



เซรามิกส์ เตาเผา และเทคโนโลยีการเผา

CERAMICS: Kiln and Firing Technique

ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ร่วมกับ สมาคมเซรามิกส์ไทย



เซรามิกส์ : เตาเผา

และเทคโนโลยีการเผา

CERAMICS : Kiln

and Firing Technique

ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

**ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ร่วมกับ สมาคมเซรามิกส์ไทย

หนังสือ“เซรามิกส์ : เตาเผา และเทคนิคการเผา”

แต่งและเรียบเรียง : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

พิมพ์ครั้งแรก : สิงหาคม พ.ศ. 2563

จำนวน 50 เล่ม

ราคา - บาท

จัดพิมพ์และแจกโดย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ร่วมกับ สมาคมเซรามิกส์ไทย



ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

เซรามิกส์ : เตาเผา และเทคนิคการเผา. กรุงเทพฯ :

122 หน้า.

1. เซรามิกส์
2. เตาเผา
3. กระบวนการความร้อน
4. อุปกรณ์

ISBN : 000-000-000-000-0

คำนำ

เซรามิกส์ : เตาเผา และเทคนิคการเผา แต่งขึ้นด้วยการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ ตำราภาษาไทย เรียบเรียงจากหนังสือต่างประเทศ บทความวิจัยระดับนานาชาติ รวมทั้งเรียบเรียงจากประสบการณ์และความรู้ของผู้เขียนเอง เพื่อใช้เป็นตำราในการเรียนการสอนในวิชา กระบวนการความร้อนและอุปกรณ์ (Heat Process and Instrumentation: 2311304) สำหรับนิสิตชั้นปีที่ 3 แขนงวิชาเซรามิกและวัสดุศาสตร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการเผา เตาเผา และความรู้ที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก การจำแนกประเภทของเตาเผาประเภทต่าง ๆ ชื่อ และลักษณะที่สำคัญต่าง ๆ โครงสร้าง องค์ประกอบของเตาเผา และการใช้งานต่าง ๆ รูปภาพบางส่วนเป็นผลงานการถ่ายภาพของผู้เขียนเอง ภาพวาดบางภาพได้รับการช่วยเหลือจากลูกศิษย์รุ่นก่อนवादให้ นอกจากนี้ยังได้มีการนำเสนอคลิปวิดีโอด้วยลิงค์ URL ของคลิปในเว็บไซต์ Youtube ให้สามารถเปิดชมได้อย่างสะดวกด้วยการสแกน QR Code ที่แนบไว้ให้ และทางผู้เขียน หวังเป็นอย่างยิ่งว่า เอกสารเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และผู้อ่านเป็นอย่างดี

ผู้แต่งและเรียบเรียง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

สิงหาคม 2560

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ณ
สารบัญตาราง	จ
สารบัญคลิปวิดีโอ	ต
บทที่ 1 บทนำสู่เทคโนโลยีเตาเผาเซรามิก	1
บทที่ 2 ประวัติและวิวัฒนาการของเตาเผาเซรามิก	6
2.1 เครื่องปั้นดินเผายุคก่อนประวัติศาสตร์	6
2.1.1 ยุคหินกลาง	6
2.1.2 ยุคหินใหม่	7
2.1.3 ยุคโลหะ	8
2.2 เครื่องปั้นดินเผาในยุคประวัติศาสตร์[6]	14
2.2.1 ยุคสุโขทัย	15
2.2.2 เครื่องถ้วยสมัยอยุธยา	18
2.2.3 เครื่องถ้วยสมัยธนบุรีและรัตนโกสินทร์	18
2.3 เตาเผาชนิดดั้งเดิม	21
2.3.1 เตาสก็อตซ์	21
2.3.2 เตาเผาสนามแข่งวัวกระทิง	24
2.3.3 เตาฮอฟแมน	26
บทที่ 3 โครงสร้างของเตาเผาเซรามิก	28
3.1 ห้องเผาผลิตภัณฑ์	28
3.2 ผนังเตา	29
3.3 พื้นเตา	29
3.4 ปล่องไฟ	29
3.5 กำแพงไฟ	29
3.6 หัวพ่น	29
3.7 หลังกาเตา	29
3.8 ประตูเตา	30
3.9 รถเตา	30
3.10 แผ่นบังคับลมร้อน	30

3.11	เครื่องวัดอุณหภูมิ.....	30
3.12	ช่องดูไฟ	30
3.13	อุปกรณ์เตา.....	30
บทที่ 4	การจำแนกชนิดของเตาเผาเซรามิก	34
4.1	จำแนกตามรูปร่าง รูปทรง	34
4.1.1	เตามังกร.....	35
4.1.2	เตาสูง.....	37
4.1.3	เตาสีเหลี่ยม.....	37
4.1.4	เตาวงกลม	38
4.1.5	เตารังผึ้ง	39
4.1.6	เตาแมงป่อง.....	41
4.1.7	เตาหลังเตา.....	42
4.1.8	เตาอุโมงค์.....	42
4.1.9	เตาริมตลิ่ง	42
4.1.10	เตาชั้นบันได	42
4.1.11	เตาเผารูปประฆัง.....	44
4.2	จำแนกตามผลิตภัณฑ์ที่เผา.....	44
4.2.1	เตาเผาโอ่งมังกร	45
4.2.2	เตาเผาอิฐ	45
4.2.3	เตาเผาปูนขาว	45
4.2.4	เตาเผาปูนซีเมนต์	46
4.2.5	เตาเผากระเบื้อง.....	47
4.2.6	เตาเผากระถาง	47
4.2.7	เตาเผาครก	47
4.2.8	เตาเผาเครื่องสังคโลก	47
4.2.9	เตาถลุงเหล็ก	47
4.2.10	เตาหลอมแก้ว.....	47
4.3	จำแนกตามทางเดินลมร้อน.....	47
4.4	จำแนกตามเชื้อเพลิงหรือแหล่งความร้อนที่ใช้เผา.....	48
4.5	จำแนกตามการสัมผัสของเปลวไฟ.....	48
4.6	จำแนกตามความต่อเนื่องของการเผา.....	48
4.7	จำแนกตามโครงสร้าง ความต่อเนื่องของเตา.....	49

บทที่ 5 การออกแบบและก่อสร้างเตาเผาเซรามิก	53
5.1 วัสดุทนไฟที่ใช้ในการก่อสร้างเตาเผา.....	54
5.2 การก่ออิฐการเรียงอิฐทนไฟในการก่อสร้างเตาเผาเซรามิก	55
5.3 การใช้เซรามิกไฟเบอร์ในการก่อสร้างเตาเผา.....	60
บทที่ 6 การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก	62
6.1 การเผาผนึก	63
6.1.1 การเผาผนึกแบบของแข็ง	63
6.1.2 การเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลว	64
6.2 กลไกการโตของเกรน.....	65
6.3 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์	66
6.4 การเผาเซรามิก	66
6.5 ข้อพึงระวังและข้อจำกัดในการเผาเซรามิก.....	67
บทที่ 7 เทคนิคการเผาและการควบคุมเตาเผาเซรามิก	69
7.1 เทคนิคในการวัดอุณหภูมิ.....	69
7.2 บรรยากาศที่ใช้ในการเผาเตาโดยทั่วไป.....	72
7.2.1 บรรยากาศออกซิเดชัน (oxidation firing).....	72
7.2.2 บรรยากาศรีดักชัน (reduction firing).....	72
7.2.3 บรรยากาศนิวทรัล (neutral firing)	72
7.3 การเผาเซรามิก	72
7.3.1 การเผาดิบ (biscuit firing)	72
7.3.2 การเผาเคลือบ (gloss firing).....	73
7.3.3 การเผาตกแต่ง (decoration firing).....	73
บทที่ 8 การให้ความร้อนสำหรับเตาเผาเซรามิก.....	75
8.1 ความร้อนจากการเผาไหม้	75
8.1.1 แก๊สธรรมชาติ NG (natural gas).....	75
8.1.2 แก๊สหุงต้ม LPG (liquefied petroleum gas).....	75
8.1.3 ประสิทธิภาพการเผาไหม้	78
8.2 ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า.....	78
8.2.1 นิกเกิล-โครเมียม	79
8.2.2 เหล็ก-โครเมียม-อะลูมิเนียม	79
8.2.3 ซิลิคอนคาร์ไบด์.....	79
8.2.4 โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์.....	80

8.2.5	เซอร์โคเนีย.....	81
8.2.6	ดีบุกออกไซด์.....	81
8.2.7	แพลตินัม.....	82
8.2.8	ทังสเตน.....	82
8.2.9	แกรไฟต์.....	82
บทที่ 9	วัสดุทนไฟและอุปกรณ์การเผา.....	83
9.1	วัสดุทนไฟ.....	83
9.1.1	วัสดุทนไฟรองเผาชนิดกล่อ่ง.....	83
9.1.2	วัสดุอุปกรณ์ทนไฟและแผ่นรองเผา.....	84
9.1.3	วัสดุทนไฟรองเผาจานชาม.....	85
9.1.4	อิฐทนไฟชนิดไฟร์เคลย์.....	85
9.1.5	อิฐทนไฟอะลูมินาสูง.....	86
9.1.6	อิฐฉนวนทนไฟ.....	86
9.1.7	ปูนทนไฟสูง และทนไฟสูงพิเศษ.....	87
9.1.8	พลาสติกทนไฟชนิดไฟร์เคลย์ และ อะลูมินาสูง.....	87
9.1.9	คอนกรีตทนไฟชนิดฉนวนทนไฟ ชนิดอะลูมินาสูง ความแข็งแรงพิเศษ.....	87
9.1.10	ฉนวนกันความร้อนเซรามิกไฟเบอร์.....	88
9.2	หัวเผา หัวพ่นไฟ.....	89
9.2.1	หัวเผาชนิดเวนจูรี่.....	90
9.2.2	หัวเผาชนิดเพิ่มแรงดันอากาศ.....	90
บทที่ 10	ปฏิกิริยาในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการเผา.....	91
10.1	การแยกสลายตัวของวัตถุดิบ.....	91
10.2	ปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับของแข็ง.....	94
10.3	การพ่นก้อนอากาศต่าง ๆ ด้วยความร้อน.....	95
10.4	การหลอมเหลว.....	96
10.4.1	การหลอมเหลวแบบเมลติง.....	96
10.4.2	การหลอมเหลวแบบฟิวชั่น.....	96
10.5	ส่วนประกอบของเคลือบ.....	97
10.6	การละลายและการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน.....	97
บทที่ 11	เตาเผาชนิดอื่น.....	102
11.1	เตาเผาอัดร้อน.....	102
11.2	เตาเผาอัดร้อนทุกทิศทาง.....	103
11.3	เตาเผาไมโครเวฟ.....	103

11.4	เตาเผาสปาร์คพลาสมา.....	104
11.5	เตาเผาพลังแสงอาทิตย์.....	105
11.6	เตาเผาเหนียวนำแม่เหล็ก	105
11.7	เตาเผาด้วยแสงเลเซอร์	106
บทที่ 12	เชื้อเพลิงชีวมวลทางเลือก.....	107
บทที่ 13	เทคโนโลยีเตาเผาเซรามิกสำหรับชุมชน	113
	เอกสารอ้างอิง	116
	ดัชนี	119
	ประวัติผู้แต่ง.....	123

