



เชรามิกส์ วัตถุดิบ

แหล่งแร่ การผลิต และการใช้งาน

CERAMICS : Raw Materials

Occurrence, Preparation, and Utilization



ธนากร वासนาเพียรพงศ์

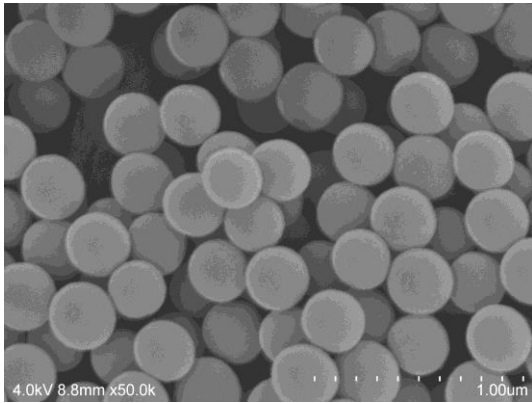
กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมาคมเชรามิกส์แห่งประเทศไทย

เรื่องเล่าจากปก

“รูปเล่า – เล่ารูป”



ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(SEM : Scanning Electron Microscope)

“Spherical silica”

(Sea hoster KE-P30, Nippon Shokubai, Japan)

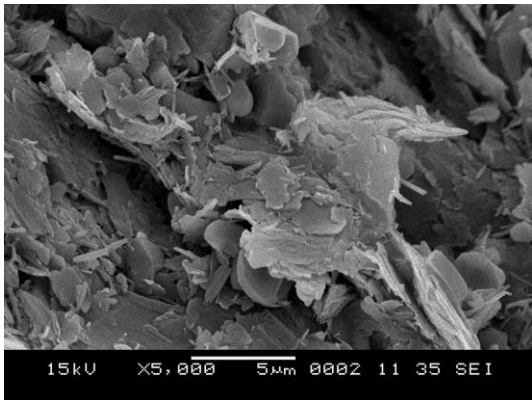
ถ่ายภาพโดย ชนากร วาสนาเพียรพงศ์



ภาพถ่ายเหมือนดินขาวหาดส้มแป้น

“ฉีดน้ำทำเหมือนดินขาว”

ถ่ายภาพโดย ชนากร วาสนาเพียรพงศ์



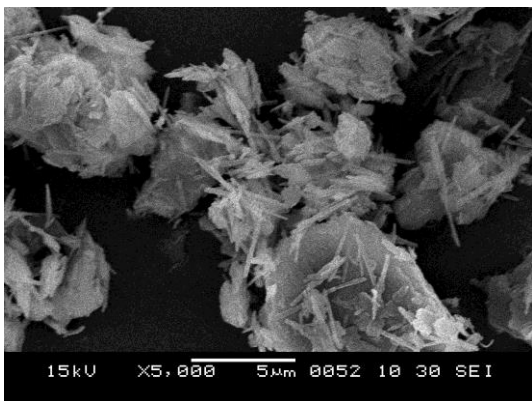
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(SEM : Scanning Electron Microscope)

“เกล็ดกาอลิน”

(Quick Cast Kaolin, Sibelco Minerals Thailand)

ถ่ายภาพโดย ชนากร วาสนาเพียรพงศ์



ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(SEM : Scanning Electron Microscope)

“หลุดฮาลลอยไซต์”

(Quick Cast Kaolin, Sibelco Minerals Thailand)

ถ่ายภาพโดย ชนากร วาสนาเพียรพงศ์



เช ร า มิ ก ส์ : วั ต ฤ ติ บ

แหล่งแร่ การผลิต และการใช้งาน

CERAMICS : Raw Materials

Occurrence, Preparation, and Utilization

ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ร่วมกับ สมาคมเซรามิกส์แห่งประเทศไทย

หนังสือ “เชรามิกส์ : วัตตุดิบ”

แต่งและเรียบเรียง : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร วาสนาเพียรพงศ์
และ อาจารย์ ดร.กานต์ เสรีวัลย์สฤติย์

พิมพ์ครั้งแรก : พฤศจิกายน พ.ศ. 2553
จำนวน 500 เล่ม

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ร่วมกับ สมาคมเชรามิกส์ไทย



ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ชนากร วาสนาเพียรพงศ์ และ กานต์ เสรีวัลย์สฤติย์
เชรามิกส์ : วัตตุดิบ. กรุงเทพฯ : มิสเตอร์ก๊อปปี้ (ประเทศไทย), 2553.
82 หน้า.
1. เชรามิกส์ 2. วัตตุดิบ

ISBN : 978-616-551-230-5

พิมพ์ที่ MisterKopy®

บริษัท มิสเตอร์ก๊อปปี้ (ประเทศไทย) จำกัด MisterKopy (Thailand) Co., Ltd.

ที่อยู่: 261/375 ถ.เจริญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทรศัพท์: 02 800 2290 โทรสาร: 02 800 2291

E-mail : support@misterkopy.com www.misterkopy.com

คำนำ

ตำรา เซรามิกส์ : วัตถุดิบ เล่มนี้จัดพิมพ์ขึ้น โดยการปรับปรุงจากเอกสารประกอบการสอนรายวิชา วัตถุดิบเซรามิกส์ (Ceramic Raw Materials: 2311206) ด้วยการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ ตำรา ภาษาไทย เรียบเรียงจากหนังสือต่างประเทศ รวมทั้งเรียบเรียงจากประสบการณ์และความรู้ของผู้เขียนเอง เพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาวัตถุดิบเซรามิกส์ สำหรับนิสิตชั้นปีที่ 2 แผนกวิชาเซรามิกและวัสดุศาสตร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2553 ภาคการศึกษา ปลาย โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก การจำแนกประเภทของ วัตถุดิบต่างๆ ชื่อและลักษณะที่สำคัญต่างๆ โครงสร้าง องค์ประกอบทางแร่และเคมี การทำเหมือง การควบคุมคุณภาพ และการใช้งานต่างๆ และทางผู้เขียน หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือหรือเอกสารประกอบการ สอนฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และผู้อ่านเป็นอย่างดี

ผู้แต่งและเรียบเรียง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร วาสนาเพชรพงศ์

อาจารย์ ดร.กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์

(ตุลาคม พ.ศ. 2553)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	ก
สารบัญรูป.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิมประเภทต่างๆ.....	8
1.1.1 เอิร์ธเทินแวร์ (Earthenware)	8
1.1.2 สโตนแวร์ (Stoneware)	8
1.1.3 พอร์ซเลน (Porcelain)	9
1.1.4 โบนาไชนา (Bone china).....	9
1.2 กระบวนการผลิตเซรามิก.....	10
1.3 วัตถุประสงค์ในการผลิตเซรามิก	10
1.4 การขึ้นรูปเซรามิกดั้งเดิม.....	11
1.4.1 อัดแห้ง Dry press / Dust press ความชื้น 0-15 %	11
1.4.2 โดยอาศัยความเหนียว Plastic forming ความชื้น 15-25 %	11
1.4.3 หล่อแบบ Slip casting ความชื้น 28-35 %	11
1.5 การตกแต่งเซรามิก Ceramic Decorating	16
บทที่ 2 การจำแนกประเภทวัตถุดิบเซรามิก	17
2.1 การแบ่งกลุ่มโดยอาศัยองค์ประกอบของดิน	17
2.1.1 วัตถุดิบประเภทดิน (Clays).....	17
2.1.2 วัตถุดิบประเภทที่ไม่ใช่ดิน (Non-Clays materials)	27
2.2 การแบ่งประเภทตามลักษณะความเหนียว	46
2.2.1 วัตถุดิบที่มีความเหนียว	46
2.2.2 วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว	46
2.3 การแบ่งประเภทตามลักษณะความทนไฟ.....	46
2.3.1 วัตถุดิบที่ทนอุณหภูมิสูง.....	46
2.3.2 วัตถุดิบประเภทฟลักซ์ (Fluxes)	47
2.4 การแบ่งกลุ่มตามประเภทของอุตสาหกรรม	47
2.4.1 อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา	47
2.4.2 อุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต	48

2.4.3	อุตสาหกรรมยิปซัมและปลาสเตอร์ (Gypsum and Plaster).....	52
2.4.4	อุตสาหกรรมแก้วและกระจก	57
บทที่ 3 โครงสร้างทางแร่ และองค์ประกอบ		58
3.1	ซิลิกา.....	58
3.2	โครงสร้างของแร่ดิน Structure of clay mineral.....	59
3.2.1	กลุ่มเคโอลิไนท์ (Kaolinite)	59
3.2.2	กลุ่มมอนท์มอริลโลไนท์ (montmorillonite)	60
3.2.3	กลุ่มอิลไลต์ (Illite).....	61
3.2.4	แร่เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite)	61
3.2.5	แร่คลอไรต์ (Chlorite)	61
3.2.6	การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี	62
3.2.7	สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี Physical and chemical properties	63
3.3	แร่ทัลค์ Talc.....	63
3.4	หินฟันม้า (Feldspar).....	64
บทที่ 4 การทำเหมือง การแต่งแร่ และกระบวนการเตรียม		65
4.1	กระบวนการแต่งแร่ดินขาวเพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรม	65
4.2	การแต่งแร่หินฟันม้า	69
4.2.1	การบดย่อยและคัดขนาด	69
4.2.2	การบดละเอียด	69
4.2.3	การลอยแร่หินฟันม้า (Feldspar Flotation)	69
4.3	การแต่งแร่ limestone	71
บทที่ 5 วัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ.....		72
5.1	วัตถุดิบในการผลิตเนื้อดินปั้น.....	72
5.1.1	เนื้อดินปั้นชนิด Triaxial.....	72
5.1.2	อุณหภูมิในการสุกตัว	73
5.1.3	เนื้อผลิตภัณฑ์แบบอื่นๆ	74
5.1.4	วิธีการสร้างส่วนผสมเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบแหล่งใหม่	75
5.2	วัตถุดิบในการเตรียมเคลือบ.....	75
5.2.1	วัตถุดิบกลุ่มที่เป็นเนื้อเคลือบโดยไม่ได้ให้สีแก่เคลือบหลังเผา	76
5.2.2	วัตถุดิบกลุ่มที่ให้สีแก่เคลือบหลังเผา.....	78
5.2.3	เคลือบชนิดต่างๆ	80

5.2.4 ข้อควรระวังในการใช้งานวัตถุดิบเคลือบ.....	80
5.3 วัตถุดิบอื่นๆ.....	81
5.4 วัตถุดิบสำหรับเซรามิกแก้วหน้า	81
บทที่ 6 วัตถุดิบประเภทตัวเติมชนิดต่างๆ.....	82
6.1 ของเหลวหรือตัวกลาง Liquid/solvent medium.....	82
6.1.1 Aqueous หรือ น้ำ (water-base).....	82
6.1.2 ไม่ใช่ น้ำ (Nonaqueous).....	83
6.2 Surfactant (wetting agent).....	84
6.3 Deflocculant.....	84
6.3.1 แอลคาไลน์ (Alkali Cation Type).....	84
6.3.2 พอลิแอนไอออน (Poly-anion Type).....	85
6.4 Coagulant	86
6.5 Flocculants/binder.....	87
6.6 Plasticizer	87
6.7 Lubricant	87
6.8 Preservatives	87
บทที่ 7 เทคนิคการตรวจสอบ และการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ	88
7.1 การหดตัว.....	88
7.2 ความแข็งแรง.....	88
7.3 การดูดซึมน้ำ (water absorption)	88
7.4 สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal expansion coefficient).....	88
7.5 กากค้างตะแกรง.....	89
7.6 การหาขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค	89
7.7 ความชื้น.....	89
7.8 อัตราการหล่อ (casting rate)	89
7.9 สีหลังเผา.....	89
7.10 ความเหนียว (Plasticity)	89
7.11 สมบัติการไหลตัวของน้ำดิน (rheology).....	89
7.12 การหาพื้นที่ผิวของอนุภาคของดิน.....	90
7.13 ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (organic matter).....	90
7.14 การขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับ (Irreversible Thermal Expansion).....	90

เอกสารอ้างอิง.....	93
ดรชนีประมวลคำศัพท์.....	94

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	การใช้น้ำแข็งเป็นวัสดุก่อสร้างที่พักของชาวเอสกิโม	1
รูปที่ 1.2	แผนภาพสมดุลเฟสของน้ำและน้ำแข็ง.....	2
รูปที่ 1.3	เศษภาชนะดินเผาอายุเกือบหมื่นปี ขุดพบที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน	3
รูปที่ 1.4	เครื่องปั้นดินเผาที่มีสีดำข่ม.....	3
รูปที่ 1.5	เครื่องปั้นดินเผาที่ขุดค้นพบมักรวมอยู่กับหลุมฝังศพ	4
รูปที่ 1.6	การตีหม้อขึ้นรูปหม้อดินเผาโดยใช้หินคูดและพายเป็นอุปกรณ์	4
รูปที่ 1.7	การเผาเตาเครื่องปั้นดินเผา	5
รูปที่ 1.8	ภาชนะดินเผากับเตากระดุกและเก็บรวมไว้ในศาสนสถาน	5
รูปที่ 1.9	ภาชนะเครื่องเคลือบดินเผาสีตาลเคลือบเบญจรงค์ และเครื่องลายคราม.....	6
รูปที่ 1.10	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอิร์ธเทินแวร์	8
รูปที่ 1.11	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สโตนแวร์	9
รูปที่ 1.12	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนและโบนไชนา	10
รูปที่ 1.13	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาปั้นด้วยมือ Free hand sculpturing	11
รูปที่ 1.14	ตัวอย่างการกดอัดขึ้นรูปโดยมีแม่พิมพ์ ปูนพลาสติก	12
รูปที่ 1.15	ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้เป็นหมุน Throwing	13
รูปที่ 1.16	ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้เป็นหมุนและใบมีด Jig (Jiggering)	13
รูปที่ 1.17	ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้ Roller head	14
รูปที่ 1.18	ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดรีด Extrusion	14
รูปที่ 1.19	ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้ Ram Pressing.....	15
รูปที่ 1.20	ตัวอย่างการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบน้ำดิน	15
รูปที่ 1.21	ขั้นตอนการตีรูปลอกเพื่อการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิก	16
รูปที่ 2.1	Polymorphic transformations in silica	27
รูปที่ 2.2	Phase diagram สำหรับหินปูนฆ่าชนิดโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม	34
รูปที่ 2.3	กระบวนการผลิต Calcium Carbonate โดยวิธีการ Re-precipitate	45
รูปที่ 3.1	รูปแสดง DTA peak of Kaolinite.....	63
รูปที่ 4.1	ขั้นตอนการแต่งแร่ดินขาวที่มีคุณภาพปานกลางโดยการ Blend ผสม.....	66
รูปที่ 4.2	ขั้นตอนการแต่งแร่ดินขาวที่มีคุณภาพปานกลางโดยการล้างและแยกแร่เหล็ก	67
รูปที่ 4.3	ขั้นตอนการแต่งแร่ดินขาวที่มีคุณภาพสูง มีการล้างและแยกแร่เหล็ก	68
รูปที่ 7.1	กราฟแสดงค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับของดินเหนียว (Ball Clays) 3 กลุ่ม 91	

สารบัญตาราง

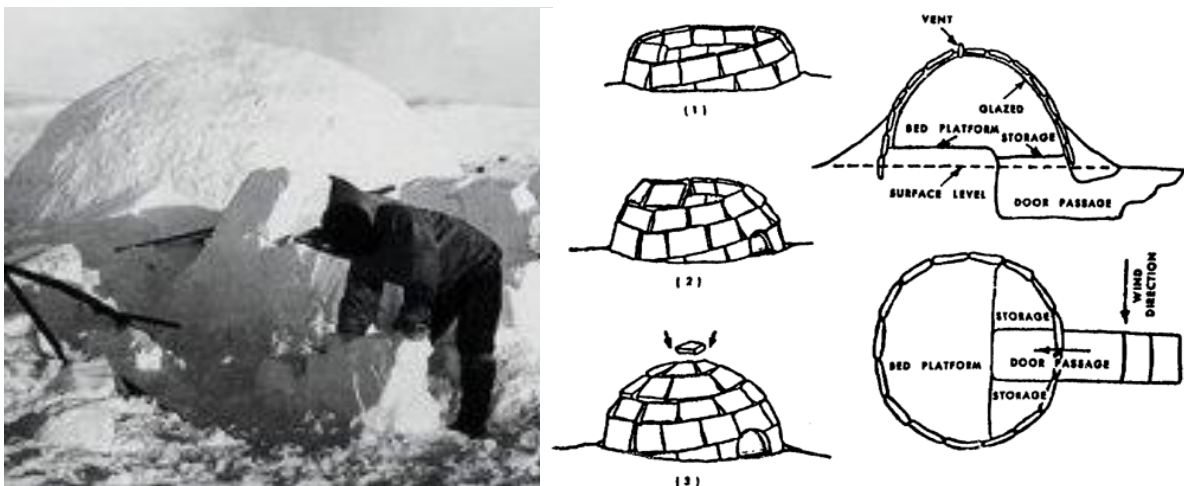
ตารางที่ 1.1	ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของเปลือกโลก พิจารณาเฉพาะ สารประกอบออกไซด์หลัก 7 ชนิด	2
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมี Chemical Analyses และสมบัติทางกายภาพของดินขาว China Clay และ ดินเหนียว (Ball Clay) บางตัว	20
ตารางที่ 2.2	ชื่อแร่ที่มีส่วนประกอบของแร่ Albite/Anorthite ในอัตราส่วนต่างๆ กัน	31
ตารางที่ 2.3	ส่วนประกอบทางเคมีตามทฤษฎีของ feldspar.....	32
ตารางที่ 2.4	การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของสารประกอบฟลักซ์บางตัว.....	32
ตารางที่ 2.5	ความสามารถในการละลายของยิปซัม และสารที่ได้จากยิปซัม (gypsum product)	53
ตารางที่ 2.6	ผลของ W/P ratio และเวลาที่ใช้ในการผสม ที่มีต่อเวลาการแข็งตัวของ plaster of paris.....	55
ตารางที่ 2.7	แสดงเวลาการอบแห้ง ที่มีผลต่อความแข็งแรงของ Plaster of paris	56
ตารางที่ 2.8	แสดงความพรุนตัวของ set gypsum ที่อัตราส่วนของน้ำต่อพลาสติกอร์ต่างกัน	56
ตารางที่ 5.1	ช่วงอุณหภูมิการเผาของเนื้อดินปั้น.....	74
ตารางที่ 6.1	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำแหล่งต่างๆ (ppm)	83
ตารางที่ 6.2	สมบัติทั่วไปของของเหลวต่างๆ ที่ (20°C).....	83
ตารางที่ 6.3	ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิว.....	84
ตารางที่ 6.4	สารช่วยกระจายลอยตัวในกลุ่มแอลคาไลน์	86

บทที่ 1

บทนำ

เซรามิกมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก *keramos* มีความหมายว่า โฟ หรือ เผา นับแต่อดีตมา วัสดุเซรามิกที่มีการใช้งานมากที่สุดคือ เซรามิกดั้งเดิม หรือเซรามิกพื้นบ้าน (Conventional or Traditional Ceramic) ทำมาจากวัสดุหลักคือดินเหนียว ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เครื่องปั้นดินเผา (Pottery) หม้อไห ถ้วยชามหรือ เครื่องเคลือบดินเผา อิฐ กระเบื้องเคลือบ วัสดุประเภทซีเมนต์ แก้ว และวัสดุทนไฟอื่นๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา ได้มีความเจริญก้าวหน้าในกระบวนการผลิต ตลอดจนมีความเข้าใจในลักษณะพื้นฐาน และกลไกที่ควบคุมสมบัติของผลิตภัณฑ์เซรามิก

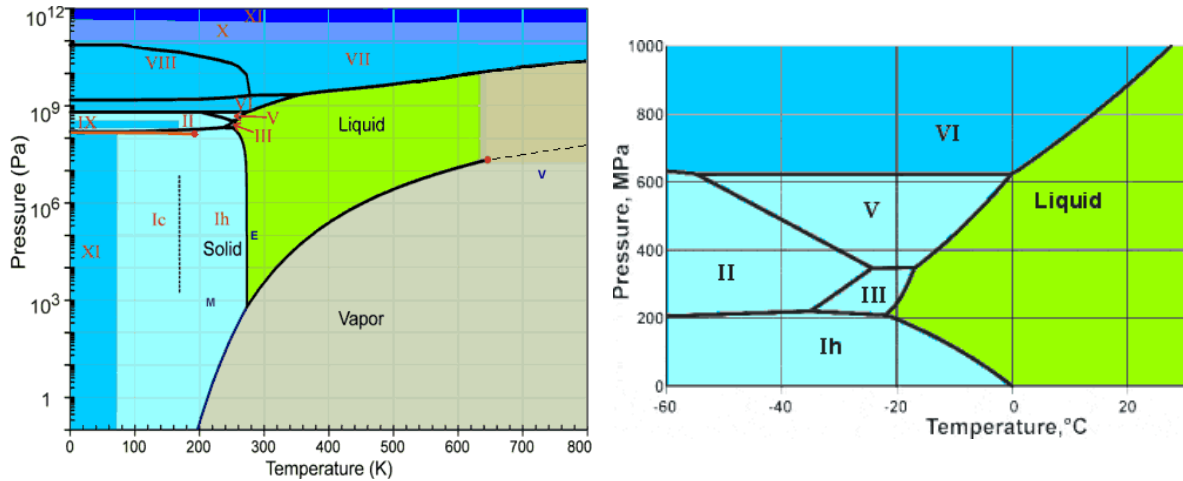
ศาสตราจารย์คิงเกอร์รี่ (W. David Kingery) ให้คำนิยามคำว่าเซรามิกไว้อย่างสั้นๆ แต่มีความหมายกว้างๆ ไว้ในหนังสือ *Introduction to Ceramic* ว่าเป็นวัสดุอนินทรีย์อโลหะ (Inorganic Non-Metallic Materials)¹ จากนิยามดังกล่าว วัสดุเซรามิกนอกจากจะหมายถึงเครื่องปั้นดินเผา พอร์ซเลน วัสดุทนไฟ เราสามารถเรียกรวม หิน ดิน ทราช ที่อยู่บนเปลือกโลกได้ว่าเป็นวัสดุเซรามิกหากเราสนใจที่จะศึกษานำมาใช้ประโยชน์ โดยส่วนประกอบหลักของเปลือกโลก เป็นสารประกอบออกไซด์ ในตารางที่ 1 แสดงถึงสารประกอบออกไซด์หลัก 7 ชนิด² ซึ่งเป็นข้อมูลที่คำนวณจากการสมมุติว่า โลหะทุกชนิดจะอยู่ในรูปของออกไซด์ นอกจากหิน ดิน ทราช แล้ว วัสดุเซรามิกยังรวมถึงน้ำแข็ง ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างที่อยู่อาศัยของชาวเอสกิโมบริเวณขั้วโลกเหนือ เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน ทำให้ภายในบ้านที่ทำด้วยน้ำแข็งยังคงอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียสมากนัก



รูปที่ 1.1 การใช้น้ำแข็งเป็นวัสดุก่อสร้างที่พักของชาวเอสกิโม

¹ W. David Kingery, *Introduction to Ceramics*, 2nd ed., 1991, John Wiley & Sons, Singapore.

² James Dwight Dana, *Manual of Mineralogy*, 21st ed., p. 222-223, 1993, John Wiley & Sons, New York.



รูปที่ 1.2 แผนภาพสมดุลเฟสของน้ำและน้ำแข็ง

ตารางที่ 1.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของเปลือกโลก พิจารณาเฉพาะ สารประกอบออกไซด์หลัก 7 ชนิด

ออกไซด์	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	รวม
เปอร์เซ็นต์	59.30	15.36	7.15	5.08	3.81	3.12	3.47	97.29

จะเห็นได้ว่า วัสดุที่อยู่รอบตัวเรามีอยู่มากมายที่จัดอยู่ในจำพวกของวัสดุเซรามิก และสารประกอบที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทต่างๆ ได้ หากเพียงแต่เรามีความรู้ที่จะนำมาศึกษาและพัฒนาการใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดใหญ่ นั้น นอกจากเราจะต้องทำความเข้าใจและการนำไปใช้งานของวัตถุดิบเหล่านี้แล้ว เรายังต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ด้วย ได้แก่

1. คุณภาพ (Quality) เพื่อใช้ในการพิจารณาที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม
2. ปริมาณ (Quantity) โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดใหญ่ ที่ต้องการวัตถุดิบเป็นปริมาณมาก จะต้องมีการศึกษาปริมาณสำรองเพื่อจะวางแผนในการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ
3. ความสม่ำเสมอ (Homogeneity) ของวัตถุดิบ เพราะหากมีคุณภาพเหมาะสม ปริมาณที่เพียงพอแล้ว ก็จะต้องมีความสม่ำเสมอด้วย เพื่อจะได้ไม่เกิดเป็นปัญหาในการผลิตต่อไป

สำหรับประเทศไทยนั้น ได้มีประวัติการผลิตเซรามิก โดยเฉพาะเครื่องปั้นดินเผามาเป็นเวลานาน ตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ และได้มีวิวัฒนาการมาเป็นลำดับ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเรามีวัตถุดิบที่มีคุณภาพเหมาะสมที่จะใช้ในการผลิต และมีการตั้งสมมุติปัญญามาแต่โบราณ จากการขุดค้นทางโบราณคดีพบว่า

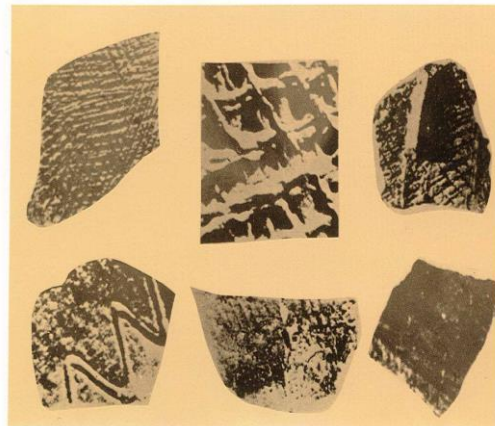
เครื่องปั้นดินเผาในประเทศไทย มีประวัติศาสตร์ยาวนานมากกว่า 10,000 ปี¹ โดยประวัติศาสตร์ของเครื่องปั้นดินเผาในประเทศไทย สามารถแบ่งเป็นช่วงๆ ดังนี้

ยุคก่อนประวัติศาสตร์ 10,000 - 3,000 ปีก่อน เช่น บ้านเชียง บ้านเก่า

ยุคประวัติศาสตร์ 3,000 – รัตนโกสินทร์ เช่น ทวารวดี สุโขทัย อโยธยา รัตนโกสินทร์

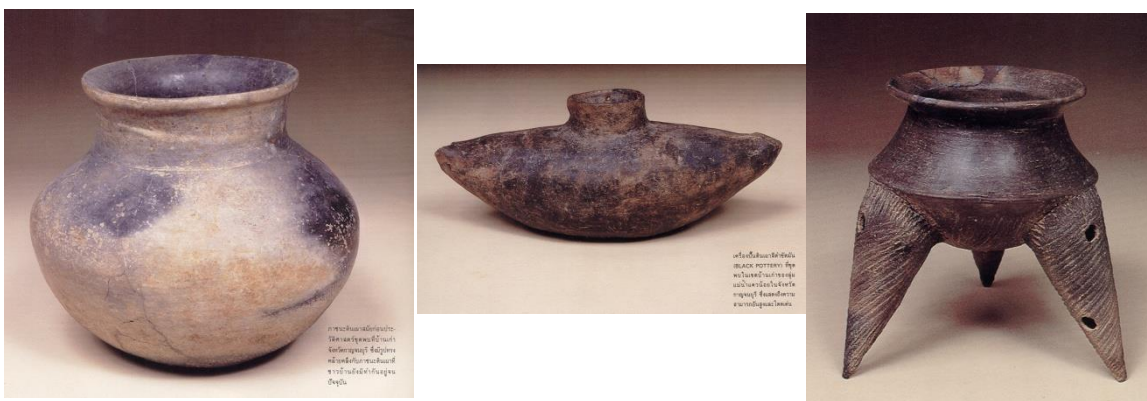
ปัจจุบัน

จากการขุดค้นถ้ำผีแมน บนเทือกเขาในจังหวัดแม่ฮ่องสอน พบเศษภาชนะเครื่องปั้นดินเผา มีลวดลาย “ลายเข็มนาฬิกา” นอกจากนี้ยังพบ ซีกฟันและกระดูกของมนุษย์ ซากเมล็ดพืช และเครื่องมือหินต่างๆ



รูปที่ 1.3 เศษภาชนะดินเผาอายุเกือบหมื่นปี ขุดพบที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน

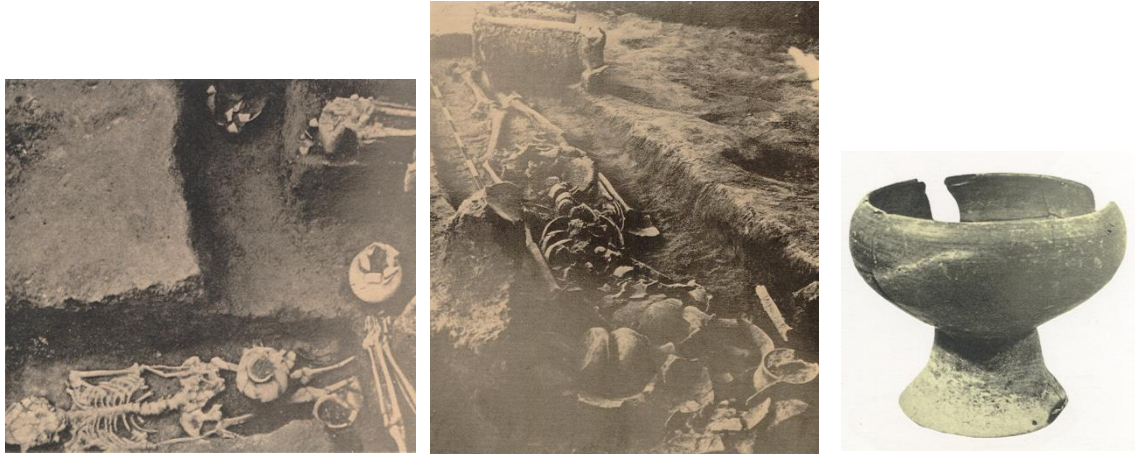
นักโบราณคดีพบว่าประมาณ 6,000 ปีก่อน เริ่มมีการทดลองผสมกากขี้เถ้าในเนื้อดินเผาด้วย แสดงว่าการเพาะปลูกมีการพัฒนามาถึงขั้นที่ให้ปริมาณมากแล้ว ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความเจริญและวิวัฒนาการของการเกษตร และการพัฒนาด้านเครื่องปั้นดินเผา ณ บริเวณบ้านเก่า กลุ่มแม่น้ำแคว จ.กาญจนบุรี ซึ่งพบเครื่องปั้นดินเผาที่มีสีดำขดมัน และภาชนะดินเผา 3 ขา



รูปที่ 1.4 เครื่องปั้นดินเผาที่มีสีดำขดมัน

¹ ศรีศักร วัลลิโภดม, เครื่องปั้นดินเผาและเครื่องเคลือบกับพัฒนาการทางเศรษฐกิจและสังคมของสยาม, บริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2528.

ในระยะเวลาต่อมาประมาณ 5,000 ปี ที่แหล่งขุดค้นบ้านเชียง อำเภอสกลนคร อ.หนองหาน จ.อุดรธานี เครื่องปั้นดินเผาที่ขุดค้นพบมักรวมอยู่กับหลุมฝังศพ แสดงว่ามีการพัฒนาความเชื่อเรื่องความตาย และชีวิตหลังความตาย และเริ่มมีการแบ่งงานกันทำ



รูปที่ 1.5 เครื่องปั้นดินเผาที่ขุดค้นพบมักรวมอยู่กับหลุมฝังศพ

เมื่อดูจากปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็นผู้หญิงเป็นคนทำเครื่องปั้นดินเผา จึงสันนิษฐานว่า แต่ก่อนก็คงเป็นผู้หญิงเป็นส่วนเป็นผู้ผลิต ซึ่งผลของการแบ่งงานกันทำ จึงทำให้มีการพัฒนาฝีมือและเทคนิค เช่น ที่บ้านเชียง เป็นดินเผาเขียนสีแดง เรียกว่าฮีมาไทต์ (Hematite) ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของบ้านเชียง ลวดลาย ที่ปรากฏ เช่น ลายขีด เรขาคณิต เส้น โค้ง ดอกไม้ สัตว์ต่าง ๆ ไ้แก่ แยก กิ่งก่า ควาย นอกจากนี้ยังมีรูปอวัยวะสืบพันธุ์ (Phallicism) ที่อุดรธานีในปัจจุบันยังมีประเพณีว่า ถ้าชายที่ยังไม่แต่งงานตายลง จะใส่กาบหมากทำเป็นรูปอวัยวะเพศหญิง “นูนิ” ส่วนหญิงก็เช่นกัน จะแกะรูปอวัยวะเพศชายใส่ลงไปหลุมด้วย บางทีก็เขียนเป็นรูป



รูปที่ 1.6 การตีหม้อขึ้นรูปหม้อดินเผาโดยใช้หินคู่และพายเป็นอุปกรณ์



รูปที่ 1.7 การเผาเครื่องปั้นดินเผา

ยุคประวัติศาสตร์ของเครื่องปั้นดินเผาในประเทศไทย เทคโนโลยีการผลิตเริ่มก้าวหน้าขึ้น เกิดเมืองใหญ่ๆ ที่เป็นศูนย์กลางของวัฒนธรรม นับแต่สมัยทวารวดี ประมาณ พุทธศตวรรษที่ 11 - 17 ซึ่งได้รับวัฒนธรรมจากศาสนาพุทธ ได้แก่

- เมืองอู่ทอง นครชัยศรี จ.นครปฐม
- คูบัว ลุ่มแม่น้ำแม่กลอง จ.ราชบุรี
- ละโว้ ลุ่มน้ำลพบุรี
- ศรีเทพ ลุ่มน้ำป่าสัก
- ศรีมโหสถ ลุ่มน้ำบางปะกง



รูปที่ 1.8 ภาชนะดินเผาเก็บถ้ำกระดุกและเก็บรวมไว้ในศาสนสถาน

โดยรวมศิลปะจะมีรูปแบบคล้ายๆ กัน หรือไปในแนวเดียวกัน มีการพัฒนาวัฒนธรรมการเผาพ เนื่องจากศาสนาพุทธไม่นิยมฝังศพ แต่นิยมการเผา แล้วถ้ำกระดุกจะถูกเก็บในภาชนะดินเผา และเก็บรวมไว้

ในศาสนาสถาน อีกทั้งมีการรับอิทธิพลจากขอม มีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผามากขึ้น เริ่มมีการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นในการเผาให้ได้เนื้อแกร่ง (Stoneware) และเริ่มมีการพัฒนาเคลือบ (Glazed Pottery) แลบลูริทรี บูริรัมย์ เนื้อดินค่อนข้างขาว เช่นผลิตภัณฑ์ที่ขุดค้นได้จากเตาบ้านกรวด อ.บ้านกรวด จ.บุรีรัมย์

ในสมัยอยุธยาเริ่มมีการติดต่อค้าขายภายนอกทางทะเลมากขึ้น ทั้งจีน และฝรั่ง เครื่องลายคราม (Blue & White) เริ่มเข้ามาจากจีน และเริ่มมีการผลิตเคลือบสีเขียวซีลาดอล (Celadon)

ในช่วงสมัยกรุงธนบุรีจนถึงกรุงเทพฯ ตอนต้น เนื่องจากเป็นช่วงเปลี่ยนเมือง มีการทำสงครามอยู่เนืองๆ จึงไม่ค่อยมีการพัฒนามากนัก จึงมักสั่งจากจีนสะดวกกว่า



รูปที่ 1.9 ภาชนะเครื่องเคลือบดินเผาซีลาดอล เบญจรงค์ และเครื่องลายคราม

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย นับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาประเทศ โดยมีโรงงานที่ได้จดทะเบียนไว้กับกรมโรงงานอุตสาหกรรม ณ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2549 มีจำนวนมากถึง 1632 โรงงานทั่วประเทศ และอุตสาหกรรมเซรามิกจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญที่ภาครัฐให้การสนับสนุนและ ส่งเสริม เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ มีประวัติศาสตร์ และฐานการผลิตในประเทศมานาน ใช้วัตถุดิบในประเทศเป็นส่วนใหญ่ และใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก สามารถส่งออกและทำรายได้ให้กับประเทศสูงถึงปีละ 20,000 ล้านบาท และการใช้งานภายในประเทศอีกจำนวนมาก โดยการผลิตเซรามิกเกือบทั้งหมดจะเป็น Traditional Ceramics ซึ่งได้แก่ผลิตภัณฑ์กระเบื้อง เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของครัวเครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นต้น

การผลิตเซรามิกเฉพาะที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ซึ่งได้แก่ กระเบื้องปูพื้น บุษนัง และเครื่อง สุขภัณฑ์ มีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ในประเทศ โดยในปี 2546 การผลิตกระเบื้องปูพื้น บุษนัง มีปริมาณ 120 ล้านตารางเมตร ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2545 ในอัตราร้อยละ 21 และการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ ในปี 2546 มีปริมาณ 7.3 ล้านชิ้น ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2545 ในอัตราร้อยละ 19.8

ตลาดการจำหน่ายเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในประเทศ ซึ่งได้แก่ กระเบื้องปูพื้น บุผนัง และเครื่องสุขภัณฑ์ มีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ โดยในปี 2546 การจำหน่ายกระเบื้องปูพื้น ผนัง มีปริมาณ 139 ล้านตารางเมตร ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2545 ในอัตราร้อยละ 23.0 และการจำหน่ายเครื่องสุขภัณฑ์ ในปี 2546 มีปริมาณ 3.6 ล้านชิ้น ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2545 ในอัตราร้อยละ 18.2

ตลาดส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นมาตลอด โดยในปี 2546 มีมูลค่า 21,860 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2545 ในอัตราร้อยละ 4.7 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญกับการส่งออก ได้แก่ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องปูพื้น ผนัง และของชำร่วยเครื่องประดับ ตลาดส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกที่สำคัญของไทย คือ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร มาเลเซีย และออสเตรเลีย เป็นต้น

การนำเข้าผลิตภัณฑ์เซรามิก ในปี 2546 มีมูลค่านำเข้า 6,480 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2545 ในอัตราร้อยละ 23.8 ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าส่วนใหญ่จะเป็นสินค้าที่มีคุณภาพดี ราคาสูง ซึ่งไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ โดยนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่น จีน เยอรมนี มาเลเซีย อินโดนีเซีย และอิตาลี เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตาม นับแต่อดีตมา อุตสาหกรรมเซรามิกของไทย ไม่ค่อยมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต รวมถึงกระบวนการปรับปรุงและคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสม ทำให้ปัจจุบัน วัตถุดิบคุณภาพดีที่เริ่มมีปริมาณจำกัดลง จึงทำให้เริ่มประสบปัญหา อีกทั้งยังมีปัญหาจากภายนอกประเทศต่างๆ จึงจำเป็นที่เราจะต้องหันมาปรับปรุง พัฒนาการกระบวนการผลิต การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีเหลืออยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพที่สุด

ปัญหาของอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทยได้แก่

1. วัตถุดิบมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และภานำเข้าวัตถุดิบ โดยเฉพาะสีเซรามิกมีอัตราสูงเมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่ง เพราะไม่มีการผลิตเอง หรือยังผลิตได้เองไม่เพียงพอกับความต้องการ
2. พลังงาน ซึ่งได้แก่ ก๊าซ และไฟฟ้ามีราคาสูง เมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่ง
3. ผู้ประกอบการ SME ขาดระบบการจัดการที่ดี ใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ล้าสมัย และมีข้อจำกัดในการลงทุนด้านเครื่องจักร
4. ขาดการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกในเชิงธุรกิจ ขาดแคลนบุคลากรที่มีทักษะ ความรู้ และ ความชำนาญในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต และการออกแบบผลิตภัณฑ์
5. ขาดข้อมูลทางการตลาดของประเทศคู่ค้าและประเทศคู่แข่ง และขาดการส่งเสริมจากภาครัฐในการออกงานแสดงสินค้าในต่างประเทศ

ปัญหาที่รุ่มลุ่มต่างๆ เหล่านี้ อาจจะไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยภาคการศึกษาทั้งหมด แต่ทางภาคการศึกษาเองก็จะมีส่วนร่วมในการให้ความรู้ในการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีอยู่อย่างจำกัด หรือหาวัตถุดิบอื่นทดแทน รวมถึงสร้างและถ่ายทอดองค์ความรู้ต่างๆ สุนิสิต ที่จะก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรมเซรามิก และเป็นตัวช่วยในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.1 ผลิตภัณฑ์เซรามิกดั้งเดิมประเภทต่างๆ

1.1.1 เอิร์ธเทินแวร์ (Earthenware)

