เสียรูปร่าง จึงไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นได้

3.9.9 การนำของเสียที่เป็นแก้วมาใช้ทดแทนเฟลด์สปาร์ในผลิตภัณฑ์เซรามิก

เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างเฟลด์สปาร์พบว่าเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตของแอล-คาไลน์และแอลคาไลน์เอิร์ท โดยเฉพาะสารประกอบของ Na, K, Ca ซึ่งจะมีอัตราส่วนแตกต่างไปเนื่องจากว่าสารประกอบทั้งสามตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกันในสภาวะเป็นของแข็ง

เฟลด์สปาร์ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก เพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้น เฟลด์สปาร์จึงเป็นตัวส่งเสริมให้มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539)

เนื่องจากแก้วไม่ได้เหมือนเฟลด์สปาร์เชิงองค์ประกอบแต่เหมือนในสมบัติเชิงกายภาพ คือ หลอมเหลวง่าย จุดหลอมเหลวแก้วต่ำกว่าเฟลด์สปาร์ มีสมบัติความเป็นแก้ว (Glassy property) จึงสามารถนำมาใช้เป็นฟลักซ์แทนเฟลด์สปาร์ในการผลิตเซรามิกได้

3.9.10 ของเสียที่เป็นแก้ว (ขวดแก้วสีชา)

การนำภาชนะขวดแก้วกลับมาใช้ (Reuse) เช่น ขวดแก้ว ขวดน้ำดื่ม น้ำอัดลม โซดา และอื่นๆ จากการศึกษา (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541) พบว่าบรรจุภัณฑ์แก้วที่นำมาใช้ใหม่ส่วนมากมักเป็นขวดที่มีความจุตั้งแต่ 280 ลบ.ซม. ขึ้นไป โดยเฉลี่ยร้อยละ 70 ของขวดแก้วที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นการนำกลับมาใช้โดยผู้ผลิต ส่วนที่เหลือจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยวัตถุประสงค์อื่นเช่นการนำไปบรรจุของเหลวชนิดอื่นเพื่อจำหน่าย ทั้งนี้ขวดเบียร์ จะเป็นขวดประเภทที่ไม่ได้ออกแบบไว้เพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ เนื่องจากยากต่อการล้างทำความสะอาดให้ใสเหมือนขวดที่ผลิตใหม่ และเป็นขวดสีชาซึ่งมีราคาถูกกว่าขวดแก้วใสจึงทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะจ่ายค่าใช้จ่ายในการนำมาล้างเพื่อใช้ใหม่

3.10 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3.10.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง (มอก. 36-2516)

คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ความต้านแรงดัด ไม่ระบุในมาตรฐาน
2. การดูดซึมน้ำ ไม่เกิน 18%
3. ความทนทานต่อการราน ต้องไม่ปรากฏการราน
4. ความทนทานต่อสารเคมี ต้องไม่ปรากฏรอยเสียหาย

3.10.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก. 37-2529)

คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ความต้านแรงดัด

- กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำต่ำและประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ
  ต้องมีความต้านแรงดัดไม่น้อยกว่า 25.0 เมกกะปาสกาล
- กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลางและประเภทดูดซึมน้ำสูง
  ต้องมีความต้านแรงดัดไม่น้อยกว่า 17.5 เมกกะปาสกาล

2. การดูดซึมน้ำ

- กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำต่ำ (ทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ)
  การดูดซึมน้ำต้องไม่เกิน 3%
- กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ (ทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ)
  การดูดซึมน้ำต้องไม่เกิน 6%
- กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง (ต้องเป็นชนิดเคลือบอย่างเดียว)
  การดูดซึมน้ำต้องไม่เกิน 10%
- กระเบื้องประเภทดูดซึมน้ำสูง (ต้องเป็นชนิดเคลือบอย่างเดียว)
  การดูดซึมน้ำต้องไม่เกิน 16%

3. ความทนทานต่อการราน ต้องไม่ปรากฏการราน
4. ความทนทานต่อสารเคมี ต้องไม่ปรากฏรอยเสียหาย

3.11 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

Niemela (1995) ศึกษาการนำของเสียมาเป็นส่วนประกอบในกระเบื้องเซรามิกโดยสิ่งที่นำมาเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ตะกอนสลัดจ์จากโรงผลิตน้ำประปา ขี้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า ตะกอนเศษหมึกพิมพ์จากโรงงานกระดาษ และเศษแก้ว โดยนำของเสียเหล่านี้มาใช้ผสมกับเนื้อดินในการผลิตเซรามิก กล่าวคือ ใช้ ของเสีย เป็นองค์ประกอบ 80% และมีเนื้อดิน 20% ผลที่ได้ คือ สามารถผลิตเซรามิกที่มีคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต มีผลทางบวกในด้านเศรษฐศาสตร์ โดยของเสียทั้งหมดสามารถเป็นเนื้อดินในผลิตภัณฑ์เซรามิกได้เป็นอย่างดีและยังให้สีกับผลิตภัณฑ์อีกด้วยโดยเฉพาะเศษแก้วที่จะให้สีตามสีของแก้วที่นำมาเป็นวัตถุดิบ