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 การเผาตาดโดยใช้ฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิง	2
รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบโครงสร้างของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	3
รูปที่ 1.3 ภาพวาดเตาเผาเซรามิกแบบจีนที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	4
รูปที่ 1.4 ภาพร่างตัวอย่างภายในเตาเผาเซรามิกแบบจีนที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง [4]	5
รูปที่ 2.1 เศษภาชนะดินเผาอายุเกือบหมื่นปีขุดพบที่ถ้ำน้ำลอดจังหวัดแม่ฮ่องสอน[2]	7
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองการเผาแบบเผาตาดหรือเผาสุ่มไฟ[9]	8
รูปที่ 2.3 ภาพจำลองการเผาในหลุม	10
รูปที่ 2.4 การเผาอิฐก่อสร้างดินเผาในเตาเผาเรียงกอง พื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	10
รูปที่ 2.5 การเผาเรียงกองของโรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาใช้แผ่นเหล็กเป็นผนังเตาชั่วคราว [11]	11
รูปที่ 2.6 การเผาเรียงกองพอกทับของโรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาในต่างประเทศ[10, 12]	11
รูปที่ 2.7 ภาพจำลองเตาเผาริมตลิ่ง	12
รูปที่ 2.8 เตาเผาริมตลิ่งแม่น้ำชี อำเภอเมืองใน จังหวัดอุบลราชธานี	12
รูปที่ 2.9 เตาเผาริมตลิ่งในโบราณสถาน (ซ้าย) พิพิธภัณฑ์ศรีสขนาลัย (ขวา) พิพิธภัณฑ์บ้านจ่ามนัส	13
รูปที่ 2.10 ภาพจำลองพัฒนาการของเตาเผาริมตลิ่งเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผา[10]	14
รูปที่ 2.11 ภาพจำลองการเผาในเตาทุเรียง	16
รูปที่ 2.12 เตาสก๊อตซ์ Scotch kiln[14]	22
รูปที่ 2.13 เตาชะอวด เเผาอิฐก่อสร้างดินเผา อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช	22
รูปที่ 2.14 เตา Haseltine's kiln	23
รูปที่ 2.15 เตาเผาสนามแข่งวัวกระทิง	24
รูปที่ 2.16 เตาแอนนูลาร์ [14]	25
รูปที่ 2.17 เตาฮอฟแมน [14]	26
รูปที่ 2.18 รูปแบบการทำงานของเตาฮอฟแมนแบบเวียนไปทีละห้อง	27
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของเตาขัดเต็ล ใช้แก๊ส	31
รูปที่ 3.2 โครงสร้างเตามังกร สำหรับเผาโอ่งมังกร จังหวัดราชบุรี	31
รูปที่ 3.3 ภาพขยายโครงสร้างส่วนหัวของเตามังกร	32
รูปที่ 3.4 เตาเผาพื้นแบบกลม ลมร้อนขึ้นด้านบน หรือ เตาตะกรับ	32
รูปที่ 3.5 โครงสร้างหลังคาเตาที่ก่อด้วยอิฐทนไฟ	32
รูปที่ 3.6 โครงสร้างเตาเผาผนังอิฐทนไฟ ใช้แก๊ส	33
รูปที่ 4.1 รูปร่างของเตามังกร จังหวัดราชบุรี (ซ้าย) ปากเตาและหัวกะโหลก (ขวา-บน) ภาพด้านข้างเตา (ขวา-ล่าง) ภาพภายในเตา	35

รูปที่ 4.2 เตาจุใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง สำหรับเผาถั่วร่อนน้ำยาง	37
รูปที่ 4.3 เตาสี่เหลี่ยมแบบทางเดินลมร้อนลงใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง	38
รูปที่ 4.4 เตาวงกลมแบบทางเดินลมร้อนขึ้นใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิงไม่มีหลังคาเตาถาวร	38
รูปที่ 4.5 รังผึ้งในแบบการตุนของชาวตะวันตก	39
รูปที่ 4.6 เตาโดมก่อด้วยอิฐดินเผาใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง	40
รูปที่ 4.7 เตาแมงป่องก่อด้วยอิฐดินดิบใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง	41
รูปที่ 4.8 ประตูชั่วคราวของเตาแมงป่องก่อด้วยอิฐดินดิบสำหรับเผาครกสัปดาห์	41
รูปที่ 4.9 เตาหลังเต่าใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง (ชนิดไม่มีปล่อง) [10]	42
รูปที่ 4.10 เตาชั้นบันไดใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง	43
รูปที่ 4.11 เตาชั้นบันไดใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง	43
รูปที่ 4.12 เตาเผารูปประฆังคว่ำ [4]	44
รูปที่ 4.13 เตาเผาปูนขาวรูปทรงอุโมงค์แนวตั้ง[10]	46
รูปที่ 4.14 เตาเผาปูนขาวรูปทรงสี่เหลี่ยมใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและใช้โบล์เวอร์เป่าอากาศ.....	46
รูปที่ 4.15 เตาเผาปูนซีเมนต์ชนิดโรตารี[16]	46
รูปที่ 4.16 ทิศทางของทางเดินลมร้อนในเตาเผาผ่านผลิตภัณฑ์	47
รูปที่ 4.17 เตาเผา (ซ้าย) เตาตะกรับโดนเปลวไฟโดยตรง (ขวา) เตาเผาแบบไม่สัมผัสเปลวไฟ.....	48
รูปที่ 4.18 เตาเผาเชื่อมต่อแนวตั้ง	49
รูปที่ 4.19 เตาเผาเชื่อมต่อแนวตั้งพร้อมโครงสร้างอาคาร	49
รูปที่ 4.20 เตาเผาเชื่อมต่อแบบลมร้อนขึ้น	50
รูปที่ 4.21 เตาเผาเชื่อมต่อแบบลมร้อนลงใช้หลังคาร่วมกัน	50
รูปที่ 4.22 เตาเผาเชื่อมต่อแบบลมร้อนลงแยกช่องหลังคากัน	50
รูปที่ 4.23 เตาเผาเชื่อมต่อ 2 เตาแยกปล่องคว้นกัน.....	51
รูปที่ 4.24 เตาเผาเผาเชื่อมต่อลมร้อนลงแสดงช่องต่อลมร้อน[10]	51
รูปที่ 4.25 เตาเผาเชื่อมต่ออุณหภูมิต่ำ.....	52
รูปที่ 4.26 เตาเผาเชื่อมต่อวาร์จตัน และ คลิฟฟอร์ด	52
รูปที่ 5.1 อิฐทนไฟขนาดมาตรฐาน 9 นิ้ว x 4 ½ นิ้ว x 3 นิ้ว.....	55
รูปที่ 5.2 อิฐทนไฟขนาดมาตรฐาน 9 นิ้ว รูปทรงต่างๆ.....	56
รูปที่ 5.3 การเรียงอิฐทนไฟแบบ header course	57
รูปที่ 5.4 การเรียงอิฐทนไฟแบบ stretcher course.....	57
รูปที่ 5.5 การเรียงอิฐทนไฟแบบสลับกัน header 4 ชั้น สลับกับ stretcher 1 ชั้น ได้กำแพงที่แข็งแรง.....	57
รูปที่ 5.6 การเรียงอิฐทนไฟแบบสลับกัน stretcher 4 ชั้น สลับกับ header 1 ชั้น สะดวกสำหรับงานซ่อม.....	57
รูปที่ 5.7 การเรียงอิฐทนไฟแบบสลับกัน header และ stretcher สำหรับกำแพงหนา 9 นิ้ว	57
รูปที่ 5.8 การเรียงอิฐทนไฟแบบสลับกัน header และ stretcher สำหรับกำแพงหนา 13 1/2 นิ้ว	57

รูปที่ 5.9 การเรียงอิฐทึบไฟแบบ rowlock course	58
รูปที่ 5.10 การเรียงอิฐทึบไฟแบบ soldier course	58
รูปที่ 5.11 การเรียงอิฐทึบไฟแบบสลับกัน header และ stretcher สำหรับกำแพงหนา 13 1/2 นิ้ว วิธีที่ 2 58	
รูปที่ 5.12 การเรียงอิฐทึบไฟส่วนของกำแพงเพื่อรองรับน้ำหนักของหลังคาเตา 2 ห้อง.....	58
รูปที่ 5.13 การเรียงอิฐทึบไฟส่วนของกำแพงเพื่อรองรับน้ำหนักของหลังคาเตา.....	58
รูปที่ 5.14 การเรียงอิฐทึบไฟส่วนหลังคา	59
รูปที่ 5.15 การเรียงอิฐทึบไฟส่วนหลังคา	59
รูปที่ 5.16 การเรียงอิฐทึบไฟส่วนหลังคา	59
รูปที่ 5.17 การเรียงอิฐทึบไฟส่วนหลังคา	59
รูปที่ 5.18 การเรียงอิฐทึบไฟส่วนโค้งรอด corbel arch สำหรับทางเดินลมร้อน.....	59
รูปที่ 5.19 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคา.....	60
รูปที่ 5.20 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคา แบบถอดใช้ใหม่ได้หลายครั้ง.....	60
รูปที่ 5.21 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคาแบบส่วนโค้งวงกลมรับน้ำหนักไม่มาก	60
รูปที่ 5.22 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคาบน้ำหนักได้ แบบพาราโบลา หรือ catenary arch.....	60
รูปที่ 5.23 เทคนิคการอัดโมดูลเซรามิกไฟเบอร์ทึบไฟ	60
รูปที่ 5.24 การติดตั้งโมดูลเซรามิกไฟเบอร์ทึบไฟ	60
รูปที่ 5.25 การติดตั้งผนังเตาเซรามิกไฟเบอร์ทึบไฟ.....	61
รูปที่ 5.26 การติดตั้งผนังเตาเซรามิกไฟเบอร์ทึบไฟ โดยการอัดทับทุกๆ 12 นิ้ว	61
รูปที่ 6.1 การเกิดคอคอดในชั้นที่ 1.....	63
รูปที่ 6.2 การเกิดคอคอดที่โตขึ้นและเกิดการหดตัวในชั้นที่ 2	64
รูปที่ 6.3 การเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลว มี 3 ช่วง.....	64
รูปที่ 6.4 การโตของเกรนตามทฤษฎีของ Ostwald ripening process.....	65
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงช่วงอุณหภูมิในการผลิตของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางประเภท	66
รูปที่ 6.6 ตัวอย่างแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกบางชนิดที่ต้องมีการเผื่อการยุบตัว.....	67
รูปที่ 6.7 เทคนิคในการวางเรียงเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีรูปทรงที่บิดเบี้ยวได้ง่าย	67
รูปที่ 6.8 เทคนิคในการวางเรียงเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกบางประเภท	68
รูปที่ 7.1 การใช้โคนในการวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผา.....	70
รูปที่ 7.2 ตัวอย่างวงแหวนที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา	70
รูปที่ 8.1 คุณภาพของการเผาไหม้ (บน) มีออกซิเจนเกินพอ (ล่าง) มีออกซิเจนพอดีกับการเผาไหม้.....	76
รูปที่ 8.2 สัดส่วนของแก๊สต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้ที่มีปริมาณอากาศในสัดส่วนเทียบกับสูตรทางทฤษฎี.76	
รูปที่ 8.3 ตัวอย่างการใช้พลังงานของเตาเผาโถงมังกรราชบุรี ขนาด 23 ตาไฟ	78
รูปที่ 8.4 ตัวอย่างฮีตเตอร์เหล็ก-โครเมียม-อะลูมิเนียม.....	79
รูปที่ 8.5 ตัวอย่างฮีตเตอร์ซิลิคอนคาร์ไบด์.....	80

รูปที่ 8.6 ตัวอย่างฮีตเตอร์โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์	81
รูปที่ 8.7 ตัวอย่างฮีตเตอร์ตีบุกออกไซด์	81
รูปที่ 8.8 ตัวอย่างฮีตเตอร์แกรไฟต์	82
รูปที่ 9.1 วัสดุทนไฟสำหรับรองเผาและอุปกรณ์ประกอบเตาเผา	83
รูปที่ 9.2 วัสดุทนไฟสำหรับรองเผาชนิดกล่อ่ง	84
รูปที่ 9.3 วัสดุอุปกรณ์ทนไฟและแผ่นรองเผา	84
รูปที่ 9.4 วัสดุทนไฟรองเผาจาน/ชาม	85
รูปที่ 9.5 อิฐฉนวนทนไฟ	86
รูปที่ 9.6 คอนกรีตทนไฟชนิดฉนวนทนไฟ	88
รูปที่ 9.7 ตัวอย่างหัวเผาชนิดเวนจูรี่	90
รูปที่ 9.8 โครงสร้างการตั้งอากาศเข้าไปผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงในหัวเผาเวนจูรี่	90
รูปที่ 9.9 ตัวอย่างหัวเผาชนิดเพิ่มแรงดันอากาศ	90
รูปที่ 10.1 การวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่มีการเกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินวัตถุดิบ	93
รูปที่ 10.2 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนการเกิดปฏิกิริยาในสารต่าง ๆ	93
รูปที่ 10.3 กราฟการดูดกลืนและคายความร้อนที่เกิดขึ้นในสารต่าง ๆ	94
รูปที่ 10.4 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนการเกิดปฏิกิริยาและเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารต่าง ๆ	94
รูปที่ 10.5 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางการขยายตัวทางความร้อน	99
รูปที่ 10.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การขยายตัวทางความร้อนของแก้ว	99
รูปที่ 10.7 ตัวอย่างกราฟการขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินปั้นพอร์ซเลนและเคลือบ	100
รูปที่ 10.8 ตัวอย่างกราฟการขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินปั้นพอร์ซเลนดิบ	100
รูปที่ 10.9 ตัวอย่างกราฟการขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินปั้นกระเบื้องปูพื้นดิบ	100
รูปที่ 12.1 ลักษณะการเผาในเตาเผาแบบอัดร้อน	102
รูปที่ 12.2 ลักษณะการเผาในเตาเผาอัดร้อนทุกทิศทาง และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้เตาเผา	103
รูปที่ 12.3 ลักษณะการเผาด้วยเตาเผาไมโครเวฟ	103
รูปที่ 12.4 ลักษณะการเผาในเตาเผาแบบสปาร์คพลาสมา	104
รูปที่ 12.5 รูปภายนอกเตาเผาสปาร์คพลาสมา	104
รูปที่ 12.6 การทดลองการรวมพลังงานแสงแดดเพื่อให้เกิดความร้อนอุณหภูมิสูง	105
รูปที่ 12.7 ลักษณะการเกิดความร้อนของเตาเผาเหนียวน้ำแม่เหล็ก	105
รูปที่ 12.8 ลักษณะการเผาด้วยแสงเลเซอร์พลังงานสูง	106
รูปที่ 13.1 ลักษณะเตาเผาผลิตแก๊สชีวมวล (ขี้ยา) แบบอากาศไหลขึ้น (ขวา) แบบอากาศไหลลง[25]	107
รูปที่ 13.2 ลักษณะเตาเผาผลิตแก๊สชีวมวล[25]	108
รูปที่ 13.3 ขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวมวล[25]	108
รูปที่ 13.4 องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้[26]	109