การดูดซึมน้ำ มากกว่า 5 % ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ

- Terracotta กระจกดินเผา อิฐมอญ กระเบื้องหลังคา กระเบื้องบุผนัง (อาจมีการเคลือบและการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 5 %) มักใช้ดินวัตถุดิบที่ไม่ต้องการล้างมีปริมาณเหล็กสูงจึงมีเนื้อสีแดงอิฐ เช่นดินราชบุรี ดินด่านเกวียน ดินท่าไห เผาที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 850-1200 °C
- Semi-vitreous มีเนื้อสีขาวครีม เช่นชามตราไก่ อาจใช้เนื้อ หรือวัตถุดิบเดียวกันกับ Stoneware หรือ Porcelain แต่เผาที่อุณหภูมิต่ำ ประมาณ 1000-1200 °C
- Dolomite ตุ๊กตาเซรามิก มีส่วนประกอบของแร่โคโลไมต์สูง เผาบิสกิต และเผาเคลือบที่อุณหภูมิเดียวกัน 1050 °C

ความแข็งแรงต่ำ การดูดซึมน้ำสูง ไม่เหมาะกับการใช้เป็นภาชนะใส่อาหาร เพราะจะทำความสะอาดยาก ผู้ใช้งานได้แก่ร้านอาหารขนาดเล็กหรือรถเข็น และครัวเรือนที่มีรายได้ไม่สูงนัก



รูปที่ 1.10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เอิร์ธเทินแวร์

1.1.2 สโตนแวร์ (Stoneware)

การดูดซึมน้ำ ต่ำกว่า 5 % ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ

- Stone จานชาม โอ่งมังกร ไหมปลาร้า อ่างบัว เครื่องเบญจรงค์ กระเบื้องปูพื้น
- Vitreous China เนื้อสีครีม เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ แต่ก็ใช้ผลิตจานชามได้

ความแข็งแรงค่อนข้างสูง การดูดซึมน้ำต่ำ เนื้อหนา และทึบแสง เหมาะกับการใช้เป็นภาชนะใส่อาหาร สำหรับโรงแรม ร้านอาหาร ภัตตาคารระดับปานกลาง และครัวเรือนที่มีรายได้ระดับล่างถึงปานกลาง

- ผลิตภัณฑ์จำพวกจานชาม มักมีการเผาสองครั้ง คือเผาบิสกิต ที่ประมาณ 850-950 °C และเผาเคลือบ ที่ 1200-1250 °C
- โอ่งมังกร ครกส้อมตำ อ่างบัว และเครื่องเคลือบขนาดใหญ่ มักเคลือบบนผลิตภัณฑ์ดิบและเผาเคลือบเพียงครั้งเดียวที่ประมาณ 1200-1250 °C โดยเคลือบที่ใช้ยังคงเป็นพวกเคลือบขี้เถ้า และเคลือบตะกั่ว



รูปที่ 1.11 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สโตนแวร์

1.1.3 พอร์ซเลน (Porcelain)

การดูดซึมน้ำ ต่ำกว่า 0.5 % มีคุณภาพดีกว่า Stoneware มีความแข็งแรงสูง แต่ราคาก็สูงกว่า มักมีลักษณะบาง เคลือบเป็นมัน โปร่งแสงเล็กน้อย ลูกค้าได้แก่โรงแรมระดับปานกลางถึงสูง ภัตตาคาร สายการบิน และครัวเรือนที่มีรายได้กลางถึงระดับสูง

การผลิตพอร์ซเลน มักใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี มีปริมาณโลหะที่ให้สีเช่นเหล็ก และไททาเนียมต่ำ มีความทนไฟสูง ต้องเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูง

เผาบิสกิตที่ประมาณ 850-950 °C และเผาเคลือบที่ 1300-1350 °C โดยใช้ **บรรยากาศรีดักชัน** ในการเผาเคลือบ (ใช้แก๊สหรือน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงและปล่อยอากาศเข้าเตาต่ำกว่าการเผาไหม้ปกติ) จะทำให้เหล็กที่เจอปนอยู่นั้นมีสีคราม ซึ่งจะดูขาวกว่าสีครีม

1.1.4 โบนไชนา (Bone china)

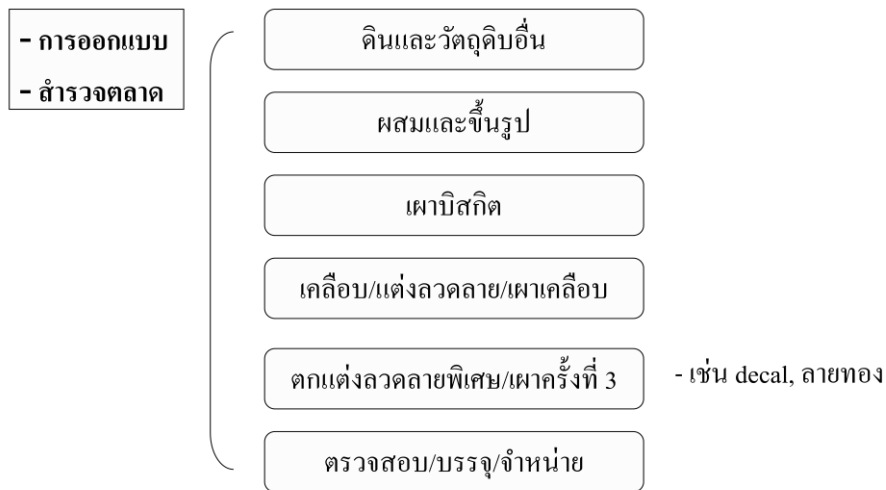
การดูดซึมน้ำ ต่ำกว่า 0.5 % เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและราคาสูงที่สุด มีความขาวและวาว เนื้อบางและเบา มีความแข็งแรงดีมาก โดยมีส่วนผสมของกระดูกสัตว์ ลูกค้าได้แก่ โรงแรมระดับ 5 ดาว ภัตตาคารขนาดใหญ่ สายการบิน และครัวเรือนที่มีรายได้ระดับสูง

โบนไซนามีช่วงการเผาที่แคบมาก และมักเสียรูปได้ง่ายในขั้นตอนการเผา จึงมีการเผาบิสกิตที่อุณหภูมิสูงกว่าเผาเคลือบ คือ เผาบิสกิตที่ 1250 °C และเผาเคลือบที่ต่ำลงมาประมาณ 1150 °C

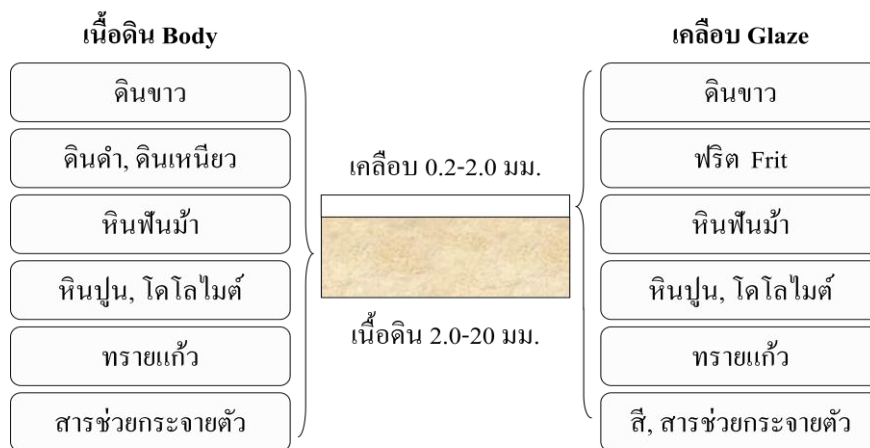


รูปที่ 1.12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนและโบนไซนา

1.2 กระบวนการผลิตเซรามิก



1.3 วัตถุดิบในการผลิตเซรามิก



1.4 การขึ้นรูปเซรามิกดั้งเดิม

หากแบ่งประเภทตามปริมาณความชื้นในเนื้อผลิตภัณฑ์ดิบขณะทำการขึ้นรูปแบ่งออกได้เป็น

1.4.1 อัดแห้ง Dry press / Dust press ความชื้น 0-15 %

ใช้แรงดันอัดไม่ต่ำกว่า 15 MPa

1.4.2 โดยอาศัยความเหนียว Plastic forming ความชื้น 15-25 %

มักมีส่วนประกอบของดินเหนียว ประกอบด้วยเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การขึ้นรูปด้วยมือเปล่า (Sculpturing)
- การกดอัดขึ้นรูปโดยมีแม่พิมพ์ (Press moulding)
- การขึ้นรูปโดยอาศัยปั้นหมุน (Throwing)
- การขึ้นรูปโดยใช้เป็นหมุนและไบมิด Jig (Jigging) หรือหัวโรลเลอร์ (Roller head)
- การขึ้นรูปโดยรีดเนื้อดินปั่นผ่านกระบอกลูกสูบและหัวแบบ ซึ่งอยู่ตอนปลายของกระบอกลูกสูบ (Extrusion)
- การอัดขึ้นรูปแบบเปียก (Ram pressing)

1.4.3 หล่อแบบ Slip casting ความชื้น 28-35 %

น้ำดินเหลวในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์



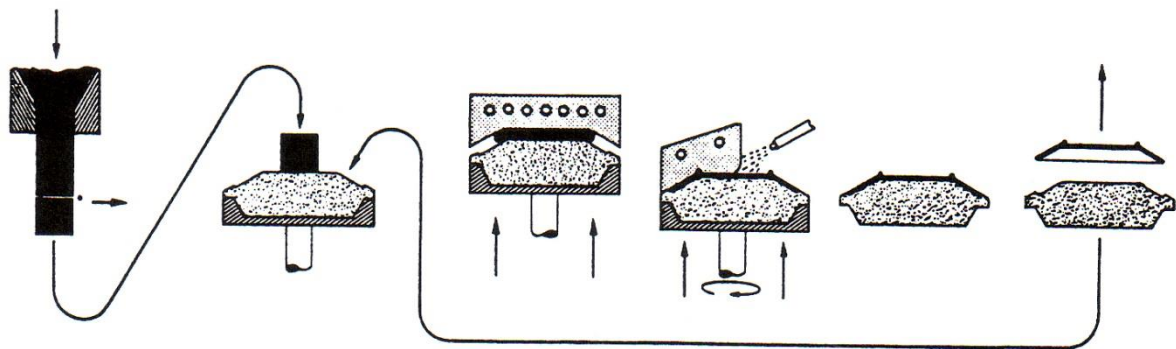
รูปที่ 1.13 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาปั้นด้วยมือ Free hand sculpturing



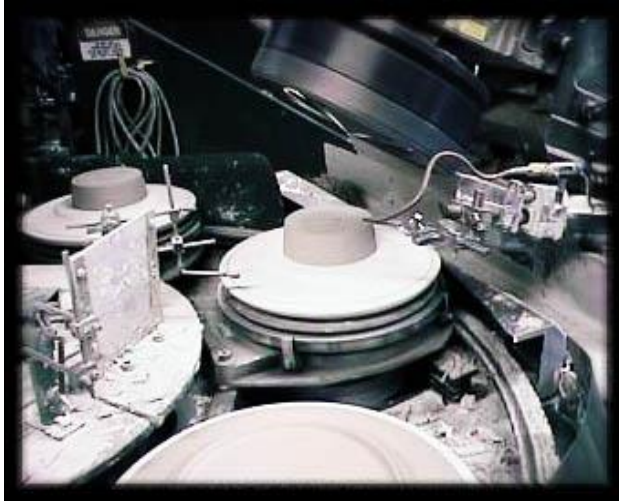
รูปที่ 1.14 ตัวอย่างการกดอัดขึ้นรูปโดยมีแม่พิมพ์ ปูนปลาสเตอร์



รูปที่ 1.15 ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุน Throwing



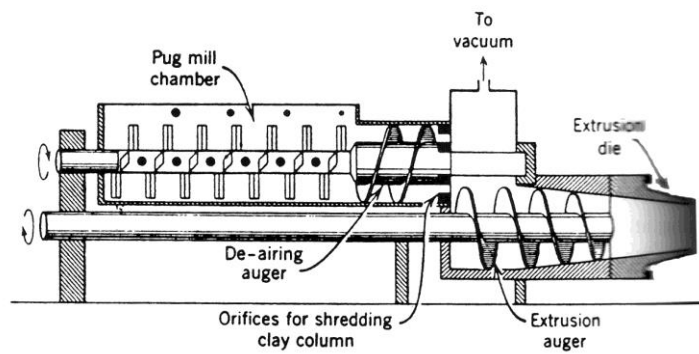
รูปที่ 1.16 ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุนและไบมิด Jig (Jiggering)



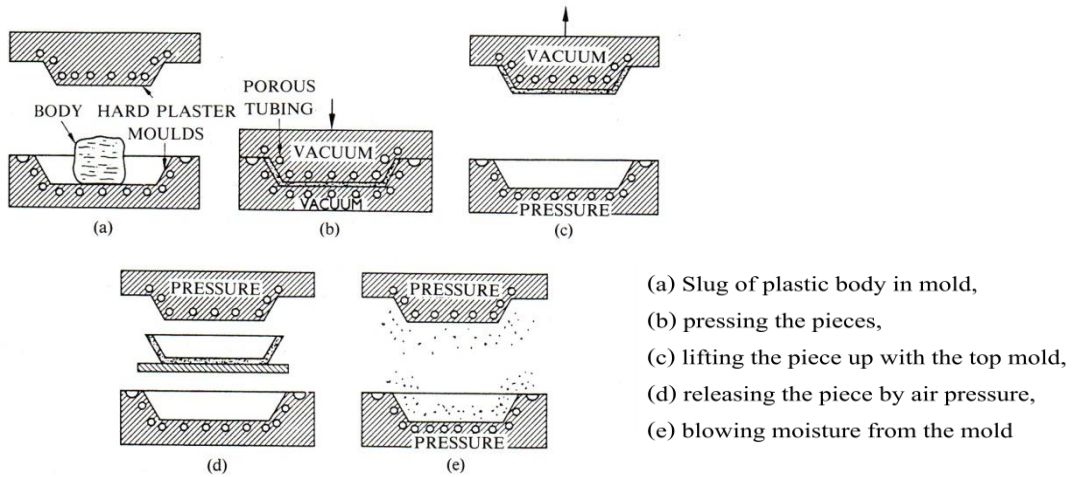
รูปที่ 1.17 ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้ Roller head

สิ่งที่จะต้องคำนึงถึง

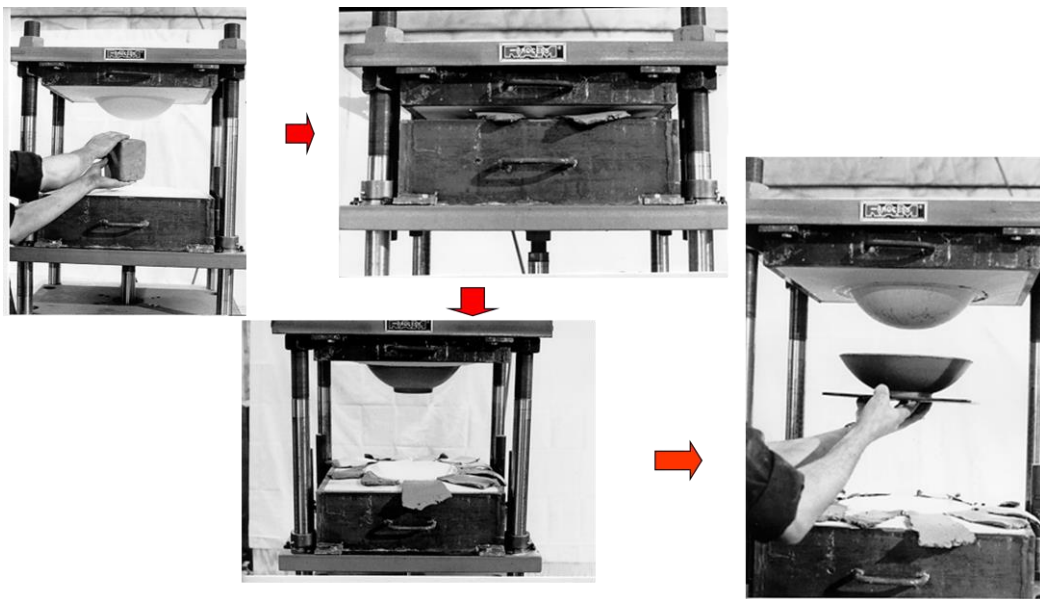
- แบบพลาสติกเตอร์ต้องมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ
- เนื้อดินปั้นต้องมีคุณภาพสม่ำเสมอมีความชื้นและความเหนียวพอเหมาะ
- เนื้อดินปั้นต้องตั้งวางตรงจุดกึ่งกลางของแบบ
- ความเร็วของแป้นหมุนต้องพอเหมาะ
- การตากแห้งต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ



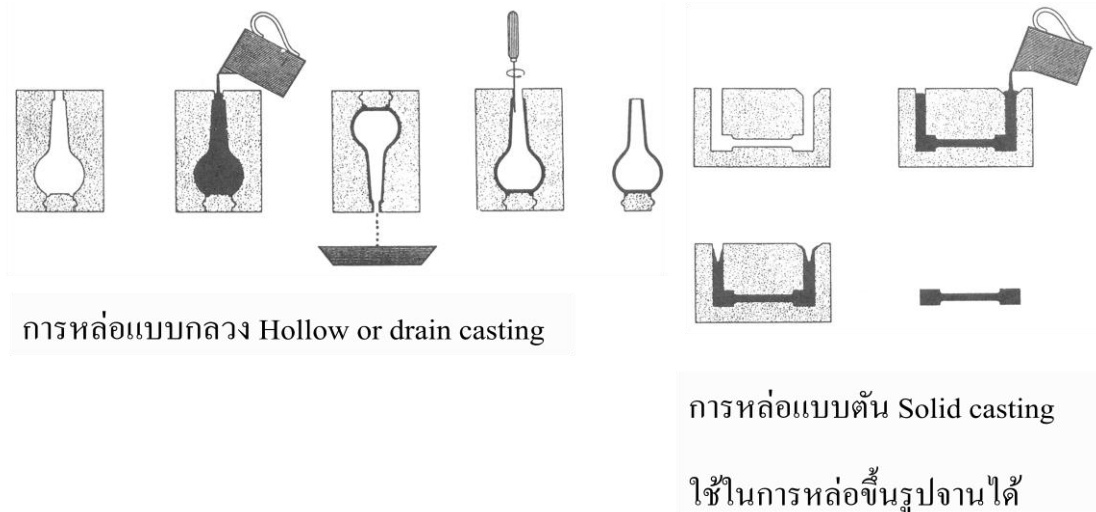
รูปที่ 1.18 ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดรีด Extrusion



(a) Slug of plastic body in mold,
 (b) pressing the pieces,
 (c) lifting the piece up with the top mold,
 (d) releasing the piece by air pressure,
 (e) blowing moisture from the mold



รูปที่ 1.19 ตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้ Ram Pressing



การหล่อแบบกลวง Hollow or drain casting

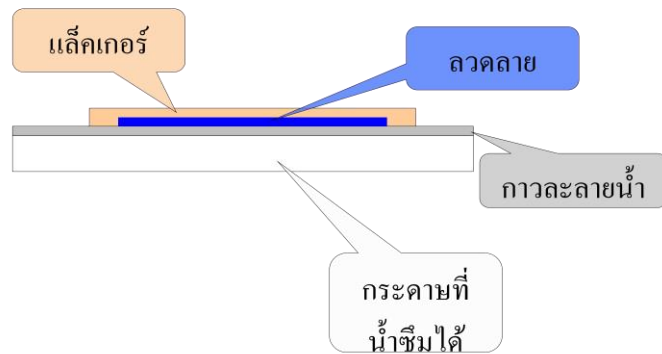
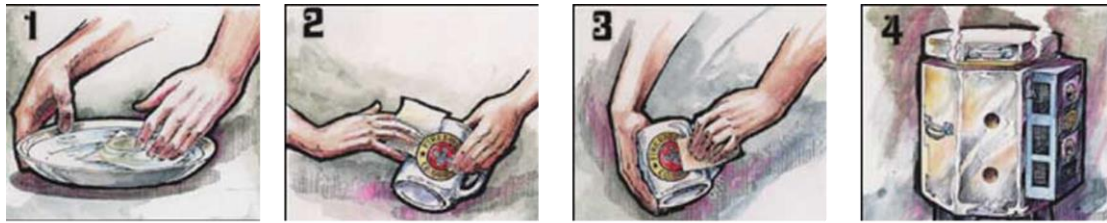
การหล่อแบบตัน Solid casting

ใช้ในการหล่อขึ้นรูปงานได้

รูปที่ 1.20 ตัวอย่างการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบน้ำดิน

1.5 การตกแต่งเซรามิก Ceramic Decorating

1. ตกแต่งลวดลายด้วยมือ Free hand - วาดรูป แต่งลาย เขียนสี เขียนตา ขอบทอง
2. ปั้นลวดลาย (ตราช่าง ชิลิโคน) Printing
3. ซิลค์สกรีน Silk screen
4. รูปลวดลายเซรามิกที่ต้องเผา Decal - ลอกออกด้วยน้ำ หรือ ลอกออกด้วยความร้อน
5. รูปลวดลาย ที่ไม่ต้องเผา (สียพอลิเมอร์)



รูปที่ 1.21 ขั้นตอนการติดรูปลวดลายเพื่อการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิก

บทที่ 2

การจำแนกประเภทวัตถุดิบเซรามิก

จากคำนิยามของวัสดุเซรามิกที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 ว่าเป็นวัสดุอนินทรีย์ โลหะ ดังนั้นวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นวัสดุเซรามิกจึงมีความหมายที่กว้างขวางเช่นเดียวกัน แต่สามารถจะแบ่งวัสดุเซรามิกได้เป็นสองกลุ่มด้วยกันคือ เซรามิกดั้งเดิม ซึ่งใช้วัตถุดิบที่มีมาจากธรรมชาติ เช่น ดิน หิน แร่ ต่างๆ และเซรามิกก้าวหน้า ซึ่งมักจะใช้วัตถุดิบที่ได้จากสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นมา¹

วัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิกดั้งเดิม สามารถแบ่งกลุ่มอย่างกว้างๆ ได้เป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียวจำพวกดินและวัตถุดิบประเภทที่ไม่มีมีความเหนียว (Non-plastic Materials) ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองกลุ่มดังกล่าวอาจจะจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีก สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ Whiteware จะแบ่งกลุ่มของวัตถุดิบที่ใช้ออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ได้แก่²

วัตถุดิบประเภทดิน (Clays): เป็นตัวให้ความเหนียวและช่วยให้สามารถขึ้นรูปเนื้อดินได้ง่าย และช่วยทำให้เนื้อดินมีความแข็งแรงเพียงพอหลังการเผาซึ่งทำให้สามารถหีบจับชิ้นงานในขั้นตอนการขึ้นรูปและการเผาได้

วัตถุดิบประเภทฟลักซ์ (Fluxes): เป็นแร่ที่ประกอบด้วยแอลคาไลน์หรือแอลคาไลน์เอิร์ทซึ่งจะหลอมตัวระหว่างเผาและทำปฏิกิริยากับสารประกอบตัวอื่นๆ เพื่อฟอร์มตัวเป็นแก้วซึ่งจะทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับชิ้นงานหลังเผา ดังนั้นสารประกอบฟลักซ์จะเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงานลง

วัตถุดิบประเภทตัวเติม (Fillers): โดยทั่วไปแล้วทรายแก้ว (Silica) ที่ใช้ในส่วนผสมของเนื้อดิน Whiteware จะทำหน้าที่หลักในการควบคุมค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเนื้อดินหลังการเผา

นอกจากวัตถุดิบใน 3 กลุ่มหลักข้างต้นแล้วปูนปลาสเตอร์ หรือ Plaster of Paris รวมทั้งเคลือบและสีต่างๆ ก็จัดว่าเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยเช่นกัน

2.1 การแบ่งกลุ่มโดยอาศัยองค์ประกอบของดิน

2.1.1 วัตถุดิบประเภทดิน (Clays)

โดยทั่วไปเชื่อว่า แร่ดินเกิดมาจากกระบวนการสลายตัวของหินอัคนี เช่น หินแกรนิต ซึ่งมีองค์ประกอบมาจาก Potash Mica ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) หินเขียวหนุมาน (Quartz: SiO_2) และ Potash Feldspar ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) ในอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน โดยสารประกอบที่มีความเสถียรน้อยที่สุดในที่นี้คือ Feldspar จึงเกิดการสลายตัวขึ้นหลังจากมีการทำปฏิกิริยากับอากาศและน้ำมาเป็นระยะเวลาไม่นาน

¹ W. David Kingery, Introduction to Ceramics, 2nd ed., 1991, John Wiley & Sons, Singapore.

² W. Ryan and C. Radford, Whitewares: Production, Testing and Quality Control, 1997, The Institute of Materials, London, pp.1-9.

ตกตะกอนแยกออกไป ทำให้ในสารแขวนลอยดังกล่าวจะเหลือเพียงอนุภาคของดินและสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กกว่าเท่านั้น

ในขั้นตอนต่อมาสิ่งเจือปนขนาด 150 ไมครอน จะถูกแยกออกจากน้ำดินโดยใช้ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclones) สารแขวนลอยจะเกิดการหมุนเหวี่ยงอยู่ในทำให้สิ่งเจือปนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าถูกแรงเหวี่ยงหมุนออกมาอยู่ที่บริเวณด้านข้างของไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) หลังจากนั้นจะตกลงสู่ด้านล่างและถูกกำจัดออกสู่ด้านนอกต่อไป ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าซึ่งจะอยู่ตรงกลางของแรงเหวี่ยงหมุนนั้นจะถูกส่งผ่านออกไปทางด้านบนรวมเป็นองค์ประกอบของดินต่อไป สำหรับการใช้งานในทางเซรามิกนั้น ถ้าทำการหมุนเหวี่ยงน้ำดินด้วยกระบวนการไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) ต่อไป สิ่งเจือปนที่มีอนุภาคขนาด 30 ไมครอนก็จะถูกแยกออกไป เหลือไว้เพียงส่วนของวัตถุดิบที่มีความละเอียดมากๆ ซึ่งมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนของดินรวมอยู่ประมาณ 95% หรือมากกว่า สำหรับในอุตสาหกรรมการทำกระดาชนั้น การใช้ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclones) เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนดังกล่าวออกไปจากดิน จะทำการกำจัดที่ขนาดอนุภาคละเอียดขึ้น คือที่ประมาณ 15 ไมครอน ทำให้ดินที่ได้มีความขาวมากและมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง ดินที่ได้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการกำจัดน้ำออกไปโดยการตกตะกอน การอัดกรอง (Filter Pressing) และผ่านการอบแห้งด้วยเตาชนิดพิเศษในขั้นตอนสุดท้าย

เนื่องจากมีปริมาณสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณที่น้อย ทำให้ดินขาว (China Clays) มีสมบัติหลังเผาที่ดี คือจะให้สีหลังเผาที่ขาวมากซึ่งจะตรงกันข้ามกับดินประเภททุติยภูมิ (Secondary Clays) ที่พบโดยส่วนใหญ่ เนื่องจากดินประเภทนี้สิ่งเจือปนที่มีอยู่ในปริมาณมากกว่าจะทำให้ดินมีสีที่ขาวนวลหลังเผา และดินจากบางแหล่งอาจจะให้สีหลังเผาเป็นสีงาช้าง (Ivory) สีฟางข้าว (Straw) สีน้ำตาล (Brown) หรือแม้กระทั่งสีแดง (Red)

น่าเสียดายที่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ดินขาว (China Clays) จะมีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างใหญ่ ทำให้ความเหนียว (Plasticity) และความแข็งแรงก่อนเผา (Unfired Strength) ของมันน้อยกว่าดินที่จัดอยู่ในประเภทดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) ดังนั้นในเนื้อดินประเภท Bone China ซึ่งจำเป็นจะต้องให้ได้สีของเนื้อดินหลังเผาที่มีความขาวมากๆ ผู้ผลิตจะสามารถใช้ดินประเภททุติยภูมิ (Secondary Clays) เป็นส่วนประกอบได้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หรืออาจจะไม่ได้เลย ซึ่งนั่นจะทำให้เนื้อดินที่ได้มีความเหนียว (Plasticity) และความแข็งแรงก่อนเผา (Unfired Strength) ที่ค่อนข้างต่ำมากๆ ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Analyses) การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyses) และค่าความแข็งแรงก่อนเผา (Unfired Strength) ของดินขาว (China Clays) ที่มีจำหน่ายจากแหล่งต่างๆ เทียบกับดินเหนียว (Ball Clays) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) และอย่างที่ทราบคืออยู่แล้วว่าในทางทฤษฎีนั้นดินเคโอลิไนต์ (Kaolinite) บริสุทธิ์จะมีองค์ประกอบทางเคมีตามสูตร $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ดังนี้คือ

Al_2O_3	39.56 %	SiO_2	46.54 %	H_2O	13.90 %
-----------	---------	---------	---------	--------	---------

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมี Chemical Analyses และสมบัติทางกายภาพของดินขาว China Clay และดินเหนียว (Ball Clay) บางตัว

Clay	Chemical Analysis(%)								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Loss
China Clay (Cornwall)	48	0.03	37	0.6	0.3	0.1	1.6	0.1	12.4
Black Ball Clay (Devon)	48	0.8	33	1.0	0.3	0.2	1.8	0.3	15.0
Blue Ball Clay (Dorset)	52	0.9	31	1.5	0.5	0.3	3.1	0.4	9.5
Siliceous Ball Clay	74	1.5	15	0.8	0.3	0.1	1.6	0.3	5.0

Clay	Particle Size Analysis (% Less than size in Micron)					Unfired Strength	
	10	5	2	1	0.5	Lb/in ²	(kg/cm ²)
China Clay (Cornwall)	82	-	50	-	20	250	(17.6)
Black Ball Clay (Devon)	-	-	82	74	60	750	(53)
Blue Ball Clay (Dorset)	-	96	-	79	62	1150	(81)
Siliceous Ball Clay	-	55	-	38	32	500	(35)

* W. Ryan and C. Radford, Whitewares: Production, Testing and Quality Control, P.1-9

** นางสาววัชรีย์ ประภาณี, วิศวกร กลุ่มการผลิตและออกแบบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
<http://www2.mtec.or.th/th/special/cdm/articles/articles1.html>

สำหรับสารประกอบ Fe₂O₃ และ TiO₂ ที่มีอยู่ในองค์ประกอบของดินนั้นเป็นตัวที่มีผลทำให้สีของเนื้อดินหลังเผาไม่ขาว โดยเนื้อดินที่จะให้สีหลังเผาเป็นสีขาวนั้นจะต้องมีสารประกอบออกไซด์ที่ให้สีเป็นส่วนประกอบอยู่ไม่เกิน 0.75%

ถึงแม้ว่าอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในดินขาว (China Clays) จะมีผลทำให้ความเหนียวและความแข็งแรงก่อนเผาของดินมีค่าต่ำ แต่ก็ส่งผลให้เนื้อดินมีการหดตัวหลังอบแห้งที่ต่ำด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า Linear Contraction จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3-5% ส่วนดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) ที่มีความละเอียดมากจะมีการหดตัวที่มากกว่าทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเนื้อดินขึ้นระหว่างการอบแห้ง เช่น ปัญหาการบิดเบี้ยว หรือการแตกร้าว ของชิ้นงาน เป็นต้น

2.1.1.3 ดินทุติยภูมิ (Secondary Clays)

ดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) ที่มีการนำมาใช้งานในการผลิตผลิตภัณฑ์ Whiteware นั้นครอบคลุมไปถึงดินเหนียว (Ball Clays) ต่างๆ และรวมไปถึงกลุ่มของดินทนไฟ (Fireclays) ด้วย

2.1.1.4 ดินเหนียว (Ball Clays)

ชื่อดิน Ball Clay มีที่มาจากคำว่า ‘Cubes’ หรือ ‘Balls’ ซึ่งมาจากลักษณะของดินที่ถูกตัดออกมาจากเหมือง ซึ่งในประเทศอังกฤษนี้จะพบที่เมือง Devon และเมือง Dorset โดยดินเหนียว หรือดิน Ball Clay จะมีสิ่งเจือปนรวมอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ถึงแม้ว่าแร่ดินที่พบจะเป็นแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) แต่องค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญก็จะคล้ายๆ กับที่พบในดินขาว (China Clays) นั่นคือ ผลึกดินจะมีความละเอียดมาก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อดินมีความเหนียวและความแข็งแรงก่อนเผาที่ค่อนข้างสูง และนี่ถือเป็นสมบัติที่ดีของดินเหนียวหรือ Ball Clays นั้นเอง เช่นเดียวกับกับดินทุติยภูมิ (Secondary Clays) อื่นๆ ดินเหนียวจะมีสิ่งเจือปนต่างๆ เจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงและมีขนาดที่ละเอียดมากๆ ดังนั้นจึงทำให้การกำจัดออกไปในขั้นตอนสุดท้ายทำได้ยาก โดยทั่วไปดินที่มาจากแหล่งที่แตกต่างกันอาจจะนำมาผสมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการของผู้ผลิตเนื้อดินประเภทต่างๆ ต้องการ ซึ่งปกติแล้วจะนิยมใช้ดิน 2 หรือ 3 ชนิดผสมเข้าด้วยกันเพื่อลดผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน การเปลี่ยนแปลงในสมบัติต่างๆ เหล่านี้จะเห็นในดินเหนียวได้อย่างชัดเจนมากกว่าดินขาว (China Clays)

ดินเหนียว (Ball Clays) มักจะถูกอธิบายลักษณะด้วยสีของดินที่ยังไม่ผ่านการเผา ดังนั้นในบางครั้งจึงอาจจะมีการเรียกชื่อเป็น “ดินดำ” หรือ “ดินสีน้ำเงิน” หรือ “ดินสีงาช้าง” เป็นต้น ซึ่งสีเหล่านี้ไม่สามารถใช้ในการบ่งชี้สีที่ได้สุดท้ายหลังการเผาของดินได้ เนื่องจากดินที่มีสีเข้มหรือสีดำนั้นเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในดินซึ่งจะถูกเผาออกไปเกือบหมดในกระบวนการเผา เหลือไว้เพียงเนื้อดินที่มีสีขาวนวล

ตามที่กล่าวไปแล้วว่าดินเหนียว (Ball Clays) จะมีสิ่งแปลกปลอมหลากหลายชนิดเจือปนอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก เช่น ดิน “Siliceous Clay” จะมี Free Silica ปนอยู่ในปริมาณมากซึ่งทำให้ปริมาณของ Silica โดยรวมที่เป็นองค์ประกอบของดินทั้งหมดมีมากกว่า 60% (บางครั้งอาจสูงถึง 80%) จะเห็นได้ชัดว่าดินที่มีปริมาณของแร่ดินต่ำกว่าจะให้ความเหนียว ค่าความแข็งแรงก่อนเผาและค่าการหดตัวจากการอบแห้งที่น้อยกว่าดินซึ่งมีปริมาณของแร่ดินที่สูงกว่า สำหรับดินเหนียวที่มีสารประกอบอินทรีย์เจือปนอยู่มาก (การวิเคราะห์ทางเคมี จะให้ค่า Loss-on-Ignition ที่สูง) โดยทั่วไปจะมีความเหนียว ความแข็งแรงก่อนเผา และการหดตัวจากการอบแห้งที่สูง นอกจากนี้สภาพของการกระจายตัว (Deflocculation) ก็แตกต่างจากดินที่ไม่มีสารประกอบอินทรีย์เจือปนอยู่ กล่าวคือในสภาวะความเป็นด่าง (Alkaline Condition) ดินชนิดนี้จะรวมตัวกับอนุภาคของสารประกอบอินทรีย์ ช่วยให้ดินมีสภาวะการกระจายตัวที่ดีขึ้น

ดินเหนียว (Ball Clays) โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะได้มาจากกระบวนการทำเหมืองแบบเปิดแต่บางครั้งก็พบว่าได้มาจากการทำเหมืองใต้ดิน ซึ่งแบบในกรณีแรกนั้นวัสดุที่ทับถมอยู่บนดินจะถูกกำจัดออกไปก่อนหลังจากนั้นจึงค่อยทำการขุดลอกชั้นดิน

ปัญหาหนึ่งที่ผู้ผลิตมักจะพบจากการนำดินเหนียว (Ball Clays) มาใช้งานก็คือ การที่อนุภาคของดิน โดยธรรมชาติจะมีความละเอียดค่อนข้างมาก จึงทำให้ยากต่อการนำดินมาตีให้แตกโดยใช้น้ำ กล่าวคือน้ำจะไม่สามารถแทรกซึมผ่านเข้าไประหว่างอนุภาคของดินที่จับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ได้ในทันที ดังนั้นจึงทำให้ผู้ผลิตจะต้องใช้เวลาในการตีดินให้แตกค่อนข้างนาน เพื่อให้แน่ใจว่าดินเหนียว (Ball Clay) มีการแตกตัวที่ดีพอก่อนที่จะนำไปผสมกับวัตถุดิบตัวอื่นๆ ต่อไป

ในปัจจุบันดินเหนียวที่ผ่านการย่อยให้เป็นก้อนขนาดเล็กมาแล้ว สามารถหาซื้อได้จากซัพพลายเออร์หลายราย โดยดินที่มีขนาดใหญ่จะถูกนำมาย่อยโดยใช้เครื่องบดย่อยให้มีขนาดเล็กลงเหลือเพียง 0.5-2 นิ้ว ซึ่งไม่เพียงจะช่วยให้การตีดินโดยใช้น้ำทำได้เร็วขึ้นเท่านั้นแต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบดผสมของดินเหนียวร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ ให้ดีขึ้นอีกด้วยเมื่อเร็วๆ นี้ ได้มีการผลิตดินเหนียว (Ball Clays) ในรูปของดินที่อ่อนออกมาขาย โดยดินเหนียวจะถูกนำไปรีดเป็นให้ท่อนก่อนแล้วตัดให้ได้ขนาดที่เล็กลง ดินเหนียวที่ซื้อมาเป็นพาเลทในลักษณะนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยทำให้การตีผสมดินในน้ำทำได้ง่ายขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้การขนย้ายดินทำได้ง่ายกว่าดินที่ซื้อมาเป็นก้อนอีกด้วย

ดินเหนียวที่ซื้อมาเป็นพาเลทดังกล่าวจะนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับกลุ่มผู้ผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ในประเทศอังกฤษ เนื่องจากมีข้อดีหลายข้อที่พอจะสรุปได้ดังนี้

1. ช่วยให้การตีผสมดินทำได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพดีขึ้น
2. ไม่มีปัญหาเรื่องของกากค้างตะแกรง
3. ปริมาณความชื้นต่ำและมีการควบคุมให้คงที่
4. ช่วยให้การหล่อทำได้เร็วขึ้น หากน้ำดินมีค่าการไหลตัวที่สูงขึ้น
5. เพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงาน (Green Strength)
6. สามารถเพิ่มความหนาแน่น (Density) ของน้ำดินได้สูงถึง 1.65 g/ml

นอกจากนี้ ดินเหนียว (Ball Clays) อาจจะถูกผลิตมาในรูปของน้ำโคลน น้ำดิน (Slip) หรือสารแขวนลอยก็ได้ ซึ่งถึงแม้ว่าจะทำให้ต้นทุนในการขนส่งเพิ่มขึ้นแต่ก็จะช่วยลดปัญหาให้กับผู้ผลิตในเรื่องของการตีผสมดินได้

2.1.1.5 ดินทนไฟ (Fireclays)

เช่นเดียวกับดินขาว (China Clay) และดินเหนียว (Ball Clay) ดินทนไฟ (Fire clay) จะเกิดมาจากการบวนการสลายตัวกลายเป็นดิน (Kaolinisation) ของเฟลด์สปาร์ โดยดินชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มของดินทุติยภูมิ (Secondary Clay) ซึ่งถูกพัฒนามาจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะทางที่ไกลมาก ดังนั้นจึงทำให้มีสมบัติบางประการที่คล้ายคลึงกับดินเหนียว (Ball Clay) กล่าวคือ มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากและมีปริมาณของสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็กๆ เจือปนอยู่ค่อนข้างสูง ดินทนไฟถูกพบอยู่ในชั้นของถ่านหินซึ่งมีอยู่แพร่หลายในแถบตอนกลางและทางตอนเหนือของประเทศไทยและในประเทศสกอตแลนด์ เดิมทีนั้นอาจจะเป็น

แหล่งกำเนิดของพืชผักต่างๆ ที่ต่อมามีการรวมตัวกันเกิดเป็นชั้นของถ่านหินขึ้นและมีการดึงเอาแอลคาไลน์จากดินออกมาทำให้ดินเหล่านั้นมีสมบัติเป็นดินทนไฟ

ดินทนไฟ (Fire clay) ที่นำมาใช้ในการผลิตเนื้อสุกภัณฑ์บางประเภท จะมีการใช้งานอย่างจำกัด แต่ด้วยข้อดีของตัวเองมันเองจึงนิยมนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทนไฟมากกว่า

2.1.1.6 ดินสโตนแวร์ (Stoneware Clays)

ดินเหล่านี้เป็นดินที่มีความเหนียวสูงมากและเป็นดินที่ให้สีน้ำตาลหลังเผาโดยจะมีสารประกอบฟลักซ์ที่มีในธรรมชาติเจือปนอยู่ และเนื่องจากมีสารประกอบฟลักซ์ในธรรมชาติเจือปนอยู่แล้วดินชนิดนี้จึงถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์สโตนแวร์โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารประกอบฟลักซ์ใดๆ ลงไปอีก นอกจากนี้หากต้องการผลิตเนื้อดินสโตนแวร์ที่มีลักษณะคล้ายๆ กันนี้ ก็สามารถทำได้โดยการเติมสารประกอบฟลักซ์ เช่น เฟลด์สปาร์ลงไปผสมกับดินเหนียว (Ball Clay) นั้นเอง