Karamanov **และคณะ** (1999) ศึกษาถึงการผลิตเซรามิกที่มีแก้วเป็นส่วนประกอบจากจาโรไซต์ ซึ่งเป็นกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยนำไปเผาในกระบวนการหลอมแก้วในเซรามิกที่อุณหภูมิสูง และทำการศึกษาเฟสที่เกิดขึ้น พบว่า จากกระบวนการเผาทำให้เกิดผลึกเฟส แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะผลิตเซรามิกแก้ว (Glass ceramic) จากกากของเสีย (จาโรไซต์) ซึ่งเป็นการทำให้กากของเสียมีค่าอีกครั้งโดยการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ

ไลทิพย์ อภิธรรมวิริยะ (2542) ได้ทำการศึกษาโดยการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น จากผลของการศึกษาอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปในการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยแปรค่าตั้งแต่ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 พบว่า อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ค่ากำลังรับแรงดัด ค่าความหนาแน่นสูงสุด ความทนการราน การทนสารเคมี (กรดและเบส) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่าใช้จ่ายโดยประมาณเท่ากับ 7.29 บาทต่อกระเบื้อง 1 แผ่น ผลการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผากระเบื้องคือ 800 องศาเซลเซียส โดยที่ค่าจากผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น (มอก.37-2529) ค่าใช้จ่ายโดยประมาณเท่ากับ 7.19 บาทต่อกระเบื้อง 1 แผ่น

สุรศักดิ์ ไวทยวงศ์สกุล และคณะ (2542) ได้ศึกษาวิธีการนำกากวัสดุอะลูมินาเซรามิกกลับมาใช้ใหม่ โดยได้ศึกษาถึงวิธีการที่จะทำการบดกากวัสดุอะลูมินาเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูง เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้วิธีการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) เพื่อทำให้เกิดรอยแตกในเนื้อวัสดุทำให้ความแข็งแรงลดลง ทำให้ทำการบดได้ง่ายขึ้น พบว่า การทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วจากที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสจนถึงอุณหภูมิห้อง จะทำให้ชิ้นงานอะลูมินาเซรามิกมีความแข็งแรงลดลงครึ่งหนึ่งและพบว่าการเพิ่มปริมาณลูกบดจะช่วยลดขนาดของอนุภาค

ของวัสดุที่บดได้ลงเล็กน้อยและมีผลต่อลักษณะการกระจายขนาดอนุภาคน้อยมาก โดยจะช่วยให้อนุภาคมีรูปร่างเป็นทรงกลมเพิ่มมากขึ้น ส่วนการบดเป็นเวลานานขึ้นจะช่วยลดขนาดได้มากกว่าการเพิ่มปริมาณลูกบด

Barbieri **และคณะ** (2000) ได้ทำการศึกษาการสร้างผลึกของ $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ ที่มีระบบโครงสร้างคล้ายแก้ว ในอะลูมิโนซิลิเกตและในเซรามิกที่มีแก้วและซิลิเกตเป็นองค์ประกอบ โดยมีการใช้ขี้เถ้าลอยจากประเทศสเปนและจากประเทศอิตาลี รวมถึงการใช้ตะกรันจากเตาเผาขยะชุมชนเป็นส่วนผสมโดยทำการศึกษากลไกและเฟสที่เกิดขึ้นพบว่ามีแนวโน้มในการสร้างผลึกที่ดี และพบว่า ค่าพลังงานกระตุ้นที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าพลังงานกระตุ้นในเซรามิกที่มีแก้วและอะลูมิโนซิลิ-เกตเป็นองค์ประกอบ ทั่วๆ ไป นอกจากนี้ ยังมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดเป็นเนื้อแก้ว 100% โดยน้ำหนักของตะกรัน ซึ่งจัดเป็นวิธีการบำบัดของเสียที่ดีวิธีหนึ่ง