รูปที่ 13.5	เตาเผาเซรามิกต้นแบบที่ใช้แก๊สชีวมวลในจังหวัดราชบุรี[26].....	109
รูปที่ 14.1	ทีมอาจารย์สอนชาวบ้านก่อสร้างเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง	113
รูปที่ 14.2	สอนให้ชาวบ้านผลิตอิฐดินดิบสำหรับการก่อเตาเผาใช้เองได้	113
รูปที่ 14.3	เตาเผาที่ได้ออกแบบและร่วมกันก่อสร้างกับชาวบ้าน	114
รูปที่ 14.4	สภาพของเตาเผาที่ก่อสร้างขึ้นด้วยความร่วมมือของชาวบ้าน.....	114
รูปที่ 14.5	สอนให้ชาวบ้านใช้งานเตาเผาที่ได้พัฒนาและถ่ายทอดไว้.....	114

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 ประเภทของวัสดุทนไฟที่ใช้ทำอิฐทนไฟก่อเตาเผาเซรามิก[10].....	54
ตารางที่ 5.2 ประเภทของอิฐฉนวนทนไฟสำหรับก่อเตาเผาเซรามิก[10].....	54
ตารางที่ 7.1 วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple).....	69
ตารางที่ 7.2 อุณหภูมิมาตรฐานของโคนแต่ละเบอร์แต่ละชนิด	71
ตารางที่ 8.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ.....	77
ตารางที่ 8.2 ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ ค่าพลังงาน ราคา และต้นทุน ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ.....	77
ตารางที่ 8.3 ข้อมูลเปรียบเทียบของการพ่นเคลือบแบบต่าง ๆ	78
ตารางที่ 9.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ฉนวนทนไฟเซรามิกไฟเบอร์ในลักษณะต่าง ๆ.....	89
ตารางที่ 9.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ฉนวนทนไฟเซรามิกไฟเบอร์ในรูปทรงต่าง ๆ.....	89
ตารางที่ 10.1 ตารางสรุปปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเผาบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน.....	101

สารบัญคลิปวิดีโอ

หน้า

คลิปวิดีโอที่ 1.1	สารคดีการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแบบดั้งเดิมและ QR code.....	2
คลิปวิดีโอที่ 2.1	คลิปข่าวการจำลองใบหน้านุชย์ถ้าโบราณที่แม่ฮ่องสอนและ QR code.....	7
คลิปวิดีโอที่ 2.2	กระบวนการเผาตาดเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านและ QR code	9
คลิปวิดีโอที่ 2.3	กระบวนการผลิต การเผาตาดเครื่องปั้นดินเผาและการทำงานในครัวเรือน และ QR code ..	9
คลิปวิดีโอที่ 2.4	เตาทุเรียง เตาเผาเครื่องสังคโลก ในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และ QR code.....	16
คลิปวิดีโอที่ 2.5	เครื่องปั้นดินเผาโบราณ สังคโลก ศรีสัชนาลัย สุโขทัยและ QR code.....	17
คลิปวิดีโอที่ 2.6	เตาชะอวด เตาเผาอิฐ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมาและ QR code.....	23
คลิปวิดีโอที่ 2.7	การผลิตอิฐ และการเผาด้วยเตาชะอวด จังหวัดนครราชสีมาและ QR code	23
คลิปวิดีโอที่ 2.8	การจำลองการทำงานของเตาเผาสนามแข่งวัวกระทิง และ QR code.....	25
คลิปวิดีโอที่ 2.9	ภาพถ่ายทางอากาศของเตาเผาชิกแซกในประเทศปากีสถาน และ QR code	25
คลิปวิดีโอที่ 4.1	สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code.....	36
คลิปวิดีโอที่ 4.2	การผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code.....	36
คลิปวิดีโอที่ 4.3	เตามังกร สำหรับเผาโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code	37
คลิปวิดีโอที่ 4.4	การผลิตอิฐด้วยเตาโดมที่จังหวัดชลบุรีและ QR code	40
คลิปวิดีโอที่ 13.1	เตาชีวมวลสำหรับเตาเผาอุตสาหกรรมเซรามิก จังหวัดลำปางและ QR code.....	110
คลิปวิดีโอที่ 13.2	เตาชีวมวลสำหรับเตาเผาอุตสาหกรรมเซรามิก จังหวัดลำปางและ QR code.....	111
คลิปวิดีโอที่ 13.3	สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code	111
คลิปวิดีโอที่ 13.4	สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code	111
คลิปวิดีโอที่ 13.5	สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code	112
คลิปวิดีโอที่ 14.1	เตาเผาที่โครงการออกแบบและไปถ่ายทอด ที่จังหวัดเชียงใหม่และ QR code	115

บทที่ 1

บทนำสู่เทคโนโลยีเตาเผาเซรามิก

Introduction to Ceramic Kiln

ในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก **เตาเผาเซรามิก “ceramic kiln”** จัดอยู่ในขั้นตอนของการผลิตลำดับท้าย ๆ แต่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกต้องให้ความสำคัญต่อการเผาเป็นอย่างมากเป็นพิเศษ เพราะกลัวว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้ผ่านขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ มาอย่างดีแล้ว อาจเสียหายลงที่จุดสุดท้ายนี้ หรืออาจทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ หรือเกิดความเสียหายสูง ประกอบกับราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตมีราคาสูง เพื่อให้เป็นการประหยัดและลดต้นทุนในการผลิตลง กระบวนการเผาจึงมีบทบาทอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตถึงขั้นที่เรียกได้ว่าเป็นหัวใจของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเซรามิกเลยทีเดียว

เซรามิกมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก “**keramos**” ซึ่งมีความหมายว่า ไฟ หรือ เเผา[1] นับแต่อดีตมาวัสดุเซรามิกที่มีการใช้งานมากที่สุดคือ เซรามิกดั้งเดิม หรือเซรามิกพื้นบ้าน (conventional or traditional ceramic) ทำมาจากวัสดุหลักคือดินเหนียว ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เครื่องปั้นดินเผา (pottery) หม้อไห ถ้วยชาม หรือ เครื่องเคลือบดินเผา อิฐ กระเบื้องเคลือบ วัสดุประเภทปูนซีเมนต์ แก้ว และวัสดุทนไฟอื่น ๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมาได้มีความเจริญก้าวหน้าในกระบวนการผลิต ตลอดจนมีความเข้าใจในลักษณะพื้นฐาน และกลไกที่ควบคุมสมบัติของผลิตภัณฑ์เซรามิก

มนุษย์ได้รู้จักการผลิตและใช้งานเซรามิกมาเป็นเวลานานหลายพันปีแล้ว เริ่มต้นด้วยกลุ่มของวัสดุเครื่องปั้นดินเผาด้วยการกองสุมของที่จะเผาบนพื้นดิน ใช้กิ่งไม้หรือหญ้าแห้งเป็นเชื้อเพลิง เรียกว่าเผาแดด โดยอาจเรียกว่าเตานอก หรือเตาผาง หรือเตาเปิดก็ได้[2] ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เพื่อให้เห็นภาพและทำความเข้าใจในกระบวนการผลิตและการเผาเครื่องปั้นดินเผาด้วยกรรมวิธีแบบโบราณ ขอให้ชมสารคดีสั้นการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแบบดั้งเดิมและเผากลางแจ้งได้ใน **คลิปวิดีโอที่ 1.1** จากนั้นมนุษย์ก็ได้มีการวิวัฒนาการเป็นลำดับขั้น มีการอาศัยธรรมชาติเป็นเครื่องช่วยในการเผา คือใช้เป็นที่พักปิดกั้นความร้อนเพื่อให้การเผาเป็นไปได้เร็วขึ้น ตลอดจนเรียนรู้ถึงการสร้างเตาเผาแบบง่าย ๆ ขึ้นมาใช้ ถือเป็นขั้นแรกของเตาเผาที่เกิดขึ้น

จากนั้นจึงได้มีการพัฒนาสร้างเตาเผาแบบต่าง ๆ ปรับเปลี่ยนจากการใช้ไม้ฟืนมาเป็นน้ำมัน และแก๊สที่ได้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion heat) [3]และบางส่วนใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อน (electrical heat) คำว่าเตาเผาเซรามิกนั้นมาจากคำภาษาอังกฤษว่า kiln ซึ่งมีความหมายที่แตกต่างไปจากคำว่าเตาอื่น ๆ อย่าง furnace เพราะเตาเผาเซรามิกนั้นจะมีการแยกส่วนของบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง กับพื้นที่ที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์ออกจากกัน แต่ในส่วนของเตาเผา furnace จะไม่แยกออกจากกัน เช่น เตาถลุงเหล็ก (blast furnace)

ในประเทศไทยมีการผลิตเซรามิกอยู่มากมายหลายชนิด ผู้ประกอบการโรงงานมีอยู่ทั่วประเทศในหลายจังหวัด มีทั้งเครื่องปั้นดินเผาแบบดั้งเดิมแบบที่ไม่ต้องมีเตาเผา ใช้กระบวนการเผาแดดที่มีต้นทุนต่ำ บางรายใช้เตาเผาไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง จนถึงอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดใหญ่ ใช้เตาเผาอุตสาหกรรมในการการผลิต

จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างองค์ความรู้ รวบรวมเทคโนโลยีเพื่อให้มีการถ่ายทอดออกไป จะได้มีการใช้งานได้อย่างถูกต้อง เฝ้าผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และเป็นการลดต้นทุนการผลิตด้วย



รูปที่ 1.1 การเผาเตาโดยใช้ฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิง

(ก) ภาพจาก สุจิตต์ วงษ์เทศ, เครื่องปั้นดินเผาและเครื่องเคลือบกับพัฒนาการทางเศรษฐกิจและสังคมของสยาม, สำนักพิมพ์มติชน, จัดทำโดย บริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร, (2528) หน้า 132).[2]

(ข) ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

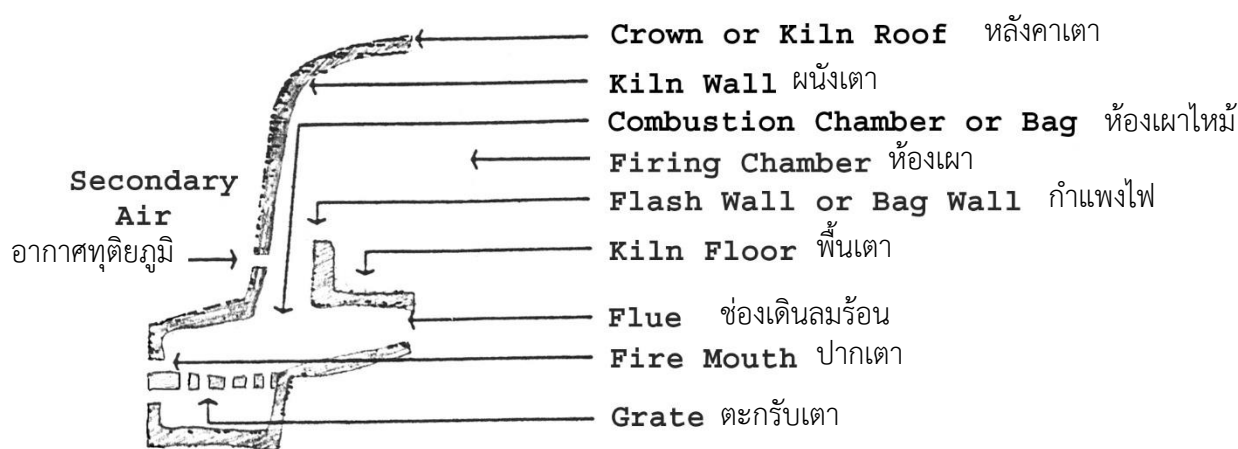


คลิปวิดีโอที่ 1.1 สารคดีการผลิตเครื่องปั้นดินเผาแบบดั้งเดิมและ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=yNY0-H7K3Ww>

รูปแบบการเผาของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยการใส่ฟืนเข้าทางปากเตา (fire mouth) ด้านหน้าของเตาเผา หลังจากการเผาไหม้แล้วจะมีขี้เถ้า (ash) ซึ่งสามารถแยกออกมาจากเตาเผาได้โดยที่ขี้เถ้าจะร่วงลงมาจากบริเวณเผาไหม้ผ่านช่องตะแกรงเตา (grate) ทำให้เถ้าออกมาจากเตาเผาได้สะดวก และช่องตะแกรงเตานี้ก็จะเป็นช่องผ่านของอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาเผาไหม้ภายในเตา อากาศที่เข้าทางปากเตาและตะแกรงเตาเรียกว่าอากาศปฐมภูมิ (primary air) ทำให้เกิดการลุกไหม้ที่ตัวฟืนเชื้อเพลิงเกิด

เป็นเปลวไฟ (flame, flash) และลมร้อน (draft or draught) หากเปลวไฟที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ยังไม่สมบูรณ์จะมีเขม่าควันมาก ความร้อนจะไม่สูงและเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง บางครั้งจำเป็นต้องมีการเจาะรูที่ใกล้ๆ ปากเตาเพิ่มเพื่อเป็นการดึงอากาศจากภายนอกโดยตรงเข้าไปผสมทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับเปลวไฟเรียกว่าเป็นอากาศทุติยภูมิ (secondary air) ทำให้เกิดเปลวไฟที่เผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์มีอุณหภูมิสูงและมีปริมาณเขม่าควันต่ำ แต่หลายครั้งเปลวไฟที่พุ่งตรงไปสู่ชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาภายในเตาอาจมีความร้อนสูงไม่สม่ำเสมอ มีความเร็วสูง หรือมีฝุ่นเถ้าจากการเผาไหม้ปนไปด้วย อาจทำให้ชิ้นงานแตกเสียหาย หรือสกปรกได้ จึงมักมีการสร้างกำแพงไฟ (flash wall, bag wall) ขวางกั้นเปลวไฟแล้วกระจายความร้อนเข้าสู่ภายในเตาอีกที ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของเตาเผาเซรามิกดังแสดงใน รูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบโครงสร้างของเตาเผาเซรามิกที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

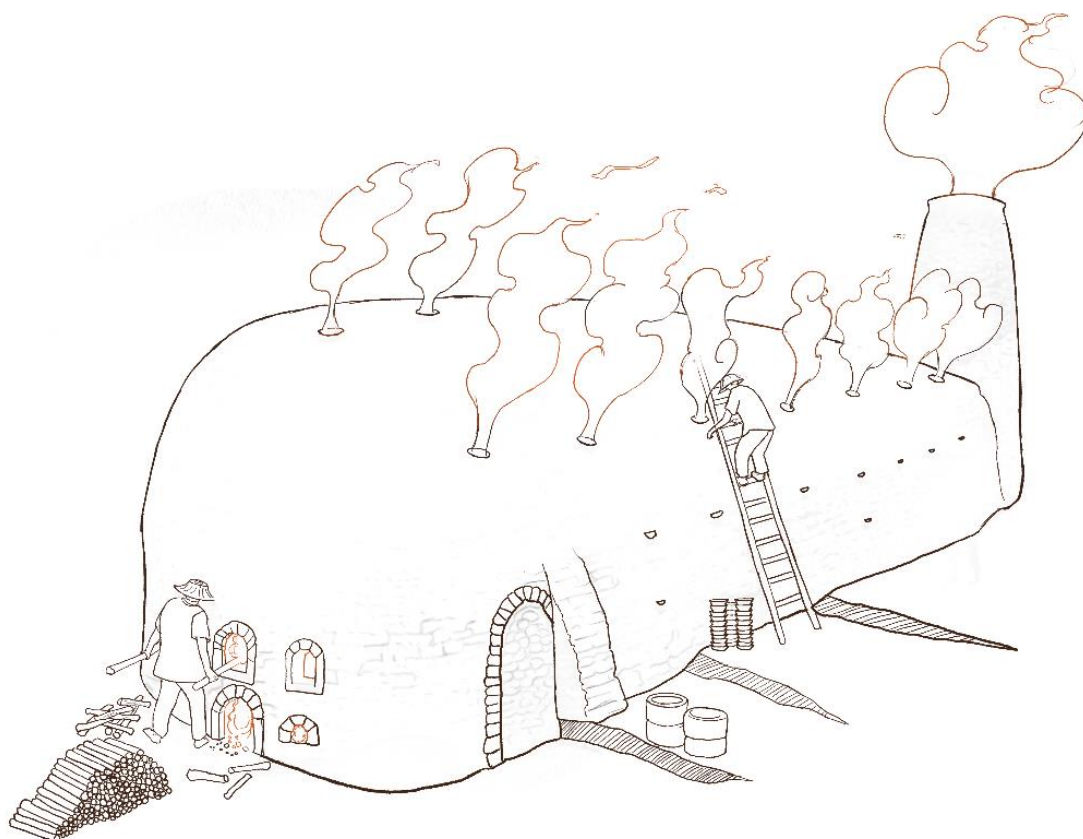
สำหรับคำว่าเตาที่มีใช้ในภาษานั้น หากเป็นคำภาษาอังกฤษจะมีคำที่แตกต่างออกไปอยู่หลายคำ ได้แก่

- เตาอบ (oven) ใช้สำหรับอบอาหาร ทำอาหารให้สุกด้วยการอบด้วยความร้อน รวมไปถึงเตาอบพิซซ่า (pizza oven) อาจใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน อบด้วยถ่านไม้หรือถ่านหิน ให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า หรือแม้แต่เตาอบไมโครเวฟ (microwave oven) นอกจากนี้คำว่าเตาอบยังรวมถึงเตาอบสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory heating oven) ใช้สำหรับอบแห้งสารเคมีตัวอย่างต่าง ๆ ก็ได้

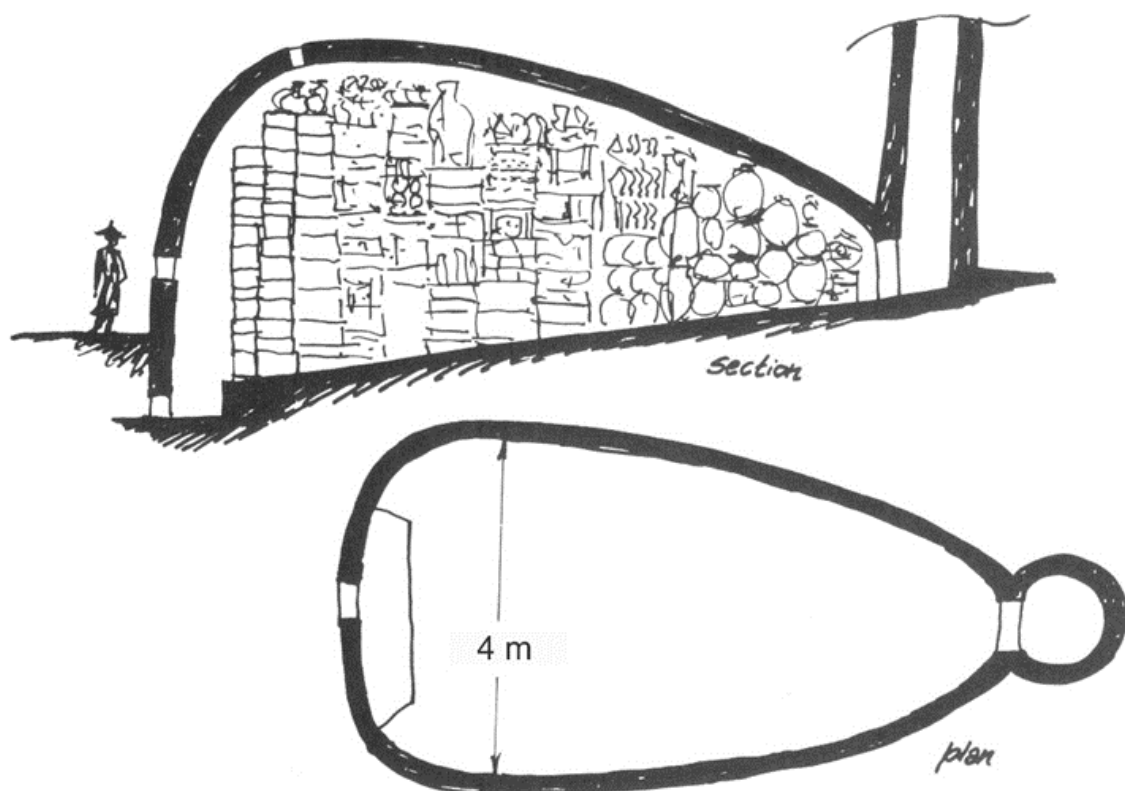
- เตาทำอาหาร (stove) เตาไฟ เตาถ่าน (charcoal stove) เตาฟืน (wood stove) เตาแก๊ส (gas stove) หมายถึงเตาที่ใช้สำหรับการหุงข้าวทำอาหารโดยใช้ความร้อนจากเตา แล้ววางภาชนะในการหุงต้มไว้ด้านบนเตา

- เตาผิง (fireplace) หมายถึงเตาที่ให้ความร้อนให้ความอบอุ่นกับห้องหรือในบ้าน พบได้ในบ้านของประเทศเมืองหนาว มักใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง จึงจำเป็นต้องมีปล่องควัน (chimney, stack) เพื่อระบายควันออกจากตัวบ้าน และเป็นช่องทางให้ซานดาคลอสเข้ามาในบ้านเพื่อนำของขวัญมามอบให้กับเด็ก ๆ ในวันคริสต์มาส ตามความเชื่อและนิทานสำหรับเด็กชาวตะวันตก

- เตาเผา (furnace) หมายถึงเตาเผาในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เซรามิก เช่นเตาหลอมแก้ว (glass furnace) เตาถลุงเหล็ก (blast furnace)
- เตาเผาขยะ (incinerator) หมายถึงเตาเผาที่ใช้ในการเผาขยะโดยเฉพาะขยะชุมชนตามบ้านเรือนที่มีพลาสติก และสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก อาจนำความร้อนจากการเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ในการปั่นกระแสไฟฟ้าได้
- เตาปิ้ง (toaster) ใช้สำหรับปิ้งอาหารที่ค่อนข้างแห้ง เช่น ปิ้งขนมปัง
- เตาย่าง (roaster) ใช้สำหรับย่างอาหารที่ค่อนข้างเปียกชื้น เช่น ย่างเนื้อสัตว์ ย่างพลาสติก บางครั้งก็ใช้คำว่า grill เป็นคำนามเรียกเตาย่างก็มี
- เตาไรต์ (iron) ใช้สำหรับรีดผ้าให้เรียบด้วยความร้อน ในสมัยก่อนเตาไรต์ทำด้วยเหล็ก นำถ่านติดไฟร้อนๆ วางไว้ด้านบน จึงเรียกว่า iron
- เตาปฏิกิริยา (reactor) เช่น เตาปฏิกิริยาปรมาณู (nuclear reactor) คือเตาที่ให้ความร้อนสูง ใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์เป็นตัวให้ความร้อนแล้วนำความร้อนที่ได้ไปต้มน้ำให้เกิดเป็นไอน้ำความดันสูง ปั่นกังหันไอน้ำให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า
- เตาเผาเซรามิก (ceramic kiln) หมายถึงเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกเครื่องปั้นดินเผา ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.4 และ รูปที่ 1.4



รูปที่ 1.3 ภาพวาดเตาเผาเซรามิกแบบจีนที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง
(ภาพวาดโดย ธนพล ไกรทนต์)



รูปที่ 1.4 ภาพร่างตัวอย่างภายในเตาเผาเซรามิกแบบจีนที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง [4]