2.1.1.7 เบนโตไนต์ (Bentonite)

เบนโตไนต์ในรูปของดินจะมีแร่ Smectite (หรือ Montmorillonite) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยแร่ดินที่ได้จากดินชนิดนี้ไม่ใช่ดินเคโอลิไนต์แต่มีโครงสร้างที่สามารถดูดซับน้ำที่อยู่ระหว่างชั้นของโครงสร้างได้ดีเทียบเท่ากับผิวด้านนอก ซึ่งผลของการดูดซับน้ำระหว่างชั้นนี้จะทำให้ดินเกิดการบวมขึ้น ดังนั้นในบางครั้งจึงมีการเรียกดินชนิดนี้ว่าเป็นแร่ “Expanding Lattice”

ชื่อของ Montmorillonite นี้ดัดแปลงมาจาก Montmorillon เป็นภาษาฝรั่งเศสเป็นแร่ดินที่พบเป็นตัวแรก bentonite เป็นดินที่เปลี่ยนแปลงมาจากกลุ่ม Montmorillonite มันสามารถที่จะบวมได้ถ้าสัมผัสกับน้ำ ชื่อของ Bentonite มาจากชื่อสถานที่ Fort Benton (รัฐ Wyoming U.S.A.) ซึ่งเป็นแหล่งที่มีวัตถุชนิดนี้อยู่มาก ส่วน Smectite เป็นชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งของ Montmorillonite

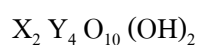
ถึงแม้ว่าเบนโตไนต์นี้จะมีความเหนียวและความแข็งแรงหลังอบแห้งที่สูงมากๆ แต่ก็ไม่นิยมนำมาใช้ในการผลิตเนื้อดิน Whiteware เนื่องจากมีค่าการหดตัวหลังอบแห้งที่สูงมากและจะส่งผลเสียต่อสมบัติการกระจายตัว (Deflocculation) ของน้ำดิน ส่วนดินเคโอลิไนต์บางตัวก็ไม่ใช่ที่ต้องการสำหรับผู้ผลิตเนื่องจากมีแร่ Smectite เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยนั่นเอง

อย่างไรก็ตามในการผลิตเนื้อดินที่ไม่ต้องการค่าความเหนียวและความแข็งแรงที่สูงมากนัก เช่น เนื้อดิน Bone China ก็มักจะมีการเติมเบนโตไนต์ปริมาณเล็กน้อย (ไม่เกิน 1%) ลงไปในส่วนผสมด้วยเป็นบางครั้ง เนื่องจากวัตถุที่มีความเหนียวถึงแม้ว่าจะเติมลงในส่วนผสมเพียงเล็กน้อยก็มีผลทำให้ความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) และความแข็งแรงของเนื้อดินเพิ่มขึ้น แต่ควรหลีกเลี่ยงการเติมในปริมาณมากๆ เนื่องจากจะส่งผลทำให้เกิดตำหนิหลังการอบแห้งอย่างแน่นอน

โครงสร้างของ Clay mineral

โครงสร้างของ Montmorillonite (trioctaheral) ประกอบด้วย 2 tetrahedral sheet กับ octahedral sheet อยู่ตรงกลาง T-O-T ซึ่งก็เป็นโครงสร้างพื้นฐาน ของ pyrophyllite ด้วย แร่ในกลุ่มของ montmorillonite บางตัวนั้น Silica ถูกแทนที่ด้วย Aluminium ใน tetrahedral และ Al ถูกแทนที่ด้วย Mg และ Fe^{2+} ใน octahedral ในกลุ่มนี้แรงยึดกันระหว่างผลึกแร่นั้นค่อนข้างอ่อน เป็นเพียงแรง Van der waals เท่านั้น มันจึงสามารถจับน้ำเข้าไปได้ง่าย ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Swells out” ซึ่งปริมาตรจะขยายจากเดิมถึง 6 เท่า

Chemical composition



X - trivalent aluminium cation และ Mg^{2+} ซึ่งสามารถแทนที่ได้ด้วย mono หรือ divalent cation ที่ octahedral sheet เพื่อปรับให้ ion ที่สูญเสียไปเข้าสู่สมดุลเดิม

Y - tetravalent silicon และ Al^{3+} ซึ่งสามารถแทนด้วย mono หรือ divalent cation เพื่อปรับให้ประจุสมดุล โดยทฤษฎีแล้ว composition มีดังนี้ SiO_2 66.7%, Al_2O_3 28.3%, H_2O 3%

การเกิดและลักษณะเฉพาะของแหล่งที่เกิด

ส่วนใหญ่ของ montmorillonite นั้นเปลี่ยนแปลงมาจาก volcanic rock หรือ Volcanoclastites (หรือ pyroclastic rock และ volcanic breccias) ดังนี้คือ Rhyolites, trachytes, dacites, andesites, basalt และ liporites

แหล่งที่พบมาก (Location of the main deposit)

- แหล่งสำคัญที่พบ แหล่ง deposit ในยุโรปได้แก่ อังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมนี อิตาลี เซก และสโลวัก รัสเซีย (คาซัคสถาน) กรีซ และยูโกสลาเวีย
- ใน U.S.A. มี Greaceous deposit ที่ Wyoming ซึ่งเป็น Bentonite ที่รู้จักกันดีส่วนแหล่งอื่นๆ ก็มีที่ Arizona, Oklahoma, Texas และ Nevada นอกจากนี้ก็มีที่คานาดา และ Mexico
- แหล่งอื่นๆ ที่สำคัญก็มีที่ แอฟริกาใต้ อินเดีย อาร์เจนตินา ญี่ปุ่น
- ผังของแหล่ง montmorillonite นั้น จะทำเป็นเหมืองเปิดเรียก openwork ซึ่งจะสามารถเคลื่อนย้าย วัตถุดิบได้สะดวก และใช้วิธีแบบเก่าดั้งเดิมได้ แต่ปัญหาที่พบก็มีนั่นคือ แหล่งของแร่ที่ผิวหน้าค่อนข้างมีสมบัติ plasticity สูง ซึ่งลำบากในการปฏิบัติงาน

Mineralogic analysis of montmorillonite

- การวิเคราะห์แร่จะใช้ X-ray diffraction ซึ่งก็มีปัญหาอยู่บ้างที่อนุภาคของแร่กลุ่มนี้ละเอียดมาก ทำให้การอ่านค่าผิดไปได้บ้าง สำหรับการวิเคราะห์ด้วย DTA นั้นจะแสดง curve ที่เป็น endothermic ที่ประมาณ $180^{\circ}C$ และในช่วงระหว่าง $450^{\circ}C$ และ $650^{\circ}C$ ที่ peak แรกนั้นจะเป็นการสลายตัวออก

ของน้ำที่ interlayer และที่ peak ที่สองเป็น dehydrate น้ำในโครงสร้างซึ่งค่า thermogravimetric analysis (TGA) ก็ให้ผลสอดคล้องกับค่า DTA

- ส่วนเรื่อง Dilatation นั้น เริ่มมีการหดตัวที่ 18°C จนถึง 573°C จะมีการขยายตัวใหม่ถ้าในวัสดุคืบ นั้นมี quartz อยู่จนถึง 900°C ก็เริ่มมีการหดตัวอีกครั้งซึ่งก็เป็นการ sintering นั้นเอง
- Technological specification of pressed montmorillonite materials โดยปกติแล้วแหล่งของ montmorillonite จะประกอบด้วยอนุภาคที่เป็น colloid มีสมบัติ high plasticity ผลึกภัณฑ์ที่มี ส่วนประกอบของแร่ตัวนี้อยู่จะมีลักษณะดังนี้
 - มี expansion หลังจาก press
 - high strength ของ green และ dry tile
 - มี dry shrinkage สูง
 - มี size ที่ค่อนข้าง vary ที่อุณหภูมิ 1020°C ซึ่งมีช่วงการหดตัวตั้งแต่ 5-8% ซึ่งสัมพันธ์กับค่า % porosity ที่มีค่าอยู่ที่ 11-16%

การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

การใช้งานของแร่กลุ่ม montmorillonite นั้นส่วนใหญ่จะใช้เป็นตัว plasticizer โดยการใช้งานนั้น ไม่ควรเติมเข้าไปมาก เนื่องจากแร่นี้มี particle size ที่ละเอียดมาก รวมทั้งโครงสร้างแบบ T-O-T จะทำให้เกิดการ swell out อย่างมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติการไหลตัวของ slip montmorillonite เมื่อเกิด hydration กับ น้ำแล้ว น้ำก็จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของ T-O-T layer ทำให้เกิดการบวมได้ ทำให้การไหลตัวของน้ำ กับเคลือบหนืดขึ้นมาก

ประโยชน์ของตัว plasticizer ก็คือจะช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงของผลึกภัณฑ์ดิบ (Green strength) และความแข็งแรงหลังอบ (Dry strength) ทำให้เราสามารถหยิบจับชิ้นงานเพื่อทำการตกแต่งผลึกภัณฑ์ก่อน การเผาเคลือบได้ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมกระเบื้อง single firing นี้มีการตกแต่งลวดลาย และมี application ของเคลือบหลากหลาย จึงจำเป็นต้องมีค่าความแข็งแรงก่อนเผาที่ดีที่สุดเพียงพอ

ดินในกลุ่มของแร่ monmorillonite ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางที่สุดคือตัว Bentonite Bentonite เป็นชื่อเรียกดินประเภทหนึ่งในกลุ่มของ monmorillonite ที่พบโดยทั่วไปจะเป็นชนิด dioctahedral โครงสร้างผลึกเป็นแบบสามชั้น T-O-T คือมีชั้น Alumina octahedral sheet แทรกอยู่ระหว่าง Silica tetrahedral 2 ชั้น โครงสร้างทั่วไปคล้ายกับ mica แต่แทนที่จะมี K⁺ ions แทรกอยู่ระหว่าง layer กลับมีน้ำ แทรกอยู่แทน แรงยึดระหว่าง sheet ของโครงสร้างแต่ละชั้นจะมีค่าน้อย ทำให้น้ำหรือของเหลวสามารถ แทรกเข้าไปอยู่ระหว่าง sheet ได้

การที่ particle bentonite มีขนาดเล็ก ทำให้มี surface area มาก ทำให้ Bentonite มีสมบัติพิเศษด้วย swelling, bending, bleaching (การฟอกสี, กำจัดสี), thixotropy และ viscosity

Bentonite นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่นการทำโคลนเจาะ, การทำแบบหล่อโลหะ การสร้างเขื่อนและกันซึมต่างๆ การขจัดสีในน้ำมัน เกษษภัณฑ์ อาหารสัตว์ เครื่องสำอาง การขจัดคราบไขมันสัตว์ การประสานแร่เหล็กให้เป็นก้อนก่อนถลุง การเกษตร

สำหรับในอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น Bentonite ใช้เป็นตัว plasticizer เพื่อเสริมความแข็งแรงของชิ้นงานก่อนเผา ช่วยเป็นตัว dispersion เพื่อไม่ให้สีเคลือบตกตะกอนได้ง่าย ช่วยปรับเรื่องการแห้งตัวของสีเคลือบซึ่งทำให้การเคลือบผลิตภัณฑ์เรียบขึ้น และไม่มีปัญหาหลังเผา ช่วยให้สีเคลือบยึดเกาะกับเนื้อดินได้ดี

สำหรับแหล่ง Bentonite ที่สำคัญในประเทศไทยนั้นมีอยู่ที่ ตำบลลำนารายณ์ อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี และที่ อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี

สำหรับแร่ montmorillonite อื่นๆ ที่ใช้ประโยชน์ในงานอื่นๆ นั้น ก็เป็นตัว clarify ในกระบวนการ clarification ของเครื่องดื่มที่มี alcohol เช่น ไวน์ เบียร์ เหล้า ซึ่งกระบวนการนี้จะเติมลงไป ในส่วนผสมของเครื่องดื่มเพื่อให้ไปจับตัว (coagulate) กับ impurities ต่างๆ แล้วแยกออกโดยใช้ filter press

สมบัติที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้งาน

- ส่วนประกอบทางเคมี (chemical analysis) ตรวจสอบว่าเป็น Na-Bentonite หรือ Ca-Bentonite และดู % impurities เช่น Fe_2O_3 ที่ปนมากับ Bentonite
- ขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของขนาด (particle size distribution) ซึ่งจะบอกถึงค่าพื้นที่ผิวของ bentonite เอง

2.1.1.8 ไพโรฟิลไลท์ (Pyrophyllite)

คำว่า pyrophyllite นั้นมาจากภาษากรีก 2 คำคือคำว่า piro (หมายถึง fire) และ phyllon (หมายถึง leaf) clay mineral ที่มีโครงสร้างแบบ mica-like ประกอบด้วย 2 hexagonal layer ของ SiO_2 tetrahedral กับ Al^{3+} octahedral มีโครงสร้างใกล้เคียงกับ talc

สูตรเคมี คือ $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ ส่วนประกอบทางทฤษฎีประกอบด้วย 56% SiO_2 33% Al_2O_3 11% H_2O ไม่มีการแทนที่ของพวก alkali หรือ alkali earth cation

แหล่ง pyrophyllite ที่สำคัญของโลกอยู่ที่ ญี่ปุ่น รัสเซีย (แถบเทือกเขาคอคาซัส) U.S.A บราซิล และแอฟริกาใต้ สำหรับแหล่งในเมืองไทยนั้นที่สำคัญคือจังหวัดสระบุรี

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DTA (Differential Thermal Analysis) จะพบ peak endothermic ในช่วง $600-800^{\circ}C$ เนื่องจากเกิด dehydroxylation หรือการสลายตัวของน้ำในโครงสร้างผลึก ซึ่งถ้าดูจากเครื่อง TGA ก็จะพบว่าที่อุณหภูมินี้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างเห็นได้ชัด pyrophyllite เป็นแร่ที่มีความทนไฟสูง ตกผลึกให้ mullite และ SiO_2 ที่อุณหภูมิ $1200^{\circ}C$ และมีจุดหลอมตัวที่ $1630^{\circ}C$

การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

- ใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก ทั้งในกระเบื้องปูพื้นและบุผนัง สำหรับทำเนื้อ body เนื่องจากเป็นแหล่งที่ให้ SiO_2 และ Al_2O_3 ที่มีราคาถูกกว่า kaolin หรือ ball clay

- สำหรับอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ ใช้สำหรับเป็นแหล่งให้ SiO₂ สำหรับ Silica brick และพวก crucible ต่างๆ ที่ใช้หลอมแก้ว หลอมโลหะ

การใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ

- ในอุตสาหกรรมยาง และพลาสติก ใช้เป็นตัว filler คล้ายกับ kaolin
- ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยาฆ่าแมลง

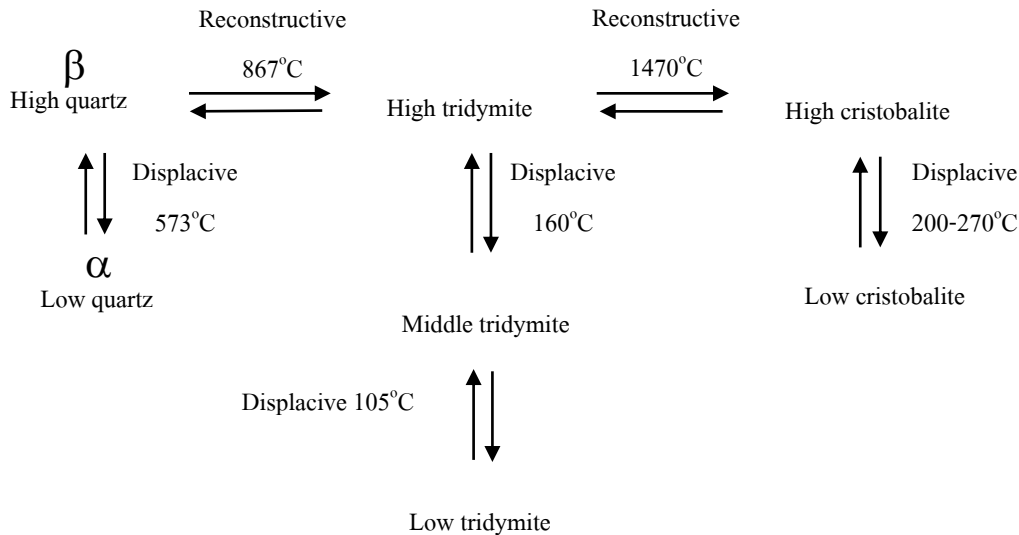
2.1.2 วัสดุประเภทที่ไม่ใช่ดิน (Non-Clays materials)

วัสดุในกลุ่มนี้จะไม่มีแร่ดินเป็นส่วนผสม ได้แก่ทรายและหินชนิดต่างๆ

2.1.2.1 ซิลิกา (Silica)

คำว่า silica มาจากภาษาละติน“Silex” ที่แปลว่า หินแข็ง (hard stone) Si เป็นธาตุที่มีค่า clerke number เป็นอันดับ 2 รองจาก oxygen (ค่าที่บอกถึงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่มีอยู่ในเปลือกโลก)

โครงสร้างของ SiO₂ ประกอบด้วย 1 tetrahedron กับ Si atom ที่อยู่ตรงกลาง SiO₂ มีรูปผลึกอยู่ 3 form คือ quartz tridymite และ cristobalite รวมทั้ง amorphous form ซึ่งในแต่ละ form นั้นจะเสถียรอยู่ในช่วงของอุณหภูมิหนึ่งๆ



รูปที่ 2.1 Polymorphic transformations in silica

การเกิด SiO₂ ในแหล่ง primary กับ Secondary มีความแตกต่างกันมาก สำหรับแหล่ง primary นั้นจะเกิดจากแนวแร่ pegmatite หรือ หิน shales หรือแนวรัศมีของ magma แหล่งที่มีความบริสุทธิ์นั้นแร่จะมีสีขาวและโปร่งแสง (translucent) ในขณะที่ถ้ามี impurities ปนเปื้อนเข้ามา จะทำให้ quartz มีสีชมพูถึงเทา

หรือสี่เหลี่ยมจนถึงน้ำตาล ซึ่ง SiO_2 จากแหล่ง primary นี้ได้แก่ Quartzite (หินเขียวหนุมาน), flint (หินเหล็กไฟ), ganister

สำหรับ secondary deposit จะเป็น sand หรือ sandstone ในกรณีของ sand นั้นใช้สำหรับว่าเป็น clastic sediment ที่มีช่วงขนาดของอนุภาคจาก 2-0.25 mm. มีสมบัติเป็น non-cemented ในขณะที่พวก sand stone นั้นเป็นหินที่มีขนาดของอนุภาคใกล้เคียงกับ sand แต่มีสมบัติ high-cementation การตกตะกอน (sedimentation) นั้น จะเกิดขึ้นได้ทั้งในแม่น้ำ ลำธาร ทะเลสาบ ทะเล สำหรับในแม่น้ำนั้น ความเร็วของกระแสน้ำจะช่วยพัดพาอนุภาคของ sand ไปได้ไกลๆ รวมทั้งจะทำให้การกัดกร่อน (erosion) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในระหว่างการเกิด sedimentation, transportation และ compactation นั้น sand deposit จะเกิดการผุพัง (weathering) เนื่องจาก chemical-physical etching ซึ่งจะทำให้ขนาดและรูปร่างของอนุภาคเปลี่ยนไป โดยปกติแล้วใน secondary deposit จะมี impurities ปนมากกว่าแหล่ง primary เช่นพวก mica, feldspar, Fe_2O_3 และพวก organic matter ต่างๆ

อีกแหล่งหนึ่งที่เป็น SiO_2 deposit ก็คือ diatomite ซึ่ง diatomite นี้เกิดขึ้นจากพวก diatom ซึ่งเป็นสัตว์เซลล์เดียวที่อาศัยอยู่มากมายในทะเล และเกิดการสะสมกันขึ้นเป็นชั้นหิน มีความพรุนตัวสูงเปราะและแตกได้ง่าย นอกจากนี้ในเกลบก็เป็นแหล่งที่ให้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) สูงมาก ซิลิกาที่อยู่ในเกลบนี้มาจากการที่ต้นข้าวได้ทำการดูดเอาสารอาหารจากผืนดินขึ้นมา รวมทั้งสารละลายซิลิกาที่อยู่ในน้ำที่ต้นข้าวดูดขึ้นไป ซิลิกาจะไปสะสมอยู่ที่บริเวณเปลือกของเมล็ดข้าวซึ่งสุดท้ายจะกลายเป็นเปลือกที่แข็งนั่นก็คือเกลบนั่นเอง ซึ่งซิลิกาทั้งสองแหล่งนี้จะเป็นอสัณฐานซิลิกา (Amorphous silica)

Typical reaction for the identification of the mineral

เมื่อวิเคราะห์ DTA จะพบว่าเมื่อ heat ไปจนถึงอุณหภูมิ 573°C ค่า COE จะเริ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจาก α -quartz เปลี่ยนเป็น β -quartz มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างมาก ที่ 220°C ก็จะเกิดปรากฏการณ์เช่นนี้เช่นกัน ถ้ามี cristobalite อยู่โดยจะเปลี่ยนโครงสร้างจาก α เป็น β ในระหว่างการ cooling ก็จะต้องผ่านช่วงที่ β -quartz เปลี่ยนกลับไปเป็น α -quartz ซึ่งก็จะเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวได้

ส่วนการวิเคราะห์โดย TGA นั้น กราฟจะเป็นเส้นตรง เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแต่อย่างใด

การแต่งแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

การทำให้ Sand มีความบริสุทธิ์และคัดแยกขนาดของอนุภาคนั้น จะมีกระบวนการที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของแหล่ง และความต้องการของการใช้งาน

เริ่มต้นจากการล้างทำความสะอาดเพื่อแยกส่วนที่เราไม่ต้องการเช่นสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน แยกเหล็กออกจากอนุภาค ทำการบดและเข้าสู่กระบวนการลอยแร่ (Flotation)

ในกรณีของ Quartzite (primary deposit) การดำเนินการจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง เริ่มจากการบดย่อยหิน Quartz เข้าสู่เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาค ผ่านการดูดจับเหล็ก โดยใช้ Magnetic separator

การที่จะบด Quartzite หรือ Flint บางครั้งเราจำเป็นต้องให้ความร้อนกับแร่ขึ้นไปให้ผ่านจุด Transformation ของผลึกแล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จะเกิด internal stress ขึ้นภายในเนื้อแร่ทำให้สามารถบดได้ง่าย

สมบัติของ SiO₂

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	2.65
จุดหลอมตัว (Melting point)	1728°C
ความแข็ง (Hardness in Moh's scale)	7
สัมประสิทธิ์การขยายตัว (C.O.E)	~ 7-8x10 ⁻⁶ °C ⁻¹
ดัชนีหักเหแสง (Refractive index)	1.54

การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

ใช้เป็นตัวเติมเข้าไปในเนื้อดินของเซรามิกที่เป็น conventional ทั้ง table ware, sanitary ware, floor tile, granite tile เพื่อเป็นตัวส่งเสริมที่ทำให้เกิดเนื้อแก้ว (glassy phase) ขึ้นในเนื้อดิน ทำให้ความแข็งแรงสูงขึ้น, %การดูดซึมน้ำต่ำ สำหรับการใช้ในเนื้อดินนั้นเราอาจจะใช้ทรายที่มีขนาดหยาบได้

ใช้เติมเข้าไปในสีเคลือบของผลิตภัณฑ์ที่เป็น conventional เพื่อ

- ปรับปรุงค่าความทนทานต่อสารเคมี (chemical resistance)
- ทำให้เกิด glassy phase ขึ้นในเนื้อเคลือบ
- ช่วยปรับปรุงความหนืดของเคลือบขณะหลอมตัว

สำหรับการใช้งานในเคลือบนั้น เราต้องการขนาดอนุภาคที่ละเอียด จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกขนาดของทรายที่จะนำมาใช้งาน บางครั้งเราจำเป็นต้องบดทรายก่อน โดยมีทั้งกระบวนการบดแห้ง และคัดขนาดโดยใช้ cyclone กับการบดเปียกและควบคุม %Residue หรือเลือกใช้ SiO₂ ที่ได้จากการลอยแร่ feldspar และในการทำfit สำหรับเคลือบเซรามิก SiO₂ ก็เป็นวัตถุดิบหลักที่จำเป็นต้องใช้งาน

ในอุตสาหกรรมแก้ว SiO₂ จะเป็นองค์ประกอบหลักสำหรับการทำแก้ว ส่วนใหญ่จะได้ SiO₂ มาจากทรายที่บริสุทธิ์ มีปริมาณของเหล็กต่ำ เมื่อนำมาหลอมละลายจะได้แก้วใส impurities ต่างๆ ที่อยู่ในทรายจะทำให้แวเกิดสีต่างๆ ขึ้นได้เช่นสีเขียวอ่อน สีน้ำตาล ความละเอียดของทรายที่ใช้หลอมแก้วนั้นต้องมีการควบคุมขนาดอย่างดีไม่ให้มีขนาดหยาบเกินไปหรือละเอียดเกินไป การที่มีขนาดหยาบเกินไปทำให้การหลอมใช้เวลานานขึ้นหรืออาจมีอนุภาคที่เป็น inclusion อยู่ภายในเนื้อแก้ว ส่วนขนาดที่ละเอียดเกินไปจะทำให้เกิดการฟุ้งขึ้นในขณะป้อนเข้าสู่เตาหลอม และอาจเกิดการจับตัวกันขึ้นอีกครั้ง (Agglomerate) ทำให้มีปัญหาในการหลอม

อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ Quartzite เป็นวัสดุดิบที่ทำให้ SiO_2 สำหรับการผลิตวัสดุทนไฟประเภท acid เช่นพวก silica brick ที่ใช้สำหรับหลอมแก้ว เตาถลุงโลหะ และใช้ Diatomite สำหรับการผลิต Insulation brick

สำหรับเส้นใยแก้วเซรามิก (glass fiber) ที่เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และเป็น Insulator ชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับเตาเผาที่ได้มาจากการหลอม SiO_2 กับ flux ตัวอื่นๆ แล้วผ่านเครื่องปั่นความเร็วสูงที่จะผลิตเส้นใยของแก้วออกมา

- ใช้เป็น Substrate สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (เป็น fused silica ซึ่งมีค่า C.O.E ต่ำมาก)
- ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับสังเคราะห์สารต่างๆ อีกมากมาย เช่น
 - SiC และ Si_3N_4
 - Stain colour หลายสีเช่น สีฟ้า (Zr-Si-V) สีเหลือง (Zr-Pr-Si) สีชมพู (Zr-Si-Fe) สีนํ้าเงิน (Co-Al-Si)
 - Synthesis wollastonite, mullite, cordierite
 - ใช้ทำ Fiber optic สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคม

สมบัติที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้งาน

- ปริมาณ SiO_2 ต้องมีค่าสูง และมี impurities น้อยมาก(ขึ้นอยู่กับการยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์)
- ขนาดของอนุภาค และการกระจายตัวของอนุภาค
- สีหลังเผา
- ค่าความทนไฟ (Refractory) สำหรับงานด้านวัสดุทนไฟ

2.1.2.2 เฟลด์สปาร์ (Feldspar) หรือหินฟันม้า

เฟลด์สปาร์ ที่เกิดขึ้นมีหลายชนิดด้วยกัน อาทิเช่น โปแตสเฟลด์สปาร์หรือออโตเคลส ($\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$) โซดาเฟลด์สปาร์หรือแอลไบต์ ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$) ไลม์เฟลด์สปาร์หรืออะนอร์ไรต์ ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) แบเรียมเฟลด์สปาร์หรือเซลเซียน ($\text{BaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) เป็นต้น ซึ่งเฟลด์สปาร์เหล่านี้ไม่ได้ถูกพบในรูปของเฟลด์สปาร์บริสุทธิ์ ยกตัวอย่างเช่น ในโปแตสเฟลด์สปาร์จะมีโซดาเฟลด์สปาร์ปนอยู่ด้วยเสมอ นอกจากนี้ยังอาจจะมีปริมาณของควอทซ์ (Quartz) ปนอยู่ด้วยมากถึง 15% ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในสูตรดิน

โดยทั่วไปแล้ว ในสูตรดินที่ใช้โซดาเฟลด์สปาร์เป็นส่วนประกอบจะมีอุณหภูมิการหลอมตัวต่ำกว่าสูตรดินที่ใช้โปแตสเฟลด์สปาร์และมีแนวโน้มที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการบิดเบี้ยวระหว่างเผาได้ง่ายกว่าเนื่องจากแก้วที่เกิดมาจากโซดาเฟลด์สปาร์มักจะมีค่าความหดต่ำกว่าแก้วที่เกิดจากโปแตสเฟลด์สปาร์

เฟลด์สปาร์ไม่เพียงถูกนำมาใช้เป็นสารประกอบฟลักซ์ในเนื้อดินเซรามิกเท่านั้น แต่ยังมีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสูตรเคลือบทั่วไป สูตรแก้ว และสูตรเคลือบ Enamel (เคลือบที่ใช้กับโลหะ) อีกด้วย โดยแหล่งของเฟลด์สปาร์ราคาถูกได้แก่ ฟินอร์เวย์ สวีเดน ฟินแลนด์ รัสเซีย อเมริกาและแคนาดา

Feldspar มาจากภาษาเยอรมัน "Feldspat"

Feldspar เกิดขึ้นมาจาก magma ที่อยู่ภายใต้โลก ถูกดันขึ้นมาด้วยความดันสูง มาเกิดเป็นหิน igneous และสลายตัวต่อมาเป็น feldspathic rock ซึ่งมักจะมี Quartz และ muscovite ปนอยู่ด้วย

นอกจากนี้ feldspar ยังเกิดเป็น sedimentary deposit ได้เหมือนกับพวก Silica และ Kaolin

โครงสร้างผลึกและส่วนประกอบทางเคมี

โครงสร้างพื้นฐานของ feldspar จะเป็น ring structure ของ tetrahedral sheet 4 กลุ่ม ในกรณีของ potassium feldspar และ sodium feldspar จะเป็น silica tetrahedral 3 กลุ่ม และ Aluminium tetrahedral 1 กลุ่ม ในขณะที่ Calcium feldspar โครงสร้างจะเป็น 2 silicon tetrahedral และ 2 aluminium tetrahedral sheet

2.1.2.2.1 Potassium feldspar ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$)

จะมีโครงสร้างผลึก คือ monoclinic และ triclinic เรียกชื่อ K-feldspar ที่มีโครงสร้างแบบ monoclinic ว่า orthoclase และเรียก โครงสร้างแบบ triclinic ว่า microcline ซึ่งโดยปกติแล้วเราจะพบ K-feldspar ที่เป็น orthoclase มากกว่า

2.1.2.2.2 Sodium feldspar ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)

โครงสร้างผลึกเป็น triclinic เรียกชื่อแร่ของ Na-feldspar ว่า Albite

2.1.2.2.3 Calcium feldspar ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)

โครงสร้างผลึกเป็น triclinic เรียกชื่อแร่ของ Ca-feldspar ว่า anorthite

โดยปกติในธรรมชาตินั้น มักจะเกิด solid solution ของ feldspar ทั้ง 3 ชนิด เสมอๆ โดยเฉพาะ Albite และ anorthite เนื่องจากขนาดของ Na^+ และ Ca^{2+} มีขนาดใกล้เคียงกัน เราเรียกแร่ที่เป็นส่วนผสมของ feldspar ทั้ง 2 ชนิดนี้ว่า Plagioclase นอกจากนี้ยังมีชื่อเฉพาะของแร่ที่ผสม feldspar 2 ชนิดนี้ โดยเรียกชื่อตามสัดส่วนของ Albite/Anorthite

ตารางที่ 2.2 ชื่อแร่ที่มีส่วนประกอบของแร่ Albite/Anorthite ในอัตราส่วนต่างๆ กัน

ชื่อ	Albite/anorthite ratio
Oligoclase	7 / 1
Andesite	2 / 1
Labradorite	1 / 2
Bytownite	1 / 7

สำหรับ orthoclase ก็สามารถละลายปนกับ albite ได้ในธรรมชาติ feldspar ที่เรารู้จักกันดีและนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิกอย่างมาก ที่เป็น solid solution ของ Albite และ Orthoclase คือ nepheline

syenite ซึ่งสูตรเคมีของ nepheline syenite คือ $2(K,Na)_2O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ โดยปกติตามธรรมชาติจะมี % Na มากกว่า % K ซึ่งอัตราส่วนของ Na:K จะมากกว่า 3:1

นอกจากนี้ยังมี feldspar ของ Lithium ที่นำมาใช้งานในทางอุตสาหกรรมเซรามิก มี Petalite ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2$) Spodumen ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$)

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีตามทฤษฎีของ feldspar

Feldspars	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Na-feldspar	68.7	19.5	11.8	-
K-feldspar	64.8	18.3	-	16.9
Nepheline syenite	41.5	35.2	17.5	5.8

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของสารประกอบฟลักซ์บางตัว

Oxide	Feldspars	Cornish Stone	Nepheline Syenite "Lakefield" (Typical)	Nepheline Syenite "North Cape" (Typical)
SiO ₂	67.0 – 70.0	72.00 – 73.50	60.80	56.10
TiO ₂	0.02 – 0.07	0.05 – 0.15	-	0.10
Al ₂ O ₃	16.50 – 18.50	14.50 – 16.50	23.30	24.7
Fe ₂ O ₃	0.10 – 0.30	0.10 – 0.30	0.07	0.08
MgO	0.03 – 0.15	0.05 – 0.20	0.10	-
CaO	0.30 – 0.50	1.50 – 1.90	0.60	0.75
K ₂ O	9.00 – 11.00	4.00 – 4.50	4.50	9.20
Na ₂ O	2.50 – 3.30	3.00 – 4.00	10.00	8.10
Loss	0.40 – 0.70	1.00 – 2.00	0.60	0.75

2.1.2.2.4 เนฟลิไนต์ (Nepheline Syenite)

หินชนิดนี้จะมี เนฟลิไนต์ เฟลด์สปาร์ ไมก้า และส่วนประกอบรองอื่นๆ ปนอยู่ด้วย โดยจะมีปริมาณของแอลคาไลน์อยู่ในสัดส่วนที่สูง (ดูในตารางที่ 3) และให้สมบัติความเป็นฟลักซ์ที่แรงมากๆ เนฟลิไนต์ได้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของสูตรดิน สูตรเคลือบรวมทั้งเคลือบสำหรับ โลหะ (Porcelain Enamel) มากขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา โดยมีการกล่าวอ้างเอาไว้ว่าการแทนที่เฟลด์สปาร์ด้วยเนฟลิไนต์ไม่เพียงแต่จะทำให้อุณหภูมิการเผาผลาญซึ่งเป็นการช่วยประหยัดเชื้อเพลิงเท่านั้นแต่ยังช่วยเพิ่มช่วงการเผาของเนื้อดินให้กว้างมากขึ้นอีกด้วย

เนฟิเลียนไซยาไนต์ พบในแหล่งสำคัญอยู่ 2 แหล่งคือที่ประเทศแคนาดา (the “Lakefield” variety) และนอร์เวย์ (“North Cape” variety) จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่มาจากแหล่ง North Cape มีสารประกอบแอลคาไลน์โดยรวมปนอยู่ในปริมาณที่มากกว่าแหล่ง Lakefield มาก อีกทั้งยังมีสัดส่วนของ K_2O/Na_2O ที่สูงกว่าอีกด้วย

แหล่งที่พบในโลกและในประเทศไทย

Feldspar เป็นแร่ที่พบได้ทั่วไปในทั้งโลก แหล่งที่มีคุณภาพดีและมีความบริสุทธิ์สูง จะอยู่ที่ประเทศแถบสแกนดิเนเวีย, ยูเครน, อิตาลี, ฝรั่งเศส, อเมริกา, อินเดีย ฯลฯ

ส่วนแหล่งที่สำคัญของ nepheline syenite จะอยู่ที่ แถบไซบีเรีย แคนาดา ฟินแลนด์ บราซิล และอเมริกา ส่วนในประเทศไทยนั้น แหล่งที่พบ K-feldspar ที่สำคัญอยู่ที่ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ แหล่งที่พบ Na-feldspar จะมีที่ จ.ตาก, จ.กาญจนบุรี, จ.ราชบุรี, จ.นครศรีธรรมราช ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว แหล่งแร่ feldspar ในเมืองไทย จะมี Na-feldspar ผสมอยู่กับ K-feldspar เสมอ เพียงแต่อัตราส่วนใดจะมากกว่ากัน การเลือกใช้แหล่งก็จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน

การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

K-feldspar มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า Na-feldspar แต่จะมีช่วงกว้างของการหลอมตัว (firing range) ที่กว้างกว่า Na-feldspar ดังนั้น K-feldspar จะใช้เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัว (flux) ที่อุณหภูมิสูง มักใช้สำหรับเป็น flux ของเนื้อดิน (Body) ในผลิตภัณฑ์ porcelain, insulator, กระจกเบืองแกรนิต, สุขภัณฑ์ ฯลฯ เนื่องจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ต้องใช้การเผาที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้อาจเกิดปัญหาการหดตัวสูง ทำให้ขนาดเปลี่ยนแปลงมากเกินไป หรือมีการบิดเบี้ยวของรูปหรือขณะเผา การใช้ K-feldspar จะช่วยแก้ไขปัญหาลงเหล่านี้ได้ K-feldspar มีการใช้งานในเคลือบบ้าง แต่ไม่ค่อยแพร่หลายนัก เนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น แต่ข้อดีก็คือ จะทำให้เคลือบทนรอยขีดข่วน (abrasion) ได้ดีขึ้น และสีของเคลือบก็จะสดใสและใสกว่า เพราะแหล่งที่มี K-feldspar นั้น จะพบ impurities พวก Fe_2O_3 , TiO_2 น้อยกว่า

Na-feldspar เป็น flux ที่อุณหภูมิต่ำกว่า K-feldspar แต่ก็มีช่วงการใช้งานที่แคบกว่าด้วยมักใช้สำหรับเป็น flux ในสีเคลือบของผลิตภัณฑ์ stone ware, กระจกเบืองปูพื้น, porcelain, สุขภัณฑ์ เนื่องจากจะช่วยทำให้สีเคลือบสุกตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับการใช้งาน feldspar ในสีเคลือบนั้นมักจะใช้แร่ลอยหรือแร่ที่บดแห้งจนมีความละเอียดต่ำกว่า 200 mesh จะทำให้มีประสิทธิภาพในการบดน้ำเคลือบดีขึ้น

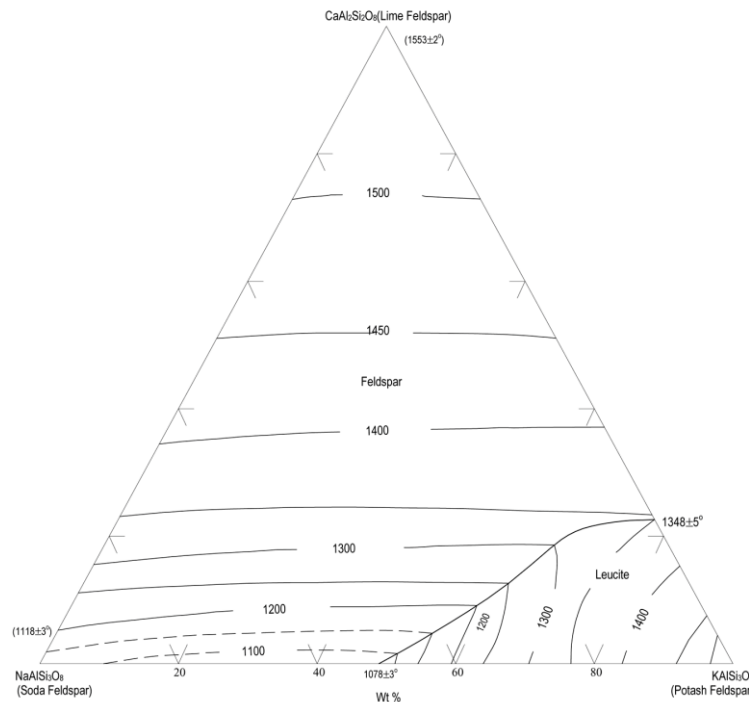
นอกจากนี้ยังมีการใช้ Na-feldspar ในเนื้อดิน (body) ด้วยเช่นกัน ในผลิตภัณฑ์ที่เผาไม่สูงจนเกินไปนัก (ไม่เกิน $1200^{\circ}C$) เช่น พวก stoneware, earthenware, กระจกเบืองปูพื้น โดยเฉพาะการเผาแบบ fast firing

ในทางปฏิบัติจริงแล้ว feldspar ที่เรานำมาใช้งานนั้นมักเป็นแร่กระเทย ซึ่งมีส่วนผสมทั้ง K_2O และ Na_2O อยู่ในสายแร่ ทำให้เราสามารถเลือกใช้ข้อดีของทั้ง K-feldspar และ Na-feldspar ได้

ในอุตสาหกรรมแก้ว, กระจก, frit ก็มีการใช้ทั้ง K-feldspar และ Na-feldspar แต่ต้องมีการควบคุม % alkali อย่างเหมาะสม มี % impurities ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ มี particle size distribution ที่เหมาะสม ซึ่ง feldspar ก็จะ flux ร่วมกับ flux ตัวอื่นๆ ที่เติมลงไปเช่น Borax, Soda ash