Haun (2000) ทำศึกษาการนำของเสียประเภทแก้วมาใช้อุตสาหกรรมเซรามิกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดต้นทุนการผลิตและช่วยประหยัดพลังงาน โดยพบว่าในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาในประเทศสหรัฐอเมริกามีความต้องการกระเบื้องเซรามิกเพิ่มขึ้น 7% คิดเป็น 2.4 ล้านตารางฟุต การเพิ่มขึ้นนี้ทำให้ต้องเพิ่มกำลังการผลิตมากขึ้น มีการใช้ทรัพยากรและพลังงานในการผลิตเพิ่มมากขึ้น จึงได้ทำการวิจัยโดยเลือกแก้วที่ยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ (แก้วชนิดมีสี เช่น สีเขียว สีชา) มาผสมในเนื้อเซรามิก ผลพบว่าสามารถลดอุณหภูมิในการเผาลงได้ 37% (โดยปกติอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระเบื้องเซรามิกทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 2,200 องศาฟาเรนไฮต์) แต่กระเบื้องที่นำแก้วมาผสมนี้สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งถือได้ว่าเป็นการประหยัดพลังงานในการผลิต นอกจากนี้พบว่าสามารถลดปริมาณดินและน้ำในวัตถุดิบได้อีกด้วย

Cimdins **และคณะ** (2000) พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศลัตเวียมีการปนเปื้อนของของเสียอุตสาหกรรมประเภท กากโลหะ ขี้เถ้าลอย เศษวัสดุที่เหลือจากการพิมพ์ด้วยแม่พิมพ์โลหะ ขี้เถ้าของถ่านหินเลนและถ่านหิน รวมถึงของเสียประเภทแก้วที่บรรจุสารอันตราย ในเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม ของเสียเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการการทำให้เป็นกลาง อย่างไรก็ดีของเสียเหล่านี้มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญซึ่งสามารถนำมาพิจารณาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตวัสดุขึ้นมาใหม่ได้ โดยวิธีการหนึ่งของการนำมาใช้ประโยชน์คือการนำมารีไซเคิลเพื่อผลิตวัสดุ เช่น แผ่นเหล็กปูพื้นถนน กระเบื้องประเภทสวยงามหรือกระเบื้องปูพื้น กลาสเซรามิกที่มีวัตถุดิบเป็นของเสียอุตสาหกรรมนี้ ภายหลังการเผามีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ 0.34-3.23% ความหนาแน่น 2.93-3.05 กรัม/ลบ.ซม. กำลังรับแรงดัด 80-96 เมกกะปาสคาล สำหรับด้านการทนสารเคมีได้มีการเติมดินลงไปเป็นวัตถุดิบ โดยพบว่าวัสดุที่มีของเสียอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว สูญเสียมวล

3.02% ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล ในขณะที่วัสดุที่มีการเติมดินลงไป 30% จะมีการสูญเสียมวล 0.2% ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล

อภิรัฐ ธีรภาพวิเศษพงษ์ และ ชาญ จรรยาวนิชย์ (2545) ได้ทำการศึกษาการนำตะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเซรามิก โดยทำการวิเคราะห์แร่ที่เป็นองค์ประกอบพบว่ามีแร่ดังต่อไปนี้ ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ชนิดไมโครไคลน์ ไมก้าชนิดมัสโคไวท์ ดินชนิดเกาลินไนท์และมอนต์-มอริลโลไนท์ซึ่งเป็นผลจากการประเมินผลการวิเคราะห์ตะกอนทางเคมี โดยมีส่วนประกอบ (%โดยน้ำหนัก) ดังต่อไปนี้ SiO_2 57.00% TiO_2 0.83% Al_2O_3 24.80% Fe_2O_3 8.55% CaO 2.01% MgO 1.27% K_2O 1.94% Na_2O 0.07% และ SO_3 0.19% ผลการศึกษาที่ได้พบว่าตะกอนจากการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน สามารถนำมาใช้ทดแทนดินเหนียวในอุตสาหกรรมเซรามิกได้ การใช้ของเสียเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิกนี้จะช่วยลดมลภาวะที่เกิดขึ้นเป็นการอนุรักษ์วัตถุดิบที่มีในปัจจุบัน ช่วยลดปริมาณการทำเหมืองแร่ ลดมลภาวะที่อาจเกิดขึ้นและเป็นการเพิ่มคุณค่าของวัตถุดิบให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สาโรจน์ ปัชโชติพงษ์ (2545) ทำการศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบโดยใช้แทนที่อะลูมินาบริสุทธิ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟ ร่วมกับดินดำและหินฟันม้าโดยศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของเนื้อดินและเซรามิกที่ผลิตได้จากการแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ขนาด 150-200 เมช ที่ผสมในเนื้อดินซึ่งเป็นส่วนผสมของดินดำและหินฟันม้าโดยคงค่าอัตราส่วนผสมระหว่างดินดำและหินฟันม้าที่อัตราส่วน 8 ต่อ 5 เผาที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส โดยแปรค่าอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อส่วนผสมที่เหมาะสมคือ 40% ซึ่งที่อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าความเหนียวเท่ากับ 16.04 ค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งของเนื้อดินเท่ากับ 1.48 กรัมต่อมิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การหดตัวก่อนเผาเท่ากับ 4.74% ค่ากำลังรับแรงดัดก่อนเผาเท่ากับ 116.15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งค่าจากการทดลองดังกล่าวจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ จากนั้นจึงได้นำวัสดุไปเผาที่อุณหภูมิที่ 1180 องศาเซลเซียส และภายหลังการเผาเป็นเซรามิก พบว่า เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาเท่ากับ 15.58% ค่าความหนาแน่นหลังเผาเท่ากับ 2.27 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าการดูดซึมของน้ำเท่ากับ 3.86% ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาเท่ากับ 285.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากผลการวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเซรามิกได้โดยใช้แทนอะลูมินาบริสุทธิ์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทนไฟร่วมกับดินดำและหินฟันม้า