บทที่ 2

ประวัติและวิวัฒนาการของเตาเผาเซรามิก

History and Evolution of Ceramic Kiln

มนุษย์เริ่มรู้จักการทำเครื่องปั้นดินเผามาตั้งแต่สมัยโบราณประมาณ 12,000 ปีก่อน นักโบราณคดีค้นพบดินเผากระจายตัวอยู่ในแหล่งโบราณคดีหลายแห่งทั่วโลกในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน [5] เกิดขึ้นครั้งแรกใน “ยุคหินกลาง” หรือเรียกอีกอย่างว่าสังคมล่าสัตว์ ทำขึ้นอย่างเรียบง่ายไม่พิถีพิถันนัก โดยใช้มือปั้นขึ้นรูปอย่างอิสระ จากการคาดการณ์โดยผู้แต่งเองและจากการได้พูดคุยกับนักโบราณคดี คาดว่ามนุษย์ในยุคนั้นอาศัยอยู่ตามถ้ำ มีการก่อกองไฟเพื่อใช้ในการให้ความอบอุ่นและทำเนื้อให้สุก เป็นการปรุงอาหาร เมื่อกินแล้วจะย่อยได้ง่ายขึ้น มนุษย์ในยุคหินกลางผู้ชายออกไปล่าสัตว์เอากลับมาให้ครอบครัวกินที่ในถ้ำ ส่วนผู้หญิงออกไปเก็บพืชผักผลไม้ธัญพืช เวลาเก็บเมล็ดพืชก็จำเป็นต้องหาภาชนะมาใส่เพื่อให้ได้เก็บได้มากขึ้น อาจห่อใบไม้แต่ก็ไม่หลงเหลือเป็นโบราณวัตถุ แต่มีบางคนที่ใช้ดินเหนียวมาปั้นเป็นทรงถ้วย-ชาม เป็นภาชนะเก็บธัญพืชได้ บ้างก็เอาเชือกเถาวัลย์มาผูกไว้เพื่อแขวนกับคอหรือสะพายไหล่จะได้มีมือว่างไว้เก็บเมล็ดพืชได้ ทำให้ขามดินเหนียวมีลวดลายเชือก เมื่อกลับมาถึงถ้ำก็วางขามดินเหนียวที่บรรจุธัญพืชไว้ข้างกองไฟ ขามดินเหนียวอาจจะโดนเปลวไฟโดนบังเอิญ ขามดินเหนียวก็แข็งตัวจนไม่เปื่อยยุ่ยเมื่อถูกน้ำ เกิดเป็นต้นกำเนิดของ “เครื่องปั้นดินเผา” และ “ลายเชือกทาบ” ให้นักโบราณคดีได้ไปคุ้ยค้นพบในปัจจุบันนั่นเอง จากนั้นได้พัฒนาให้มีความประณีตสวยงามขึ้น โดยใช้แป้นหมุนช่วยในการขึ้นรูป และตกแต่งผิวภาชนะด้วยการขัดผิวให้มัน ประดับลวดลายด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ และเนื้อ ดินปั้นทำได้บางลง ดังที่พบในสมัยหินใหม่หรือ สังคมเกษตรกรรม และยุคโลหะหรือสังคมเมืองเริ่มแรก [6]

2.1 เครื่องปั้นดินเผายุคก่อนประวัติศาสตร์

จากการที่เครื่องปั้นดินเผามีความสัมพันธ์กับวิถีชีวิตของคน ตั้งแต่เกิดจนตาย ทั้งในชีวิตประจำวัน และในพิธีกรรม ดังนั้นจึงพบเศษเครื่องปั้นดินเผา กระจายอยู่ตามแหล่งโบราณคดีเป็นจำนวนมาก ซึ่งบางชิ้นมีการตกแต่งเขียนลวดลายสวยงาม อันสะท้อนให้เห็นถึงคติความเชื่อ อันเป็นเหตุให้เกิดพิธีกรรมของกลุ่มชนในยุคนั้น ๆ ด้วย แหล่งที่พบเครื่องปั้นดินเผาสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทยที่น่าสนใจมีดังนี้

2.1.1 ยุคหินกลาง

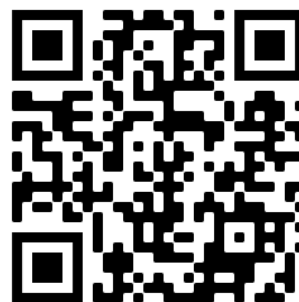
ยุคหินกลาง เป็นสมัยก่อนประวัติศาสตร์ ที่มีอายุประมาณ 5,000-15,000 ปีก่อน ในยุคนี้ได้พบเครื่องปั้นดินเผา ที่เก่าที่สุด (ไม่พบเครื่องปั้นดินเผาในยุคหินเก่า) ในประเทศไทยพบที่ถ้ำผีแมน ถ้ำผาลอด หรือ ถ้ำน้ำลอด อำเภอบางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีทั้งที่เป็นภาชนะผิวเรียบ และที่มีผิวขรุขระ รวมทั้งมีการตกแต่งผิว ด้วยลายเชือกทาบ และลายขีดขีด อายุประมาณ 5,000-7,000 ปีก่อน [2] ดังแสดงในรูปที่ 2.1 นักโบราณคดีของไทยยังได้พบโครงกระดูกมนุษย์ถ้ำผาหลวงที่มีอายุเก่าแก่ถึง 13,000 ปี แล้วใช้เวลาในการวิเคราะห์กว่าสิบปี จนได้จำลองใบหน้าของมนุษย์ถ้ำโบราณที่ขุดพบได้ ดูในคลิปวิดีโอสารคดีข่าวที่ได้รายงานไว้

ใน คลิปวิดีโอที่ 2.1 ซึ่งในถ้ำน้ำลอดนี้ ยังมีบางโถงถ้ำที่มีการขุดค้นพบโครงศพทำด้วยไม้สักขุด เอาไปวางไว้ในถ้ำจึงเรียกบางโถงถ้ำว่า “ถ้ำผีแมน” มีอายุอยู่ราว 2,000 ปีก่อน นอกจากนี้ยังพบภาพเขียนผนังถ้ำผีมีมนุษย์ถ้ำโบราณอีกด้วย นับว่าเป็นแหล่งเรียนรู้ทางโบราณคดีด้านมนุษยชาติ และเป็นที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 2.1 เศษภาชนะดินเผาอายุเกือบหมื่นปีขุดพบที่ถ้ำน้ำลอดจังหวัดแม่ฮ่องสอน[2]

<https://sites.google.com/site/anannymmm/1-reuxng-raw-smay-kxn-prawatisastr-ni-din-daen-thiy/>



คลิปวิดีโอที่ 2.1 คลิปข่าวการจำลองใบหน้ามนุษย์ถ้ำโบราณที่แม่ฮ่องสอนและ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=vvjfw7CNZHg>

2.1.2 ยุคหินใหม่

ยุคหินใหม่ มีอายุประมาณ 4,000-7,000 ปีก่อน[6] ยุคนี้ได้พบเครื่องปั้นดินเผา ตามแหล่งโบราณคดีในภาคต่าง ๆ เกือบทุกจังหวัดที่สำคัญ เช่น แหล่งโบราณคดีบ้านเก่า จังหวัดกาญจนบุรี ที่จังหวัดลพบุรี พบที่บ้านโคกเจริญ ตำบลบัวชุม และที่เนินคลองบารุง ตำบลหนองยายโตะ อำเภอยะบะดาบ ส่วนที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พบที่เนินพิศดำ อำเภอกำแพงแสน และจังหวัดกระบี่ พบที่อำเภอลำทับ เครื่องปั้นดินเผายุคหินใหม่นี้ มีหลายรูปแบบ ล้วนมีความประณีต สวยงาม ด้วยเทคนิคที่ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน แม้ว่าบางแหล่งยังคงขึ้นรูปอิสระด้วยมือสืบต่อมาก็ตาม รูปแบบของภาชนะมีทั้งหม้อก้นกลม หม้อสามขา และพาน ซึ่งล้วนมีเนื้อดินปั้น

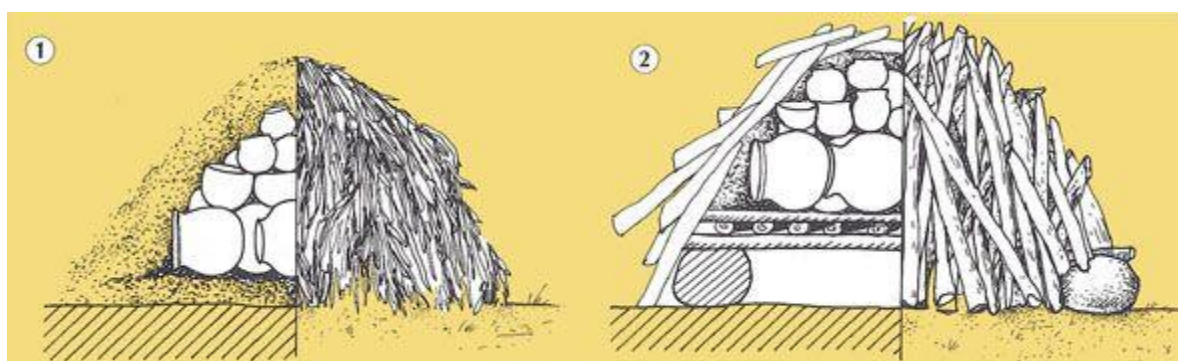
บางลง เนื้อดินละเอียดขึ้นและมีสี ต่าง ๆ ทั้งสีดำ สีแดง สีเทา และสีน้ำตาล ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะส่วนผสมของดินและการเผา ภาชนะเหล่านี้มีทั้งแบบเรียบและที่มีการตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ และลายขูดขีด

2.1.3 ยุคโลหะ

ยุคโลหะมีอายุระหว่าง 1,700-5,600 ปี มาแล้ว[6] เครื่องปั้นดินเผาในยุคนี้ มีความสวยงามมาก บางแหล่งแสดงให้เห็นว่า มีการทำอย่างพิถีพิถันอย่างยิ่ง และทำควบคู่ไปกับการผลิตเครื่องใช้โลหะ ที่มีทั้งสำริด ทองแดง และเหล็ก แสดงถึงความเจริญในเรื่องเทคโนโลยี ที่พัฒนาขึ้นอย่างมาก เป็นที่น่าสังเกตว่า ในขณะที่การหล่อโลหะทำได้ดี แต่เครื่องปั้นดินเผากลับไม่ค่อยได้รับความสนใจเท่าที่ควร มีการตกแต่งแบบเรียบง่าย เช่น ทาหน้าดินสีแดงทั่วไป ไม่เขียนลวดลาย หรือทำขนาดเล็ก ๆ การตกแต่งเครื่องปั้นดินเผาที่สำคัญ มีพบที่ โนนนกทา อำเภอกุเวียง จังหวัดขอนแก่น ที่บ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี บ้านปราสาท ตำบล ธารปราสาท อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา และบ้านดอนตาเพชร อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี

เครื่องปั้นดินเผาดังกล่าว จะมีลักษณะพิเศษ ที่เป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่น อาทิที่บ้านเชียง จะมีการพัฒนาลวดลายตกแต่งภาชนะต่าง ๆ ด้วย ซึ่งในระยะแรกภาชนะเป็นสีดำ เขียนลวดลายด้วยวิธีขูดขีดลงไป ในเนื้อดินป่น ในระยะต่อมา มีการใช้ดินสีแดงเขียนเป็นลายต่าง ๆ โดยเฉพาะลายก้นชด และในระยะหลัง ก็มีการตกแต่งน้อยลง เพียงแต่ทาด้วยน้ำดินสีแดงเรียบ ๆ เท่านั้น สำหรับเครื่องปั้นดินเผาที่บ้านปราสาท มีรูปแบบที่โดดเด่น คือ หม้อมีเชิง ปากผายบานกว้าง

เครื่องปั้นดินเผาที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีในยุคหินก่อนประวัติศาสตร์ช่วงต้น ไม่มีการค้นพบ เตาเผาแต่อย่างใด แต่จากการคาดการณ์ของนักโบราณคดีเชื่อว่า เครื่องปั้นดินเผาเหล่านี้จะใช้วิธีการเผา ด้วยการวางกองกับพื้นแล้วสุมด้วยเชื้อเพลิงไม้ฟืน เรียกว่า “การเผาดาด” (open firing, bonfire firing) ดังแสดงในภาพจำลอง รูปที่ 2.2 อุณหภูมิในการเผาดาดจะอยู่ที่ประมาณ 600-800 องศาเซลเซียส [7, 8] ตัวอย่างเช่น เครื่องปั้นดินเผายุคหินกลางที่พบในถ้ำน้ำลอด จังหวัดแม่ฮ่องสอน หรือแม้แต่เครื่องปั้นดินเผาที่บ้านเชียงที่จังหวัดอุดรธานี



รูปที่ 2.2 ภาพจำลองการเผาแบบเผาดาดหรือเผาสุ่มไฟ[9]