Nepheline syenite จะใช้สำหรับผลิตสีเคลือบ เนื่องจากเป็น flux ที่รุนแรงกว่า Na-feldspar (มี % alkali สูงและ % SiO₂ ต่ำกว่า feldspar) มักใช้ในรูปของ powder มีราคาแพง เพราะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่มีความบริสุทธิ์สูงและช่วยลดอุณหภูมิในการเผาได้

Petalite ใช้เติมในสีเคลือบ เพื่อช่วยปรับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of thermal expansion) ให้สัมพันธ์กันระหว่างเคลือบและ body โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กระเบื้องที่ต้องการค่า planarity ที่ดี และป้องกันปัญหา delay crazing นอกจากนี้ Petalite ยังใช้เป็น flux ที่รุนแรงด้วย



Volume: 01 Fig: 00971

รูปที่ 2.2 Phase diagram สำหรับหินพื้นม้าชนิดโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม

การควบคุมคุณภาพ

- Chemical analysis ต้องตรวจสอบ % alkali ที่มีอยู่ในแร่ว่ามี % Na₂O, K₂O หรือ CaO เท่าใดรวมทั้ง % SiO₂ ด้วย ถ้ามี % alkali สูง แร่นั้นก็จะมีแนวโน้มที่จะหลอมตัวได้ดีกว่า จึงสามารถใช้ได้ในปริมาณน้อยลง หรือลดอุณหภูมิในการเผาได้

- Impurities เช่น Fe₂O₃, TiO₂, CaCO₃, Mica, Quartz สำหรับ Fe₂O₃ และ TiO₂ จะส่งผลต่อสีหลังเผาของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ CaCO₃ จะส่งผลทำให้อาจเกิด gas ขึ้นได้ในขณะหลอม Mica จะทำให้เกิดจุดสนิมและตำหนิภายหลังจากเผาผลิตภัณฑ์แล้ว

- การหลอมตัว (fusion) จะใช้การอัดเป็น โคน แล้วนำไปเผาแล้ววัดความสูงของโคนก่อนและหลังเผา เพื่อมาหา % fusion ของ feldspar ถ้า feldspar มี % fusion สูง ก็จะเป็น flux ได้ดีกว่าตัวที่มี % fusion ต่ำ

- สีหลังเผา จะใช้ดูในกรณีที่เราใช้งาน feldspar ขึ้นกับสีเคลือบ หรือกรณีใช้กับเนื้อดิน ที่ต้องการความขาวมากกว่าปกติ

- ปริมาณกากที่ค้างตะแกรง (% Residue) ใช้ตรวจสอบ feldspar ที่เป็น แร่ลอยหรือแร่ที่บดแห้ง เพื่อดูความละเอียดของร่อนนั้นๆ ที่จะนำมาใช้งาน ถ้ากากที่ปริมาณเยอะกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แสดงว่า ความละเอียดในการบดนั้น ยังไม่ได้มาตรฐาน

2.1.2.3 เฟลด์สปาร์เทียม (Feldsparthoid) หรือหินฟันม้าเทียม

เป็นแร่ที่มีองค์ประกอบคล้ายกับหินฟันม้า แต่จะมีปริมาณซิลิกาในสูตรเคมีที่น้อยกว่า และมีการนำมาใช้งานได้คล้ายกับหินฟันม้า ได้แก่แร่ในกลุ่มต่อไปนี้

- Leucite มีสูตรเคมีคือ $KAl(Si_2O_6)$ หรือ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$
- Nepheline มีสูตรเคมีคือ $Na_{0.75}K_{0.25}Al(SiO_4)$
- Analcime มีสูตรเคมีคือ $NaAl(Si_2O_6) \cdot (H_2O)$
- Cancrinite มีสูตรเคมีคือ $Na_6Ca_2Al_6Si_6O_{24}(CO_3)_2$
- Hauyne มีสูตรเคมีคือ $Na_4Ca_2Al_6Si_6O_{22}S_2(SO_4)Cl_{0.5}$
- Lazurite มีสูตรเคมีคือ $Na_3CaAl_3Si_3O_{12}S$
- Nosean มีสูตรเคมีคือ $Na_8Al_6Si_6O_{24}(SO_4) \cdot (H_2O)$
- Sodalite มีสูตรเคมีคือ $Na_8Al_6Si_6O_{24}Cl_2$

2.1.2.4 หินคอร์นิช (Cornish Stone)

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ชัดว่าหินคอร์นิชไม่ใช่วัสดุดิบที่ให้สมบัติความเป็นฟลักซ์ที่ชัดเจนอย่างเฟลด์สปาร์หรือ เนฟิลินไซยาไนต์ เนื่องจากมีสารประกอบแอลคาไลน์รวมทั้งหมดอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก อย่างไรก็ตามยังมีบางประเทศที่นำเอาหินคอร์นิชมาใช้เป็นฟลักซ์กันอย่างแพร่หลาย แต่เมื่อไม่นานมานี้การใช้หินจากแหล่งธรรมชาติได้ลดปริมาณลงและมีการนำเข้าเฟลด์สปาร์และ เนฟิลินไซยาไนต์ มาใช้แทน

หินคอร์นิชความจริงแล้วก็คือเฟลด์สปาร์ที่มีเคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยบางส่วน บางครั้งจึงถูกมองว่าเป็นส่วนผสมของดินขาวและเฟลด์สปาร์มากกว่า สำหรับการแบ่งเกรดของหินคอร์นิชจะแบ่งตามสีที่พบ ซึ่งประกอบด้วย สีม่วงเข้ม (Hard Purple) สีม่วงอ่อน (Mild Purple) และสีเทา (Dry White) หินคอร์นิชทั้งสามเกรดนี้จะมีทั้งเฟลด์สปาร์ ควอตซ์ แร่ดิน ไมก้า ฟลูออสปาร์ และสิ่งเจือปนอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย โดยหินที่มีสีม่วงจะมีเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบอยู่มากที่สุด ส่วนหินที่มีสีเทาก็จะมีเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบอยู่น้อยที่สุด เพราะฉะนั้นหินที่มีสีม่วงก็จะให้สมบัติความเป็นฟลักซ์ที่แรงที่สุด ส่วนหินที่มีสีเทาก็จะให้สมบัติความเป็นฟลักซ์ที่น้อยที่สุดนั่นเอง โดยลักษณะของสีที่ปรากฏออกมานั้นเกิดจากสิ่งเจือปนที่พบใน ฟลูออสปาร์ (แคลเซียมฟลูออไรด์, CaF_2) ที่มีอยู่ในหินนั้น ดังนั้นเมื่อปริมาณของเฟลด์สปาร์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการเป็นฟลักซ์ของหินก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งก็เช่นเดียวกันกับปริมาณของ

ฟลูออสปาร์ การนำหินคอร์นิชมาใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรดินจะทำให้มีสารประกอบฟลูออรีนแพร่ ออกมาระหว่างการเผาซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสร้างความเสียหายกับสิ่งแวดล้อมได้ ในบางครั้งหิน คอร์นิชที่ผ่านกระบวนการกำจัดฟลูออสปาร์ที่เป็นพิษออกไปแล้วหรือที่เรียกว่า Defluorinated Stone (DF Stone) ก็สามารถใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการที่ยังไม่มีความคุ้มค่าและได้หยุดดำเนินการ ไปแล้ว

2.1.2.5 Sillimanite

ชื่อ sillimanite นี้มาจาก นักธรณีวิทยาชาวอเมริกัน ชื่อ B. Silliman (1779-1824)

สูตรเคมี $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ มี Al_2O_3 62.92 % SiO_2 37.08 %

crystal structure orthorhombic

Density 3.24 g/cm^3

hardness >6

2.1.2.6 Andalusite

ชื่อนี้มาจากแหล่งที่พบแร่ชนิดนี้มากในประเทศสเปน เป็นที่ราบริมฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน มีชื่อ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า chiastalite

สูตรเคมี $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$

crystal structure orthorhombic

Density 3.15 g/cm^3

hardness 6-7

2.1.2.7 Kyanite

ชื่อ Kyanite มาจากภาษากรีก คือ Kyanos = blue เนื่องจากเราจะพบผลึกแร่ Kyanite ที่สมบูรณ์ รั่วมกับผลึกของ Quartz โดยผลึกของ kyanite นี้ จะเป็นสีน้ำเงินสวยงาม

มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า Disthene

สูตรเคมี $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$

crystal structure Triclinic

Density 3.61 g/cm^3

hardness 7

แหล่งที่พบนั้น sillimanite พบมากในประเทศอินเดีย และสหรัฐอเมริกา Andalusite พบมากใน ประเทศสเปน Kyanite พบมากในประเทศอินเดีย จีน ในประเทศไทยไม่มีแหล่งแร่เหล่านี้ที่มากพอจะทำได้ แหล่งสำหรับผลิตให้งานอุตสาหกรรมได้

การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

ส่วนใหญ่แล้วแร่ทั้งสามจะเป็นแหล่งให้ Al_2O_3 สำหรับอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ เพื่อใช้ทำอิฐ High Alumina นอกจากนี้ ยังใช้เป็นแหล่งสำหรับสังเคราะห์ mullite เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม Kiln furniture ด้วย

การควบคุมคุณภาพ

- chemical analysis ดู % Al_2O_3 , % SiO_2 และ impurities
- ความทนไฟ (pyrometric cone equivalent)
- ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อน (Thermal expansion coefficient)
- % การหดตัวหลังเผา (Firing shrinkage)

2.1.2.8 ชามอตต์หรือโมโลไคต์ (Chamotte or Molochite)

เป็นภาษาฝรั่งเศส คือดินชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเผา (calcine) แล้ว เพื่อกำจัดน้ำในโครงสร้างผลึก (chemical combine water) ให้หมดไป ทำให้ดินที่นำมาทำเป็น Chamotte แล้วนั้นจะไม่เกิดการหดตัวอีก

ลักษณะของชามอตต์นั้นจะเป็นก้อนดินแข็ง ๆ มีความเหนียวน้อยมาก บางครั้งอาจต้องนำไปบดย่อยอีกครั้งหนึ่งก่อนนำไปใช้งาน

ข้อดีของการใช้ชามอตต์

1. ใช้ปริมาณน้ำที่ทำให้เกิด plasticity น้อยกว่า เมื่อใช้ clay หรือ kaolin ปกติ ซึ่งจะทำให้ลดพลังงานในการอบแห้งชิ้นงาน และลดปัญหาเรื่องการแตกร้าวของชิ้นงานขณะอบแห้ง
2. การหดตัวของชิ้นงานจะลดลง จะช่วยลดปัญหาการแตกร้าวหรือรูปทรงบิดเบี้ยวได้
3. ช่วยลดแนวโน้มที่จะเกิด overfiring
4. ค่าความแข็งแรง (strength) ของ fire product จะสูงขึ้น
5. apparent specific gravity จะเพิ่มขึ้น

ข้อเสียของการใช้ชามอตต์

1. ต้นทุนจะสูงขึ้น
2. ความแข็งแรงของชิ้นงานดิบ (Green ware) และชิ้นงานหลังอบ (Dry ware) จะลดลง เนื่องจากความเป็น plasticity ลดลง

ในการผลิตวัสดุทนไฟ (Refractory) ชามอตต์จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เพราะจะทำให้วัสดุทนไฟ ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหัน (Thermal shock resistance) ช่วยลด % การหดตัว (shrinkage) ทั้งการหดตัวหลังอบและการหดตัวหลังเผา ทำให้ได้ขนาดของอิฐหลังเผาใกล้เคียงกันมากขึ้น ไม่เกิด size variation และช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของอิฐในขณะอบแห้งและการแตกร้าวเนื่องจากการเผา นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเร็วในการเผาได้ เนื่องจากปริมาณน้ำในโครงสร้างของชิ้นงานลดลง

ในการเผา clay เพื่อนำมาผลิตเป็นชามอตต์นั้น มักจะนำดินใส่ในหีบทนไฟ (sagger) และเผาไปพร้อมวัสดุทนไฟ

นอกจากอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟแล้ว ชามอตต์ยังใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก อื่น ๆ เช่น ถ้วยชาม, กระเบื้อง โดยมักเติมลงไปในเคลือบ เพื่อต้องการ Al_2O_3 และ SiO_2 จาก Kaolin โดยมักจะเรียกว่าเป็น calcined kaolin

2.1.2.9 ดินเชื้อ หรือ กร็อก (Grog)

นอกจากคำว่าชามอตต์หรือโมโลไซต์แล้ว ยังมีอีกคำหนึ่งที่มีผู้ใช้เรียกแทนกัน นั่นคือ กร็อก หรือ ดินเชื้อ ซึ่งเป็นคำที่ใช้เรียกวัตถุดิบที่ได้มาจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาแล้ว และนำกลับมาบดย่อยให้มีขนาดที่ละเอียด เพื่อนำกลับมาใช้ผสมในสูตรอีกครั้ง ส่วนใหญ่มักเป็นเศษของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียหลังจากผ่านการคัดเลือกด้านคุณภาพต่างๆ ไปแล้ว

เช่น กร็อกของกระเบื้องปูพื้น, บุผนัง, กระเบื้อง biscuit, กระเบื้องหลังคาเซรามิก, ถ้วยชาม, แผ่นวัสดุทนไฟ, Kiln furniture ต่าง ๆ (slab, saggar etc.) และอิฐทนไฟชนิดต่าง ๆ

2.1.2.10 พิทเซอร์ (Pitcher)

คือผลิตภัณฑ์พวกถ้วยชาม, สุขาภัณฑ์, กระเบื้อง ที่มีส่วนของสีเคลือบที่หลอมเป็นแก้วแล้วปนเข้ามาด้วยประมาณไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ข้อดีของการใช้พิทเซอร์

1. ช่วยลดต้นทุนในการผลิตเนื่องจากพิทเซอร์คือเศษวัสดุที่ไม่มีราคาแล้ว พร้อมทั้งจะทิ้ง เมื่อนำพิทเซอร์เข้ามาใช้ในสูตร ก็เหมือนกับเราไม่เสียค่าวัตถุดิบได้ในบางครั้ง และยังช่วยลดต้นทุนเรื่องการขนส่งเพื่อทิ้ง waste และค่าใช้จ่ายในการกำจัด waste ด้วย

2. ช่วยลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนเผาและหลังเผา

3. ทำให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

4. ทำให้ขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่แปรผัน (variation) ไปมาก

5. ช่วยทำให้สภาพแวดล้อมดีขึ้น เนื่องจากไม่มีการทิ้ง waste ออกไปนอกโรงงาน ซึ่งผลิตภัณฑ์เซรามิกที่เผาแล้ว มีรอยแตกที่คมและเป็นอันตราย อีกทั้งแทบจะไม่ย่อยสลายในธรรมชาติเลย

ข้อเสียของการใช้พิทเซอร์

1. ต้องควบคุมความละเอียดของ particle ให้ดี เนื่องจากผ่านการเผาแล้ว จึงมีความแข็งมาก ทำให้การบดให้เข้ากับวัตถุดิบตัวอื่นเป็นไปได้ยาก

2. ต้องลงทุนเครื่องจักรเพิ่มในการย่อยผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้วให้กลายเป็นพิทเซอร์

3. ความแข็งแรงก่อนเผาลดลง

เครื่องจักรที่ใช้ย่อยผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้วให้กลายเป็นพิทเซอร์มี

- บดหยาบ - Hammer mill
- Jaw crusher
- Impact mill

- บดละเอียด - Impellar breaker
 - Pendula mill
 - Ball mill (Batch mill or continuous mill)

หลังจากบดหยาบให้มีขนาด < 5 mm แล้ว ก็นำไปซั่งตามสูตร ผสมกับวัตถุดิบตัวอื่น ๆ แล้ว จึงนำเข้าเครื่องบดละเอียด ทั้งกระบวนการบดแบบแห้งและแบบเปียกต่อไป

อุตสาหกรรมที่มีการใช้พิทเซอร์มากคือ เครื่องสุกัณฑ์, กระเบื้องเซรามิก

2.1.2.11 เถ้ากระดูก (Bone Ash)

วัตถุดิบตัวนี้จะถูกนำมาใช้ในเนื้อดินเพียงชนิดเดียวเท่านั้น คือ เนื้อโบนไชน่า (Bone China) โดยจะเตรียมมาจากกระดูกสัตว์ที่ผ่านกระบวนการ De-gelatinising ด้วยไอน้ำ เพื่อสกัดเอาสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ออกไป (ก่อนที่จะได้กาวสังเคราะห์เป็น By-product ของกระบวนการนี้ขึ้น) หลังจากนั้นจะทำการ Calcine ที่อุณหภูมิประมาณ 900°C แล้วจึงนำไปล้างและบดเปียกจนได้อนุภาคที่มีความละเอียดประมาณ 80% น้อยกว่าขนาด 10 ไมครอน

กระบวนการ Calcination ของกระดูกถือเป็นขั้นตอนที่จำเป็นมาก เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงปริมาณของสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในกระดูกที่ผ่านการ Calcine แล้ว โดยสารอินทรีย์เหล่านี้จะเป็นตัวให้ความเหนียวแก่เนื้อดิน โบนไชน่า (ซึ่งมีปริมาณของกระดูกอยู่ประมาณ 50%) สำหรับเนื้อดินที่มีปริมาณดินต่ำ (ประมาณ 25%) และความจริงที่ว่าจะมีเฉพาะดินขาวไชน่าที่มีความเหนียวต่ำและให้สีขาวหลังเผาเท่านั้น (คือ ไม่ใช่ดินทุติยภูมิที่มีความเหนียวมากกว่าเพราะจะส่งผลต่อสีหลังเผา) ที่สามารถนำมาใช้ในเนื้อดินที่มีความเหนียวต่ำได้ ดังนั้นกระดูกที่นำมาใช้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพิ่มความเหนียวและความแข็งแรงหลังเผาของเนื้อดิน

อย่างไรก็ตามหากมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบอยู่มากเกินไปก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อดินได้ เนื่องจากสารอินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลคาไลน์กลายเป็นฟองอากาศขึ้น ดังนั้นหลังจากทำการ Calcine กระดูกแล้วจะต้องทำการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ด้วยความระมัดระวัง ปริมาณสารอินทรีย์จะหาได้จากปริมาณน้ำหนักของกระดูกที่หายไป (Loss on Ignition) หลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C แล้ว และโดยหลักการค่าที่บริษัทผู้จำหน่ายกระดูกตั้งเป้าไว้จะอยู่ในช่วง 1.8-2.0%

กระดูกที่ผ่านการ Calcine มาแล้วจะมีแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium Phosphate) เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับดินขาวไชน่าเกิดเป็นอะนอร์ไทต์ (Anorthite: $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ขึ้นและยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสงมากขึ้นอีกด้วย

2.1.2.12 ทัลค์ (Talc)

talcum มีอีกชื่อว่า talc ซึ่งมาจากภาษาอาราบิกว่า talg มีความแข็งระดับที่ 1 ใน Moh's scale มีสูตรคือ $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ มีอยู่อีกชนิดที่สูตรเคมีเหมือนกับ talcum คือ Steatite ซึ่ง steatite นั้นจะมีโครงสร้างที่

แข็งแรงกว่า talcum ทัลค์ (Talc) คือแมกนีเซียมซิลิเกต (Magnesium Silicate) และจัดอยู่ในกลุ่มของสเม็คไทต์ (Smectite) หรือมอนท์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) มีสูตรทางเคมีเป็น $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ โดยในประเทศที่พบแร่ทัลค์จะถือว่าเป็นแหล่งของแมกนีเซีย (Magnesia) ราคาถูกซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นฟลักซ์ได้ ทัลค์จะถูกนำมาใช้ในสูตรดินซึ่งเผาที่อุณหภูมิสูง โดยจะส่งผลทำให้เกิดคอร์เดียไรต์ (Cordierite: $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) ขึ้น สิ่งนี้จะบ่งบอกถึงคุณลักษณะการมีค่าการขยายตัวทางความร้อนที่ต่ำ (Low Thermal Expansion) ดังนั้นจึงทำให้เนื้อดินมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยเฉียบพลัน (Thermal Shock Resistance) ได้ดีเยี่ยม จึงทำให้ดินดังกล่าว เหมาะสำหรับการนำมาผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่ต้องใช้ในเตาอบ (Oven-to-Tableware) สำหรับข้อเสียของแร่ทัลค์ก็คือมีช่วงการเผาที่แคบและทำให้ชิ้นงานเกิดการบิดเบี้ยวได้ง่ายระหว่างการเผา และเนื่องจากทัลค์ทำให้อุณหภูมิค่าการขยายตัวที่ต่ำ ดังนั้นจึงอาจจะทำให้นำมาใช้งานกับเคลือบที่มีค่าการขยายตัวที่เหมาะสมได้ค่อนข้างลำบากด้วย

สำหรับเนื้อดินที่เผาด้วยอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 1200°C) ทัลค์จะทำให้ค่าการขยายตัวทางความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้เกิดแร่เ็นสแตไทต์ (Enstatite: $\text{MgO}\cdot \text{SiO}_2$) และควอตซ์ (Quartz) ซึ่งมีค่าการขยายตัวทางความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้การขยายตัวเนื่องจากความชื้นของเนื้อดินก็ลดลงด้วย โดยปัจจัยทั้งสองประการนี้จะช่วยลดปัญหาการร้าวตัวภายหลัง หรือ Delayed Crazeing ในชิ้นงานที่ใช้เนื้อดินดังกล่าวได้ มีความเชื่อที่ว่าแร่ทัลค์ที่มีสีเหลืองอมเขียวเป็นลักษณะเฉพาะจะทำให้เนื้อดินมีการหดตัวต่ำ มีความแข็งแรงสูงและมีความทนทานต่อการร้าวตัวได้ดี ดังนั้นในประเทศที่มีแหล่งของทัลค์ที่เหมาะสมอยู่จึงมักจะถูกนำมาใช้ได้ดีเป็นองค์ประกอบในการผลิตเนื้อดินทั้งสำหรับเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารและกระเบื้อง

โครงสร้างของแร่ talcum

talcum มีโครงสร้างเป็น mica-like structure เป็น T-O-T layer หรือ montmorillonite มี 2 tetrahedral sheet ของ silica กับ octahedral sheet ของ Mg^{2+} (Brucite sheet) แรงยึดกันระหว่างชั้นไม่แข็งแรงเป็นแรง van der waal's เกิดการเลื่อนของชั้นได้ง่าย ทำให้แร่นี้มีเนื้อที่อ่อนไม่แข็งแรง

ส่วนประกอบทางเคมีทางทฤษฎีมี $64\%\text{SiO}_2$ $31\%\text{MgO}$ $5\%\text{H}_2\text{O}$

การเกิดและลักษณะเฉพาะของแหล่งที่เกิด

แหล่งที่เกิด talc นี้ เป็นผลมาจากการเกิด hydrothermal ส่วนใหญ่มักจะเกิดร่วมกับ Dolomite และ Magnesite บางครั้งก็เกิดร่วมกับพวก ultrabasic rock เช่น olivine, amphibole, chlorite, serpentine เช่นเดียวกับในแหล่งที่เกิดจากการถูกพัดพามาสะสมไว้ องค์ประกอบของแร่จะใกล้เคียงกันทั้งในแหล่งที่เป็นปฐมภูมิ (primary deposit) และแหล่งที่เป็นแหล่งทุติยภูมิ (secondary or sedimentary deposit)

แหล่ง talc ที่สำคัญในโลกนี้ มีอยู่ที่ อิตาลี ออสเตรเลีย สเปน ฝรั่งเศส อเมริกา และจีน ส่วนแหล่งในเมืองไทยนั้นส่วนใหญ่เป็น talc ที่มี impurities ปนอยู่ในปริมาณสูง ไม่เหมาะสำหรับใช้ในสีเคลือบแหล่งที่สำคัญอยู่ที่จ.อุตรดิตถ์

ลักษณะที่สำคัญของ talcum

- มีค่า C.O.E. (สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน) ประมาณ $2.7 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- มีการขยายตัวหลังจากอบแห้ง
- สามารถบดให้เป็นผลละเอียดได้ง่าย
- เมื่อใส่ในเคลือบหรือในน้ำดินจะทำให้ น้ำดินหรือเคลือบเกิด thixotropy เนื่องจากการ swelling ของ T-O-T layer
- จาก D.T.A. curve เกิด endothermic peak ที่ $900\text{-}1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากเกิดการ dehydroxylation

การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

กระเบื้องเซรามิก มีการเติม talc ลงไปเพื่อช่วยควบคุมค่า C.O.E. ของเนื้อกระเบื้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระเบื้องที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้เหมาะกับ C.O.E. ของเคลือบ โดยจะช่วยป้องกันการร้าว (delayed crazing) เนื่องจากการขยายตัว แต่สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ผลของ talc จะตรงกันข้าม การเติม talc ลงไปจะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน (Thermal shock resistance) สำหรับกระเบื้องบุผนัง การเติม talc ลงไปแทนที่พวก carbonate บางส่วนจะช่วยให้การเผาเร็วขึ้นทั้งในช่วง firing และช่วง cooling

สำหรับกระเบื้องที่มี % การดูดซึมน้ำต่ำ (vitrified tile) การเติม talcum ลงไปในปริมาณไม่มากนัก จะช่วยลดอุณหภูมิในการเผาลง รวมทั้งลดเวลาในการเผาลงด้วย เนื่องจาก talcum จะไปช่วยลดจุด eutectic ของ phase ระหว่าง $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ทำให้เกิด liquid phase sintering ได้ดีขึ้น การเกิดแก้วในเนื้อกระเบื้องจะเกิดได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง

Sanitary ware, tableware

พวก vitreous china จะเติม talcum ลงไปเล็กน้อยเพื่อช่วยในเรื่อง thermal shock resistance และสำหรับในเคลือบ talcum จะเป็นแหล่งที่ให้ MgO และ SiO_2 ได้เป็นอย่างดีเหมาะสำหรับทำเคลือบทั้งผิวมันและผิวด้าน ขึ้นกับปริมาณที่เติมลงไป โดยเฉพาะเคลือบผิวด้าน (Matt glaze) ที่มีส่วนผสมของ talcum จะให้พื้นผิวที่ดูแวววาวคล้ายผ้าไหม บางครั้งจึงเรียกว่า silk glaze แต่ข้อจำกัดของการใช้ talcum ในเคลือบก็คือ ปัญหาเรื่องการบวมน้ำ (swelling) ซึ่งจะทำให้สมบัติการไหลตัวของเคลือบเปลี่ยนไปเมื่อเวลาเปลี่ยนไป จะทำให้เคลือบอืดตัวและทำการชุบเคลือบหรือ spray เคลือบได้ยาก

Refractory

มักจะใช้ talcum สำหรับผลิตภัณฑ์ kiln furniture ที่เป็นเนื้อคอร์เดียไรท์ ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) เนื่องจากคอร์เดียไรท์เป็นวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก ประมาณ $1\text{-}2 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ แต่คอร์เดียไรท์ที่เกิดขึ้นโดยตรงจากธรรมชาตินั้นมีได้น้อย และไม่ค่อยเสถียร เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดคอร์เดียไรท์นั้นเป็นช่วงที่แคบมาก การใช้ talcum เพื่อเป็นแหล่งของ MgO กับ SiO_2 และพวก mullite จะสามารถผลิตเนื้อคอร์เดียไรท์ที่ใช้กับการผลิต kiln furniture ที่ต้องการสมบัติด้าน Thermal shock resistance

ที่ดี แต่การเติม talcum ลงไปก็จะทำให้ความทนไฟของ kiln furniture ลดต่ำลง จึงจำเป็นต้องหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตด้วย

Electrical insulator

Talcum เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตเนื่องจากเนื้อสารที่ต้องการของพวก insulator นี้คือคอร์เดียไรท์ ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) และ clinoenstatite ($\text{MgO}\cdot \text{SiO}_2$)

Brick

การเติม talcum ลงไปเล็กน้อยจะช่วยปรับปรุงการ extrusion ของชิ้นงานได้ดีขึ้น เนื่องจาก talcum จะเป็นตัวหล่อลื่น (เนื่องจากโครงสร้างที่มีการ slip ได้ง่าย)

การใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ

- talcum เป็นตัว filler กระจก และพลาสติก
- เป็นผงดับกลิ่นสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง
- เป็นส่วนผสมในแป้งทาตัว
- เป็นตัวหล่อลื่นเพื่อช่วยยืดอายุ mould ในอุตสาหกรรมโลหะ

สมบัติที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้งาน

สำหรับเนื้อ Body

- ค่า chemical composition
- ขนาดของ particle
- impurities ที่ปนเปื้อนเข้ามาได้บ้าง มักเป็นพวก Fe_2O_3 , TiO_2 แต่ถ้าเป็นพวก carbonate จำเป็นต้องควบคุมอย่างมาก ถ้าใช้สำหรับ vitreous product

สำหรับเคลือบ

- ค่า chemical composition
- ขนาดของ particle และ particle size distribution
- impurities ต้องน้อยมาก โดยเฉพาะ Fe_2O_3

2.1.2.13 หินปูน (Limestone)

หินปูน (Limestone) ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องบุผนัง เพราะเมื่อเผา จะเกิดการสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ให้เกิดรูพรุนสูง จึงได้เนื้อกระเบื้องที่เบา เหมาะกับงานผนังที่ไม่ต้องการรับแรงมากนัก แต่ต้องมีน้ำหนักเบา แต่จะทำให้เนื้อดินมีการขยายตัวเนื่องจากความชื้นที่สูงมากๆ ซึ่งหากเนื้อดินมีความพรุนตัวที่สูงมากๆ แนวโน้มในการดูดซับความชื้นระหว่างการใช้งานจะมามาก ทำให้กระเบื้องเกิดการขยายตัวและเป็นสาเหตุให้เคลือบเกิดการร้าวตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การนำเอาหินปูนประมาณ 10-12% มาใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องนั้นจะทำให้ปริมาณของ

แก้ว (Glassy Phase) ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการเผาที่มีน้อยลงซึ่งเป็นลักษณะของเนื้อดินที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดการขยายตัวเนื่องจากความชื้น

CaCO₃ มีแร่ที่เป็น polymorphism 2 ตัวคือ

Calcite โครงสร้างผลึกเป็น rhombohedron

Aragonite โครงสร้างผลึกเป็น orthorhombic

แหล่งที่พบมากในประเทศ คือ แแถบเทือกเขาหินปูน จ.สระบุรี, จ.นครสวรรค์, จ.กาญจนบุรี, จ.นครศรีธรรมราช จ.ราชบุรี จ.ลพบุรี ซึ่งในประเทศไทย สามารถพบเขาหินปูนได้ กระจายไปในทุกๆ ภาคของประเทศ แต่การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก มักจะใช้หินปูนจาก จ.สระบุรี เนื่องจากอยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรม ค่าขนส่งถูก และเป็นหินปูนที่มีคุณภาพดี

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DTA จะพบ peak endothermic ที่คมชัดมากที่อุณหภูมิช่วง 800-900°C เนื่องจากเกิดการแตกตัว (Dissociation) ของ CaCO₃

โดย $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

ซึ่ง gas CO₂ นี้จะเป็นปัญหาสำคัญที่จะทำให้เกิดตำหนิได้ ในช่วงเคลือบ ถ้าควบคุมการผลิตไม่ดีเพียงพอ

การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

1. ใช้เติมในเนื้อดินสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการรูพรุน (porous) สูง น้ำหนักเบา แต่ความแข็งแรงจะต่ำเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ มักจะมีเนื้อแก้ว (glassy phase) อยู่เล็กน้อย

โดย CaCO₃ จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ SiO₂ ที่เราเติมเข้าไปในรูปของดินหรือทราย และเกิดเป็นผลึกรูปเข็มของ CaSiO₃ หรือ Wollastonite ซึ่งผลึกรูปเข็มนี้จะสานกันเป็นเส้นใย และทำให้ผลิตภัณฑ์หลังเผามีความแข็งแรงสูงขึ้น โดยไม่เกิดเนื้อแก้วขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีน้ำหนักเบา เนื่องจากจะมี ความพรุนตัวสูงใช้ในผลิตภัณฑ์พวกกระเบื้องบุผนัง, ถ้วยชามที่เป็น เนื้อ earthen ware กระถางต้นไม้ ผลิตภัณฑ์พวก terracotta ฉนวนกันความร้อน

ในการที่เราเติม CaCO₃ ลงไปในเนื้อดินนั้น เราจะต้องระมัดระวังปัญหาที่ตามมาคือ ปริมาณ CO₂ ที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านช่วงอุณหภูมิ 800-900°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สีเคลือบหลอมตัวกลายเป็นแก้วแล้ว ซึ่ง CO₂ ที่ออกมาจากเนื้อดิน (body) จะทำให้เกิดตำหนิประเภทรูพรุน รูเข็มที่พบผิวเคลือบได้ ซึ่งแนวทางแก้ไขนั้น เราควรควบคุม ความละเอียดของ CaCO₃ ในช่วงการบดน้ำ slip ของ body ไม่ให้มีอนุภาคที่ใหญ่เกินไป จนการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายหลังที่เคลือบหลอมตัวไปแล้ว นอกจากนี้ตารางการเผา (firing curve) ก็จะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ โดยการเผาในช่วง 700 - 900°C ให้นานขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่า CO₂ ได้สลายออกไปหมดจากเนื้อดินแล้ว

2. ใช้เป็นวัตถุดิบในเคลือบ ซึ่งจุดประสงค์ในการเติม lime stone ในเคลือบนั้นจะช่วยให้

- ลดความหนืดของสีเคลือบระหว่างเผาสำหรับเคลือบที่มีค่า SiO₂ สูง
- เพิ่มความแข็งแรงของผิวเคลือบหลังเผา ทำให้เคลือบทน abrasion ได้ดีขึ้น

- CaO จะไปช่วยลดค่า C.O.E. ของเคลือบ ให้สัมพันธ์กับเนื้อดิน เพื่อป้องกันการเกิด delayed crazing ขึ้นในภายหลัง

- ทำให้เกิดผิวด้าน (matt glaze) ขึ้นในกรณีที่ใส่เข้าไปปริมาณมาก

- ใช้เป็น flux ได้ที่อุณหภูมิสูง

3. ใช้เป็นวัตถุดิบหลัก สำหรับการผลิตซีเมนต์

โดย lime stone จะเป็นตัวที่ทำให้ CaO ซึ่งเป็น phase หลัก ใน cement โดยในเม็ดปูน (clinker) จะมี main phase อยู่ 4 phase (อาจเรียกว่าเป็น potential phase) คือ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF ($C-CaO$, $S-SiO_2$, $A-Al_2O_3$, $F-Fe_2O_3$) ซึ่ง phase เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) ทำให้ปูนซีเมนต์มีสมบัติที่เราต้องการ เช่น ความแข็งแรง setting time ความร้อนที่คายออกมาขณะเกิดปฏิกิริยา ความทนทานต่อสารเคมี

การใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ

1. ใช้เป็นตัว filler กระดาษ

2. เป็นวัสดุที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อน

3. ใช้ในการเกษตร โดยเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยเคมี และสารเคมีเกี่ยวกับยาฆ่าแมลง

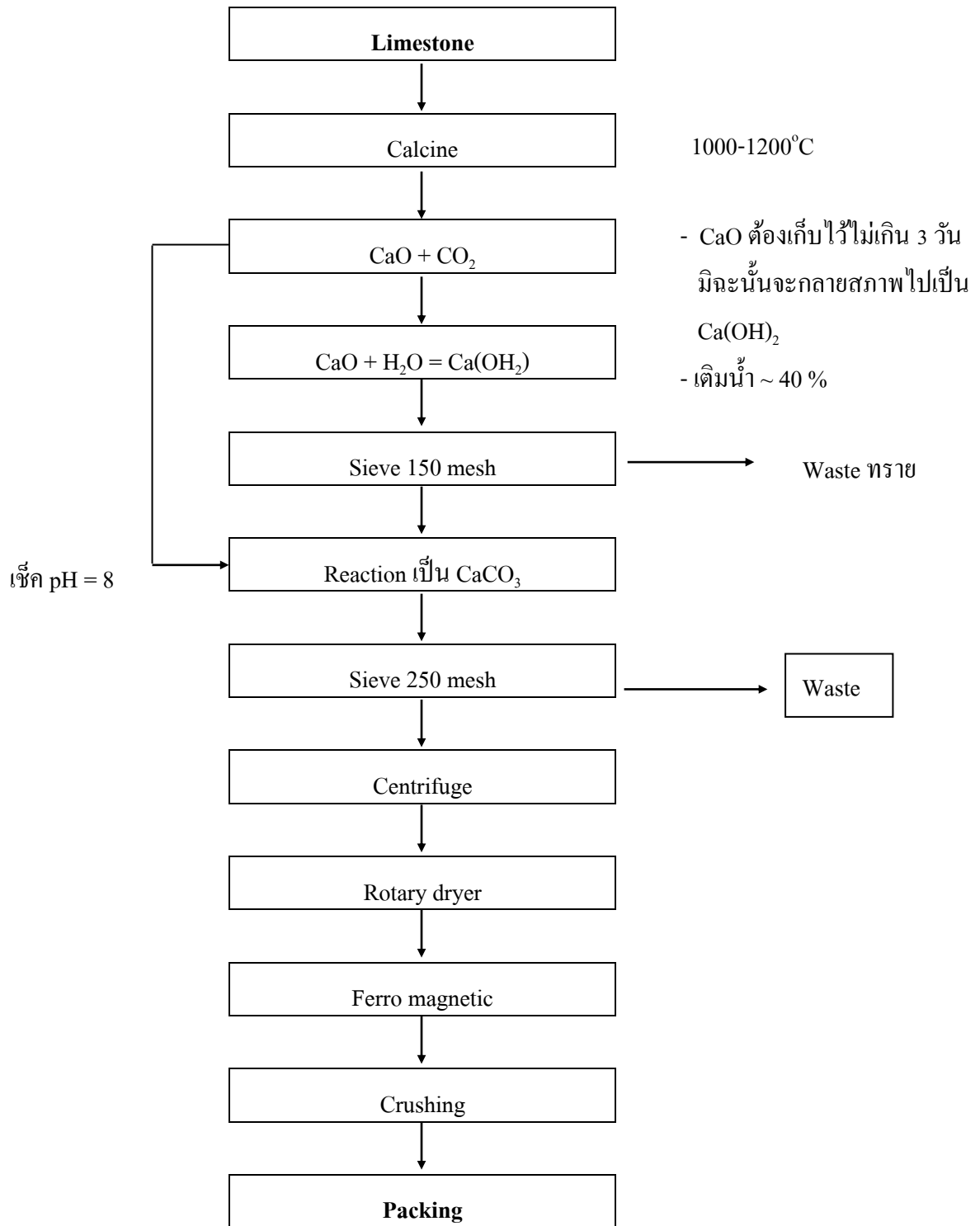
2.1.2.14 ลิเทียม (Lithium-containing Minerals)

Li_2O สามารถนำมาใช้ในสูตรดินได้ทั้งในรูปของคาร์บอเนตหรือแร่ลิเทียมซิลิเกตที่เกิดตามธรรมชาติซึ่งได้แก่ แร่เลพิโดไลต์ (Lepidolite) แร่สปอดูมิน (Spodumene) หรือแร่เพตะไลต์ (Petalite) หากมีการนำลิเทียมมาใช้แทนที่วัตถุดิบที่ให้สมบัติเป็นฟลักซ์ในสูตรดินหรือสูตรเคลือบบางส่วนจะทำให้ค่าการขยายตัวทางความร้อนลดลง ดังนั้นสำหรับเนื้อดิน Whiteware ที่มีค่าการขยายตัวเป็นศูนย์หรือแม้แต่การขยายตัวเป็นลบนั้นจึงมักจะใช้วัตถุดิบเหล่านี้เป็นส่วนผสมในสูตรดินทั้งสิ้น

2.1.2.15 ไมก้าและอิลไลต์ (Mica and Illites)

ถึงแม้ว่าวัตถุดิบเหล่านี้จะไม่ถูกนำมาใช้ในเนื้อดินเซรามิกเพื่อทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ หรือตัวลดจุดสุกตัวโดยตรง แต่มักจะอยู่เป็นองค์ประกอบในดินต่างๆ อยู่เสมอ ซึ่งการที่มีไมก้าหรืออิลไลต์อยู่เป็นองค์ประกอบด้วยนั้น สัดส่วนดังกล่าวจะต้องถูกนำมาคำนวณเพื่อลดปริมาณของฟลักซ์ที่จะเติมในเนื้อดินลง สำหรับโพแทสไมก้าหรือแรมัสโคไวต์ (Potash Mica or Muscovite: $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) จะมีอยู่ในแหล่งกำเนิดดินหลายๆ แห่ง ซึ่งปริมาณของโพแทสที่มีอยู่จะทำให้สมบัติความทนไฟของมันลดลง

แร่อิลไลต์ (Illites) หรือ Hydrus Micas จะมีโพแทสอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่าและมีปริมาณน้ำมากกว่าแรมัสโคไวต์ (Muscovite) แร่โพแทสจะมีขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกับดินมากทำให้ไม่สามารถคัดแยกออกจากดินเพื่อส่งขายได้ ดังนั้นดินดังกล่าวจะมีความทนไฟต่ำทำให้สูตรดินที่มีดินเหล่านั้นเป็นส่วนผสมมีสมบัติความทนไฟต่ำตามไปด้วยซึ่งจะส่งผลทำให้ต้องการใช้ฟลักซ์ในสูตรดินนั้นน้อยลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิต Calcium Carbonate โดยวิธีการ Re-precipitate