Park **และคณะ** (2002) ได้ทำการศึกษาการนำเถ้าลอยจากเตาเผาขยะในเมืองปูซาน ประเทศเกาหลีใต้ มาผสมกับ SiO_2 MgO และTiO_2 เพื่อนำมาทำกลาสเซรามิก ผลการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสม พบว่าสูตรทางเคมีที่เหมาะสมในงานวิจัยคือ $20SiO_2$-5MgO-75fly ash-$2TiO_2$ เผาที่อุณหภูมิ 870 องศาเซลเซียส กลาสเซรามิกที่ได้มีค่ากำลังรับแรงดัด 127 เมกกะปาสคาล จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าปริมาณโลหะหนักจากการทดสอบการชะละลายของขี้เถ้าลอยนี้มีค่าเกินมาตรฐานของประเทศเกาหลีใต้กล่าวคือมีค่า แคดเมียม 25.490 ส่วนในล้านส่วน ทองแดง 24.020 ส่วนในล้านส่วน ตะกั่ว 9.740 ส่วนในล้านส่วน และสังกะสี 362.100 ส่วนในล้านส่วน แต่หลังจากทำเป็นกลาสเซรามิกตามสัดส่วนที่เหมาะสมนี้แล้ว พบว่าปริมาณโลหะหนักหลังจากการทดสอบการชะละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือมีค่าแคดเมียมต่ำกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน ทองแดงต่ำกว่า 3.0 ส่วนในล้านส่วน ตะกั่วต่ำกว่า 1.0 ส่วนในล้านส่วน และสังกะสีต่ำกว่า 5.0 ส่วนในล้านส่วน นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากของเสียแล้ว งานวิจัยนี้ยังเป็นอีกทางหนึ่งของการจัดการของเสียอันตราย

Toya **และคณะ** (2003) ได้ศึกษาการนำของเสียจากการสกัดทรายแก้วและดินขาว (เรียกของเสียนี้ว่า Kira) จากโรงงานอุตสาหกรรม โดยนำมาผสมกับ $CaCO_3$ และทำการเผา ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมคือของเสีย Kira 62.7% ผสมกับ $CaCO_3$ 37.3% เผาที่อุณหภูมิ1150 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก กล่าวคือ เซรามิกที่ได้มีค่ากำลังรับแรงดัดอยู่ระหว่าง 76-86 เมกกะปาสคาล มีความคงทนต่อสารเคมี (H_2SO_4 0.1 โมลต่อลิตร และ NaOH 0.25 โมลต่อลิตร) ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่า ของเสีย Kira มีองค์ประกอบทางเคมีของ Fe_2O_3 อยู่ในระดับต่ำ (ปริมาณ 0.1-0.5%โดยน้ำหนัก) ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้มีความขาว สามารถนำมาทำกระเบื้องปูพื้นได้เป็นอย่างดี

Appendino **และคณะ** (2003) ได้ศึกษาการนำขี้เถ้าจากเตาเผาขยะในประเทศอิตาลีซึ่งผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส มาผสมกับของเสียจากการหลอมอะลูมินัมและของเสียจากการสกัดดินขาว มาทำผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยพบว่าสัดส่วนของการผสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่เหมาะสมคือ ขี้เถ้า 70% รวมกับของเสียดังกล่าว 30% ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส โดยการทดสอบคำนึงถึงค่ากำลังรับแรงดัดเป็นสำคัญ การทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงดัดมีค่าประมาณ 60 เมกกะปาสคาล ซึ่งมีความเหมาะสมในการทำกระเบื้องเซรามิก นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์การใช้ของเสียนี้มาทำอิฐที่ใช้ในงานก่อสร้างได้อีกด้วย