แม้ว่าการเผาดาดจะเป็นเทคนิคการเผาที่เก่าแก่ที่สุด โบราณที่สุด และมีประสิทธิภาพพลังงานต่ำที่สุดในบรรดาเทคนิคการเผาทั้งหมด แต่ในปัจจุบันก็ยังพบการเผาแบบเผาดาดนี้ได้ทั่วโลกและในประเทศไทย ผู้แต่งเองยังได้ไปสำรวจพบการผลิตเครื่องปั้นดินเผาด้วยการเผาดาดอยู่ในหลายจังหวัดเช่น จังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดลำปาง จังหวัดสุโขทัย จังหวัดศรีสะเกษ จังหวัดอุดรธานี จังหวัดมหาสารคาม กระบวนการเผาสามารถชมได้ใน **คลิปวิดีโอที่ 2.2** และ **คลิปวิดีโอที่ 2.3** เป็นรายการกึ่งสารคดีถ่ายทำในแหล่งเครื่องปั้นดินเผาในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม การเผาดาดเป็นวิธีการที่ง่าย ต้นทุนน้อย ใช้เวลาในการเผาน้อย แต่ก็ก่อให้เกิดเขม่าควันไฟซึ่งเป็นผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม ไม่สามารถเผาได้ในเขตชุมชน และอาจจะค่อย ๆ เลิก และหายไปในที่สุด



คลิปวิดีโอที่ 2.2 กระบวนการเผาดาดเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านและ QR code

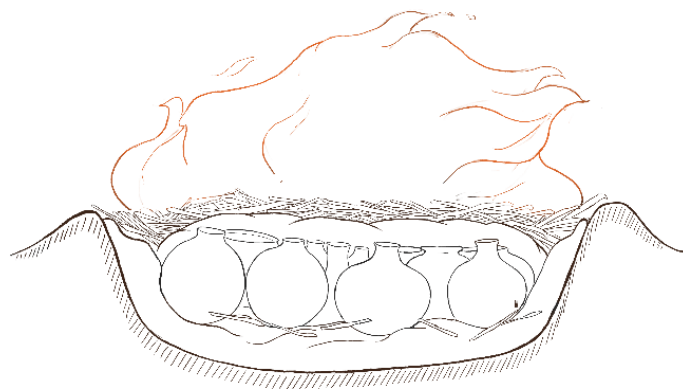
https://www.youtube.com/watch?v=tz-_1Rp4GLU



คลิปวิดีโอที่ 2.3 กระบวนการผลิต การเผาดาดเครื่องปั้นดินเผาและการใช้งานในครัวเรือน และ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=srMOhF--KXs>

ในบางครั้งการเผาดาดมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาด้วยการขุดเป็นแอ่งเป็นหลุมก่อนจะวางเผา เรียกว่า “การเผาในหลุม” (open pit firing) หรือ เตาเผาแบบขุดหลุมเปิด ดังแสดงใน **รูปที่ 2.3** ช่วยลดปัญหาหากมีลมแรงพัดกองไฟ ช่วยให้เผาได้อุณหภูมิสูงขึ้น สม่าเสมอมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพมากขึ้น[10] เป็นเทคนิคที่มีมาแต่โบราณยุคหินใหม่ถึงยุคโลหะ แต่ในประเทศไทยในปัจจุบันไม่พบว่ามีแหล่งเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้เทคนิคการเผาแบบนี้

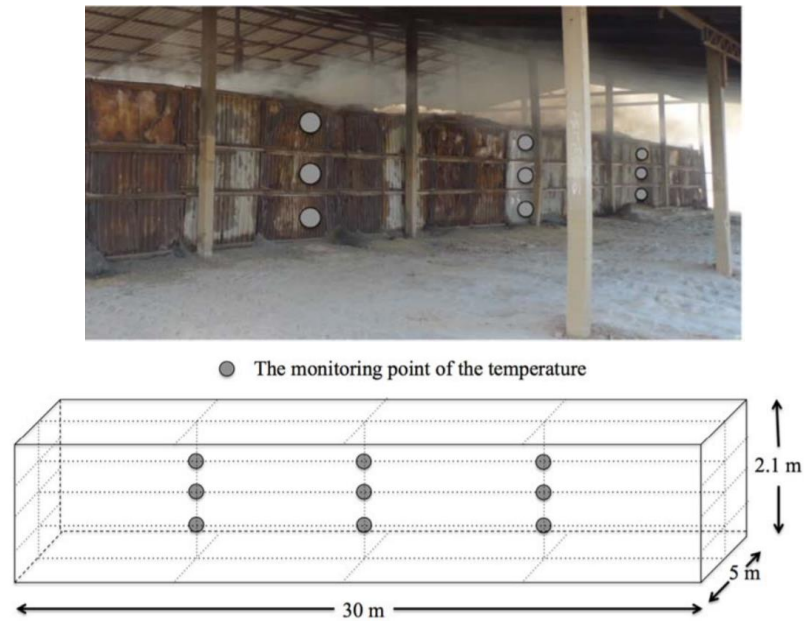


รูปที่ 2.3 ภาพจำลองการเผาในหลุม
(ภาพวาดโดย ธนพล ไกรทัต)

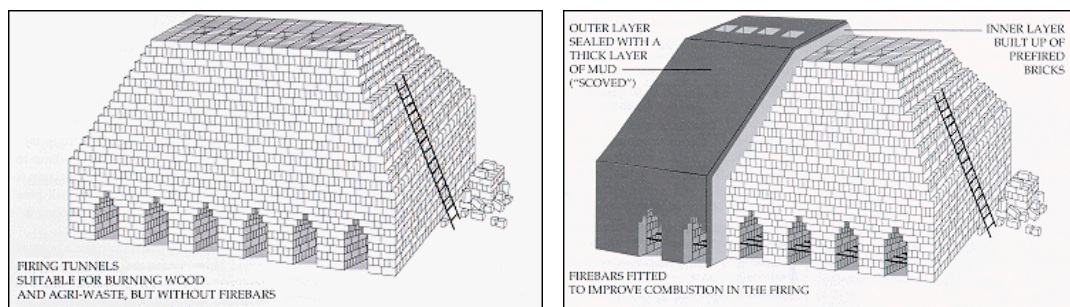
การเผาตาดยังได้มีการพัฒนาเทคนิคไปอีกในการผลิตอิฐดินเผา ซึ่งอิฐดินเผา ก็เริ่มมีการผลิตขึ้นมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ เพื่อใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนเพื่อการอยู่อาศัยที่ไม่ใช่ถ้ำ ด้วยการใช้อิฐส่วนหนึ่งก่อเป็นผนังโดยรอบปิดก้องอิฐดิบภายใน ในปัจจุบันมีการใช้แผ่นเหล็กเป็นผนังเตาชั่วคราวแทนการเรียงก้อนอิฐ เพื่อลดเวลาและเพื่อความสะดวก ดังแสดงใน รูปที่ 2.4 แล้วจึงใส่เชื้อเพลิงเพื่อทำการเผา การเผาแบบนี้เรียกว่า “การเผาเรียงกอง” (clamp firing) บางครั้งอาจเรียกว่าเป็นเตาเผาชั่วคราวก็ได้ เรียกว่า “เตาเผาเรียงกอง” (clamp kiln) ในประเทศไทยยังพบการเผาอิฐก่อสร้างด้วยเตาเผาเรียงกองได้ในหลายพื้นที่ พบมากที่สุดในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดอ่างทอง จังหวัดลพบุรี มีงานวิจัยที่ศึกษาอุณหภูมิภายในเตาเผาเรียงกองว่ามีอุณหภูมิประมาณ 700-900 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงใน รูปที่ 2.5 อาจมีการพอกทับด้วยโคลนที่ผนังด้านนอกเพื่ออุดรอยรั่วระหว่างอิฐ เรียกว่า “เตาเผาเรียงกองพอกทับ” (scove kiln) ซึ่งมักพอกทับที่ด้านบนทำเป็นหลังคาชั่วคราวด้วย[10] ดังแสดงใน รูปที่ 2.6 แต่ไม่พบในประเทศไทย



รูปที่ 2.4 การเผาอิฐก่อสร้างดินเผาในเตาเผาเรียงกอง พื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
(ภาพถ่ายโดย อภิรัฐ อธิภาวิเศษพงษ์)



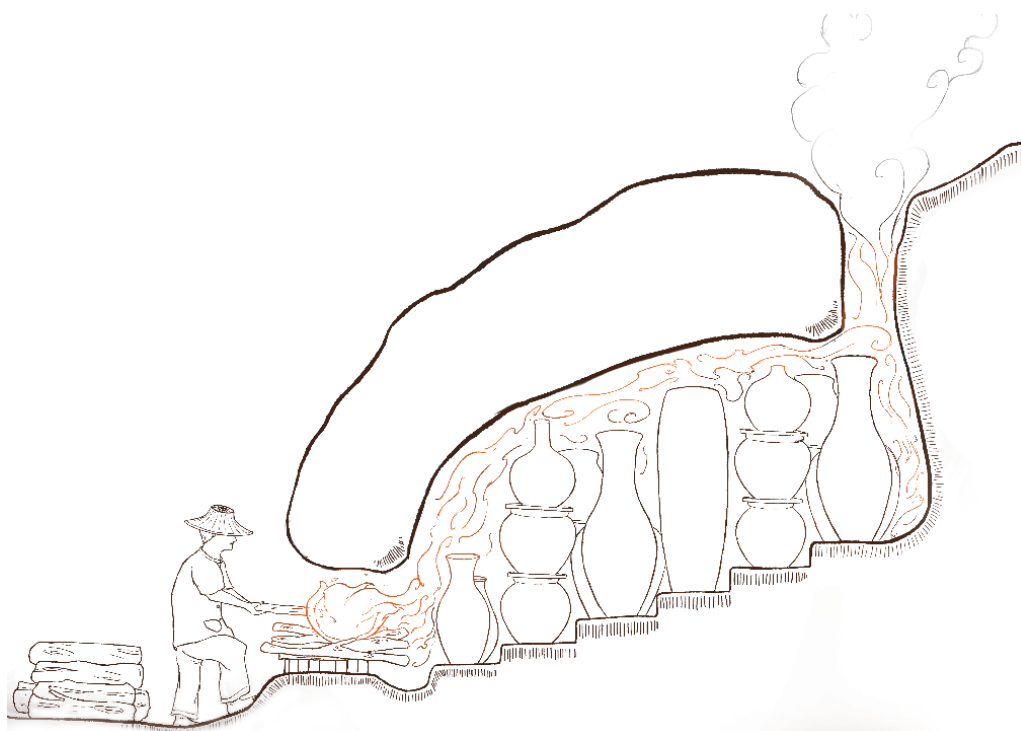
รูปที่ 2.5 การเผาเรียงกองของโรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาใช้แผ่นเหล็กเป็นผนังเตาชั่วคราว [11]
(ภาพดัดแปลงบางส่วน)



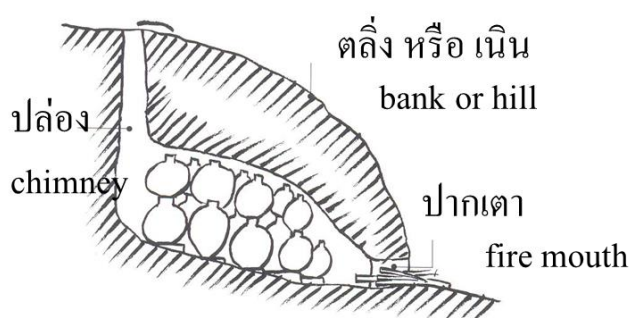
รูปที่ 2.6 การเผาเรียงกองพอกทับของโรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาในประเทศ[10, 12]

ช่วงเวลาก่อนประวัติศาสตร์ในยุคโลหะยังพบการเผาเครื่องปั้นดินเผาในโพรงริมตลิ่ง นับเป็นเตาเผายุคแรกสุดของมนุษย์ เรียกว่า “เตาเผาริมตลิ่ง” (bank kiln, hill kiln) ก่อสร้างโดยการขุดโพรงบริเวณริมตลิ่ง

ปากทางเข้าบริเวณใกล้แม่น้ำจะใช้เป็นปากเตาสำหรับใส่ฟืน ขุดให้เป็นรูด้านบนของตลิ่งเพื่อทำหน้าที่เป็นปล่องควัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และภาพถ่ายเตาเผาของจริงที่ยังคงใช้งานอยู่ในปัจจุบันในรูปที่ 2.8