2.2 การแบ่งประเภทตามลักษณะความเหนียว

เนื่องจากความเหนียวของวัตถุดิบจะส่งผลต่อคุณภาพและการทำงานในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น วัสดุที่มีความเหนียวสูงเช่นดินเหนียว ก็จะช่วยให้การขึ้นรูปขึ้นงานได้ง่ายขึ้น มีความแข็งแรงของชิ้นงานก่อนเผา (Green strength) มีค่าสูงพอที่จะยก ย้าย หรือตกแต่งได้โดยที่ไม่เกิดความเสียหาย

2.2.1 วัตถุดิบที่มีความเหนียว

วัตถุดิบที่มีความเหนียว ได้แก่ แก้วกดินเหนียว (ball clay) หรือดินดำ เช่นดินดำสุราษฎร์ ดินดำ นครศรีธรรมราช ดินเหนียวตามท้องนา เช่น ดินเหนียวราชบุรี ดินเหนียวอ่างทอง เป็นต้น เนื่องจากเป็นดินที่มีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดเป็นปริมาณมาก และมักจะพบสารประกอบอินทรีย์อยู่ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีดำในดินดำเหล่านี้ โดยการพุดมากับกระแสน้ำและตกตะกอนทับถม ดินที่มีความเหนียวสูงเหล่านี้ มักจะไม่ใช้งานเพียงตัวเดียว แต่จำเป็นต้องมีการเติมวัสดุลดความเหนียว เช่นการเติมทรายแม่น้ำที่ละเอียด ใ้แก่ลบบด ดินเชื้อ หรือดินที่มีความเหนียวน้อย เช่นดินขาวระนอง หรือมักจะนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่นเป็นส่วนผสมที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป

2.2.2 วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว

วัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวจะไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยตรง เพราะจะไม่สามารถคงรูปร่างและมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการเคลื่อนย้าย จึงจำเป็นต้องมีการผสมวัตถุดิบที่มีความเหนียวเพิ่มเติมลงไป หรือนำไปใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆ ทั้งที่มีความเหนียวและไม่มีความเหนียว เพื่อใช้ในการผลิตต่อไป ได้แก่ดินขาวระนอง ซึ่งมีความละเอียดต่ำ หินฟันม้า ทรายแก้ว หินปูน หรือโคโลไมต์

2.3 การแบ่งประเภทตามลักษณะความทนไฟ

ความทนไฟของวัตถุดิบทางเซรามิก สามารถทดสอบได้โดยการเผาแล้วทดสอบการหลอมตัววิธีการที่เป็นที่นิยมมากที่สุดได้แก่การเผาเทียบกับโคนมาตรฐาน (Pyrometric Cone Equivalent) หากวัตถุดิบที่นำมาอัดขึ้นรูปเป็นโคน มีการอ่อนตัวเทียบเท่ากับโคนเบอร์ใด ก็จะใช้เรียกความทนไฟของวัตถุดิบนั้นๆ ตามเบอร์ของโคนมาตรฐานที่นำมาเทียบ

2.3.1 วัตถุดิบที่ทนอุณหภูมิสูง

วัตถุดิบที่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ โดยทั่วไปจะมีจุดหลอมตัวที่สูงกว่า 1500°C ก็มักจะเรียกว่าวัสดุทนไฟ (Refractory) ซึ่งได้แก่วัตถุดิบที่มีปริมาณของอะลูมินา ซิลิกา ในปริมาณสูง เช่นดินขาวระนอง ทรายแก้ว บอกลไซต์ ดินทนไฟ (Fire Clay) คอร์เดียไรต์ และมัลไลต์ หรือแม้แต่แอลคาไลน์เอิร์ทออกไซด์ต่างๆ เช่นแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งจะมีจุดหลอมตัวสูงกว่าสองพันองศาเซลเซียส แต่หากมีปริมาณเล็กน้อย ผสมอยู่กับดินอื่นๆ จะทำให้เกิดการหลอมตัวของวัตถุดิบที่อุณหภูมิต่ำมากได้ หรือเกิดยูเทคติก (Eutectic)

2.3.2 วัตถุดิบประเภทฟลักซ์ (Fluxes)

ฟลักซ์ (Flux) คือวัตถุดิบซึ่งทำให้ส่วนผสมที่ถูกเติมลงไปมีจุดหลอมเหลวต่ำลง เราจะไม่สามารถจำแนกวัตถุดิบใดๆ ออกเป็นฟลักซ์หรือวัสดุทนไฟได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการที่วัตถุดิบใดๆ จะทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับตัววัตถุดิบนั้นเองเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับตัววัตถุดิบหรือส่วนผสมที่เราจะเติมลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามยังมีวัตถุดิบบางตัวที่โดยทั่วไปจะถือว่าเป็นฟลักซ์และนิยมนำมาใช้ในการผลิตเนื้อดิน Whiteware ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะมีปริมาณแอลคาไลน์และแอลคาไลน์เอิร์ทค่อนข้างสูง ตารางที่ 3 แสดงช่วงของการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการของสารประกอบฟลักซ์บางตัว

เมื่อเนื้อดินถูกเผา สารประกอบฟลักซ์จะหลอมตัวกลายเป็นแก้วและไปเคลือบผิวอนุภาคของวัตถุดิบตัวอื่นที่มีความทนไฟมากกว่าให้เปียก และในขั้นตอนการเผาเนื้อผิวของอนุภาคที่โดนเคลือบด้วยของเหลวจะมีแรงดึงผิวเกิดขึ้นและจะดึงเอาอนุภาคของวัตถุดิบอื่นๆ ที่มีความทนไฟสูงกว่าเข้าด้วยกันทำให้ขนาดของรูพรุนลดลงและเนื้อดินเกิดการหดตัวขึ้น โดยแก้วที่เกิดขึ้นจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างจากสารประกอบฟลักซ์ดั้งเดิมเนื่องจากจะเกิดการทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่นของเนื้อดิน เช่น ควอตซ์ (Quartz) และดินขาว เป็นต้น และในขณะที่อุณหภูมิภายในเตาเผาตกลงเรื่อยๆ เนื้อแก้วที่เป็นสารประกอบระหว่างซิลิเกต (Silicate) และอลูมินेट (Aluminate) จะกลายเป็นของแข็งและรวมตัวเข้าด้วยกันกับอนุภาคหรือผลึกที่ไม่สามารถหลอมละลายได้ ซึ่งความพรุนตัวของเนื้อดินที่ผ่านการเผามาแล้วนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณและธรรมชาติของสารประกอบฟลักซ์ที่ใช้ในเนื้อดินนั้นๆ รวมทั้งขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการเผาด้วย หากในระหว่างการเผามีการหลอมตัวเป็นแก้วมากเกินไปหรือแก้วที่หลอมละลายนั้นมีการไหลตัวที่ดีมาก จะทำให้ชิ้นงานที่ถูกเผาอยู่เกิดการบิดเบี้ยวเสียรูปได้ง่าย โดยหลักการแล้วเนื้อดินควรจะมีส่วนของอุณหภูมิการเผาที่กว้างพอ นั่นคือ ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไม่ควรจะมีผลทำให้ปริมาณของแก้วหรือกับสมบัติการไหลตัวของมันเกิดการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงมากเกินไป ดังนั้นผู้ผลิตจะสามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ตาม

2.4 การแบ่งกลุ่มตามประเภทของอุตสาหกรรม

2.4.1 อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

2.4.1.1 การใช้งานดินขาวในอุตสาหกรรมเซรามิก

1. ใช้เติมลงไปเนื้อ body เพื่อเป็นแหล่งให้ Al_2O_3 และ SiO_2 และช่วยให้เนื้อ body มีความเหนียวที่ดีขึ้น เป็นตัวช่วยกระจายลอยตัว (dispersion) พวก hard material ต่าง ๆ ทั้งในอุตสาหกรรมกระเบื้อง, สุขภัณฑ์, ถ้วยชาม ลูกถ้วยไฟฟ้า

2. ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ โดยใช้เป็น grog (calcine Kaolin) หรือดินที่ยังไม่ผ่านการเผาก็ได้ เพื่อเป็นตัวให้ความเหนียวและมีความทนไฟพอสมควร นอกจากนี้ถ้าอัตราส่วนของ $SiO_2 : Al_2O_3$

เหมาะสม และใช้อุณหภูมิในการเผาเหมาะสม ก็จะได้ phase ของ mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ซึ่งมีค่า Thermal shock resistance ที่ดี ซึ่งเหมาะสำหรับวัสดุทนไฟ มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง มีค่า C.O.E. ต่ำ

3. ใช้เป็นตัวช่วยกระจายลอยตัวในสีเคลือบ โดยเฉพาะเคลือบที่ใช้ฟริต (frit) ปริมาณมาก และยังช่วยให้การบดเคลือบใช้เวลาสั้นลงด้วย
4. เป็นตัวช่วยยึดเกาะสีเคลือบกับเนื้อ body เนื่องจากมีความเหนียวอยู่พอสมควร
5. ในอุตสาหกรรมโลหะเคลือบ (Enamel) ใช้ดินขาวเป็นตัวช่วยกระจายลอยตัวของเคลือบ enamel
6. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตฟริต

2.4.1.2 การใช้งานดินเหนียวในอุตสาหกรรมเซรามิก

1. ใช้เติมลงไปเนื้อ Body เพื่อเป็นแหล่งให้ Al_2O_3 และ SiO_2 ซึ่งช่วยให้เนื้อ Body เกิดการกลายเป็นแก้วได้ดีขึ้น และช่วยให้เนื้อ body มีความเหนียวที่ดีขึ้น ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ดิบ (green strength) และความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หลังอบ (dry strength) ดีกว่าการใช้ดินขาว ทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ดิบไปทำการตกแต่งได้อีก โดยที่ไม่เกิดความเสียหายหรือบดเบี้ยว เช่น การตกแต่ง dinner ware, สุขภัณฑ์, กระเบื้องเซรามิก แต่ถ้าใส่ดินเหนียวในปริมาณมาก อาจจะทำให้มีปัญหาแกนดำ (black core) ขึ้นภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเกิดจากการที่มีสารอินทรีย์มากเกินไปแล้ว firing curve ไม่เหมาะสม ทำให้ไม่สามารถไล่สารอินทรีย์ออกไปได้ทัน ปัญหาแถบดำจะทำให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หลังเผาตกลงได้

2. มักใช้ใน engobe มากกว่าในสีเคลือบ ซึ่งจะช่วยให้ engobe แห้งตัวได้ช้าลง จะช่วยลดปัญหาการเกิดรูเข็มจากการ apply เคลือบได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เผาครั้งเดียว และมีการอบแห้งก่อนการ apply engobe และเคลือบ เช่น กระเบื้องเซรามิก ส่วนในสีเคลือบนั้นมีการเติมดินเหนียวลงไปบ้างเพื่อเป็นตัว binder แต่จะใช้ปริมาณไม่มากนัก เพราะดินเหนียวจะส่งผลต่อการไหลตัว (rheology) ของสีเคลือบ และถ้าเก็บสีเคลือบไว้นาน โดยไม่มีการเติมสาร Anti-bacteria bacteria ในอากาศและในน้ำจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในดินเหนียว ทำให้สมบัติการไหลตัวของเคลือบเปลี่ยนแปลงไป

2.4.2 อุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต

สิ่งก่อสร้างเป็นจำนวนมากที่สร้างขึ้นด้วยส่วนผสมของซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เราเรียกส่วนผสมนี้ว่า คอนกรีต คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นทุกที ทั้งนี้เพราะไม้ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่เคยใช้มาแต่เดิมหายากขึ้นราคาแพง ไม่ทนทาน รับน้ำหนักได้น้อยไม่เหมาะสำหรับการก่อสร้างอาคารหรือสิ่งก่อสร้างใหญ่ๆ และคอนกรีตสามารถหล่อเป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการได้ จึงสะดวกต่องานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารหลายๆ ชั้น สะพาน โรงงาน ท่อระบายน้ำเขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น คอนกรีตจะแข็งแรงมากขึ้นถ้าใส่เหล็กไว้ภายใน เราเรียกคอนกรีตชนิดนี้ว่า "คอนกรีตเสริมเหล็ก" (reinforced concrete)

ในสมัยโบราณเมื่อยังไม่มีการค้นพบซีเมนต์วัสดุก่อสร้างที่ใช้กับงานก่อสร้างใหญ่ๆ เป็นส่วนผสมของปูนขาว ทราย และน้ำ อาจมีวัสดุอื่นผสม เช่น น้ำอ้อย เป็นต้น เพื่อให้ปูนขาวและทรายยึดตัวกันดี ขึ้น เราเรียกส่วนผสมนี้ว่า "ปูนสอ" (mortar) ในทางปฏิบัติคนสมัยก่อนมักจะเรียกปูนสอว่า ซีเมนต์ คำว่าซีเมนต์มาจากภาษาละติน ซึ่งแปลว่า "ตัด" โดยใช้เรียกหินปูนที่ตัดเป็นชิ้นๆ เพื่อจะนำมาเผาเป็นปูนขาวแต่ซีเมนต์ในปัจจุบันหมายถึงตัวประสานวัสดุสองชนิดหรือหลายๆ ชนิดให้ติดแน่น ในกรณีของคอนกรีตหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ซีเมนต์เป็นตัวทำให้ทรายหิน และเหล็ก ยึดติดกันแน่นเมื่อแห้งและแข็งตัวดีแล้ว

ซีเมนต์ตามความหมายของการใช้งานทางวิศวกรรม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ บิทูมินัส (bituminous) และนอนบิทูมินัส (nonbituminous) บิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ ยางมะตอย (asphalts) และน้ำมันยาง (tars) เราใช้ยางมะตอยหรือน้ำมันยางเป็นตัวประสานหินหรือกรวดในการทำผิวถนน นอกจากนี้ ยังใช้บิทูมินัสซีเมนต์ผสมกับหิน ทราย รวดทำผิวถนน และเรียกส่วนผสมนี้ว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (asphalt concrete)

นอนบิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ อะลูมินาซีเมนต์ (alumina cement) และพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (portland cement) มีลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อน ต้องผสมน้ำปริมาณมากพอสมควร แล้วทิ้งไว้ให้แห้งจึงจะแข็งตัว เรามักจะนิยมเรียกซีเมนต์ชนิดนี้ว่า ไฮดรอลิกซีเมนต์ (hydraulic cement) ทั้งนี้ เพราะต้องใช้น้ำผสมและแข็งตัวในน้ำได้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างมากที่สุด

โดยทั่วไป กระบวนการผลิตมีอยู่ 2 แบบคือ แบบผสมเหลว (wet process) และแบบผสมแห้ง (dry process)

แบบผสมเหลว วัตถุดิบคือดินขาวหรือปูนมาร์ล (marl or calcium carbonate) ดินเหนียว (clay) และดินคำผสมวัตถุดิบทั้งสามชนิดกับน้ำในบ่อตีดิน (wash mill) กวนให้เข้ากันเรียกว่า น้ำดิน (slushy) แล้วกรองเอาก้อนหินก้อนดินออก น้ำดินที่ละลายเข้ากันดีแล้วนำไปเผาในหม้อเผาแบบหมุน ความร้อนในหม้อเผาประมาณ 1500-1600 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำดินระเหยกลายเป็นเม็ดปูนซีเมนต์ (clinker) จากนั้นก็นำเม็ดปูนไปบด เดิมยิปซัม (gypsum) ลงไปเล็กน้อย เพื่อชะลอการแข็งตัวของซีเมนต์ขณะใช้งาน หลังจากนั้นจะลำเลียงไปเก็บไว้ในถังเก็บซีเมนต์ผง (cement silo) เพื่อรอการบรรจุลงถุงต่อไป

แบบผสมแห้ง วิธีนี้ใช้วัตถุดิบสำคัญ 2 ชนิด คือ หินปูน (limestone) และดินดาน (shale) มาผสมกันให้ถูกส่วน แล้วนำไปบดให้เป็นผงละเอียดตามต้องการ ต่อไปจึงนำไปเก็บไว้ในถังเก็บ เพื่อรอส่งไปเผาให้สุกเช่นเดียวกับแบบผสมเหลวในเตาเผาแบบหมุน และบดเป็นผงซีเมนต์อีกครั้ง แบบผสมแห้งเป็นวิธีที่ไม่ต้องการใช้น้ำผสม และวัตถุดิบที่ใช้ก็ต้องอยู่ในลักษณะแห้งด้วย

ปัจจุบันนี้นิยมใช้แบบผสมแห้งแทนแบบผสมเหลวซึ่งส่วนใหญ่เลิกใช้แล้ว

ซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความร้อนที่เกิดจากสารประกอบที่มีน้ำอยู่ด้วย (heat of hydration) พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ แบ่งเป็น 5 ชนิดด้วยกันคือ

1. ชนิดธรรมดา ใช้งานก่อสร้างทั่วไป เช่น ทำผิวถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ เป็นต้น ซีเมนต์ชนิดนี้มีข้อเสียคือ ไม่ทนต่อสารที่เป็นด่าง ในโครงสร้างหรืออาคารที่มีสารเป็นด่างอยู่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น จะไม่นิยมใช้ซีเมนต์ชนิดนี้

2. ชนิดให้ความร้อนและทนด่างได้ปานกลางซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำจะคายความร้อนออกต่ำกว่าชนิดธรรมดา และมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้บ้าง เหมาะสำหรับงานก่อสร้างต่อม่อขนาดใหญ่ ในบริเวณที่มีอากาศร้อนจัด

3. ชนิดเกิดแรงสูงเร็ว ซีเมนต์ชนิดนี้เกิดแรงสูงเร็วในระยะแรก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการถอดไม้แบบเร็ว และต้องการประหยัดซีเมนต์ ซีเมนต์ ชนิดนี้มีเนื้อละเอียดมากกว่าชนิดอื่นๆ แต่อาจทำให้เกิดรอยร้าวบนผิวคอนกรีตได้ง่าย

4. ชนิดคายความร้อนต่ำ ซีเมนต์ชนิดนี้มีอัตราการคายความร้อนต่ำมาก เหมาะสำหรับงานก่อสร้างใหญ่ๆ โดยเฉพาะการสร้างเขื่อน

5. ชนิดมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่าง ซีเมนต์ ชนิดนี้ใช้สำหรับอาคารที่ต้องสัมผัสกับสารที่เป็นด่างอย่างแรง โดยปกติซีเมนต์ชนิดนี้จะแข็งตัวช้ากว่าธรรมดา

คอนกรีตคือส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และหินหรือซีเมนต์ ทราย และกรวด ตามสัดส่วนแล้วเติมน้ำลงไปเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ กลายเป็นตัวประสานซึ่งจะยึดทรายกับหินหรือกรวดเข้าด้วยกันเป็นก้อนแข็ง สัดส่วนที่ใช้โดยทั่วๆ ไปคือ

ก. 1:2:4 ใช้ผสมทำคอนกรีตสามัญทุกชนิดประกอบด้วยซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน และหินหรือกรวด 4 ส่วน

ข. 1:1.5:3 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการรับแรงสูงเป็นพิเศษ เช่น ตอม่อใต้น้ำ

ค. 1:3:6 เป็นคอนกรีตหยาบ ใช้เทเหนือเสาเข็มเพื่อรองรับฐานราก สัดส่วนนี้เป็นสัดส่วนโดยน้ำหนัก แต่ในทางปฏิบัติทั่วไปแล้วสะดวกที่จะใช้สัดส่วนโดยปริมาตร

การหล่อและบ่มคอนกรีต

ในการเทคอนกรีตลงแบบหรือการหล่อคอนกรีต (placing concrete) พื้น เสา คาน หรือผนัง มักนิยมใช้ไม้หรือเหล็กทำเป็นแบบให้ได้ขนาดและรูปร่างที่ต้องการ ไม้ที่ใช้เป็นไม้ราคาถูก เช่น ไม้กระบากแต่บางทีก็ใช้ไม้อัดทำไม้แบบสำหรับเทคอนกรีตเพราะไม้อัดทำให้ผิวคอนกรีตเรียบร้อยและไม่ต้องฉาบปูนทับ หลังจากเทคอนกรีตลงในแบบประมาณ 5-7 วัน คอนกรีตจะแข็งตัว และอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตจะสูงประมาณร้อยละ 70 ของกำลังคอนกรีตเมื่ออายุ 1 เดือน หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องทิ้งคอนกรีตไว้อย่างน้อย 30 วัน จึงจะใช้งานได้ เนื่องจากคอนกรีตรับแรงอัดได้สูง แต่รับแรงดึงหรือแรงดัดได้ต่ำมาก ฉะนั้น โครงสร้างที่ต้องรับแรงดึงและแรงดัด เช่น คาน และพื้น หรือในส่วนที่ยื่นออกไป เช่น กันสาด หลังจากถอดไม้แบบแล้วจะต้องใช้เสาไม้ค้ำไว้อย่างน้อยที่สุด 20 วัน เพื่อให้คอนกรีตแข็งพอที่จะรับแรงได้

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อผสมซีเมนต์กับน้ำซีเมนต์จะคายความร้อนให้กับน้ำซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีต ถ้าน้ำในคอนกรีตแห้งเร็วเกินไปโดยการซึมหรือระเหย ความร้อนที่คายจากซีเมนต์จะสะสมอยู่ในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตแตกหรือร้าวได้ เพื่อไม่ให้คอนกรีตแตกหรือร้าวเนื่องจากน้ำในคอนกรีตแห้งเร็วเกินไป จึงจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตชื้นอยู่อย่างน้อย 15 วัน การรักษาความชื้นในคอนกรีตให้คงที่อยู่นี้เราเรียกว่า การบ่มคอนกรีต (curing concrete) ปัจจุบันนี้ การบ่มคอนกรีตมักไม่ค่อยได้ทำกัน เพราะซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีตเป็นซีเมนต์ชนิดคายความร้อนต่ำ

คอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง

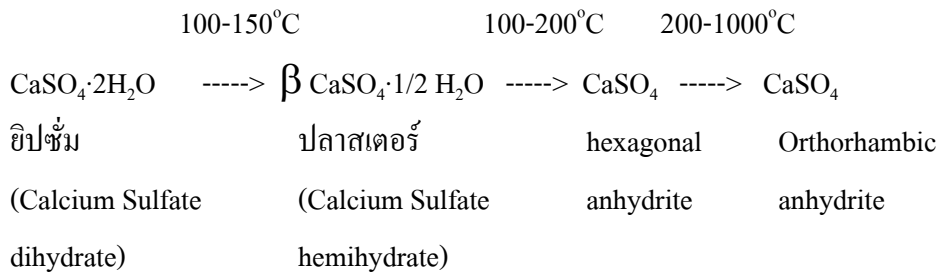
เราทราบกันอยู่แล้วว่าวัตถุเปราะเช่นคอนกรีตหรืออิฐหินนั้นจะสามารถทนต่อแรงกดได้สูง แต่ในขณะที่เดียวกันไม่สามารถทนต่อแรงดึงหรือแรงดัดได้มากนักจึงใช้เหล็กใส่ไว้ภายในคอนกรีต เหล็กที่ใส่มักเป็นเหล็กเส้น หรือเหล็กรูปพรรณ เมื่อเทคอนกรีตลงไป คอนกรีตที่แห้งแล้วจะยึดติดแน่นกับเหล็ก เรียกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก ฉะนั้น เพื่อให้คอนกรีตมีความคล่องตัวในการใช้งานยิ่งขึ้นจึงได้มีการค้นคว้าคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete) ขึ้น

คอนกรีตอัดแรงมี 2 ชนิด ชนิดแรกใช้วิธีดึงเหล็กก่อน (pretensioning method) เช่น การทำเสาไฟฟ้า คอนกรีตอัดแรง จะต้องทำแบบเสาไฟฟ้าเป็นโครงเหล็กวางบนพื้นดินก่อน แล้วร้อยลวดเหล็กไปตามความยาวของแบบ ดึงเหล็กนี้ให้ยึดออกตามรายการที่คำนวณไว้ จากนั้นก็จะเทคอนกรีตลงในแบบ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วปล่อยแรงที่ดึงออก เหล็กเส้นที่เป็นโครงภายในก็จะหดตัวกลับ การหดตัวกลับของเหล็กจะทำให้เสาคอนกรีตนั้นมีแรงอัดอยู่ในตัวเองตลอดเวลา อีกวิธีหนึ่งใช้วิธีดึงเหล็กทีหลัง (post-tensioning method) เช่น คานสะพานคอนกรีตอัดแรงวิธีทำนั้นจะต้องทำแบบคานและวางท่อที่จะสอดเหล็กไว้ตลอดความยาวของคาน เมื่อเทคอนกรีตลงในแบบจนแข็งตัวแล้วก็ร้อยลวดเหล็กตามท่อ ยึดปลายเหล็กข้างหนึ่งกับปลายคานให้แน่น แล้วดึงเหล็กอีกปลายหนึ่งให้ยึดออกตามรายการคำนวณ แล้วใช้ลิ่มยึดปลายเหล็กไว้กับปลายคานอีกข้างหนึ่งเป็นเสร็จการในกรณีนี้ก็จะเป็นการเพิ่มแรงอัดให้กับคานคอนกรีตก่อนที่จะนำคอนกรีตไปใช้งาน เมื่อนำคานคอนกรีตไปทำสะพาน คานนี้จะรับน้ำหนักบรรทุกจร (live load) ทำให้เกิดแรงดึงและแรงดัดขึ้น ซึ่งจะหักล้างกับแรงอัดที่มีอยู่แล้วในคานคอนกรีต ดังนั้นจะไม่เกิดแรงดึงในคานคอนกรีต

จะเห็นได้ว่า คอนกรีตอัดแรงได้ช่วยให้วิศวกรสามารถใช้คอนกรีตสร้างสะพาน หรือ คานคอนกรีตที่มีช่วงยาวมากๆ ทำเสาไฟฟ้าแรงสูงคอนกรีตแทนเสาไม้ ซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของประเทศ

2.4.3 อุตสาหกรรมยิปซัมและปลาสเตอร์ (Gypsum and Plaster)

เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับทำ mould ทั้ง mould สำหรับการเทแบบ (slip casting) การขึ้นรูปแบบ jiggering, การขึ้นรูปโดยใช้ Roller head machine, การขึ้นรูปโดย Ram press แบบ mould ปูนปลาสเตอร์ได้มาจากการ calcine แร่ยิปซัม (gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) โดยเริ่มจากการบดแร่ยิปซัมแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 100 - 150°C เพื่อไล่น้ำในโครงสร้างผลึก ดังแสดงในปฏิกิริยา ดังนี้



ส่วนประกอบของปลาสเตอร์ คือ calcium sulfate hemihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) ซึ่งรูปผลึกของ hemihydrate มีด้วยกัน 2 รูปคือ α -hemihydrate และ β -hemihydrate ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการ calcine

β -hemihydrate

เริ่มจากการนำแร่ยิปซัมมาทำการบดและนำไปผสมกับน้ำ 5 - 10 % น้ำที่เติมเข้าไปจะช่วยทำให้ยิปซัมเปลี่ยนเป็น β -hemihydrate ได้เร็วที่สุด หลังจากนั้น จะเผาในเตา Rotary หรือ oven ที่ไม่ต้องมีการปรับความดันที่อุณหภูมิในช่วง 120 - 150°C ใช้เวลา 1 - 2 ชั่วโมง ก็จะได้ β -hemihydrate หรือที่รู้จักกันในชื่อ "plaster of paris" β -hemihydrate ประกอบด้วยผลึกที่ไม่เป็นระเบียบมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ประกอบด้วยรู (pore) และมีลักษณะเป็นรอยแยก (fissure) และมักมีการกระจายของขนาดอนุภาคในช่วงกว้าง

α -hemihydrate

วิธีการสังเคราะห์ α -hemihydrate จากแร่ยิปซัม

แร่ยิปซัมบดละเอียด + น้ำ 25 - 30 %

↓
Mix ให้เป็น slurry

↓
เข้าเครื่องบีบความดันสูง (Autoclave)

อุณหภูมิ 125 - 130°C

ความดัน 1.5 kg/cm²

เวลา 2 ชั่วโมง

↓
เข้าสู่อบที่อุณหภูมิ ~ 70°C 1 คืน

α -hemihydrate ประกอบด้วยผลึกที่เป็นระเบียบ มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มและมีความหนาแน่นสูงกว่า β -hemihydrate ผลึกภัณฑ์ที่ได้จาก α -hemihydrate จะมีความแข็งแรงกว่า β -hemihydrate เนื่องจากการขึ้นรูปชิ้นงานนั้น พบ α -hemihydrate จะใช้น้ำในการผสมน้อยกว่า ส่วน β -hemihydrate จะใช้น้ำในการผสมมาก เนื่องจากผลึกมีความแตกต่างในรูปร่างมากและมีความพรุนตัวสูง

การแข็งตัวของ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (Hemihydrate)

จากปฏิกิริยา α -hemihydrate จากยิปซัมมาเป็น hemihydrate นั้น จะเกิดการผันกลับได้ของปฏิกิริยาดังแสดงในสมการ



ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานี้คือ ยิปซัม และความร้อนที่คายออกมานี้จะเท่ากับความร้อนที่ใช้ในการ calcine ปฏิกิริยานี้ เริ่มต้นโดยการผสม hemihydrate กับน้ำตามอัตราส่วนที่เราต้องการใช้งานสำหรับการทำแบบ (mould) จะได้สารแขวนลอย (suspension) ที่เริ่มเป็นของไหล และสามารถใช้งานในการหล่อแบบได้ หลังจากนั้น hemihydrate จะละลายน้ำจนกระทั่งเป็นสารละลายที่อิ่มตัว (Saturated solution) จากนั้นสารละลายที่อิ่มตัวของ hemihydrate จะอิ่มตัวอย่างยิ่งยวดจนกลายเป็น dihydrate ตกตะกอนออกมา ในขณะที่ dihydrate ตกตะกอนสารละลายจะไม่อิ่มตัว ดังนั้นจึงมีการละลายได้เพิ่มขึ้น ผลึกที่ได้จะมีขนาดโตขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแสดงได้โดยดูจากความร้อนที่คายออกมา เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งอุณหภูมิจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นน้อยมาก เวลาในช่วงนี้เรียก induction period ซึ่งเป็นช่วงที่เราสามารถเทแบบเพื่อขึ้นรูปได้ หลังจากนั้น อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเกิดการ set ตัวจนกลายเป็นของแข็ง

ตารางที่ 2.5 ความสามารถในการละลายของยิปซัม และสารที่ได้จากยิปซัม (gypsum product)

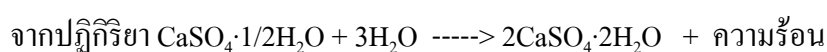
Type	Formula	Solubility , g/100 ml
Dihydrate	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.2
Hemihydrate	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	0.9
Anhydrite	CaSO_4	0.3

อัตราส่วนของน้ำต่อพลาสติกอร์ (w/p ratio)

W/P ratio เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำต่อพลาสติกอร์ (hemihydrate) โดยคิดเป็นน้ำหนัก อัตราส่วน W/P มีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลึกภัณฑ์ยิปซัม เช่น เมื่อใช้อัตราส่วน W/P สูงจะทำให้เวลาการแข็งตัว (setting time) นานขึ้น แต่ผลึกภัณฑ์ที่ได้จะไม่แข็งแรง

บางครั้ง W/P ratio อาจจะเรียกเป็นค่า ความชื้นเหลว (consistency) ซึ่งค่านี้จะบอกถึงปริมาณน้ำที่จะใช้ต่อปริมาณของพลาสติกอร์ 100 ส่วน เช่น consistency 50 หมายถึง ใช้พลาสติกอร์ 100 : น้ำ 50

เวลาที่ใช้ในการแข็งตัว (Setting time)



จะมีการใช้เวลาที่แน่นอนในการรวมตัว ดังนั้นช่วงเวลาที่ผงพลาสติกผสมกับน้ำจนกระทั่งเกิดการแข็งตัวเราเรียกช่วงเวลานี้ว่า setting time

ในการใช้งานผงพลาสติกสำหรับทำแบบพิมพ์ (mould) สำหรับงานเซรามิก หรือในทางการแพทย์ เช่น การนำแบบพิมพ์ในทางทันตกรรม, การเข้าเฟือก จะต้องสามารถควบคุมเวลาระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัวในเวลาที่เหมาะสม โดยทั่วไปเวลาในการแข็งตัวจะวัดโดยใช้วิธี penetration test โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Vicat วิธีการวัดเริ่มต้นจากผสมผงพลาสติกกับน้ำ จนถึงเวลาที่ปล่อยเข็มจากเครื่อง vicat แล้ว เข็มไม่ทะลุลงในเนื้อของพลาสติกอีก จะเรียกช่วงเวลานี้ว่า เวลาในการก่อตัว (setting time)

สำหรับการวัดโดยใช้ Gillmore needle นั้นจะมีเข็มวัด 2 อัน จะมีน้ำหนัก 113.4 กรัม ส่วนเข็มอันใหญ่หนัก 453.6 กรัม เวลาจากเริ่มผสมพลาสติกกับน้ำ จนกระทั่งเมื่อปล่อยเข็มเหล็กลงมาแล้ว ไม่ทะลุลงในเนื้อพลาสติก เรียกช่วงเวลานี้ว่า "initial setting time" ซึ่งจะเท่ากับเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวโดยใช้ vicat needle แต่ถ้าใช้เข็มอันใหญ่ ช่วงเวลาจากการเริ่มผสมกับน้ำจนกระทั่งเข็มไม่ทะลุลงในเนื้อพลาสติก จะเรียกช่วงเวลานี้ว่า final setting time

นอกจากนี้ยังมีวิธีการหาเวลาในการก่อตัวอีกวิธีหนึ่งทำโดยสังเกตความมันที่ผิวพลาสติก โดยในช่วงแรกที่ผสมกับน้ำนั้น ผิวของพลาสติกจะมีความมัน เมื่อเริ่มแข็งตัวความมันจะค่อยๆ ลดลง จนด้านในที่สุด ซึ่งสามารถใช้บอกช่วงเวลา setting time ได้อย่างง่ายดาย

การควบคุมการแข็งตัว

ในทางทฤษฎีแล้ว มี 3 แนวทางด้วยกันในการควบคุมการแข็งตัวของพลาสติก

1. ความสามารถในการละลายของ hemihydrate จะเกี่ยวข้องกับอัตราการแข็งตัวของพลาสติก ถ้าเราทำให้การละลายของ hemihydrate เพิ่มขึ้น อัตราการตกผลึกกลับออกมาของ CaSO_4 จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะให้อัตราในการแข็งตัวเพิ่มขึ้น (เวลาในการแข็งตัวเร็วขึ้น)

2. จำนวน nuclei ของการตกผลึก สามารถทำให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ เมื่อจำนวน nuclei ของผลึกเพิ่มขึ้น การแข็งตัวของพลาสติกจะเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น

3. เมื่ออัตราการโตของผลึกเพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาในการแข็งตัวเร็วขึ้น

ถ้าในการ calcine ยิปซัมไม่สมบูรณ์ ทำให้ยังมียิปซัมหลงเหลืออยู่ในพลาสติก หรือบางครั้งในกระบวนการผลิตพลาสติก ได้มีการเติมยิปซัมลงไปปริมาณเล็กน้อย จะทำให้เวลาในการแข็งตัวเร็วขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มความสามารถในการเพิ่มจำนวน nuclei ของผลึก นอกจากนี้ ถ้า orthorhombic anhydrite เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต จะทำให้เวลาการแข็งตัว เพิ่มขึ้น แต่ถ้ามี hexagonal anhydrite เกิดขึ้น จะทำให้เวลาการแข็งตัวลดลง ความละเอียดของผง hemihydrate (plaster) ก็มีผลต่อเวลาการแข็งตัวเช่นกัน คือ ถ้ามีความละเอียดมาก จะทำให้เวลาการแข็งตัวเร็วขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มอัตราการละลายของ hemihydrate และยังช่วยให้ยิปซัม nuclei มีจำนวนมากขึ้น ซึ่งจะเป็ตัวเร่งให้เกิดผลึกเพิ่มขึ้น

อัตราส่วนของน้ำต่อปลาสเตอร์ (W/P ratio) ก็มีผลเช่นกัน โดยเมื่อใช้น้ำในการผสมมาก จะทำให้จำนวน nuclei ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรลดลง มีผลทำให้เวลาการแข็งตัวยาวขึ้น ตามตารางแสดงผลของ W/P ratio และเวลาที่ใช้ในการผสมที่มีต่อเวลาการแข็งตัวของปลาสเตอร์

ตารางที่ 2.6 ผลของ W/P ratio และเวลาที่ใช้ในการผสม ที่มีต่อเวลาการแข็งตัวของ plaster of paris

W/P ratio	Mixing time (min)	Setting time (min)
0.45	0.5	5.25
0.45	1.0	3.25
0.60	1.0	7.25
0.60	2.0	4.50
0.80	1.0	10.50
0.80	2.0	7.75
0.80	3.0	5.75

การกวนผสมปลาสเตอร์กับน้ำ ถ้าใช้เวลาในการกวนนาน จะทำให้เวลาการแข็งตัวเร็วขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากขณะทำการกวน การรวมตัวของผลึกจะเพิ่มขึ้น ในเวลาเดียวกันผลึกจะแตกหักเนื่องจากไม้พายหรือใบกวนที่ใช้กวน แล้วกระจายตัวไปทั่วส่วนผสมเป็นผลทำให้เกิดการรวมตัวของ nuclei เวลาในการแข็งตัวจึงลดลง

สำหรับผลของอุณหภูมิต่อเวลาการแข็งตัวนั้น ในช่วง 0 - 50 °C จะไม่มีผลมากนัก แต่ถ้าอุณหภูมิของส่วนผสมสูงกว่า 50 °C ขึ้นไปจะทำให้การแข็งตัวของปลาสเตอร์ช้าลง และเมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ 100 °C จะไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปลาสเตอร์

ตัวหน่วงปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยา (retarder and accelerator)

การเติมสารเคมี เพื่อควบคุมเวลาการแข็งตัวของปลาสเตอร์ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด สารเคมีที่เป็นตัวลดเวลาการแข็งตัว เรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) และสารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อนำให้เวลาการแข็งตัวของปลาสเตอร์ช้าลง เรียกว่าตัวหน่วงปฏิกิริยา (retarder)

ตัวหน่วงปฏิกิริยาที่เติมลงไปจะรวมตัวเป็นแผ่นบางๆ (absorbed layer) บน hemihydrate ซึ่งจะช่วยลดการละลายของ hemihydrate และรวมตัวเป็นแผ่นบางๆ บนผลึกยิปซัม ยับยั้งการโตของผลึกตัวหน่วงปฏิกิริยาส่วนใหญ่ เป็นสารอินทรีย์เช่น กาว พลาติน ส่วนสารประกอบของเกลืออนินทรีย์นั้นเมื่อเติมในปริมาณน้อย ๆ จะแสดงปฏิกิริยาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ถ้าใส่ในปริมาณมากจะแสดงเป็นตัวหน่วงปฏิกิริยา

ความแข็งแรง (Strength)

ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ยิปซัม โดยทั่วไปจะแสดงด้วย ความทนทานต่อแรงอัด (compressive strength) ความแข็งแรงของปลาสเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะเกิดการแข็งตัวหลังจาก initial setting time อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ในปลาสเตอร์ที่แข็งตัวแล้ว จะมีผลต่อความแข็งแรงของปลาสเตอร์ ดังนั้น จึงได้มีการเปรียบเทียบค่า wet strength (green strength) กับ dry strength ของปลาสเตอร์ โดยค่า wet strength เป็นความแข็งแรงของปลาสเตอร์ที่ยังคงเหลือน้ำอยู่จากการ hydration ของ hemihydrate และเมื่อทำให้ปลาสเตอร์แห้งปราศจากน้ำแล้ว ความแข็งแรงที่วัดได้นี้จะเป็น dry strength ซึ่งโดยปกติแล้ว ค่า dry strength จะมีค่าเป็นสองเท่าหรือมากกว่าของค่า wet strength ผลการ drying ที่มีต่อ compressive strength

ตารางที่ 2.7 แสดงเวลาการอบแห้ง ที่มีผลต่อความแข็งแรงของ Plaster of paris

Drying period (ชั่วโมง)	Compressive strength (MPa)	Loss in weight (%)
2	9.6	5.1
4	11.7	11.9
8	11.7	17.4
16	13.0	17.5
24	23.3	18.0
48	23.3	18.0
72	23.3	18.0

โดยปกติแล้วปลาสเตอร์จะมีความพรุนตัว และถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปลาสเตอร์สูง (ค่า consistency สูง) จะทำให้ได้ปลาสเตอร์ที่มีความพรุนตัวสูงไปด้วย และมีผลเกี่ยวเนื่องทำให้ความแข็งแรงลดลงไปด้วย

ตารางที่ 2.8 แสดงความพรุนตัวของ set gypsum ที่อัตราส่วนของน้ำต่อปลาสเตอร์ต่างกัน

W/P ratio	porosity (%)
0.25	10.3
0.30	15.3
0.35	20.3
0.40	25.3
0.50	25.3
0.60	45.3
1.00	85.3

นอกจากนี้ เวลาที่ใช้ในการกวนผสมก็มีผลต่อความแข็งแรงของปลาสเตอร์ เช่นกัน คือเมื่อเพิ่มเวลาการผสมจะทำให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

คุณลักษณะเฉพาะของปลาสเตอร์ (characterization of plaster) เมื่อวิเคราะห์โดยเครื่อง DTA

2.4.4 อุตสาหกรรมแก้วและกระจก

สำหรับอุตสาหกรรมแก้วและกระจกนั้นใช้วัตถุดิบ 5 ชนิดหลักได้แก่ ทรายแก้ว หินปูน โดโลไมต์ หินฟอสเฟต และโซดาแอช นอกนั้นจะเป็นสารเคมีที่ใช้เพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับแก้วและกระจก ประเทศไทยมีปริมาณสำรองของ ทรายแก้ว หินปูน โดโลไมต์ และหินฟอสเฟต อย่างอุดมสมบูรณ์ แต่โซดาแอชนั้นต้องนำเข้าจากประเทศจีนเป็นหลัก ส่วนวัตถุดิบหมวดเคมีภัณฑ์ ประเทศไทยยังไม่มีศักยภาพพอเพียงที่จะผลิตวัตถุดิบส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้ได้ อย่างไรก็ตาม ทรายแก้วซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญที่สุดมีแหล่งวัตถุดิบหลายแหล่งอยู่ในเขตพื้นที่ชุมชนแหล่งท่องเที่ยวและเขตพื้นที่ป่าสงวน จึงจำเป็นจะต้องมีการวางแผนใช้ประโยชน์จากที่ดินร่วมกันระหว่างผู้ประกอบการเหมืองและหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องตลอดจนการส่งเสริมให้มีการนำเข้าทรายแก้วคุณภาพสูงแต่ราคาต่ำกว่าของไทยเช่น ทรายแก้วจากประเทศกัมพูชา เป็นต้น

บทที่ 3

โครงสร้างทางแร่ และองค์ประกอบ

สำหรับวัสดุเซรามิกมีพันธะไอออนิกเป็นหลักนั้น โครงสร้างผลึกอาจจะมีไอออนประจุไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบ เมื่อพิจารณาไอออนของโลหะหรือแคตไอออนซึ่งเป็นประจุบวก อะตอมจะให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนแก่ไอออนของอโลหะหรือแอนไอออนซึ่งเป็นประจุลบนั่นเอง ด้วยคุณลักษณะของไอออนที่เป็นองค์ประกอบวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกแบบเซรามิกจะมีอิทธิพลต่อโครงสร้างผลึก นั่นคือ ปริมาณประจุไฟฟ้าของไอออนแต่ละตัว และมีความสัมพันธ์กับขนาดของแคตไอออนและแอนไอออนด้วย สำหรับประการแรก คือ ผลึกจะมีความเป็นกลางทางไฟฟ้า (Neutral) ซึ่งประจุไฟฟ้าบวกของแคตไอออนมีค่าเท่ากับประจุไฟฟ้าลบของแอนไอออน แสดงด้วยสูตรทางเคมีเป็นอัตราส่วนระหว่างแคตไอออนและแอนไอออน หรือองค์ประกอบที่มีค่าประจุเท่ากัน ตัวอย่างเช่น แคลเซียมฟลูออไรด์ ซึ่งไอออนของแคลเซียมมีประจุ +2 (Ca^{2+}) และประกอบด้วยไอออนของฟลูออไรด์มีค่าประจุเป็นลบ (F) ดังนั้น จึงมีประจุ F เป็นสองเท่าของประจุ Ca^{2+} แสดงด้วยสูตรทางเคมีของสารประกอบ CaF_2 นั่นเอง

3.1 ซิลิกา

วัสดุประเภท Silicate พื้นฐานอีกชนิดหนึ่ง คือ ซิลิกอนออกไซด์ หรือ Silica (SiO_2) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบ 3 มิติ นั่นคือ อะตอมของออกซิเจนที่อยู่ตรงมุมของรูปทรงกรวยสามเหลี่ยมหนึ่งจะถูกใช้ร่วมกับอีกอันหนึ่ง ดังนั้น วัสดุชนิด Silica จึงมีความเป็นกลางทางไฟฟ้าและมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของอะตอมแบบเตติร ค่าอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนและออกซิเจนเท่ากับ 1 : 2 แสดงด้วยสูตรทางเคมี

โครงสร้างผลึกแบบรูปทรงกรวยสามเหลี่ยมของ Silica มารวมตัวกันในหน่วยเซลล์ มี 3 แบบ คือ Quartz, Tridymite และ Cristobalite ซึ่งโครงสร้างมีความสัมพันธ์แบบเปิด กล่าวคือ อะตอมจะไม่อยู่ชิดติดกันมากนัก โครงสร้างผลึกของ Silica จึงมีความหนาแน่นต่ำ ตัวอย่างเช่น อนุกรมมิกซ์ Quartz มีความหนาแน่นเพียง 2.65 g/cm^3 เป็นต้น ส่วนค่าความแข็งแรงของพันธะอะตอมระหว่างซิลิกอนและออกซิเจนแปรตามค่าจุดหลอมเหลวที่มีค่าสูงประมาณ 1710°C

แก้ว Silica เป็นวัสดุเซรามิกทำขึ้นจากสารอนินทรีย์ที่อุณหภูมิสูง เมื่อถูกหลอมเหลวโดยให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลงแล้ว แก้วจะแข็งตัวโดยไม่เกิดโครงสร้างผลึก ดังนั้นแก้วจัดเป็นของแข็งที่มีผลึกแบบไม่แน่นอน ซึ่งอะตอมอยู่แบบไม่เป็นระเบียบคล้ายกับลักษณะของเหลว เรียกว่า Fused silica หรือ Vitreous silica เมื่อพิจารณาผลึกของ Silica เป็น SiO_2 แบบรูปปิรามิดสามเหลี่ยมถือว่าเป็นรูปแบบพื้นฐานและอยู่รวมกันแบบไม่เป็นระเบียบ สำหรับออกไซด์ชนิดอื่นมีโครงข่ายแบบแก้ว ตัวอย่างเช่น SiO_2 เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า Network former

เมื่อเติมสารบางชนิดลงไปในแก้ว จะทำให้โครงข่ายโครงข่ายของแก้วบางส่วนถูกทำลาย เรียกสารเหล่านี้ว่า Network modifier เช่น แอลคาไลออกไซด์ เช่น Na_2O และ K_2O และแอลคาไลเอิร์ธออกไซด์ เช่น CaO และ MgO เป็นต้น เมื่อโครงสร้างโครงข่ายของแก้วแตกออก ทำให้ความหนืดของแก้วลดลง และ

นำไปขึ้นรูปได้ง่าย อะตอมของออกซิเจนจากออกไซด์เหล่านี้จะเข้าสู่โครงสร้างโครงข่ายของซิลิกาที่จุดเชื่อมระหว่างรูปทรงกรวยสามเหลี่ยม และทำลายโครงสร้างโครงข่ายนั้น ทำให้เกิดอะตอมของออกซิเจนที่มีอิเล็กตรอนไม่มีคู่ขึ้น

วัสดุประเภท Silicate หลายชนิด ซึ่งมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ที่มุมของ SiO₄ แบบรูปปิรามิดสามเหลี่ยมที่มีการใช้ร่วมกันอยู่ ตั้งแต่ 1 ถึง 3 อะตอมนั้น จะมีโครงสร้างซับซ้อน

3.2 โครงสร้างของแร่ดิน Structure of clay mineral

ก่อนที่จะกล่าวเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของแร่ซิลิเกตนี้ จำเป็นต้องอธิบายเกี่ยวกับหน่วยพื้นฐานของโครงสร้างของผลึกเสียก่อน ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ หน่วยซิลิกาเตตราฮีดรอน (silica tetrahedron) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยธาตุซิลิคอน 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยธาตุดอกซิเจน (oxygen) 4 อะตอม อัดตัวกัน โดยมีอะตอมของ silicon อยู่ตรงกลาง เกิดเป็นผลึกรูปทรงที่มี 4 ด้านคล้ายปิรามิด หน่วยโครงสร้างนี้จึงมีชื่อเรียกว่า หน่วยซิลิกาเตตราฮีดรอน หรือ silica tetrahedron unit แต่ละหน่วยนี้จะเกาะเชื่อมกันเข้าต่อกันเป็นแผ่น โดยมีการเกาะหรือ share ออกซิเจนร่วมกันระหว่างออกซิเจนที่อยู่พื้นฐานของหน่วย ทำให้เกิดเป็นแผ่นที่มีลักษณะเหมือนรังผึ้ง ก็จะเป็นแผ่นที่มีลักษณะเป็นวงหรือช่องรูปหกเหลี่ยม (hexagonal hole) แผ่นนี้มีชื่อเรียกว่า silica tetrahedron sheet หรือเรียกสั้นๆว่า ซิลิกาชีท (silica sheet)

หน่วยอะลูมินาออกตะฮีดรอน (alumina octahedron) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย อะลูมิเนียม (aluminum) 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 6 อะตอมอัดตัวกัน โดยมีอะลูมิเนียมอยู่ตรงกลางเกิดเป็นผลึกมีรูปทรงที่มีแปดด้านขึ้น จึงเรียกหน่วยโครงสร้างนี้ว่า อะลูมินาออกตะฮีดรอน หรือ alumina octahedron unit แต่ละหน่วยนี้จะเกาะเชื่อมกันเป็นแผ่น โดยมีการเกาะหรือ share ออกซิเจนร่วมกันคล้ายๆ กับหน่วยซิลิกาเตตราฮีดรอน แต่แผ่นที่เกิดขึ้นจะเป็นแผ่นที่บวมไม่มีช่องว่างรูปหกเหลี่ยม แผ่นของอะลูมินาออกตะฮีดรอนนี้เรียกว่า alumina octahedron sheet หรือเรียกสั้นๆว่าอะลูมินาชีท (alumina sheet)

อนุภาคดินประกอบด้วยแร่ซิลิเกตหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะประกอบไปด้วยหน่วยโครงสร้างพื้นฐานดังกล่าวแล้ว ความแตกต่างกันระหว่างแร่ซิลิเกตชนิดต่างๆ ก็จะขึ้นอยู่กับ การเรียงซ้อนกันของแผ่นซิลิกา (silica sheet) และแผ่นอะลูมินา (alumina sheet) กับการเปลี่ยนแปลงแทนที่กันของ Si และ Al ในแผ่นดังกล่าวกับธาตุอื่นๆ ซึ่งการแทนที่นี้เรียกว่า isomorphous substitution ชนิดของแร่ซิลิเกตที่สำคัญได้แก่

3.2.1 กลุ่มเคโอลินท์ (Kaolinite)

เป็นกลุ่มที่พบอยู่ในดินมากที่สุด จึงจัดได้ว่ามีความสำคัญมากกว่าแร่ดินเหนียวชนิดอื่นๆ แร่ดินเหนียวในกลุ่มนี้ที่สำคัญได้แก่ kaolinite, halloysite นอกจากนี้ยังมีชนิดอื่นๆ อีกแต่ยังไม่พบอย่างแพร่หลายอยู่ในดิน ในกลุ่มนี้ kaolinite จะเป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุด โครงสร้างในกลุ่มนี้เหมือนกันทุกประการคือ มีสูตรทางเคมีดังนี้ Si₄Al₄O₁₀(OH)₈ จะแตกต่างกันที่การเรียงซ้อนกับหน่วยของผลึก (crystal unit) เช่น อาจจะซ้อนกันเป็นแนวตั้งหรือเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางข้างหน้า ซึ่งในการเรียงตัวแต่ละแบบนี้จะทำให้มีชื่อเรียกต่างกันไป

โครงสร้างของ kaolinite จะประกอบด้วยแผ่นซิลิกาหนึ่งแผ่นประกบกับแผ่นอะลูมินาอีกหนึ่งแผ่น โดยที่ Si และ Al จะร่วมเกาะออกซิเจนตัวเดียวกันในด้านที่ประกบเข้าหากัน ทำให้แผ่นทั้งสองเชื่อมกันแน่น รวมเข้ากันเป็นผลึกของแร่ kaolinite โครงสร้างแบบนี้จึงเรียกได้อีกอย่างว่าเป็น โครงสร้างผลึกประเภท 1:1 ของแผ่นผลึก kaolinite นี้เป็นรูปหกเหลี่ยมมีขอบชัดเจน ซึ่งในธรรมชาติผลึกนี้จะเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ คล้ายๆ แผ่นแร่ mica ชั้นต่างๆนี้จะยึดกันแน่นไว้ด้วยแรงไฮโดรเจนบอนด์ (hydrogen bond) ดังนั้นช่องว่างระหว่างชั้นนั้นจะมีระยะห่างคงที่ ไม่สามารถขยายให้กว้างขึ้นหรือหดให้แคบลงได้ ช่องว่างระหว่างชั้นนี้อาจเรียกว่า หลืบ ระหว่างแผ่นผลึก(inter layer) ระยะทางที่วัดจากขอบบนของผลึกแผ่นบนจนถึงขอบบนของผลึกแผ่นล่างถัดลงมา ซึ่งรวมทั้งระยะกว้างของหลืบนั้น เรียกว่า basal spacing ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะผลึกของแร่แต่ละชนิด สำหรับแร่ kaolinite นั้นมีค่า basal spacing เท่ากับ 7Å หรือแองสตรอม (angstrom)

ไฮโดรเจนบอนด์ที่ยึดชั้นผลึกของแร่ kaolinite ไว้ นั้น เกิดขึ้นระหว่างอะตอม O ของแผ่นซิลิกา กับ อะตอม H ของแผ่นอะลูมินาที่ไม่มี H มีแต่ O ซึ่งตัวนี้จะถูกแทนที่ OH (ไฮดรอกซิล-hydroxyl) แรงยึดไฮโดรเจนบอนด์นี้ค่อนข้างเหนียวแน่นมาก จึงทำให้หลืบระหว่างแผ่นผลึกนั้นแคบและขยายออกไม่ได้ และทำให้โมเลกุลของน้ำและ cation ต่างๆ ไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในหลืบนั้นได้ จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลึกของแร่ kaolinite นี้ไม่ขยายหรือหดตัวเมื่อเปียกน้ำและแห้ง ส่วนพื้นที่ผิวภายในหลืบ (internal surface) ก็ไม่มีประโยชน์ในการดูดซับน้ำหรือไอออนอื่นๆ ดังนั้นจึงถือได้ว่า แร่ kaolinite ไม่มี internal surface และมีแต่ external surface เท่านั้น สมบัติทั่วไปของดินที่มีแร่ kaolinite มาก คือเมื่อดินเปียกน้ำจะมีความเหนียวน้อยแต่จะร่วนมาก เนื่องจากผลึกของ kaolinite มีโครงสร้างที่แข็งแรงและมีการจัดเรียงตัวกันแน่น อนุภาคของ clay จึงแตกร้าวและหักพังยาก ขนาดอนุภาคของ kaolinite จะโตกว่าแร่ดินเหนียวชนิดอื่นๆ กล่าวคือ ส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.2 ถึง 2 ไมครอน

3.2.2 กลุ่มมอนท์มอริลโลไนท์ (montmorillonite)

แร่ซิลิกาที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ที่สำคัญได้แก่ montmorillonite, beidellite, nontronite, mica และ saponite ซึ่งแร่ montmorillonite จัดว่าสำคัญที่สุดเพราะพบมากในดินทั่วไป

โครงสร้างของแร่กลุ่มนี้ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 1 แผ่น ซึ่งอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นซิลิกาทั้งสอง อะตอม Si และ Al ในแผ่นเหล่านั้นต่างก็เกาะยึด (share) อะตอม O ร่วมกัน ประกอบกันเป็นผลึกของแร่ montmorillonite เนื่องจากโครงสร้างของแร่กลุ่มนี้ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 1 แผ่นจึงมักเรียกว่าเป็น โครงสร้างประเภท 2:1 ผลึกของแร่ นี้จะซ้อนกันเป็นชั้นๆ เช่นเดียวกับแร่ kaolinite แต่ต่างกันตรงที่หลืบระหว่างชั้นผลึกอาจขยายกว้างหรือหดแคบลงได้ จึงทำให้แร่นี้มี basal spacing ไม่คงที่แน่นอน ตั้งแต่ 9-21 angstrom การที่หลืบนี้มีระยะกว้างไม่คงที่ก็เนื่องมาจากไม่มีไฮโดรเจนบอนด์ระหว่างชั้นผลึกที่ซ้อนทับกันอยู่ เพราะทั้งด้านบนและด้านล่างของหลืบนี้ (คือชั้นนอกสุดของซิลิกา) ต่างก็มีอะตอม O ของแผ่นซิลิกา จึงไม่เกิดไฮโดรเจนบอนด์ แต่จะเกิดแรงยึดเกาะระหว่างอะตอม O ด้วยกันแทน ซึ่งเป็นแรงยึดเกาะที่อ่อนมากจึงไม่สามารถยึดหลืบระหว่างชั้นผลึกให้มีระยะคงที่ได้

สมบัติของแร่ซิลิเกตกลุ่มนี้คือ เมื่อเปียกน้ำจะเหนียว โครงสร้างของผลึกไม่แข็งแรง จะแตกสลายได้ง่ายมาก ขอบผลึกจะฉีกง่ายจนไม่อาจเห็นขอบผลึกที่ชัดเจน อนุภาคแร่กลุ่มนี้มีขนาดเล็กมากระหว่าง 0.01-1 ไมครอน

แร่ซิลิเกตในกลุ่ม montmorillonite นี้จะมีสูตรโครงสร้างทางทฤษฎีเหมือนกันคือ $\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ แต่จะต่างกันที่ปริมาณการถูกไล่ของอะตอม Si หรือ Al ใน โครงสร้างของผลึกด้วยธาตุอื่นๆ ซึ่งเรียกการแทนที่แบบนี้ว่า isomorphous substitution

3.2.3 กลุ่มอิลไลต์ (Illite)

แร่กลุ่มนี้มีโครงสร้างของผลึกคล้ายกับกลุ่ม montmorillonite โครงสร้างของแร่ Illite เป็นโครงสร้างประเภท 2:1 มี basal spacing ที่มีระยะคงที่คือ 10 แองสตรอม หลักระหว่างชั้นผลึกที่ซ้อนทับกัน อยู่ที่มีระยะคงที่ ไม่สามารถยืดเข้าออกได้ บางครั้งจึงเรียกแร่กลุ่มนี้ว่าเป็นประเภท non-expanding lattice (lattice หมายถึงชั้น)

โครงสร้างแร่ Illite นั้นคล้ายกับแร่ mica มาก จะแตกต่างกันตรงที่ปริมาณการแทนที่ของ Si ด้วย Al ในแผ่นซิลิกานั้นมีน้อยกว่าของแร่ mica ดังนั้นจะมีผลทำให้ปริมาณประจุลบที่ตกค้างมีอยู่น้อยกว่าและมีปริมาณ K ที่เข้ามาทำให้ประจุสมดุลย่นั้นน้อยกว่าด้วย

สูตร โครงสร้างของ Illite คือ $\text{K}_{1.33}(\text{Si}_{6.68}\text{Al}_{1.33})\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4$

สมบัติทั่วไปของ Illite จะอยู่ระหว่างสมบัติของแร่กลุ่ม kaolinite และกลุ่ม montmorillonite

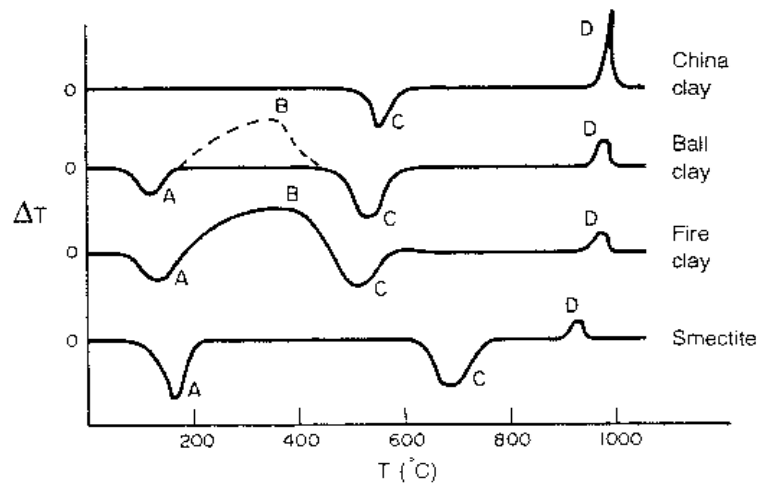
3.2.4 แร่เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite)

ซึ่งมีโครงสร้างประเภท 2:1 และมีองค์ประกอบคล้ายแร่ Illite แต่ที่จะต่างกันตรงที่อะตอม Al ในแผ่นอะลูมินาจะถูกแทนที่ด้วย Mg ทั้งหมดและในระหว่างหลักระหว่างชั้นผลึกที่ซ้อนกันนั้นมีอะตอม Ca และ Mg คูดยึดอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้โมเลกุลของน้ำที่เป็นอิสระแทรกเข้าไปได้น้อยมาก ส่วนที่แทรกเข้าไปได้จะเป็นโมเลกุลของน้ำที่อยู่กับอะตอม Mg ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายๆ กับสะพานเชื่อมระหว่างหน่วยผลึก ระดับการยึดตัวและหดตัวของหลักระหว่างชั้นจึงมีน้อยและมี basal spacing เท่ากับ 10-14 แองสตรอม

3.2.5 แร่คลอไรต์ (Chlorite)

มีโครงสร้างคล้ายแร่ Vermiculite ต่างกันที่แร่ Chlorite จะมีแผ่นอะลูมินาเพิ่มอีก 1 แผ่น ซึ่งจะอยู่ในหลักระหว่างชั้นผลึกอีกที่ Al ในแผ่นอะลูมินานี้จะถูกอะตอม Mg แทนที่หมดทุกตัว เรียกว่าเป็น โครงสร้างประเภท 2:1:1 หรือ 2:2

โดยทั่วไปแล้วดินในแต่ละแห่งจะมีแร่ซิลิเกตหลายชนิดปะปนอยู่มาก นอกจากนี้ยังอาจมีแร่ดินเหนียว ที่มีสมบัติผสมอยู่ระหว่างสมบัติของแร่กลุ่มที่อธิบายมาแล้ว จึงเรียกแร่ประเภทนี้ว่า intergrade clay mineral หรือบางครั้งอาจจะพบผลึกของแร่ซิลิเกตชนิดต่างๆ เรียงซ้อนทับปะปนกันเรียกว่า mixed layer clay mineral หรือ interstratified clay mineral เช่นแร่ Chlorite โครงสร้างของ Kaolinite ประกอบด้วย



รูปที่ 3.1 รูปแสดง DTA peak of Kaolinite

3.2.7 สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี Physical and chemical properties

1. ขนาด (Particle size & particle size distribution) สมบัตินี้ จะเกี่ยวข้องกับเรื่องความเหนียวของดิน, % การหดตัวหลังอบและหลังเผา ซึ่งขนาดของดินขาวจะมีขนาดใหญ่กว่าดินเหนียว ซึ่งดินที่ละเอียดมากก็จะมี ความเหนียวดีขึ้น แต่การหดตัวหลังอบและหลังเผา ก็จะมีมากขึ้นด้วย
2. ความแข็งแรงของชิ้นงานดิน (green strength) ดินขาวจะมีค่า green strength ที่ต่ำกว่าดินเหนียว
3. ความแข็งแรงของชิ้นงานหลังอบ (Dry strength) ดินขาวก็จะมีค่าต่ำกว่าดินเหนียวเช่นกัน เนื่องจากค่าความเหนียวของดินขาวมีน้อยกว่า ในดินเหนียว (ซึ่งมีทั้งขนาดอนุภาคที่ละเอียด และมีตัว binder คือพวกสารอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่ภายใน)
4. ความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผา (firing strength) ดินขาวอาจมีความแข็งแรงหลังเผาสูงกว่า หรือต่ำกว่าดินเหนียวก็ได้ ขึ้นกับ impurities ที่ปนเปื้อนอยู่
5. การหดตัว ดินขาวจะมีค่าต่ำกว่า ทั้งการหดตัวหลังอบและการหดตัวหลังเผา
6. รูปร่างของอนุภาค (Particle shape) แร่ Kaolinite จะมีรูปร่างของอนุภาคเป็นรูปหกเหลี่ยม
7. การดูดซึมน้ำ ดินขาวมักจะมี % การดูดซึมน้ำสูงกว่าดินเหนียว (water absorption)
8. สีหลังเผา จะมีสีขาวอมชมพู ทั้งคู่ถึงแม้ว่าก่อนเผาดินเหนียวอาจจะมีสีเทาถึงดำ
9. กากที่ค้างตะแกรง (% Residue) จะเป็นตัวบอกว่าดินใดที่มีแร่อื่น ๆ เช่น Quartz, feldspar, mica, limestone ปนมา มากกว่ากัน โดยมักจะทำการทดสอบที่ sieve number 325 mesh
10. ความเหนียว (plasticity) ขึ้นกับความละเอียดและปริมาณสารอินทรีย์ภายใน

3.3 แร่ทัลค์ Talc

Talc มีโครงสร้างเป็น TOT เหมือนพวก Montmorillonte แต่ Al^{+3} ใน Octahedral sheet ถูกแทนที่ด้วย Mg^{+2} (Brucite sheet) แรงยึดกันระหว่างออกซิเจนกับออกซิเจนของแต่ละชั้น ไม่แข็งแรงจึงเป็นเหตุให้เกิดรอยแตกตามแนวตั้งฉากกับแกน c ได้ง่าย และเป็นเหตุทำให้แร่นี้มีเนื้อร่วนอ่อนนุ่ม ส่วนประกอบทางเคมี

ตามทฤษฎี คือ 63.5% SiO₂ 31.7% MgO และ 4.8% H₂O และมีสูตรเคมี 3MgO.4SiO₂.H₂O เมื่อสัมผัสจะรู้สึกลื่น (หินสบู่) เนื้ออ่อนใช้เล็บบชุคเข้าได้ง่าย ส่วนคำว่า steatite หรือ black talc หมายถึง ก้อนหินที่มีแร่เป็นองค์ประกอบ talc มีส่วนประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปด้วยเหตุ 2 ประการ คือ

- การแทนที่กันของอนุมูล เช่น Mg⁺² ถูกแทนด้วย Al⁺³
- มีแร่อื่นที่เข้ามาผสมแร่ talc เกือบทั้งหมดมีรูปร่างเป็นแผ่นหรือเป็นเส้น เนื่องจากอะตอมของมันจับกันเป็นแผ่นหรือลูกโซ่ แร่ที่จัดเป็นพวกเดียวกับ talc ก็มี chlorites amphiboles เป็นต้น

Talc เป็นแร่ที่มีสมบัติพิเศษหลายประการจึงใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมเซรามิกหลายชนิด คือ ใช้เป็นส่วนผสมส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมกระเบื้องกรูฟาผนัง เนื่องจากแร่นี้มีสมบัติป้องกันการเกิดการร้าว (crazing) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวเมื่อขึ้น ใช้ในการปั้นภาชนะที่ใช้สำหรับปรุงอาหาร เนื่องจากแร่มีสมบัติต้านทานการเกิดการซ็อคเนื่องจากความร้อน นอกจากนี้สมบัติที่เป็นประโยชน์อีกอันหนึ่ง ก็คือ เนื้อแร่ที่อ่อน ฉะนั้นพวกแบบโลหะที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเนื้อดินปั้นที่มี talc เป็นส่วนผสมจะมีอายุการใช้งานได้นานกว่าปกติ

3.4 หินฟันม้า (Feldspar)

เป็นสารที่ประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกตของแอลคาไลด์ และแอลคาไลด์เอิร์ด โดยเฉพาะสารประกอบของ Na, K, Ca พบมากและใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิก สารประกอบบริสุทธิ์ของ Na, K, Ca หาได้ยากในแร่หินฟันม้าจะมีทั้ง Na, K, และ Ca ซึ่งจะมีอัตราส่วนแตกต่างกันไป เนื่องจากว่า สารประกอบทั้งสามตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกัน

แร่หินฟันม้า โครงสร้างของมันเป็นร่างแห 3มิติ เกิดจากการเชื่อมโยงกันของ oxygen ทั้ง 4 อะตอมของ oxygen – silicon tetrahedrons นอกจากนี้ Al ยังเข้าไปแทนที่ Si บางส่วน และช่องว่างในโครงสร้างร่างแหยังถูก K⁺, Na⁺, Ca⁺² เข้าไปอยู่ ขนาดของอนุมูล Na⁺ เท่ากับ 0.98 Å , Ca⁺² เท่ากับ 1.06 Å , K⁺ เท่ากับ 1.33 Å เนื่องจาก Na⁺ และ Ca⁺² มีขนาดใกล้เคียงกัน สารประกอบของมันจึงมีการละลายกันได้ดี ส่วน K⁺ มีขนาดใหญ่มากสารประกอบของมันจึงละลายกับสารประกอบของ Na⁺, Ca⁺² ได้เพียงบางส่วน หินฟันม้าที่มี Na⁺ และ Ca⁺ เป็นส่วนประกอบมีโครงสร้างเป็น triclinic และหินฟันม้าที่มี K⁺ เป็นองค์ประกอบมีโครงสร้างเป็น monoclinic โครงสร้างของแร่หินฟันม้าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

บทที่ 4

การทำเหมือง การแต่งแร่ และกระบวนการเตรียม

ตามธรรมชาติ แร่ หรือ สินแร่ ที่มีอยู่ในแหล่งแร่ทั่วไปจะเกิดร่วมกับหิน ดิน ทราย และแร่อย่างอื่น ซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีราคา ดังนั้นเพื่อจะนำแร่มีค่ามาใช้งาน จึงจำเป็นที่จะต้องทำแร่นั้นให้มีความสะอาดก่อน โดยหาวิธีการแยกเอาหิน ดิน ทราย หรือแร่ที่ไม่ต้องการออกไปให้มากที่สุด เพื่อให้ได้แร่มีเปอร์เซ็นต์ของแร่ ดิน โลหะหรือสารประกอบที่ต้องการสูง เพียงพอแก่ความต้องการสำหรับใช้งานต่อไป

4.1 กระบวนการแต่งแร่ดินขาวเพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรม

กระบวนการในการแต่งแร่ Kaolinite นั้น ขึ้นกับวัตถุประสงค์ที่จะนำดินนั้นไปใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. Low quality จะเริ่มจากการเปิดหน้าเหมือง เพื่อกำจัดชั้นดินที่เราไม่ต้องการ รวมทั้งเศษหญ้า เศษพืช แล้วจึงใช้รถตักทำการตักนำมาขึ้นรถบรรทุก เพื่อส่งไปยังโรงงานเลย ในกรณีที่เป็นแหล่งทุติยภูมิ ส่วนสำหรับในแหล่งปฐมภูมิก็จะใช้วิธีเปิดหน้าเหมืองแล้วระเบิดเอาดินออกมาเลย ไม่ต้องทำการตกแต่งหรือกำจัดมลพิษใด ๆ ทั้งสิ้น เหมาะจะใช้งานสำหรับทำเนื้อ Body ของกระเบื้องเซรามิก, กระเบื้องหลังคา เซรามิก, วัสดุทนไฟ ราคาวัตถุดิบจะถูก แต่คุณภาพในแต่ละ lot อาจไม่เหมือนกันได้

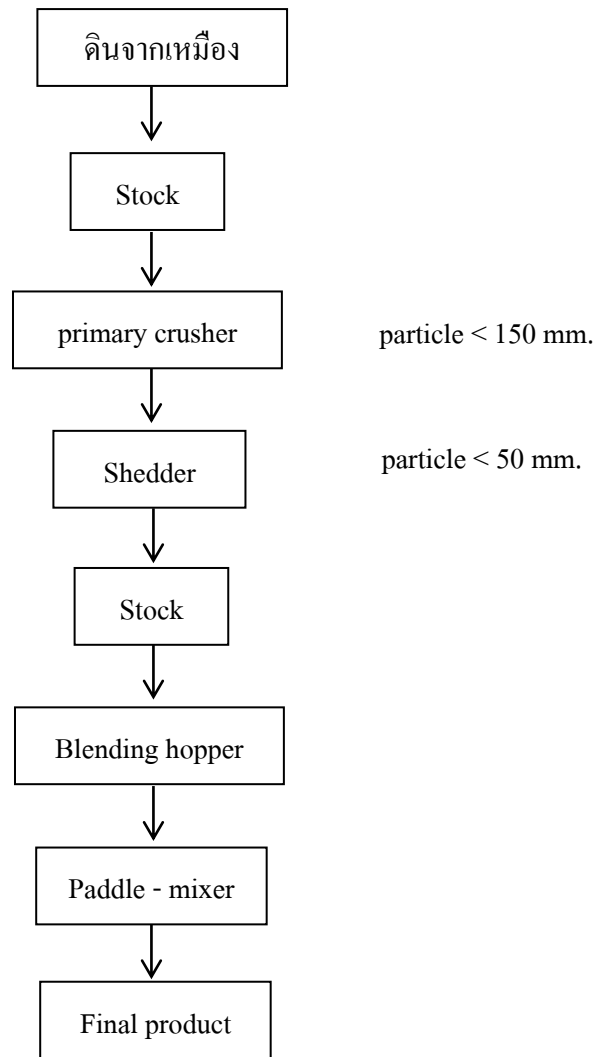
2. Medium quality ใช้สำหรับอุตสาหกรรมกระเบื้อง, ถ้วยชาม, สุขภัณฑ์, ลูกถ้วยไฟฟ้าที่ต้องการคุณภาพของดินที่สม่ำเสมอมากขึ้น จะใช้วิธีการผสม (Blend) ดิน

3. high quality จะเป็นดินที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ที่ต้องอาศัยการหล่อแบบ (slip casting) เนื่องจากจะมีการควบคุมเรื่องอัตราการหล่อแบบ (casting rate) และ impurities ต่างๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งเรื่อง rheology properties ต่าง ๆ ด้วย

การใช้งานในอุตสาหกรรมอื่น

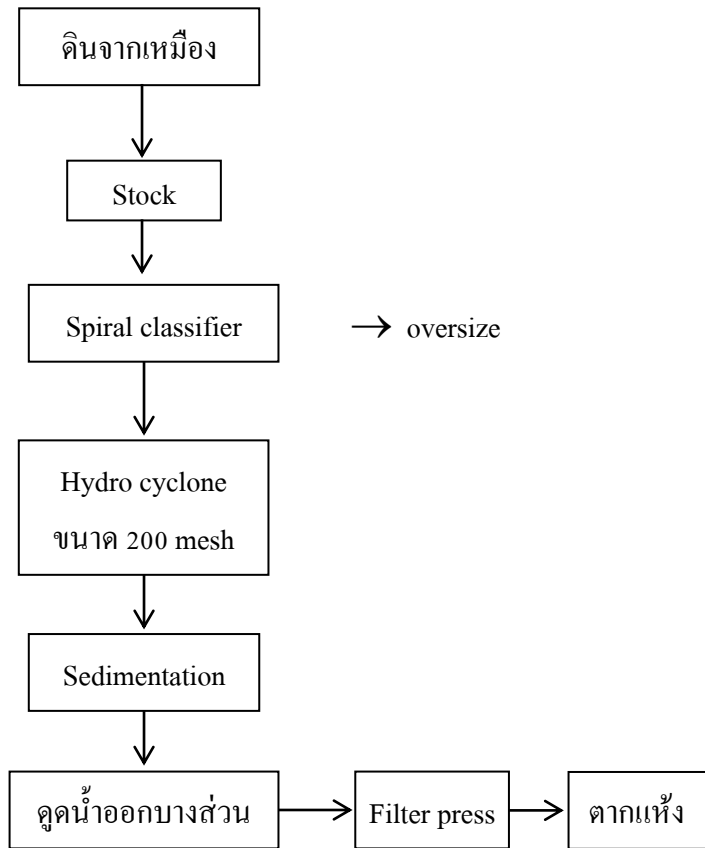
- ในอุตสาหกรรมกระดาษจะใช้ดินขาวเป็นตัว filler และตัว coating แต่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการล้างดินเพื่อคัดขนาดและทำการขจัดสีดินให้มีความขาวมากขึ้นก่อนที่จะนำมาใช้งานเป็นตัว filler ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์และ rubber

- เป็นตัว filler ในอุตสาหกรรมน้ำมันชักเงา (vanish)
- ใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับอุตสาหกรรมยา (ยาเม็ด)
- ใช้เป็นส่วนประกอบของพวก cosmetic และยาสีฟัน
- ใช้เป็นส่วนประกอบของยาฆ่าแมลง
- ใช้เป็นส่วนประกอบของการทำปุ๋ย และใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

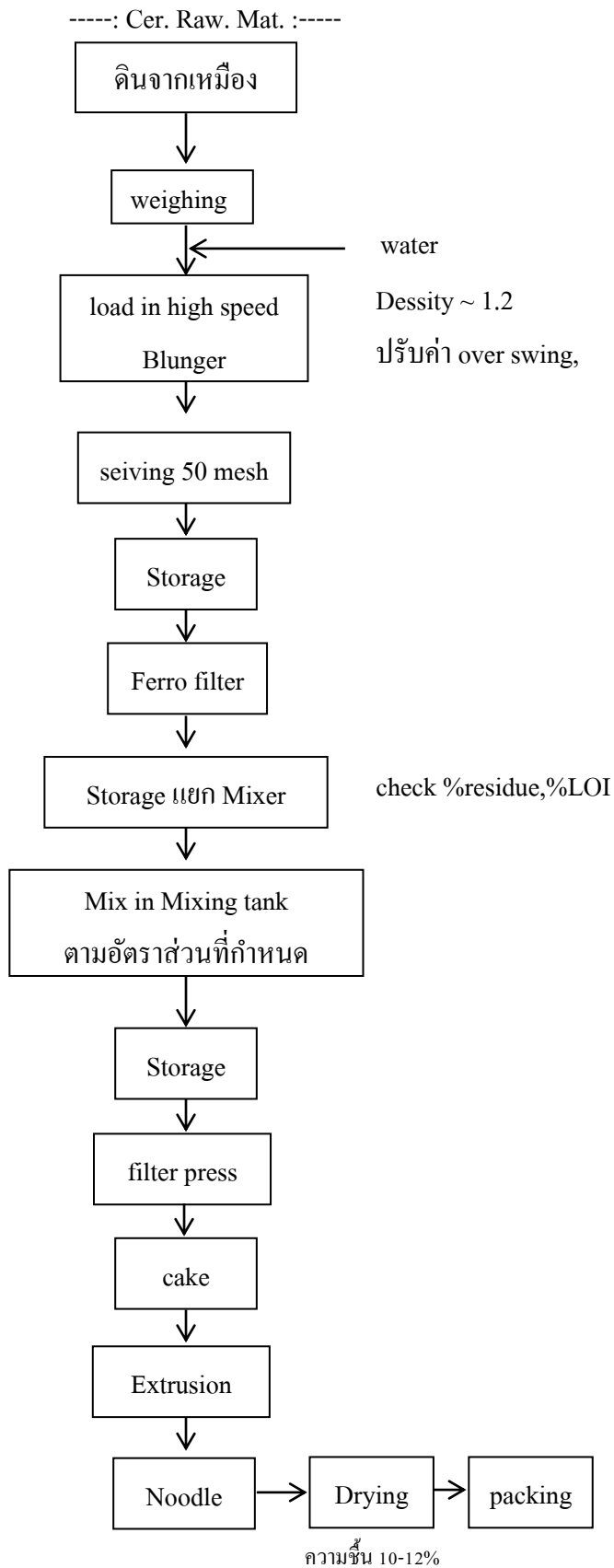


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการแต่งแร่ดินขาวที่มีคุณภาพปานกลางโดยการ Blend ผสม

หรือใช้วิธีล้างดิน โดยเริ่มต้นจากดินที่ขุดมาจากเหมือง



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการแต่งแร่ดินขาวที่มีคุณภาพปานกลางโดยการล้างและแยกแร่เหล็ก



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการแต่งแร่ดินขาวที่มีคุณภาพสูง มีการล้างและแยกแร่เหล็ก

4.2 การแต่งแร่หินฟันม้า

4.2.1 การบดย่อยและคัดขนาด

เริ่มต้นจากการระเบิดเหมือง feldspar และคัดเอาหิน granite ที่ปนมาออกไปก่อนแล้วนำไปเข้าเครื่องย่อยเพื่อลดขนาดลง อาจใช้เครื่อง Jaw crusher, hammer mill, cone crusher ฯลฯ จากนั้นก็ผ่านตะแกรงสั่น ผ่านแม่เหล็กหรือคัตเหล็กที่อาจจะปนมากับแร่หรือปนมาจากเศษวัสดุที่สึกหรอออกมาจาก crusher วิธีการนี้มักใช้กับ feldspar ที่ใช้สำหรับเนื้อดิน ไม่ต้องการความบริสุทธิ์สูง มีมลทิน (impurity) ได้บ้าง ขนาดจะอยู่ในช่วงต่ำกว่า 5 mm.