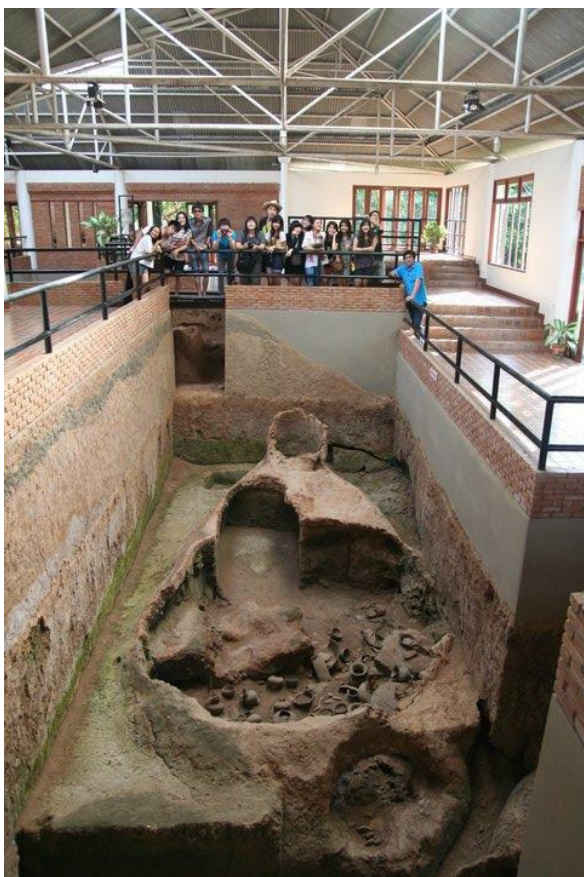
รูปที่ 2.7 ภาพจำลองเตาเผาริมตลิ่ง
(ภาพวาดโดย ธนพล ไกรทัต)



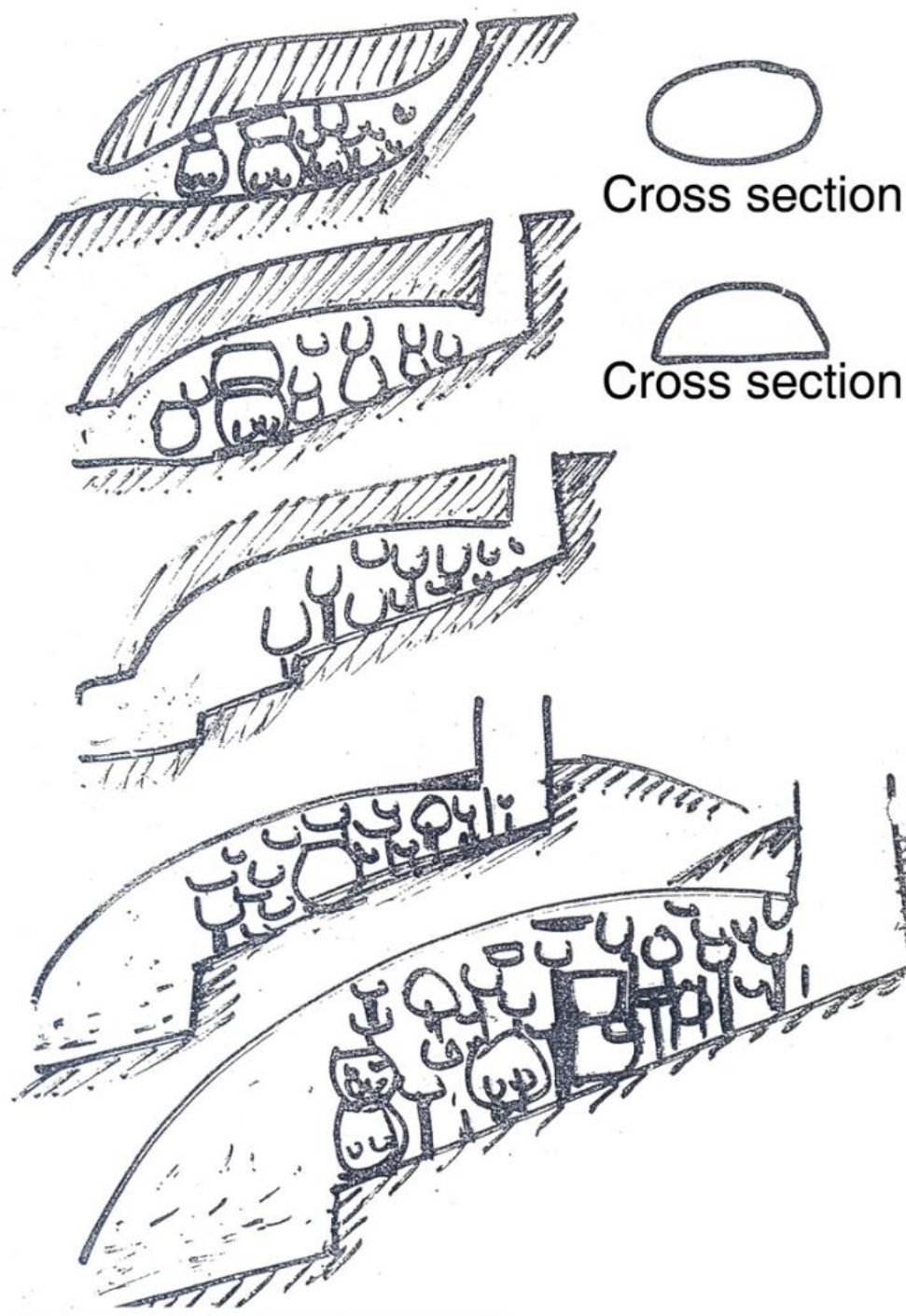
รูปที่ 2.8 เตาเผาริมตลิ่งแม่น้ำชี อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดบุรีรัมย์
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

สำหรับเตาเผาริมตลิ่ง พบหลักฐานจากการขุดค้นทางโบราณคดี ที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ จังหวัดสุโขทัย และพิพิธภัณฑสถานบ้านจ่ามนัส จังหวัดน่าน ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ เกิดก่อนการตั้งกรุงสุโขทัยเป็นราชธานี ประมาณ 700-800 ปีก่อน โครงสร้างของเตาเผาริมตลิ่งนั้นเป็นโพรงดินเหนียว เมื่อมีการใช้งานเผาเครื่องปั้นดินเผา ความร้อนทำให้ผนังดินเหนียวแข็งตัวเป็นดินเผา อุณหภูมิที่สูงขึ้น ระยะเวลาในการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ก็จะทำให้ผนังดินเหนียวมีความแข็งแรงและหนาขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปไม่ได้มีการใช้งาน มีดินโคลนไหลเข้าไปสะสมตัวอยู่จนเต็มภายในเตา จนกระทั่งนักโบราณคดีเข้าไปขุดค้นแล้วขุดลอกเอาดินส่วนด้านนอกเตาออกไป จึงเห็นเป็นรูปทรงเตาเผาที่มีเศษซากเครื่องปั้นดินเผาหลงเหลืออยู่ภายในดังแสดงใน **รูปที่ 2.9**

พัฒนาการของเตาเผาริมตลิ่งจากเริ่มแรกที่มีพื้นที่ภายในที่วางเผาได้ค่อนข้างน้อย พื้นเตามีความโค้งทำให้วางเรียงเผาชิ้นงานได้ไม่ค่อยสะดวก จึงได้มีการปรับแต่งพื้นให้ราบเรียบ แล้วก็ได้มีการเพิ่มพื้นที่ให้เชื้อเพลิงไม้ฟืนได้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นก่อนจะเกิดเป็นลมร้อนเคลื่อนไปที่ชิ้นงาน อีกทั้งยังได้มีการยกพื้นเพื่อให้เกิดเป็นกำแพงไฟ (bag wall, fire wall) กันเปลวไฟกระแทกชิ้นงานโดยตรง ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาขาตั้งสำหรับวางตั้งชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานยกตัวสูงขึ้น สลับบนล่างของชิ้นงานแต่ละชั้น จนกระจายตัวทั่วพื้นที่หน้าตัดขวาง ช่วยให้การเคลื่อนตัวของลมร้อนเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้เผาชิ้นงานได้คุณภาพมากขึ้น และยังได้ปริมาณการเผาในแต่ละครั้งมากขึ้นอีกด้วย ดังแสดงในภาพจำลอง **รูปที่ 2.10**



รูปที่ 2.9 เตาเผาริมตลิ่งในโบราณสถาน (ซ้าย) พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ (ขวา) พิพิธภัณฑสถานบ้านจ่ามนัส
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)



รูปที่ 2.10 ภาพจำลองพัฒนาการของเตาเผาเริ่มต้นขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผา[10]

2.2 เครื่องปั้นดินเผาในยุคประวัติศาสตร์[6]

ในประเทศไทยมีวิวัฒนาการของการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็นลำดับนับจากยุคหินกลาง ยุคหินใหม่ และยุคโลหะ ก่อนประวัติศาสตร์ จนมาถึงยุคประวัติศาสตร์ ตั้งแต่อาณาจักรสุโขทัย กรุงศรีอยุธยา กรุงธนบุรี และกรุงรัตนโกสินทร์ ในแต่ละยุคมีเครื่องปั้นดินเผาที่เป็นเอกลักษณ์และมีชื่อเสียง ในบางยุคมีผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกไปต่างประเทศ จนเป็นที่รู้จักไปไกลทั่วโลก

2.2.1 ยุคสุโขทัย

เครื่องปั้นดินเผาที่ผลิตในสมัยนี้ ผลิตขึ้นจากเตาในอำเภอเมืองสุโขทัย และที่อำเภอสรีสัชนาลัย เฉพาะภาชนะขนาดใหญ่ เช่น ไห ได้พบว่า มีแหล่งเตาเผาพร้อมสมัยกันอยู่อีก 2 แหล่ง คือ ที่บ้านชีปะขาวหาย อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก กับที่เตาไถ่วัดพระปรารค์ บ้านชั้นสูตร ตำบลเชิงกลัด อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี คำว่า “สังคโลก” เป็นคำเรียกเครื่องถ้วย เฉพาะที่ผลิตที่จังหวัดสุโขทัย ในระหว่างพุทธศตวรรษที่ 18 ถึงต้นพุทธศตวรรษที่ 22 การเริ่มต้นการผลิตนั้น อาจจะมีการพัฒนาภายในชุมชนมาก่อน เพราะได้พบเครื่องปั้นดินเผาพื้นเมือง ทั้งที่เป็นภาชนะใช้สอยชนิดไม่เคลือบ และชนิดเคลือบ เครื่องถ้วยชนิดเคลือบ เนื้อดินปั้น มีลักษณะเช่นเดียวกับพวกภาชนะที่ไม่เคลือบ คือ มีเนื้อดินปั้นหยาบหนาเป็นสีเทาอมม่วง และเคลือบเฉพาะด้านใน เป็นต้นว่า จาน ไห และกระเบื้องมุงหลังคา สีที่นิยมคือ สีเขียวมะกอก เครื่องถ้วยแบบนี้ส่วนใหญ่ไม่มีลาย แต่บางใบ ก็มีลายชุดเป็นเส้น คล้ายลายหวีได้เคลือบ

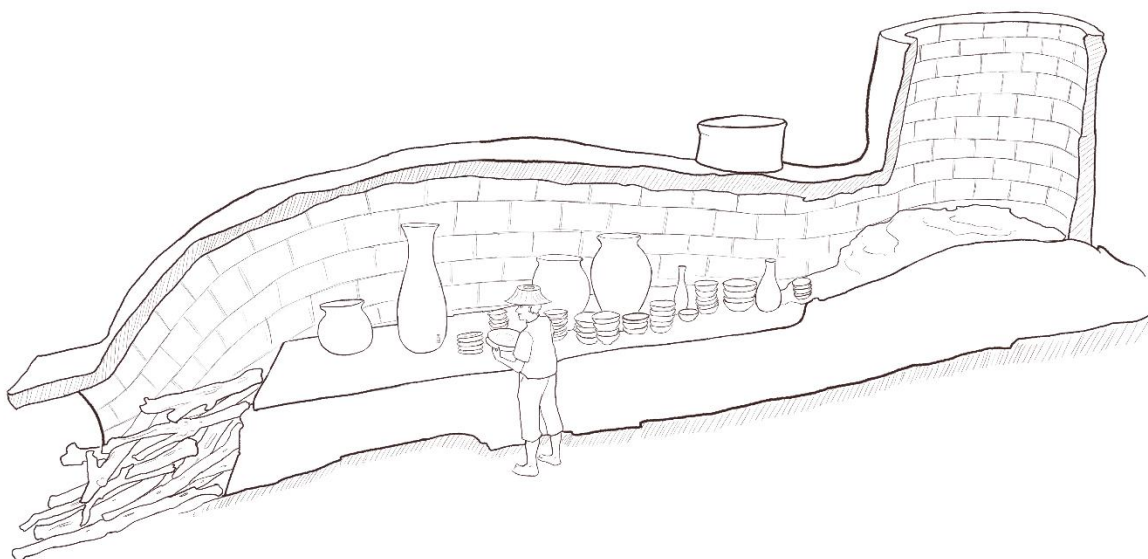
ระหว่างพุทธศตวรรษที่ 18-19 เข้าใจว่า ทางสุโขทัยได้เริ่มมีการติดต่อกับจีน โดยเฉพาะจีนใต้ และอันนัม หรือเวียดนาม ซึ่งเดิมเป็นส่วนหนึ่งของจีนอย่างใกล้ชิด จึงน่าที่จะมีช่างจีน และช่างอันนัม ได้เข้ามาค้าขาย และตั้งหลักแหล่งอยู่ในบริเวณเตาเผา ทั้งที่เมืองสุโขทัยเก่า และที่ศรีสัชนาลัย จึงปรากฏว่า มีการนำเทคนิคการก่อเตาเผาแบบจีนมาใช้ คือการก่อด้วย “อิฐดินดิบ” ได้มีการพัฒนาการผลิตเครื่องถ้วยใหม่ โดยพยายามลอกเลียนแบบ และลดทอนจากเครื่องถ้วยจีนในยุคนั้น พบเครื่องสังคโลกมีทั้งที่ใช้ลายชุดชุดได้เคลือบเซลาดอน ด้านในภาชนะเป็นลวดลายดอกบัว ลายดอกไม้ก้านขด ขอบริมของภาชนะผายออก มีทั้งขอบริมแบบเรียบ และมีลายคดโค้ง แบบลายกลีบบัว และด้านนอกตกแต่งเป็นลายกลีบบัว แบบนี้เป็นแบบที่จีนนิยมมาก ในสมัยราชวงศ์หยวน (พ.ศ. 1823-1911) ซึ่งผลิตที่เตาหลงฉวน มณฑลเจ้อเจียง แต่หลังจากนั้นแล้วช่างก็ได้พัฒนาเครื่องสังคโลก ให้มีความงดงามตามรสนิยมของตน ดังนั้นจึงเห็น ได้ว่าเครื่องสังคโลกที่ผลิตในระยะหลัง จะมีลักษณะที่เด่นเฉพาะตน แม้ว่ายังมียุคแบบของจีนให้เห็นอยู่บ้างก็ตาม แหล่งเตาเผาที่สำคัญดังนี้