4.2.2 การบดละเอียด

กระบวนการเริ่มต้นจะเหมือนการบดหยาบ แต่หลังจากได้ก้อนแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 mm. แล้วจะนำแร่ดังกล่าวไปบดต่อใน ball mill ซึ่งมีทั้งแบบบดเปียกและแบบบดแห้ง (ขึ้นกับเครื่องจักร)

ในกรณีบดเปียก เมื่อบดได้ครบตามชั่วโมงที่ต้องการ เช็คความละเอียดของน้ำ slip ได้แล้ว ก็ถ่ายน้ำ slip ออกมาผ่านเครื่องคัตเหล็ก ก่อนจะนำไปอบแห้ง เพื่อให้ได้ผงละเอียดของ feldspar สำหรับนำไปใช้งานต่อไป

ในการบดแห้ง Ball mill ที่ใช้จะมีลักษณะแตกต่างกันกับการบดเปียก โดยวัตถุดิบที่จะป้อนเข้าไปเริ่มต้นจะต้องมีขนาดต่ำกว่า 2 mm. เมื่อบดแล้วจะมี cyclone สำหรับคัดขนาด โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กจนกระแสมภายในสามารถยกอนุภาคขึ้นไปได้จะถูกคัดแยกออกไปจากด้านท้ายของ ball mill ในขณะที่อนุภาคที่ยังมีขนาดใหญ่อยู่ (มีน้ำหนักมาก) จะตกลงและถูกนำกลับไปบดใหม่อีกครั้ง นอกจากนี้อนุภาคที่มีความละเอียดมากก็就会被คัดแยกด้วยเช่นกัน เพราะถ้าเป็นฝุ่นเกินไปก็จะมีปัญหาในการนำไปใช้งานได้ โดยเฉพาะโรงงานผลิต fit โรงงานหลอมแก้ว, กระจก

เมื่ออนุภาคถูกคัดแยกโดยลมแล้ว ก็จะผ่านเครื่องคัตเหล็ก ก่อนจะนำไปบรรจุถุงเพื่อจำหน่ายต่อไป

4.2.3 การลอยแร่หินฟันม้า (Feldspar Flotation)

แร่ลอยเฟลด์สปาร์นั้นจะใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก สำหรับการผลิตสีเคลือบของสุขภัณฑ์ ถ้วยชาม และกระเบื้องเซรามิก ใช้ในการผลิตแก้วที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากแร่ลอยเฟลด์สปาร์ มาจากกระบวนการคัดแยกแร่ที่เป็นมลทินต่างๆ ออกไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้แร่ที่มีความบริสุทธิ์ มีขนาดพอเหมาะสำหรับการผลิตสีเคลือบ

การลอยแร่เฟลด์สปาร์ในประเทศไทยนั้นมีทั้งแร่ลอยของโปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ โซเดียมเฟลด์สปาร์และแร่กะเทยที่มีปนกันทั้งโปแตสเซียม และ โซเดียม เหมือนที่มีโรงสำหรับการลอยแร่ ได้แก่ บริษัทอรรณูนิ ที่จังหวัดตาก และบริษัทเดอะสปาร์ไมนิ่งที่ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี

แร่เฟลด์สปาร์ที่มาจากเหมือง เป็นแร่ที่ได้จากสายแร่ pegmatite แร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ นั้น มีทั้งแร่ที่เป็นโซเดียมเฟลด์สปาร์ และโปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ เกิดปะปนกันอยู่ มีทั้งที่แยกเป็นส่วนชัดเจน และที่

เกิดร่วมกัน รวมทั้งแร่ควอร์ต (Quartz) นอกจากนี้ยังมี impurities อื่นๆ ที่เป็นแร่ที่ไม่ต้องการปะปนมาด้วย ได้แก่ แร่ muscovite, biotite, garnet และแร่อื่นๆ ที่มีเหล็กเป็นส่วนผสม

การลอยแร่ คือ ขบวนการที่จะคัดแยกแร่ที่เราต้องการออกจาก impurities ต่างๆ ที่ปนอยู่ในสายแร่ โดยการทำให้แร่มีสมบัติไม่เปียกน้ำ เกาะติดฟองอากาศขึ้นมา แร่ที่ติดฟองอากาศขึ้นมาเหล่านี้อาจเป็นแร่ที่ต้องการ หรือไม่ต้องการก็ได้ cell ลอยแร่ จึงต้องมีการกวนให้แร่ลอยตัวอยู่ในน้ำ มีทำให้เกิดฟองอากาศ และมีที่ปาดแร่ที่ลอยขึ้นมาออก การจะทำให้แร่ชนิดใดไม่เปียกน้ำ เกาะติดฟองอากาศขึ้นมา หรือให้แร่เปียกน้ำ ไม่เกาะติดฟองอากาศ เราอาจใช้น้ำยาเคมีไปทำปฏิกิริยาเคลือบผิวของแร่นั้นไว้ตามแต่จะต้องการ

สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่มีหลายอย่างด้วยกัน คือ

Collector	เป็นสารเคมีที่ช่วยจับแร่ที่ต้องการให้ติดฟองอากาศลอยขึ้นมา
Depressant	เป็นสารเคมีที่ช่วยกดแร่ที่ไม่ต้องการให้จมลง
Frother	เป็นสารเคมีที่ช่วยทำให้เกิดฟองอากาศ
Regulator	ช่วยปรับ pH ให้กับผิวของแร่

การลอยแร่เฟลด์สปาร์นั้นจะทำงานเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการลอยแร่เพื่อคัดแยกแร่ที่เป็นมลทินออกให้เหลือเฉพาะเฟลด์สปาร์ และควอร์ตที่สะอาด จากนั้นจึงลอยครั้งที่สอง เพื่อแยกแร่เฟลด์สปาร์ และควอร์ตออกจากกัน

โดยกระบวนการลอยแร่เฟลด์สปาร์มี ดังนี้

- นำแร่เฟลด์สปาร์ ที่ได้จากการระเบิดเหมือง มาเก็บไว้ในที่กองแร่
- นำแร่เข้าเครื่อง Jaw crusher เพื่อบดย่อย แร่ขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ให้มีขนาดประมาณ 5 mm. แร่ที่ผ่านเครื่อง Jaw crusher จะมีตะแกรงสั่น (Vibrating sieve) เพื่อคัดขนาดของแร่ โดยส่วนที่ยังเป็น Oversize จะถูกลำเลียงกลับไปบดย่อยใหม่
- แร่ที่บดได้ขนาดแล้วจะถูกลำเลียงโดยใช้สายพาน ในขั้นตอนนี้จะ มี แม่เหล็กถาวรคอยดักจับเศษเหล็กที่ปนมากับแร่บด ก่อนจะลำเลียงไปเก็บไว้ใน Hopper
- แร่ที่เก็บไว้ใน Hopper จะถูกลำเลียงโดยสายพาน ไปยัง Ball mill เพื่อบดย่อยแร่ให้มีขนาดละเอียดต่ำกว่า 60 mesh การบดด้วย Ball mill ในขั้นตอนนี้ มักจะบดด้วยวิธี wet process คือบดไปพร้อมกับน้ำเพื่อให้ประสิทธิภาพในการบดที่ดี
- หลังจากที่บดจนได้ความละเอียดตามที่ต้องการแล้วก็จะถ่ายน้ำ slip (feldspar) ออกมาผ่านเกลียว (screwfeed) เพื่อคัดขนาดเอาแร่ที่ยังไม่ได้ขนาดกลับเข้ามาบดใหม่ ส่วนแร่ที่ได้ขนาดแล้วจะผ่านเข้ากรวยแยกน้ำ เพื่อแยกเอาน้ำ และแร่ที่ละเอียดเกินไป ทิ้งไป นำแร่ที่ได้ขนาดมารวมเข้าไว้ในถังกวน
- ในถังกวนจะใส่กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง และเติมสารปรับผิวพวก amine และ Petroleum Sulfonate
- นำน้ำแร่ที่เติมสารเคมีแล้วผ่านไปยัง Cell ลอยแร่ ชุดที่ 1 เพื่อลอยขจัดแร่ที่เป็นมลทินออก แร่มลทินในที่นี้ ได้แก่ mica, garnet และ oxide ของเหล็ก

8. ผ่านเกลียวคัดขนาด เพื่อขจัดน้ำทิ้ง และขจัดผิวล้างสารเคมีที่ติดอยู่ที่ผิวออก
9. นำเข้าไปบรรจุไว้ในถังกวนอีกครั้ง เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างด้วย HF acid และเติมน้ำลอยแร่พวก Amine อีกครั้ง
10. ผ่าน Cell ลอยแร่ ชุดที่ 2 เพื่อลอยเอาแร่เฟลด์สปาร์ออก โดยให้แร่ Quartz จมไปกับน้ำ สำหรับแร่เฟลด์สปาร์ ที่ยังหลงเหลือเก็บได้ไม่หมดจะใช้ Cell ลอยแร่อีกชุดหนึ่ง (ชุดที่ 3) เป็นตัวดักไว้
11. เฟลด์สปาร์ที่ลอยได้ จะไหลลงบ่อกรอง เพื่อแยกน้ำที่ปะปนอยู่ให้ตกลง เช่นเดียวกับแร่ Quartz ก็จะถูกนำไปยังบ่อกรองอีกบ่อ เพื่อแยกน้ำเช่นกัน จากบ่อกรอง ทั้งคู่ก็จะถูกสูบไปกองแยกกันตากแห้งไว้
12. เมื่อแร่แห้งพอสมควรแล้ว ก็จะถูกลำเลียงไปยังเตาย่างแร่ แบบหมุนเพื่อทำให้แร่เฟลด์สปาร์ และ Quartz แห้งสนิทเมื่อผ่านเตาย่างแร่แล้วจะมีเครื่องแยกเหล็กคอยดักเหล็กที่เป็นมลทินออกเป็นครั้งสุดท้าย ก่อนการบรรจุถุงเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป

ในการลอยแร่ แร่ส่วนที่ต้องเสียไป ในขั้นแรก คือ แร่ละเอียด ขนาดเล็กกว่า 250 mesh ที่เกิดจากการบดย่อยแร่ ให้มีขนาดเล็กกว่า 60 mesh ใน Ball mill แร่ละเอียดส่วนนี้จะถูกคัดทิ้งที่กรวยแยกน้ำ ปริมาณที่ต้องเสียไปอยู่ประมาณ 20 % ของปริมาณแร่ที่ป้อนทั้งหมด ในการลอยแร่ นั้น เนื้อแร่เฟลด์สปาร์ส่วนหนึ่งจะติดออกไปกับแร่ที่เป็นมลทิน และอีกส่วนหนึ่งจะลอยขึ้นไปได้ไม่หมดทำให้ติดออกไปกับ Quartz ในส่วนนี้ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่เกิด loss ของแร่เฟลด์สปาร์

น้ำที่เกิดจากการลอยแร่ นั้น ต้องได้รับการบำบัดที่ดีก่อนปล่อยออกนอกโรงงาน เนื่องจากในน้ำนั้นมีทั้งกรดต่างๆ และสารเคมี

ส่วน Quartz ที่ได้จากการแยกมาจากแร่เฟลด์สปาร์นั้นก็ถือได้ว่ามีความบริสุทธิ์พอสมควรแม้ว่าจะยังมีแร่เฟลด์สปาร์ปะปนอยู่บ้าง สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตสีเคลือบของสุขภัณฑ์ ถ้วยชาม และกระเบื้องเซรามิก (ปูพื้น) ได้เช่นกัน นอกจากนี้ โรงงานผลิต Frit เล็กๆ อาจจะนำเอา Quartz เหล่านี้ไปเป็นวัตถุดิบได้ แต่เนื่องจากการผลิตมีไม่มากนัก จึงไม่ใช่เป็นแหล่งแร่ Quartz ที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก

4.3 การแต่งแร่ limestone

1. นำหินปูนที่ได้จากการระเบิดภูเขามาทำการย่อย โดยใช้ Jaw crusher และจึงทำการบดละเอียดด้วย Ball mill ซึ่งมีทั้งบดเปียกและบดแห้ง ผง limestone ละเอียดที่ได้จะเรียกว่า whiting ซึ่งจะนำไปใช้กับการผลิตสีเคลือบ การทำ frit, การทำแก้ว - กระจก, soda-lime glass
2. การบดหยาบจากหินที่ได้จากเหมือง โดยมีขนาดอยู่ระหว่าง 5 mm. จะใช้สำหรับเนื้อดินของกระเบื้องบุผนัง กระเบื้องดินเผาชนิดไม่เคลือบ table wave ที่ต้องการความพรุนตัวสูง, อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
3. Calcium Carbonate precipitate กระบวนการนี้จะได้ CaCO_3 powder ที่ละเอียดและมีความบริสุทธิ์สูงกว่าการบดให้ละเอียดธรรมดา ใช้สำหรับการทำสีเคลือบ การทำ frit

บทที่ 5

วัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ

5.1 วัตถุดิบในการผลิตเนื้อดินปั้น

เนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกอาจแยกประเภทคร่าวๆ เป็นสองประเภท คือ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนประกอบกับเนื้อดินปั้นที่ไม่มีดินเป็นส่วนประกอบ เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนผสม อาจมีดินล้วนๆ หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ส่วนมากแล้วจะมีวัตถุดิบอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย เช่นเดียวกับเนื้อดินปั้นที่ไม่มีส่วนประกอบ อาจมีเนื้อวัตถุดิบชนิดเดียว หรือวัตถุดิบหลายชนิดผสมกัน หรืออาจแบ่งให้เห็นชัดมาก ดังนี้

1. เนื้อดินปั้นที่มีดินเป็นส่วนประกอบ ดินบางส่วนอาจผ่านการเผามาแล้ว และอาจมีวัตถุดิบอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย

2. เนื้อดินปั้นที่เป็นออกไซด์บริสุทธิ์ เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) ซิลิกา (SiO_2) เบริลเรีย (BeO) เป็นต้น

3. เนื้อดินปั้นที่ไม่ใช่ออกไซด์ ได้แก่พวก คาร์ไบด์ (Carbide) เช่น WC, TiC, SiC, B_4C พวกไนไตรด์ (Nitride) เช่น Si_3N_4 , BN (Boride) พวกโบไรด์ TiB_2 , ZrB_2 พวกซิลิไซด์ (Silicide) เช่น $MoSi_2$ เป็นต้น

4. เนื้อแก้วผลิตได้จากการหลอมส่วนผสม ซึ่งเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงแล้วจะกลายเป็นแก้ว วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อแก้ว ได้แก่ SiO_2 , Na_2O , CaO , PbO , B_2O_3 เป็นต้น

เนื้อดินปั้นก็เช่นเดียวกับวัตถุดิบ เพราะว่าเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ทั้งนี้จะได้สะดวกต่อการเตรียมเนื้อดินปั้น เมื่อจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบชนิดใหม่แทนวัตถุดิบเก่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุดิบชนิดหนึ่งขาดแคลน หรืออาจเป็นเหตุผลเพื่อการประหยัดหรือลดต้นทุนการผลิต เช่น ใช้วัตถุดิบภายในประเทศ แทนวัตถุดิบที่ต้องสั่งมาจากต่างประเทศ เป็นต้น การรู้ลักษณะเฉพาะของเนื้อดินปั้นมาตรฐานเฉพาะ โรงงาน และเฉพาะชนิดเนื้อดินปั้น จะสามารถทำให้สร้างเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบใหม่ ให้เนื้อดินปั้นที่สร้างขึ้นมาใหม่มีสมบัติเหมือนเนื้อดินปั้นเดิม ทั้งก่อนและหลังการทำการเผา ซึ่งเท่ากับเป็นการควบคุมคุณภาพระหว่างทำการผลิตผลิตภัณฑ์

5.1.1 เนื้อดินปั้นชนิด Triaxial

เนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์เซรามิกส่วนใหญ่ที่พบเห็นและใช้ในชีวิตประจำวันเป็นแบบ Triaxial ซึ่งหมายความว่า ส่วนผสมเนื้อดินปั้นประกอบด้วยวัตถุดิบ 3 ชนิด ผสมกัน คือ ดิน ททรายแก้ว และหินฟันม้าเป็นหลัก ซึ่งวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดนี้ เป็นสินแร่ตามธรรมชาติ ซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูก ความบริสุทธิ์ ของแร่จะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบ เมื่อผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย และสิ่งสำคัญก็คือ เราสามารถที่จะเผาให้ได้โครงสร้าง หรือสภาพเนื้อผลิตภัณฑ์ตามต้องการ นอกจากนี้ก็ยังมีเนื้อดินปั้นอื่นๆ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติพิเศษแตกต่างออกไป

วัตถุดิบหลักที่มีการใช้งานเป็นส่วนผสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกเครื่องปั้นดินเผา ได้แก่ ดิน เช่น ดินขาว ดินเหนียว หรือดินดำ ส่วนของ ททรายแก้ว บางครั้งจะเรียกว่า หินเหล็กไฟ (Flint) หรือทราย

ทะเล และส่วนของ หินฟันม้า ซึ่งเป็นตัวให้เกิดการหลอมตัวเป็นเนื้อแก้ว เชื่อมประสานเนื้อดินปั้นให้เกิดความแข็งแรง

การกล่าวถึงส่วนผสมเนื้อดินปั้น เราอาจกล่าวได้ 4 วิธีด้วยกันคือ

1. การกล่าวถึงโดยเขียนในรูปของเปอร์เซ็นต์แร่ เช่น

แร่ดิน	50 %
ควอตซ์	25 %
หินฟันม้า	25 %

2. การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นเปอร์เซ็นต์ของออกไซด์ต่างๆ เช่น

SiO ₂	66.7 %
Al ₂ O ₃	21.6 %
Fe ₂ O ₃	0.5 %
CaO	0.6 %
MgO	0.4 %
K ₂ O	1.0 %
Na ₂ O	3.5 %
Loss	5.7 %

3. การกล่าวถึงโดยเขียนเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุดิบ เช่น

ดินขาว	35 %
ดินเหนียว	25 %
ทรายแก้ว	13 %
หินฟันม้า	27 %

4. การกล่าวถึงโดยการเขียนเป็นสูตรทั่วไป Empirical formula คือ

R ₂ O, RO	R ₂ O ₃	RO ₂
1.00	5.25	9.15

ซึ่ง R₂O, RO หมายถึงออกไซด์ของโลหะที่มีวาเลนซ์ 2 และ 1 ตามลำดับ เช่น Na₂O, K₂O, CaO, MgO ส่วน R₂O₃ หมายถึงออกไซด์ของโลหะที่มีวาเลนซ์ 3 เช่น Al₂O₃ และ RO₂ หมายถึงออกไซด์ของโลหะที่มีวาเลนซ์ 4 และ 5 เช่น SiO₂, P₂O₅ เป็นต้น

5.1.2 อุณหภูมิในการสุกตัว

จุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด หมายถึงอุณหภูมิที่เผาแล้วได้สมบัติตามที่ต้องการ ได้แก่ สีของผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความแข็งแรง และขึ้นอยู่กับสถานะของการเผา เช่น

ว่าผลิตภัณฑ์ชนิดเอิร์ทเทอร์นแวร์ อาจจะใช้ส่วนผสมเดียวกับผลิตภัณฑ์ชนิดพอร์ซเลนก็ได้ แต่เผาที่อุณหภูมิต่างกัน โดยเอิร์ทเทอร์นแวร์จะเผาที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 5.1 ช่วงอุณหภูมิการเผาของเนื้อดินปั้น

ชนิดของเนื้อดิน	Pyrometric Cone	Firing Temperature, °C
Earthen ware	01-013	800-1100
Soft porcelain	2-6	1110-1190
Vitreous china	1-3	1100-1170
Insulator	8-13	1210-1310
Hotel china	10-13	1250-1310
Bone china	11-13	1280-1310
Hard porcelain	10-18	1250-1420

5.1.3 เนื้อผลิตภัณฑ์แบบอื่นๆ

5.1.3.1 โบนไชนา Bone China

มีส่วนผสมที่สำคัญคือ เถ้ากระดูก ดินขาว ทราายแก้ว และหินฟันม้า เนื้อดินหลังเผามีความโปร่งแสงสูง เนื่องจากมีเนื้อแก้ว ซึ่งมีดัชนีหักเหแสงสูง

5.1.3.2 กระเบื้องบุผนัง Wall Tile

สมัยก่อนจะมีส่วนผสมเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นแบบ Triaxial แต่ในปัจจุบัน นิยมใช้ ทอลค์ เป็นส่วนผสมส่วนใหญ่ เผาที่อุณหภูมิสูงไม่เกิน 1150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาสั้น 30-60 นาที มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำก่อนข้างสูง 10-15 เปอร์เซ็นต์ และมีความแข็งแรงต่ำ

5.1.3.3 กระเบื้องปูพื้น Floor Tile

เป็นเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง จึงต้องมีเนื้อแก้วสูง จึงใช้หินฟันม้าเป็นส่วนผสมในปริมาณค่อนข้างสูง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำก่อนข้างต่ำประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

5.1.3.4 คอร์ดีไรต์ Cordierite

เป็นเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของคอร์ดีไรต์ Cordierite ($2\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) ซึ่งทำให้มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนค่อนข้างต่ำ $1.5 - 3.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมจะใช้เป็นภาชนะสำหรับการปรุงอาหาร ใช้กับเตาอบ เปลวไฟ และไมโครเวฟ

5.1.4 วิธีการสร้างส่วนผสมเนื้อดินปั้นจากวัตถุดิบแหล่งใหม่

การที่จะนำวัตถุดิบจากแหล่งใหม่เข้ามาใช้ผสมในเนื้อดินปั้น และทำให้เนื้อดินปั้นใหม่ที่สร้างขึ้นมานั้นยังคงสามารถรักษาสสมบัติต่างๆ ในการขึ้นรูป และสมบัติต่างๆ หลังจากเผาแล้วให้เหมือนเนื้อดินปั้นเดิมนั้น จะต้องใช้เทคนิคและวิทยาการต่างๆ เข้าช่วย

สมบัติต่างๆ ของวัตถุดิบและเนื้อดินปั้นทั้งก่อนเผาและหลังเผามีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบทางเคมี เนื้อแร่ การกระจายของขนาดอนุภาค พื้นที่ผิวจำเพาะ

ในน้ำดินที่ขึ้นรูปด้วยการเทแบบ จะมีเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่เล็กกว่า 1 ไมครอน อยู่เป็นปริมาณมาก มีส่วนช่วยในการไหลตัว อัตราการหล่อแบบ ความหนาของชั้นงาน หรืออัตราเร็วในการหล่อแบบ ผลึกภัณฑ์จะเกิดเนื้อแก้วมากขึ้น และความแข็งแรงของผลึกภัณฑ์ การสร้างส่วนผสมเนื้อดินปั้นขึ้นมาใหม่นี้ จึงจะต้องคำนึงถึงสมบัติต่างๆ ด้วย

5.2 วัตถุดิบในการเตรียมเคลือบ

เคลือบคือวัสดุที่มีลักษณะเหมือนแก้ว ฉาบบางๆ บนผิวผลึกภัณฑ์เซรามิก โดยทั่วไปเตรียมได้จากการหลอมส่วนผสมของสารประกอบซิลิกา

ประโยชน์ของเคลือบ

- ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สต่างๆและน้ำ
- เพื่อให้มีความแข็งแรง ทนทานต่อการกัดกร่อนต่างๆ
- เพื่อเพิ่มความสวยงาม
- เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาด
- เพื่อให้มีความทนทานต่อการขีดขูดได้ดี

วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมในเคลือบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนผสมเคลือบนั้น สามารถเขียนเป็นสูตรตามสมบัติทางเคมีได้ 3 กลุ่ม คือ

ต่าง เป็นกลุ่มวัตถุดิบที่มีสมบัติทางเคมีเป็นต่าง ทำหน้าที่เป็นตัวลดจุดหลอมตัวของเคลือบ มีสัญลักษณ์ทั่วไปคือ R_2O หรือ RO วัตถุดิบพวกนี้ได้แก่พวกออกไซด์ของแอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ท นอกจากนี้ก็มีซิงค์ออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ และพวกออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีอื่นๆ บางตัว

กลาง เป็นกลุ่มวัตถุดิบที่มีสมบัติเป็นกลาง สัญลักษณ์ทั่วไปคือ R_2O_3 ได้แก่ Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , B_2O_3 , Bi_2O_3

กรด เป็นกลุ่มวัตถุดิบที่มีสมบัติเป็นกรด สัญลักษณ์ทั่วไปคือ RO_2 ได้แก่ SiO_2 , ZrO_2 , TiO_2 , SnO_2 , รวมทั้ง P_2O_5 เป็นต้น

5.2.1 วัตถุดิบกลุ่มที่เป็นเนื้อเคลือบโดยไม่ได้ให้สีแก่เคลือบหลังเผา

5.2.1.1 สารประกอบแอลคาไลน์ และแอลคาไลน์เอิร์ท

สารประกอบแอลคาไลน์จะเป็นตัวลดจุดสุกตัว ช่วยให้เคลือบหลอมตัวได้ดี ลดความหนืดของเคลือบ ได้แก่ Li_2O , Na_2O , K_2O แต่โซเดียมจะมีราคาที่ยากกว่า โดยโซเดียมและโพแทสเซียม มักได้จากการเติมหินฟอสเฟต ส่วนลิเทียมนั้นมีราคาค่อนข้างสูง ไม่ค่อยเหมาะกับการผสมเคลือบ

สารประกอบแอลคาไลน์เอิร์ท ได้แก่ MgO , CaO , SrO , BaO โดย MgO ได้จากแร่แมกนีไซต์ MgCO_3 หรือจากน้ำทะเล ส่วน CaO ได้จากหินปูน และอาจใช้โคโลไมต์ ซึ่งมีส่วนผสมคือ $(\text{Mg,Ca})\text{CO}_3$ ถ้ากระดุก เปลือกหอย ก็สามารถใช้เป็นส่วนผสมที่ให้ CaO ได้ ส่วนสตรอนเทียมและแบเรียมนั้น จะอยู่ในรูปของสารเคมี SrCO_3 และ BaCO_3 ในการเติมสารประกอบแอลคาไลน์เอิร์ทออกไซด์ หากใช้ในปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้เคลือบไม่หลอมตัวได้

5.2.1.2 สารประกอบตะกั่ว

ได้แก่ ตะกั่วเหลือง PbO ตะกั่วแดง Pb_3O_4 และตะกั่วขาว PbCO_3 ซึ่งมีจุดหลอมตัวต่ำ $770\text{--}1120^\circ\text{C}$ ทำหน้าที่ให้แก้วที่อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าเผาที่สูงเกินกว่า 1180°C สารตะกั่วจะระเหยกลายเป็นไอ ตะกั่วเป็นสารพิษ ไม่ควรใช้ตะกั่วโดยตรงในการเตรียมเคลือบ ควรนำตะกั่วมาหลอมกับซิลิกาให้เป็นเนื้อแก้วที่ไม่ละลายน้ำก่อน เรียกว่า ฟริต Frit

5.2.1.3 สารประกอบซิงค์ออกไซด์ ZnO

เป็นสารที่มีจุดหลอมตัวสูง แต่ถ้าเติมเล็กน้อย จะช่วยลดจุดสุกตัวของเคลือบลงได้ โดยซิงค์ออกไซด์ จะเป็นตัวสำคัญที่ช่วยลดความหนืดของเนื้อเคลือบ และช่วยให้เกิดการตกผลึกในเคลือบผลึกได้เป็นอย่างดี เช่นเคลือบลายมุก แต่ถ้าเติมในเคลือบที่มีสีเขียวจากโครเมียม จะทำปฏิกิริยากัน สีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้

5.2.1.4 สารประกอบอะลูมินา Al_2O_3

อะลูมินาเป็นตัวแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างเด่นชัดระหว่างแก้วกับเคลือบ ในแก้วส่วนใหญ่จะมีอะลูมินาอยู่น้อยมาก แต่ในเคลือบ จะประกอบด้วยอะลูมินาปริมาณสูง เพราะทำหน้าที่ควบคุมการไหลตัวของเนื้อเคลือบหลอมเหลวระหว่างการเผา เพิ่มความทนไฟให้กับเนื้อเคลือบ และเพิ่มความทนทานต่อการขีดขีดของเคลือบหลังเผา แต่จะมีเคลือบผลึกบางชนิดเท่านั้นที่มีปริมาณอะลูมินาอยู่เพียงเล็กน้อย เพราะจะทำให้มีความหนืดสูงและลดการเจริญของโครงสร้างผลึก การใช้อะลูมินาในปริมาณที่เหมาะสม จะได้เคลือบที่มีความมันวาว แต่ถ้ามากหรือน้อยเกินไป ก็จะได้เคลือบที่มีความด้าน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างอะลูมินาต่อซิลิกาที่เหมาะสมและให้ความมันวาวต่อเคลือบหลังเผา จะอยู่ระหว่าง 1:7 ถึง 1:10

อะลูมินาได้จากการเผา อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ในเคลือบบางชนิดมีการเติมทั้งอะลูมินาหรืออะลูมินัมไฮดรอกไซด์ แต่ส่วนใหญ่แล้ว อะลูมินาจะได้จากดินขาว และหินฟันม้าที่เติมลงไปในส่วนผสมเคลือบ โดยการใช้อินเป็นส่วนผสมในเคลือบจะช่วยให้มีการยึดเกาะได้ดีเวลาชุบเคลือบหรือสเปรย์ บางครั้งอาจใช้อินเหนียวก็ได้ เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะของเคลือบ แต่ก็ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสีของเคลือบ เนื่องจากดินเหนียวจะมีออกไซด์ที่ให้อิฐอยู่ด้วย

5.2.1.5 บอริกออกไซด์ B_2O_3 และบอแรกซ์ Borax $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

เป็นวัตถุดิบที่ให้ทั้ง Na_2O และ B_2O_3 จึงมีจุดหลอมตัวต่ำ 741°C แต่เป็นสารที่ละลายน้ำได้ จึงนิยมนำมาหลอมเป็นฟritก่อนใช้ผสมในเคลือบ และยังใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแก้วโบโรซิลิเกต ที่ใช้เป็นภาชนะในห้องปฏิบัติการ หรือใช้ผลิตเครื่องแก้วทนไฟ ทนโมโครเวฟ และทนต่อ Thermal Shock

5.2.1.6 สารประกอบซิลิกา SiO_2

เป็นสารหลักที่ทำให้เกิดเป็นเนื้อแก้วในเคลือบเซรามิกทั่วไป ซึ่งได้มาจาก ทรายแก้ว หินเหล็กไฟ ถ้ำ แกลบหรือขี้เถ้าพืชต่างๆ รวมถึงซิลิกาที่เป็นส่วนประกอบของแร่ต่างๆ เช่น ดินขาว เฟลด์สปาร์ เป็นต้น โดยซิลิกาจะมีความทนไฟสูง เมื่อเติมลงไปในสูตรเคลือบจะเพิ่มจุดหลอมตัวของเคลือบ ลดการไหลตัว เพิ่มความต้านทานต่อการละลายน้ำและการกัดกร่อนของสารเคมี ลดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน และเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงให้กับเคลือบ

5.2.1.7 สารประกอบฟอสเฟต P_2O_5

เมื่อผสมสารประกอบฟอสเฟตลงไปในเคลือบ มีแนวโน้มที่จะเกิดความทึบแสง และดัชนีหักเหเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่สารประกอบพวกนี้ มีการใช้งานไม่มากนัก ได้จากการเติมถ้ำกระดูก หรือแร่ฟอสเฟต

5.2.1.8 ฟริต (Frit)

หมายถึงเนื้อแก้วซึ่งเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบ โดยนำมาหลอมก่อน และใช้ฟริตเหล่านี้เป็นส่วนผสมเคลือบอีกทีหนึ่ง ซึ่งมันจะนำวัตถุดิบที่ละลายน้ำได้ วัตถุดิบที่เป็นพิษ นำมาทำเป็นฟริต เช่น ตะกั่ว โบรอนออกไซด์ เป็นต้น เนื่องจากนี้ การที่ฟริตเป็นวัตถุดิบที่มีการหลอมมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง จะทำให้เมื่อนำไปเคลือบบนผิวผลิตภัณฑ์ ก็จะหลอมตัวได้ง่ายขึ้นกว่าการใช้วัตถุดิบเป็นส่วนผสม และลดปริมาณตำหนักในเคลือบได้ ให้สีที่มีความสม่ำเสมออีกด้วย

Frit Rule

- อัตราส่วนของ RO : RO₂ อยู่ระหว่าง 1 : 1 ถึง 1 : 3 เพื่อให้ Frit มีสมบัติหลอมตัวได้ดีและไม่ละลายน้ำ
- อัตราส่วนของ Alkali : RO ตัวอื่นๆ ไม่เกิน 1 : 1 เพื่อให้ Frit ไม่ละลายน้ำง่าย
- อัตราส่วนของ B₂O₃ : SiO₂ ไม่ควรเกิน 1 : 2 เพื่อให้ Frit ไม่ละลายน้ำ
- ใน Frit ไม่ควรมี Al₂O₃ เกิน 0.2 mol เพื่อให้ Frit มีสมบัติหลอมตัวได้ดี

5.2.2 วัตถุดิบกลุ่มที่ให้สีแก่เคลือบหลังเผา**5.2.2.1 สารประกอบเหล็กออกไซด์ Fe₂O₃**

สารประกอบเหล็กเป็นองค์ประกอบในเคลือบมากบ้างน้อยบ้าง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่เป็นแร่ตามธรรมชาติ ผลของสารประกอบเหล็กเมื่อใส่ลงในเคลือบก็คือการทำให้เคลือบมีสี เหล็กทำให้เคลือบมีสีได้หลายสีซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบอื่นๆ ในเคลือบ เช่น บรรยากาศการเผา ปริมาณของเหล็ก และยังขึ้นกับสารประกอบอื่นๆ ที่เติมลงไปในการเคลือบด้วย

5.2.2.2 สารประกอบโคบอลต์ Co₃O₄

ปรกติจะให้สีน้ำเงินเข้มเมื่อเติมลงในเคลือบ และใช้เป็นวัตถุดิบให้สีในผลิตภัณฑ์จำพวก เครื่องลายครามมาแต่โบราณ

เป็นตัวให้สีที่แรงใช้เพียง 0.5-1% ให้สีน้ำเงินทั้งการเผาในสภาวะ Oxidation และ Reduction ถ้าใช้ร่วมกับ TiO₂ เเผาที่อุณหภูมิสูงจะได้สีเขียว ผสมกับ MnO และ FeO ใช้ผลิตสี Stain สีดำ

5.2.2.3 สารประกอบโครเมียมออกไซด์ Cr₂O₃

เป็นสารให้สีที่รุนแรง ถ้าเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 900 °C จะให้สีแดง ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงจะให้สีเขียว ถ้ามี ZnO ปนอยู่ในเคลือบจะให้สีน้ำตาล

5.2.2.4 สารประกอบแมงกานีสออกไซด์ MnO₂

ใช้ในปริมาณ 5-10% ให้สีน้ำตาล ถ้าใช้กับเคลือบที่มี Alkali สูง จะให้สีม่วง

5.2.2.5 สารประกอบนิกเกิลออกไซด์ NiO

- สีที่เกิดขึ้นของ NiO จะขึ้นกับชนิดของเคลือบ
- เคลือบที่มี K₂O และ PbO สูงจะให้สีชมพู
- เคลือบที่มี Na₂O สูงจะให้สีน้ำตาล
- เคลือบที่มี ZnO จะให้สีฟ้า, น้ำเงิน
- เคลือบที่มี Li₂O จะให้สีเหลือง

5.2.2.6 สีสแตน Stain

สีเซรามิกส์ที่ผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผลึกที่มีโครงสร้างแน่นอน เมื่อนำไปผสมกับน้ำเคลือบแล้วเราสามารถให้สีที่สม่ำเสมอและถูกต้อง ทำให้สะดวกในการใช้งานและควบคุมกระบวนการผลิต

สีสแตนแบ่งตามโครงสร้างผลึกได้แก่

- กลุ่ม Hematite หรือ Corundum
- กลุ่ม Garnet
- กลุ่ม Olivine
- กลุ่ม Sphene
- กลุ่ม Spinel
- กลุ่ม Zircon

การผลิตสี Stain

ประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมสี Stain

- สารที่เป็นตัวให้สี เช่น Color oxide
- สารที่เป็นตัวให้เกิดโครงสร้างของสี เช่น Al_2O_3 , ZrO_2
- สารเติมแต่ง (Mineralizer) ช่วยเร่งให้สารให้สีเข้าไปในโครงสร้างได้ง่ายขึ้น ลดอุณหภูมิการทำ

ปฏิกิริยา เช่น NaCl, NaF, $NaNO_3$, Boric acid

การควบคุมคุณภาพของสี Stain

- การวิเคราะห์ทางเคมี
- การวิเคราะห์ทางแร่
- การวิเคราะห์ความละเอียดของอนุภาค
- ปริมาณกากค้างตะแกรง
- การวัดค่าสี (CIE Lab or Hunter System)
- การทดสอบความคงทนของสี
- การทดสอบการกระจายตัวของสี

การพิจารณาเลือกใช้สี Stain

- เลือกเฉดสีที่เหมาะสมกับความต้องการ
- เหมาะกับองค์ประกอบทางเคมีของเคลือบที่ใช้
- เหมาะกับอุณหภูมิการเผาผลิภัณฑ์
- มีขนาดอนุภาคละเอียด กระจายตัวได้ดี
- ราคาเหมาะสม

5.2.3 เคลือบชนิดต่างๆ

5.2.3.1 เคลือบทึบ (Opaque Glaze)

เคลือบที่ยอมให้แสงผ่านเคลือบได้น้อยหรือไม่ได้เลย เกิดจากสารประกอบบางตัวที่ไม่ละลายในน้ำเคลือบหรืออาจเกิดจากการตกผลึกเล็กๆ หลังจากเคลือบเย็นลง เราสามารถเติมเคลือบทึบได้โดยเติมสาร Opacificer ลงในเคลือบใส เช่น Zirconium silicate, Tin Oxide, TiO_2

5.2.3.2 เคลือบด้าน (Matt Glaze)

เคลือบที่มีผิวเรียบแต่ไม่มัน เกิดจากการที่ส่วนผสมยังละลายไม่หมดหรือมีอนุภาคของส่วนผสมบางตัวกระจายลอยอยู่ในผิวเคลือบ เราสามารถเตรียมเคลือบด้านได้โดยเติม Alumina, Barium Carbonate หรืออาจเกิดการตกผลึกของ Mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), Wallastonite ($CaO \cdot SiO_2$)

5.2.3.3 เคลือบผลึก (Crystalline Glaze)

เคลือบที่มีผลึกเกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นในเคลือบหรือบนผิวเคลือบ เกิดจากการควบคุมอุณหภูมิของเคลือบหลังจากที่หลอมละลายให้เย็นตัวลงช้าๆ ทำให้เกิดการตกผลึกขึ้น เราสามารถเตรียมเคลือบผลึกได้โดยเติมตัวช่วยในการตกผลึก เช่น ZnO, TiO_2 , NiO, MnO, CaO, MgO หรือ Frit

5.2.3.4 เคลือบสี (Color Glaze)

เคลือบที่มีสารให้สีกระจายอยู่ในเคลือบ เราสามารถเตรียมเคลือบสีได้โดยเติม สารให้สีลงในเคลือบ เช่น Color Oxide, Color Stain

5.2.4 ข้อควรระวังในการใช้งานวัตถุดิบเคลือบ

วัตถุดิบที่ใช้เตรียมเคลือบหลายชนิดเป็นสารที่อันตรายต่อร่างกาย ฟุนของวัตถุดิบที่เราสูดหายใจเข้าไป หรือเข้าสู่ร่างกายทางอื่นเช่น ทางผิวหนัง หรือทางปาก วัตถุดิบเหล่านี้ ซึ่งเป็นสารพิษจะสะสมในร่างกายไม่สามารถระบายออกทางระบบขับถ่ายได้ เมื่อถึงจุดที่สารพิษมีปริมาณมากพอที่จะเริ่มแสดงอาการป่วยออกมา เช่น ปวดศีรษะโดยไม่มีสาเหตุ น้ำหนักลด ร่างกายชुบชืดมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน เป็นอาการของคนที่ได้รับสารพิษ ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของวัตถุเป็นพิษเหล่านั้น

วัตถุดิบที่เป็นพิษในการเตรียมเคลือบได้แก่ นิกเกิลออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ คอปเปอร์คาร์บอเนต โครเมียมออกไซด์ แบเรียมออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ หรือแม้แต่ซิลิกา ในการตัก ตวง สารเคมีทุกครั้งควรระวัง ไม่ให้หก หรือมีฟุนฟุ้งกระจาย ภายหลังการใช้ทุกครั้งก็ต้องทำความสะอาด โต๊ะ และพื้นด้วยผ้าเปียก แล้วนำไปล้างน้ำทันที ไม่ควรใช้ไม้กวาดกวาดฟุนเพราะจะทำให้ฟุ้งไปทั่วห้อง ควรดูแลห้องปฏิบัติการอย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เพื่อกำจัดฟุนที่ตกค้างสะสมของสารเคมี ในขณะที่ปฏิบัติงานทุกครั้ง ควรใสหน้ากากกรองฟุน และหลังปฏิบัติงาน ควรล้างมือให้สะอาดก่อนรับประทานอาหาร

วัตถุดิบที่มีขายในท้องตลาด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 เกรด คือ

1. Commercial Grade ซึ่งใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป มีความละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200
2. Lab Grade ใช้ในห้องทดลองปฏิบัติการเคมี มักมีความละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 325 มีความบริสุทธิ์สูง และมีราคาแพงกว่า

5.3 วัสดุชนิดอื่นๆ

นอกจากวัสดุหลักๆ จำพวกแร่ต่างๆ หรือพวกออกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา และเซรามิกอื่นๆ แล้ว ยังมีวัสดุชนิดอื่นๆ อีก ที่มีความจำเป็นสำหรับกระบวนการผลิตอีกด้วย เช่น น้ำ ตัวทำละลายอื่นๆ ตัวช่วยกระจายลอยตัว ตัวหล่อลื่น และสารกันบูด

น้ำเป็นตัวกลางหรือตัวทำละลายของเหลวที่ใช้งานมากที่สุด โดยเฉพาะในเซรามิกดั้งเดิม Traditional Ceramics น้ำกระด้าง (hardness) จะหมายถึงน้ำที่มีปริมาณ Ca^{2+} , Mg^{2+} ในปริมาณสูง

5.4 วัสดุสำหรับเซรามิกก้าวหน้า

Advanced ceramics มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น Special ceramics, Fine ceramics, Technical ceramics, Structural และ Functional ceramics, High tech, หรือ High performance ceramics เซรามิกกลุ่มนี้เป็นวัสดุที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ ใน ระยะเวลา 50 ปี ที่ผ่านมานี้ โดยอาศัยความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีผสมผสานกัน พัฒนาเซรามิก ให้มีสมบัติพิเศษเฉพาะด้านได้ดีมากขึ้น โดยใช้วัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นมาเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมักจะมียังประกอบและ โครงสร้างที่ง่ายกว่า Traditional ceramics ได้แก่พวกออกไซด์เซรามิก และพวกที่ไม่ใช่ออกไซด์ เช่น พวก carbides, nitrides, silicides borides และ ยังอาจจะรวมกลุ่มเหล่านี้เข้าไปด้วย คือ แก้ว คาร์บอน และแกรไฟท์ และพวกกึ่งโลหะ (Semi-metallic compound) ซึ่งทำให้เซรามิก เป็นกลุ่มวัสดุที่ใหญ่ขึ้น ผลิตภัณฑ์จำพวกนี้ได้แก่ เครื่องยนต์เซรามิก (Automotive Ceramic), วัสดุตัด-ขัด (Cutting Tool), อุปกรณ์ตรวจวัดเซ็นเซอร์ (Sensor), วัสดุไดอิเล็กทริก (Dielectric Ceramic, Ferroelectric Ceramic), ตัวรอง (Ceramic substrate), ตัวกรองเซรามิก (Filter aid) วัสดุประกอบ (Composite Ceramic), เซรามิกฟันเทียม (Dental Ceramic) เป็นต้น

บทที่ 6

วัตถุดิบประเภทตัวเติมชนิดต่างๆ

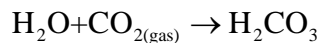
ตัวเติมชนิดต่างๆ จัดเป็นวัตถุดิบทางเซรามิกที่มีความสำคัญ หากมีความเข้าใจในการเลือกใช้งานอย่างถูกต้อง ก็จะช่วยให้การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกมีคุณภาพตามที่ต้องการ ได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นตัวเติมประเภทชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

6.1 ของเหลวหรือตัวกลาง Liquid/solvent medium

ของเหลวหรือตัวกลาง (Liquid/solvent medium) ที่ใช้ในการเตรียมเซรามิกประกอบด้วยกันสองระบบคือ น้ำ และของเหลวชนิดอื่นที่ไม่ใช่น้ำ

6.1.1 Aqueous หรือ น้ำ (water-base)

น้ำเป็นตัวกลางหรือตัวทำละลายของเหลวที่ใช้งานมากที่สุด โดยเฉพาะใน Traditional Ceramics ในน้ำกลั่นที่มีความบริสุทธิ์สูงที่ประกอบด้วยโมเลกุลของ H_2O ซึ่งมีขั้ว โดยธรรมชาติจะมีการแตกตัวให้ไอออนของ H_3O^+ และ OH^- ซึ่งค่า pH อยู่ที่ 7 และจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง $0.055 \mu mho/cm$ แต่หากถูกต้องกับอากาศซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จะละลายลงไปในน้ำทำปฏิกิริยา กลายสภาพเป็นกรดอ่อนๆ ดังสมการ



ก็จะทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์น้อยลง มีค่าการนำไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้โดยปกติในน้ำฝน และจะชะล้าง ละลายหินปูน หรือรวมตัวกับไอออนของแคลเซียม เกิดเป็นสารประกอบไบคาร์บอเนต ($Ca(HCO_3)_2$) ที่ละลายน้ำได้ดี เรียกว่าเป็นน้ำกระด้าง (hardness) และหมายถึงน้ำที่มีปริมาณ Ca^{2+} , Mg^{2+} ในปริมาณสูงด้วย โดยจะเกิดการตกตะกอนเป็นตะกอน เมื่อมีการต้มด้วยความร้อนให้เดือดดังสมการ



แต่จะไม่สามารถใช้ได้กับกรณีของน้ำกระด้างที่เกิดจากซัลเฟต และคลอไรด์ จาก **Error! Reference source not found.** ซึ่งแสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำจากบ่อบาดาล และน้ำประปา ซึ่งพบว่าในน้ำบ่อบาดาลจะมีความกระด้างหรือมีปริมาณของแอลคาไลน์เอิร์ทไอออนคือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} อยู่ปริมาณค่อนข้างสูง และจะมีผลต่อการไหลตัวของน้ำดินที่ใช้น้ำนี้ไปเป็นส่วนผสม ทำให้ต้องสิ้นเปลืองปริมาณสารช่วยกระจาย (deflocculant) ในปริมาณที่มากขึ้นด้วย หากใช้น้ำบาดาลเป็นส่วนผสมจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดให้เหมาะสมก่อน แต่หากใช้น้ำประปาก็จะหมดปัญหาดังกล่าวลง ส่วนน้ำทะเล เนื่องจากมีไอออนต่างๆ ที่

เป็นอันตรายต่อการไหลตัวของน้ำดินอยู่ปริมาณมาก จึงไม่สามารถนำมาบำบัดหรือนำมาใช้งานเป็นส่วนผสมวัสดุดิบได้

ตารางที่ 6.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำแหล่งต่างๆ (ppm)

องค์ประกอบ	น้ำบาดาล	น้ำประปา	น้ำทะเล
Ca ²⁺	300	78	416
Mg ²⁺	172	42	1,295
Na ⁺	8	360	10,752
HCO ₃ ⁻	350	350	145
CO ₃ ²⁻	0	0	90
SO ₄ ²⁻	100	125	2,701
Cl ⁻	30	5	19,400
NO ₃ ⁻	0	0	12
pH	7.8	7.9	7.6
การนำไฟฟ้า (μmho/cm)	670	650	47,880

* http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/

6.1.2 ไม่ใช่ น้ำ (Nonaqueous)

ได้แก่ของเหลวในกลุ่มของสารอินทรีย์ organic solvent เช่น alcohol, ketone, petroleum oil ซึ่งเลือกใช้ตามความเหมาะสมดังแสดงใน**Error! Reference source not found.**

ตารางที่ 6.2 สมบัติทั่วไปของของเหลวต่างๆ ที่ (20°C)

Liquid	Formula	Dielectric constant	Surface tension (mN/m)	Viscosity (mPa.s)	Boiling (°C)	Flash (°C)
Water	H ₂ O	80	73	1.0	100	none
Methyl alcohol	CH ₃ OH	33	23	0.6	65	18
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH	24	23	1.2	79	8
n-propyl alcohol	C ₃ H ₇ OH	20	24	2.3		
Isopropyl alcohol	C ₃ H ₇ OH	18	22	2.4	49	21
Ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	37	48	20	197	116
Glycerol	C ₃ H ₈ O ₂	43	48	20	290	
Trichloroethylene	C ₂ HCl ₃	3			87	
Methylethylketone	C ₄ H ₈ O	18	25	0.1	80	2

6.2 Surfactant (wetting agent)

สารลดแรงตึงผิว หมายถึงสารที่ช่วยให้น้ำหรือของเหลวสามารถเปียกหรือปกคลุมผิวอนุภาคดินหรือผงอื่นๆ ได้ดี มีทั้งที่เป็นสารไอออนิก และไม่ไอออนิก ดังแสดงใน**Error! Reference source not found.** ในอุตสาหกรรมเซรามิกไม่ค่อยมีการใช้งานสารเคมีเหล่านี้ แต่จะมีใช้บ้างในการลอยแร่เช่นแร่เฟลด์สปาร์ ดังได้กล่าวไว้ในบทก่อนๆ

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิว

Type	Generic name	Formula
Nonionic	Ethoxylated nonylphenol	$C_9H_{19}(C_4H_9)O(CH_2CH_2O)_{10}H$
	Ethoxylated tridecyl alcohol	$C_{13}H_{27}O(CH_2CH_2O)_{12}H$
Anionic	Sodium stearate	$C_{17}H_{35}COO^-Na^+$
	Sodium disopropylnaphtalene sulfonate	$(C_3H_7)_2C_{10}H_5SO_3^-Na^+$
Cationic	Dodecyltrimethylammonium chloride	$[C_{12}H_{25}N(CH_3)_3]^+Cl^-$

6.3 Deflocculant

สารช่วยกระจายลอยตัว (deflocculant) เป็นสารเคมี ที่ช่วยให้อนุภาค เกิดการกระจาย ลอยตัว จะเป็น ตัวช่วยทำให้ดิน และอนุภาคอื่นๆ ลอยตัวใน ส่วนผสมของน้ำดิน และควบคุม การตกตะกอนให้เกิดน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจาก ตามปกติ น้ำดินจะมี อนุภาคที่แขวนลอย อยู่ในน้ำ และอนุภาค จะตกตะกอนโดยการจับตัวกัน เพราะประจุที่ ผิวของอนุภาค โดยเฉพาะอนุภาคของแร่ดินเหนียวที่มีลักษณะเป็นแผ่นหกเหลี่ยม จะมีประจุที่บริเวณผิวหน้าเป็นลบ และบริเวณขอบจะมีค่าประจุเป็นบวก ทำให้น้ำดินเกาะยึดติดกันด้วยประจุดังกล่าว มีโครงสร้างที่เรียกว่าบ้านไฟ เกิดความหนืด จึงต้องทำให้ อนุภาคแตกตัว เกิดการผลัด ออกจากกัน เพื่อแก้ไข สมบัติด้าน ความหนืด และการตกตะกอน ให้ดีขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก หากน้ำดิน ตกตะกอนเร็ว จะทำให้ ความหนาของ ผลิตภัณฑ์ ไม่เท่ากัน คือส่วนกัน ของผลิตภัณฑ์ จะหนากว่า ส่วนบน ซึ่งสารเคมี พวกสารช่วย กระจายลอยตัว จะช่วย ชะลอการตกตะกอน นอกจากนี้ หากต้องการ ให้น้ำดินมีการไหลตัวดี และเทน้ำดิน ออกจากแบบพิมพ์ โดยไม่ทำให้ผิว ด้านในขรุขระ ต้องใช้น้ำดิน ที่มีน้ำ ในส่วนผสมมาก การไหลตัวดี แต่ผลเสียคือ ทำให้อัตราการหล่อ ลดลง แบบพิมพ์ ต้องดูดซับน้ำไว้มาก สารช่วยกระจายลอยตัว จะช่วยให้ อนุภาคของดิน แยกออกจากกัน และความหนืด ของน้ำดิน จะลดลง จึงใช้ปริมาณน้ำ ในส่วนผสมน้อยลง และ ทำให้ มีอัตราการหล่อเร็ว เทน้ำดิน ออกจาก แบบพิมพ์ได้ง่าย และ ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี เช่น ในน้ำดินหล่อแบบเครื่องสุญญากาศ จะมีปริมาณของแข็งอยู่มากถึง 82 เปอร์เซ็นต์ก็มี

สารช่วยกระจายลอยตัว ที่ใช้ในงานเซรามิก มี 2 ชนิด คือ

6.3.1 แอลคาไลน์ (Alkali Cation Type)

ได้แก่ สารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมซัลไฟเกต โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate; Na_2CO_3) เป็นต้น

6.3.2 พอลิแอนไอออน (Poly-anion Type)

ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น จะส่งผลได้อย่างรวดเร็ว แต่จะมีราคาแพง เช่น พวกลิอะคลิเลต (Polyacrylate) ได้แก่ โซเดียมพอลิอะคลิเลต (Sodium Polyacrylate) แอมโมเนียม พอลิอะคลิเลต (Amonium Polyacrylate) พวกลิฟอสเฟต (Polyphosphate) แต่สารเคมีชนิดนี้จะไม่นิยมใช้กับน้ำดิน เพราะมีผลต่อแบบพิมพ์ ทำให้แบบพิมพ์สึกหรออย่างรวดเร็ว

ในการนำ สารช่วยกระจายลอยตัว มาใช้ นิยมใช้ พวกลิอะคลิเลต เนื่องจากมี ราคาถูกกว่า และมีผลกระทบ ด้านอื่นต่ำกว่า โดยเฉพาะผลกระทบ ต่อ การเปลี่ยนแปลง ความชื้นเหลว ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับ ความหนืดของน้ำดิน ในงานเซรามิก คือ โซเดียมซิลิเกต และ โซเดียมคาร์บอเนต โดยโซเดียมซิลิเกต จะเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้ช้ากว่า โซเดียมคาร์บอเนต แต่โซเดียมคาร์บอเนต อาจมีผล ต่อการทรงตัว ของผลิตภัณฑ์ หลังการขึ้นรูปได้ ในการใช้งาน จึงสามารถ ใช้ทั้ง โซเดียมซิลิเกต และ โซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกัน

โซเดียมซิลิเกต เป็นสารประกอบด้วย โซเดียมออกไซด์ ซิลิกาและน้ำ ผสมกันอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ กัน จึงทำให้มีสมบัติในการใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้เพิ่มขึ้นหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะตัวของมันเอง

1. มีคุณลักษณะเป็นด่างและเป็นสารช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ดีซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญมากในการนำไปใช้ในผงซักฟอกและการฟอกสีกระดาษและเส้นใย

2. สามารถลดการกัดกร่อน โดยการเกาะอยู่ระหว่างผิวหน้าของโลหะกับอโลหะ โซเดียมซิลิเกตที่มี Mole Ratio สูง จะป้องกันการกัดกร่อนได้มากขึ้น

3. โซเดียมซิลิเกต ถูกทำให้เป็นกลางและเกิดเป็นเจลได้โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการหล่อ (Foundry) โดยพันธะ (Bonded) ของทรายใน ซิลิเกตถูกจับตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดการขึ้นรูปอย่างรวดเร็ว

ผงซักฟอก โซเดียมซิลิเกตให้สมบัติเฉพาะในสูตรการผลิตผงซักฟอก

1. ป้องกันการกัดกร่อนขึ้นโลหะในเครื่องซักผ้าและป้องกันการกัดกร่อนเครื่องแก้วและเซรามิกระหว่างการล้างจานด้วยเครื่อง

2. ความสามารถในการเป็นสารช่วยควบคุม การเปลี่ยนแปลง pH ที่สำคัญในช่วง pH 9 – 12

3. ความเป็นด่าง ทำให้สิ่งสกปรกที่เป็นกรดเป็นกลางได้

4. Emulsification and Saponification ของน้ำมันและไขมันที่มีประสิทธิภาพ

5. ทำให้สิ่งสกปรกไม่รวมตัวกันและกระจายตัวออกจากกัน

1. ใช้ผลิตซิลิกา โดยการทำให้โซเดียมซิลิเกตเหลวให้เป็นกลางหรือ Electrolysis

2. เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดที่เหมาะสม โซเดียมซิลิเกตสามารถเปลี่ยนเป็นซิลิกาเจลหรือซิลิกาที่ตกตะกอนได้ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นตัวเติม (Filler) อย่างกว้างขวางในยาง, เป็นสารดูดความชื้นสำหรับก๊าซและใช้เป็นตัวทำให้มันวาวและเป็นสาร โครงสร้างในยาสีฟัน

3. ผลิต Zeolite ซึ่งเป็นผลึกของอลูมิโนซิลิเกต ซึ่งสังเคราะห์จากโซเดียมซิลิเกตและโซเดียมอลูมิเนต
 4. ถูกใช้เป็นแหล่งของซิลิกาที่ละลายน้ำได้ในการผลิต Titanium Dioxide
 5. ใช้ในการฟอกสีด้วย Hydrogen Peroxide ทั้งในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและเส้นใย
 6. ใช้ในการบำบัดน้ำโดยเกลือของกรจะถูกดึงประจุออกไปพร้อมกับซิลิเกต ให้เป็นกลางและจะเกิดสารละลายประจุบวกขึ้น ซึ่งเป็นตัวเพิ่มการรวมตัวของตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับใช้ร่วมกับอลูมินัมซัลเฟต
 7. มักจะใช้ในกระบวนการทำให้ลอยตัวในการแยกแร่ธรรมชาติ
 8. ใช้เพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวของพวกปูนขาวและดินเหนียวในกระบวนการทำซีเมนต์พอร์ตแลนด์
- โซเดียมซิลิเกตเป็นสารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นกาวได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงของพันธะอยู่สูงมากและการเปลี่ยนสถานะไปเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลวได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำเป็นปริมาณน้อย

ตารางที่ 6.4 สารช่วยกระจายลอยตัวในกลุ่มแอลคาไลน์

ชื่อ	สูตรเคมี	น้ำหนักโมเลกุล	ความถ่วงจำเพาะ
Sodium Hydroxide	NaOH	40.01	2.1
Sodium Silicate	Na ₂ O·(1.6-4.0)SiO ₂	158.09 -302.23	-
- Best Composition	Na ₂ O·3.3SiO ₂	260.19	-
Sodium Carbonate	Na ₂ CO ₃	106	2.5
Sodium Pyrophosphate	Na ₄ P ₂ O ₇	266.03	2.5
Sodium Tetrphosphate	Na ₆ P ₄ O ₁₃	469.9	-
Sodium Aluminate	Na ₂ O·Al ₂ O ₃	163.94	-
Sodium Oxalate	Na ₂ OC ₂ O ₄	134.01	2.34
Ammonium Oxalate	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	142.12	1.5
Lithium Hydroxide	LiOH	23.95	1.4
Lithium Carbonate	Li ₂ CO ₃	73.89	2.1
Lithium Aluminate	LiAlO ₂	65.91	-
Lithium Citrate	Li ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·4H ₂ O	281.99	-

นอกจากนี้ ยังอาจแบ่งชนิดของสารช่วยกระจายตัวเป็นสารอินทรีย์ กับ อนินทรีย์ก็ได้

6.4 Coagulant

ในทางตรงกันข้ามกับการทำให้น้ำดินไหลตัวได้ดีด้วยการเติมสารช่วยกระจายตัว สารที่เติมไปเพื่อให้เกิดความหนืดมากขึ้นโดยการทำให้เกิดประจุที่ผิวของอนุภาคดินเกิดแรงดูดกันมากขึ้น จะเรียกสารเหล่านี้ว่า สารช่วยการรวมตัว (coagulant) ได้แก่กรดต่างๆ ไอออนของแอลคาไลน์เอิร์ดจากเกลือละลายน้ำ ไอออนจำพวก คลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรต เป็นต้น

6.5 Flocculants/binder

สารช่วยยึดเกาะ จะทำให้น้ำดินเกาะตัวกันได้ดี โดยการที่สารเหล่านี้จะมีโมเลกุลขนาดใหญ่มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว โดยเฉพาะสารพอลิเมอร์อินทรีย์ เช่น เซลลูโลส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ รวมทั้งสารพอลิเมอร์อนินทรีย์ เช่น ซิลิเกต อะลูมิเนตด้วย ทำให้เกิดการเชื่อมยึดอนุภาคดินเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้ดินมีความเหนียวข้นมากขึ้น เป็นการเพิ่มความเป็นพลาสติกให้กับเนื้อดิน นอกจากนี้ ยังใช้สารจำพวกนี้เป็นตัวช่วยเร่งให้เกิดการตกตะกอนของน้ำในการผลิตน้ำประปา หรือการกำจัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอีกด้วย

6.6 Plasticizer

สารเพิ่มความเป็นพลาสติก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ binder อีกทีหนึ่ง เช่น น้ำ จะเป็น plasticizer สำหรับ binder จำพวก PVA, PEG หรือ CMC ส่วน Ethylene glycol ก็ใช้เป็น plasticizer สำหรับ binder จำพวก PVB เป็นต้น

6.7 Lubricant

สารหล่อลื่นมักจะถูกนำมาใช้งานในการขึ้นรูปด้วยกันอัด เพื่อเป็นการลดแรงเสียดทานระหว่างผนังวัตถุกับแม่แบบโลหะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ได้แก่ Paraffin wax, Steric acid, Zinc stearate, Butyl stearate, Sodium stearate, Magnesium stearate, Polyglycol ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์ มีลักษณะเป็นของเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว และสารอนินทรีย์ที่เป็นของแข็ง ได้แก่ Talc, Graphite, Boron nitride นอกจากหล่อลื่นในการอัดขึ้นงานแห้งแล้ว บางครั้งก็มีการใช้สารหล่อลื่นจำพวกน้ำมันปิโตรเลียมทาแม่แบบโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูปเนื้อดินปั้นเช่นกระดาษดินไม้ กระเบื้องหลังคา หรือแม่แต่จานชาม เป็นต้น

6.8 Preservatives

สารฆ่าเชื้อไม่ว่าจะเป็นเชื้อแบคทีเรีย หรือเชื้อรา (bactericide, fungicide) หรือสารกันบูด (preservatives) จะมีการใช้งานในกรณีที่มีการเติมสารอินทรีย์ลงไป ไม่ว่าจะเพื่อวัตถุประสงค์ของการเป็น deflocculant, binder หรือ plasticizer และจำเป็นต้องมีการเก็บวัตถุดิบที่ผสมเสร็จแล้วนี้ไว้ใช้ได้นานๆ ก็จำเป็นต้องมีการเติมสารกันบูดหรือสารฆ่าเชื้อด้วย เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของส่วนผสมดังกล่าว ได้แก่สารกันบูดที่ใช้ในการผสมอาหาร หรือแม้แต่สารฟอร์มาลดีไฮด์ แต่ก็จะต้องมีความระมัดระวังในการใช้งาน โดยเฉพาะอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานเองด้วย

บทที่ 7

เทคนิคการตรวจสอบ และการควบคุมคุณภาพวัสดุดิบ

การควบคุมคุณภาพ

ในการตรวจรับดินขาวและดินเหนียวนั้น มีหัวข้อที่จะต้องตรวจเช็คมากมายขึ้นกับจุดประสงค์ที่จะนำดินนั้นไปใช้งาน

7.1 การหดตัว

จะตรวจเช็คทั้งการหดตัวก่อนเผาและหลังเผา โดยนำดินที่จะทำการตรวจสอบมาขึ้นรูปให้เป็นชิ้นงาน อาจใช้วิธี press, casting, หรือขึ้นรูปด้วยมือ ขึ้นกับกระบวนการผลิตของเรา

size x_1 Green sample

size x_2 Dry sample

size x_3 Fire sample

$$\% \text{ Drying shrinkage} = \left(\frac{x_1 - x_2}{x_1} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Firing shrinkage} = \left(\frac{x_1 - x_3}{x_1} \right) \times 100$$

7.2 ความแข็งแรง

จะตรวจสอบตั้งแต่ชิ้นงานดิบ (green sample) ชิ้นงานหลังอบ (Dry sample) ชิ้นงานหลังเผา (Fire sample) โดยนำดินมาขึ้นรูปตามกระบวนการผลิตที่เราต้องการจะใช้ ในกรณีของ green strength จะนำมาหาโดยใช้เครื่องหา Modulus of rupture ส่วน dry strength จะนำชิ้นงานดินไปเข้าเตาอบก่อน แล้วจึงนำมาหาค่า MOR fire strength จะนำชิ้นงานที่อบแล้วไปเผาที่อุณหภูมิที่เราใช้งานจริง แล้วจึงนำมาเข้าเครื่อง MOR

$$\text{MOR} = \frac{3WL}{2bd^2} \quad W = \text{load ที่อ่านได้จาก dial gauge}$$

L = span length

Unit = kg/cm² b = ความกว้างของชิ้นงาน

d = ความหนาของชิ้นงาน

7.3 การดูดซึมน้ำ (water absorption)

จะนำดินมาขึ้นรูปแล้วเผาที่อุณหภูมิที่ใช้งานแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำไปต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง และทิ้งไว้ในน้ำอีก 24 hr แล้วจึงนำออกมาชั่งน้ำหนักหลังต้ม และหาค่า % การดูดซึมน้ำจากสูตร

$$\% \text{ W/A} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังต้ม} - \text{น้ำหนักก่อนต้ม}}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม}} \right) \times 100$$

7.4 สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal expansion coefficient)

จะใช้เครื่อง dilatometer เป็นตัวตรวจเช็ค โดย plot ออกมาเป็น graph และดูค่า slope ของ graph

7.5 กากค้างตะแกรง

จะนำดินที่ตรวจสอบมากวนกับน้ำแล้วร่อนผ่าน sieve เบอร์ 325 mesh และดูปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรง คำนวณออกมาเป็น % กาก (Residue)

7.6 การหาขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค

จะใช้วิธีวัดโดยไฮโดรมิเตอร์ หรือใช้เครื่อง particle size distribution โดยใช้ laser เป็นตัวนับจำนวนอนุภาค และสามารถ plot ออกมาเป็นกราฟได้

7.7 ความชื้น

จะใช้ตรวจสอบดินที่รับเข้ามาเพื่อการคำนวณราคาเพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน lot นั้น ๆ และตรวจสอบเพื่อชดเชยปริมาณน้ำเวลาที่เรากำลังต้องการซึ่งดินดังกล่าว เพื่อนำไปใช้งาน โดยนำตัวอย่างดิน (ควรสุ่มจากหลาย ๆ จุดของกองดิน) มาชั่งน้ำหนักก่อนอบ แล้วนำเข้าเตาอบอุณหภูมิ 105°C 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักหลังอบ และนำไปเข้าสู่สูตร

$$\% \text{ ความชื้น} = (\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) / \text{น้ำหนักก่อนอบ} \times 100$$

7.8 อัตราการหล่อ (casting rate)

จะใช้สำหรับดินที่นำไปหล่อแบบเพื่อดูอัตราของความหนาของชั้นงานเมื่อเวลาผ่านไป โดยจะนำดินที่ต้องการตรวจสอบมาทำให้เป็นน้ำดิน (slip) และเทลงในแบบ plaster จับเวลา 10 นาที แล้วเทน้ำดินที่เหลือออก เมื่อสามารถแกะแบบได้ให้ทำการแกะแบบและวัดความหนาของชั้นงานว่าที่ 10 นาที จะได้ความหนาเท่าใด

7.9 สีหลังเผา

จะนำดินตัวอย่างมาขึ้นรูปและทำการเผาในอุณหภูมิและบรรยากาศที่ใช้งาน แล้วจึงมาเปรียบเทียบกับสีหลังเผากับชั้นงาน STD. หรืออาจใช้เครื่องวัดสี ทำการวัดสีเปรียบเทียบกับ STD ถ้าต้องการควบคุมเรื่องสีของเนื้อดิน เช่น ผลิตภัณฑ์ porcelain, bone china, กระเบื้อง porcelain (granite tile)

7.10 ความเหนียว (Plasticity)

วิธีการอย่างง่ายที่จะหาค่าความเหนียวของดิน คือการหา slaking time โดยการนำดินมาเป็นลูกเต๋าและแช่ไว้ในน้ำ จับเวลาจนกระทั่งเหลี่ยมของดินลบมุมออกไปจนหมด

อีกวิธีการ จะใช้ดินที่เราต้องการจะตรวจสอบความเหนียวมาผสมกับน้ำจนได้ความชื้นพอเหมาะ (พอปั้นได้ไม่ติดมือ) แล้วปล่อยให้ลงจากระดับความสูง 1 เมตร ลงบนพื้นที่มี scale อยู่ ถ้าดินมีการแผ่ตัวออกไปมากแสดงว่ามีความเหนียวน้อย

7.11 สมบัติการไหลตัวของน้ำดิน (rheology)

จะใช้เครื่องมือที่สามารถตรวจเช็คสมบัติของการไหลตัวได้ เช่น เครื่อง viscometer, brook field, gallen Kamp โดยจะเช็คค่าความหนืด (viscosity) และ ค่า thixotropy

7.12 การหาพื้นที่ผิวของอนุภาคของดิน

ซึ่งพื้นที่ผิวของดินจะส่งผลต่อสมบัติด้านความเหนียว การกระจายลยตัวของดิน โดยใช้วิธี Methylene blue index (MBI)

ค่า MBI คือค่าที่บอกว่าวัตถุดินนั้นสามารถดูดซับ methylene blue ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งจะเชื่อมโยงไปถึงความละเอียดของวัตถุดิน หรือพื้นที่ผิวของวัตถุดินนั้น

7.13 ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (organic matter)

ตรวจสอบได้โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

วิธีการทดสอบ

1. นำดินแห้งมาชั่งน้ำหนัก และใส่ลงใน flask
2. เติมน้ำกลั่นลงไปเขย่าเบา ๆ
3. เติม 5 ml 30% H_2O_2 อุณหภูมิ 50-60°C 30 นาที และเติม H_2O_2 ลงไปอีก
4. อุณหภูมิระเหยในห้องอากาศหมดไป
5. อบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 105°C
6. ปลอ่ยให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักของดินอีกครั้ง และนำมาคำนวณ

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

$$P = \% \text{ สารอินทรีย์ในดิน}$$

$$w_1 = \text{น้ำหนักดินก่อนการเติม } H_2O_2$$

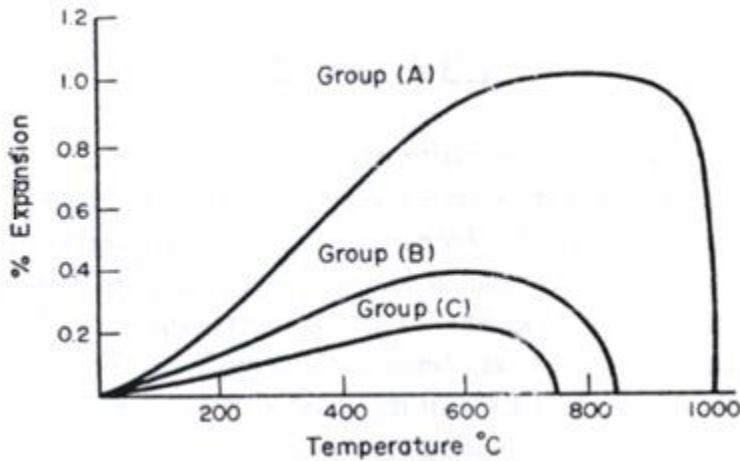
$$w_2 = \text{น้ำหนักดินหลังเติม } H_2O_2$$

7.14 การขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับ (Irreversible Thermal Expansion)

การวัดค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อน จะทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบและพฤติกรรมของวัตถุดินต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผา ตัวอย่างที่แสดงนี้เป็นดินเหนียวจากประเทศอังกฤษที่ถูกแบ่งกลุ่มตามค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับ โดยเป็นการทดสอบที่ทำกับดินดิบ ('Green' Clay) ซึ่งทันทีที่การทดสอบเสร็จสิ้นลง จะสังเกตเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างของดินดังกล่าวไม่สามารถเอานำกลับไปทดสอบซ้ำได้ เนื่องจากชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คืนกลับ (Irreversibly Converted) จากการให้ความร้อนไปยังแท่งชิ้นงาน ซึ่งผลการทดสอบของดินเหนียว 3 กลุ่มหลักๆ แสดงดัง **Error! Reference source not found.**

ที่อุณหภูมิประมาณ 600 °C จะมีความสัมพันธ์เกิดขึ้นกับดินทั้ง 3 กลุ่ม ในลักษณะคล้ายๆ กัน กล่าวคือเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนกับปริมาณของควอทซ์ (Quartz) ที่มีอยู่ในดิน เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว คือที่ 540°C จะมีการเปลี่ยนแปลงจาก α -Quartz ไปเป็น β -Quartz (α - β Quartz Inversion) ดินจะได้รับผลจากการขยายตัวอย่างชัดเจน และที่อุณหภูมิประมาณ 700°C จะมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในเกิดขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ดินเกิดการหดตัวแทนที่ เพราะฉะนั้น

โดยทั่วไปแล้ว ถ้ามีปริมาณดินที่สูงกว่าจะมีผลทำให้ค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 700°C ต่ำกว่า



รูปที่ 7.1 กราฟแสดงค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับของดินเหนียว (Ball Clays) 3 กลุ่ม

กลุ่ม A – ดินที่มีปริมาณทรายมาก (High Silica Clays)

ค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับที่อุณหภูมิ 600°C มีค่าประมาณ 1% และโดยทั่วไปแล้วจะมีปริมาณ Silica อยู่มากกว่า 60% ดินกลุ่มนี้จะมีสารประกอบ TiO_2 และ Fe_2O_3 อยู่ในปริมาณสูง (มากกว่า 2%) และมีแนวโน้มนำจะให้สีหลังเผาเป็นสีน้ำตาล มีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างหยาบเนื่องจากมีทราย (Free Silica) เจือปนอยู่ในปริมาณมากซึ่งก็จะส่งผลทำให้อัตราการหล่อเร็วขึ้น ดินกลุ่มนี้เหมาะที่จะใช้ในการผลิตวัสดุที่ใช้ในเตาเผา (Kiln Furniture) ผลิตภัณฑ์ทนไฟ (Refractory Goods) และอาจใช้ในการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการหล่อได้อีกด้วย

กลุ่ม B – ดินที่มีสีเข้มและอ่อน (Dark and Light Blue Clays)

ดินกลุ่มนี้จะมีสมบัติกึ่งกลางระหว่างดินในกลุ่ม A และดินในกลุ่ม C โดยจะมีค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับประมาณ 0.4% ที่อุณหภูมิ 600°C

กลุ่ม C – ดินที่ให้สีขาวหลังเผา (White Firing Clays)

ค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับที่อุณหภูมิ 600°C มีค่าประมาณ 0.2% ดินในกลุ่มนี้จะมี ความแข็งแรงและความเหนียวสูงและอาจจะมีคาร์บอนอยู่ในปริมาณสูงด้วยโดยดินเหนียวสีดำ (Black Ball Clays) ก็ถูกจัดอยู่ในกลุ่มนี้เช่นกันซึ่งเป็นดินที่จะให้สีขาวหลังเผา โดยทั่วไปแล้วจะถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ Earthenware กระเบื้อง สุขภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน

ประโยชน์ของค่าการขยายเนื่องจากความร้อนแบบไม่คืนกลับจะทำให้เราทราบถึงวิธีการจำแนกดินเหนียวออกเป็นกลุ่มเฉพาะ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในส่วนผสมของเนื้อดินสูตรหนึ่งอาจจะสามารถใช้ดินตัวใดตัว

หนึ่งในกลุ่มเดียวกันแทนที่ดินอีกตัวหนึ่งได้ เนื่องจากดินที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมักจะแสดงสมบัติคล้ายๆ กัน เมื่อผ่านกระบวนการเดียวกัน แต่เนื่องจากดินในกลุ่มเดียวกันอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นได้ค่อนข้างมาก เมื่อต้องการจะนำดินตัวใดตัวหนึ่งมาใช้แทนที่อีกตัวหนึ่งจึงควรพิจารณาดินที่มีสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพที่คล้ายกันมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. ไพจิตร อังศิริวัฒน์, **เนื้อดินเซรามิก**, โอเดียนสโตร์, 2541.
2. ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, **เซรามิกส์**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
3. Rex W. Grimshaw, **The Chemistry and Physics of Clay and Other Ceramic Material**, Pergamon Press, 1971.
4. Christopher W. Sinton, **Raw Materials for Glass and Ceramics Sources, Processes, and Quality Control**, John Wiley & Sons, New York, 2006.
5. W. D. Kingery, **Introduction to Ceramics**, John Wiley & Sons, Singapore, 1991.
6. J. D. Dana, **Manual of Mineralogy**, John Wiley & Sons, New York, pp. 222-223, 1993.
7. James S. Reed, **Introduction to the Principles of Ceramic Processing**, John Wiley & Sons, Singapore, 1989.
8. W. Ryan and C. Radford, **Whitewares: Production, Testing and Quality Control**, The Institute of Materials, London, pp. 1-9, 1997.
9. มิ่งสรรพ์ ขาวสอาด และคณะนักวิจัย, **รายงานโครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาเซรามิกและแก้ว)**, สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มิถุนายน พ.ศ. 2545.
10. **การแต่งแร่หรือการแยกแร่**, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, สำนักพิมพ์ บริษัทประชาชน จำกัด, พ.ศ. 2547.
11. วัชรีย์ ประภาณี, **วัตุดิบเซรามิก**, กลุ่มการผลิตและออกแบบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ <http://www.mtec.or.th/th/special/cdm/articles/>
12. <http://vdo.kku.ac.th/mediacenter/mediacenter-uploads/libs/>
13. <http://web.nkc.kku.ac.th/rattanasuda/e-learning/>

ดรรชนีประมวลคำศัพท์

Advanced ceramic	81	Matt Glaze	80
ball clay	26, 46	monmorillonite	25
Bentonite.....	23, 24, 25, 26	montmorillonite	24, 25, 26, 40, 60, 61
Blue & White.....	6	Montmorillonite.....	23, 24, 40
Bone china	9, 74	Non-Metallic.....	1
Bone China	19, 23, 39, 74	Non-plastic	17
Celadon.....	6	Opaque Glaze	80
China Clay	18, 19	Phallicism	4
Clay	17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 46, 62, 90, 93	Plaster of Paris.....	17
Cordierite.....	40, 74	Plastic forming.....	11
Crystalline Glaze	80	plasticizer.....	25, 26, 87
Cutting Tool.....	81	Porcelain	8, 9, 32
Decal.....	16	Pottery.....	1, 6
Decorating	16	pyrophyllite.....	24, 26
Dolomite	8, 40	Quartzite	28, 29, 30
Dry press.....	11	Roller head.....	11, 14, 52
Dry strength.....	25, 63	Sculpturing	11
Dust press	11	Semi-vitreous.....	8
Earthenware	8, 91	Silk screen	16
Earthen ware.....	74	Slip casting	11
Extrusion.....	11, 14	Smectite	23, 40
Feldspar	17, 30, 31, 33, 64, 69	Soft porcelain.....	74
Filter Press	19	Stain.....	79
Floor Tile.....	74	Stoneware	6, 8, 9, 23
Flux	17, 47	Terracotta.....	8
Frit	76, 77	Thermal Shock.....	40, 77
Frit Rule	78	Throwing	11, 13
Green strength	25, 46	Traditional Ceramic.....	1, 6
Hard porcelain	74	Triaxial	72, 74
Hematite	4, 79	Vitreous china.....	74
Hotel china.....	74	Vitreous China.....	8
Hydrocyclone	19	Wall Tile.....	74
Inorganic.....	1	Whiteware.....	17, 21, 23, 44, 47
Insulator	30, 74	เครื่องเคลือบ	1
Jiggering	11, 13	เครื่องปั้นดินเผา	1, 2, 3, 4, 5, 6, 47, 81
kaolin	26, 27, 37, 38	เคลือบด้าน	80
Kaolin	31, 38, 47, 62	เคลือบผลึก.....	80
Kaolinisation.....	18, 22	เคลือบสี	80
Kaolinite	18, 19, 21, 59, 61, 62, 63, 65	เซรามิกดั้งเดิม	1
keramos.....	1	เซรามิกพื้นบ้าน	1

เบญจรงค์.....	8	บ้านเก่า.....	3
เปลือกโลก	2	บ้านเชียง	4
เผาเผา	5	บ้านกรวด.....	6
โบนไชนา.....	9, 10, 74	ปูนปลาสเตอร์	11, 12, 17
โอ่งมังกร.....	8	พอร์ซเลน	1, 10
กระเบื้องบุผนัง.....	74	ฟริต	76, 77
กระเบื้องปูพื้น	74	ลายเชือกทาบ	3
คอร์เดียไรต์.....	74	ลายคราม	6
ดินเหนียว.....	21, 22, 72, 73	วัสดุทนไฟ	1
ดินกาก	18	สีลากล.....	6
ดินขาว.....	18, 19, 72, 73, 74, 77	สโตนแวร์.....	8
ดินดำ.....	21	สีดินเทศ.....	4
ดินตะกอน.....	18	หินเขียวหनुมาน	28
คูอนินทรีย์.....	1	อโลหะ	1
นูนี	4	อัครีต.....	14

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร วาสนาเพียรพงศ์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์: 022185541 โทรสาร: 022185561

E-mail: Thanakorn.W@chula.ac.th

การศึกษา วท.บ. (วัสดุศาสตร์) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (เทคโนโลยีเซรามิก) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

D.Eng., Metallurgy and Ceramics Science

จาก Tokyo Institute of Technology (Yoshida Scholarship)



อาจารย์ ดร.กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์: 022185541 โทรสาร: 022185561

E-mail: ksrvt@yahoo.com

การศึกษา วท.บ. (วัสดุศาสตร์) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (เทคโนโลยีเซรามิก) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


Ph.D., Ceramics Materials Science

จาก Clemson University, USA





การทำเหมืองดินขาว จังหวัดระนอง ด้วยการฉีดน้ำ



แร่ดินขาว จังหวัดระนอง นับเป็นวัตถุดิบที่สำคัญทั้งในอุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมอื่นๆ เริ่มจากการขุดรวบรวมเป็นกองแร่ที่บนภูเขา ฉีดน้ำให้พัดพาเฉพาะแร่ดินที่มีความละเอียดไหลลงตามลำราง ผ่านกระบวนการคัดแยกขนาดแล้วกรองเอาน้ำออกเพื่อให้ได้เนื้อดินที่มีความชื้นลดลง แล้วจึงทำการส่งขายตามโรงงาน