2.2.1.1. เตาที่เมืองสุโขทัยเก่า

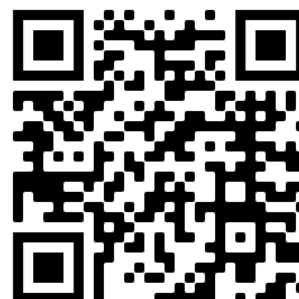
ผลิตภัณฑ์จากแหล่งเตาเผาริมแม่น้ำโขง โดยทั่วไปจะเผาในเตาทุบ ซึ่งแบ่งตัวเตาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนใส่เชื้อเพลิง อยู่ส่วนนอก ตรงกลางเป็นที่ตั้งภาชนะที่เข้าเผา และส่วนท้ายเป็นปล่องไฟ โดยมีการตั้งภาชนะบนก๊อ (วัสดุทนไฟ column refractory) ภาชนะส่วนบนวางซ้อนกันโดยมีก๊อบน้ำอ้อยที่มีขา 4-6 ปุ่ม ดังนั้นภาชนะที่ผลิตที่นี่ส่วนใหญ่จะมีรอยปุ่มก๊อบน้ำอ้อยปรากฏอยู่ที่ด้านในเสมอ ยกเว้นใบที่ตั้งอยู่บนสุด เนื้อดินปั้นของภาชนะที่ผลิตจากเตาเมืองสุโขทัยเก่าจะมีลักษณะ หยาบสีเทา ดังนั้นก่อนที่ช่างจะตกแต่งลวดลายช่างจะใช้น้ำดินหรือสลิปเคลือบตัวภาชนะที่ขึ้นรูป แล้วเพื่อตกแต่งผิวภาชนะให้เรียบก่อน จากนั้นจึง จะเขียนลายแล้วจึงเคลือบสีทับ แล้วนำเข้าเผา ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง เผาด้วยอุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส ลายที่นิยมเขียนเป็นลายดอกไม้อย่างคร่าว ๆ ภายใน วงกลมด้านในเขียนลายกลีบบัวพันยักซ์ ซึ่งลักษณะลวดลายนี้จะคล้ายคลึงกับเครื่องถ้วยอันนัม (ญวน) ที่อยู่ร่วมยุคสมัยเดียวกันด้วย นอกจากนี้ มีลายจักรภายในวงกลมและลายปลาตัวเดียวภายในวงกลม เป็นต้น รูปแบบของภาชนะมี จาน จานเล็ก และชาม

จากการที่ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากจีนในการผลิตเครื่องเคลือบ ทำให้ในยุคสุโขทัยตอนต้น ได้มีการใช้งานเตาเผาที่เลียนแบบมาจากจีน เรียกว่า เตาประทุน บ้างก็เรียกว่า เตาอุโมงค์ แต่ตะวันตกเรียกว่า cave kiln และตะวันตกยังนิยมเรียกว่า เตาจีน (Chinese kiln) เนื่องจากจีนเป็นประเทศแรกของโลกที่สร้างเตาประเภทนี้ ใช้ในการผลิตเครื่องพอร์ซเลน และสโตนแวร์ เครื่องเคลือบต่าง ๆ มาตั้งแต่ประมาณ 3,000 ปีก่อนแล้ว จนเมื่อได้มาติดต่อกับค้าขาย และมีการอพยพมาสุโขทัย จึงได้มาถ่ายทอดการทำเตา เมื่อ 700-800 ปีก่อน และการเคลือบแบบสีลาด โดยเตาเผานี้จะก่อขึ้นโดยใช้อิฐดินเผา หรืออิฐดินดิบ

มีเตาเผาที่สำคัญและเป็นหลักฐานทางโบราณคดีของไทย เตาเผาในสมัยสุโขทัยที่เรียกว่า “เตาทุเรียง” ซึ่งชื่อทุเรียงเป็นชุมชนทำเครื่องเคลือบอยู่ใกล้กำแพงเมืองสุโขทัยโบราณ มีการขุดค้นพบเตาเผาเป็นจำนวนมาก จึงเรียกเตาที่มีลักษณะเดียวกันนี้ โดยเฉพาะเตาบริเวณดังกล่าวนี้ว่าเตาทุเรียง ลักษณะของเตาทุเรียงแสดงใน รูปที่ 2.11 และชมได้ใน คลิปวิดีโอที่ 2.4



รูปที่ 2.11 ภาพจำลองการเผาในเตาทุเรียง
(ภาพวาดโดย ธนพล ไกรทัต)



คลิปวิดีโอที่ 2.4 เตาทุเรียง เตาเผาเครื่องสังคโลก ในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=cSh7AkezTeY&t=146s>

2.2.1.2. เตาที่ศรีสัชนาลัย

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแหล่งเตาริมแม่น้ำยมนี้มีมากมายหลายรูปแบบ ตั้งแต่ โอ่ง ไห ตุ่ม หม้อ พาน จาน ชาม คนโท คนที ตุ๊กตา เครื่องประดับอาคาร เช่น กระเบื้องมุง หลังคา กระเบื้องเชิงชาย ครอบบอกไก่ ช่อฟ้า ใบระกา หางหงส์ บราลี เทพนม ตลอดจนทวารบาล นอกนั้นมีพวกตุ๊กตาเสียดาบ ตุ๊กตารูปสัตว์ รูป ปั้นคู่ชายหญิง เป็นต้น ซึ่งเตาเผาที่รู้จักมานานมี เตาป่ายาง และเตายักษ์

ลักษณะเนื้อดินปั้นของเครื่องสังคโลกที่เตาศรีสัชนาลัยนี้ มีคุณภาพดี เนื้อละเอียด ผลิตภัณฑ์มีฝีมือประณีตกว่าที่เตาสุโขทัย มีทั้งเคลือบสีเขียว มะกอก เขียวไข่กา เรียกว่า “ศิลาดล” (เซลาดอน celadon) สีขาว สีน้ำตาล พื้นสีขาวเขียนลายบนเคลือบด้วยสีน้ำตาลทอง หรือพื้นขาวเขียนลายใต้เคลือบสีเทาหรือดำ วิธีการตกแต่งลวดลายประดับ มีทั้งการ เขียนลายใต้เคลือบ เขียนลายบนเคลือบ เขียนลายในเคลือบ ขูดขีดให้เป็นลายปั้นลายติดที่ตัวผลิตภัณฑ์ แล้วเคลือบ และมีการใช้แม่พิมพ์ ลวดลายที่นิยมมีลายดอกไม้ โดยเฉพาะลายดอกบัว ลายดอกไม้ก้านขด ลายปลาคาบ사หร่าย ลายสังข์ แบบลายของจีน



คลิปวิดีโอที่ 2.5 เครื่องปั้นดินเผาโบราณ สังคโลก ศรีสัชนาลัย สุโขทัยและ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=9glgdaDMR0>

2.2.1.3. เตาบ้านชีปะขาวหาย

ชื่อเตานี้เข้าใจว่า อาจจะเลื่อนมาจากชื่อเดิมคือ บ้านเตาไห แล้วเลื่อนไปเป็นบ้านเต่าหาย ต่อมาเปลี่ยนไปเป็นบ้านชีปะขาวหาย แหล่งเตานี้อยู่ริมแม่น้ำน่าน เตาส่วนใหญ่ถูกทำลายไปเกือบหมด ด้วยภัยทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์ ผลิตภัณฑ์ที่แหล่งเตาเผาชิ้นส่วนใหญ่ จะเป็นภาชนะเคลือบสีน้ำตาลเข้มคล้ายผลิตภัณฑ์ จากเตาศรีสัชนาลัย เช่น โอ่ง ไห กระปุก นอกจากนี้ยังผลิตท่อน้ำและลูกกระสุนปืนใหญ่ด้วย ทั้งนี้เพราะลักษณะเนื้อดินปั้นซึ่งมีเนื้อหยาบสีน้ำตาลอมแดงเหมือนกัน รวมทั้งเคลือบสีน้ำตาล เช่นเดียวกัน

2.2.1.4. เตาวัดพระปรารักษ์บ้านชันสูตร

เตานี้อยู่ใกล้บริเวณวัดพระปรารักษ์ที่บ้านชันสูตร ตำบลเชิงกลัด อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี ผลิตภัณฑ์จากแหล่งนี้คือ ไหสีหุขนาดกลาง มีขอบปากม้วน กลมใหญ่ รอบคอและไหล่มีประดับด้วยแนวเส้น 3 เส้นขึ้นไป เนื้อดินปั้นหยาบสีออกแดง มีทั้งเคลือบสีน้ำตาลและไม่เคลือบ เช่นเดียวกับเตาศรีสัชนาลัย และเตาพิษณุโลก แต่รูปร่างต่าง กันไปเล็กน้อยคือ มีลักษณะคล้ายไหจีน และพบ ตามแหล่งโบราณคดีทั่วไปที่พบเครื่องสังคโลก จากศรีสัชนาลัย

อย่างไรก็ดีเตาเผาทั้ง 4 แหล่งนี้เข้าใจว่า ได้ดำเนินงานมาตั้งแต่ประมาณพุทธศตวรรษที่ 18 เป็นอย่างช้า โดยเฉพาะที่แหล่งศรีสัชนาลัย น่าจะเริ่มมาก่อนคือ ประมาณพุทธศตวรรษที่ 17 ก็เป็นไปได้ และเข้าใจว่า ได้ดำเนินงานสืบต่อเรื่อยมา จนถึงพุทธศตวรรษที่ 22 ในสมัยอยุธยา จึงได้เลิกไป ด้วยสาเหตุที่ไม่ทราบแน่ชัด อาจเกิดจากน้ำท่วม หรือภัยจากสงคราม เพราะจากการขุดค้นพบเตาเผาบางแห่งในศรีสัชนาลัย แสดงว่าเตาเผาได้ถูกละทิ้งไปอย่างรีบเร่ง บางเตายังมีภาชนะทั้งที่อยู่ในเตา ตรงส่วนตั้งเผา โดยยังมีได้เคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ ที่เข้าใจว่า เล็กกิจการ ประมาณต้นพุทธศตวรรษที่ 22 เพราะบางแห่ง ได้มีการพบเครื่องสังคโลกปะปนอยู่กับเครื่องถ้วยลายคราม สมัยราชวงศ์หมิงของจีน ในรัชกาล พระเจ้าวันลี่ด้วย (พ.ศ. 2115-2163)

2.2.2 เครื่องถ้วยสมัยอยุธยา

สมเด็จพระเจ้าอู่ทองหรือพระรามาธิบดีที่ 1 ทรงตั้งอยุธยาเป็นราชธานี ใน พ.ศ. 1893 นับจากนั้นเป็นต้นมา อยุธยาได้เป็นราชธานี มีความเจริญรุ่งเรืองสืบต่อมาเป็นเวลา 417 ปี เป็นศูนย์กลางการค้านานาชาติ มีชาวต่างชาติเข้ามาติดต่อค้าขายหลายชาติ ในบรรดาสินค้าที่ซื้อขายกันในอยุธยา ที่น่าสนใจสิ่งหนึ่งคือ **“เครื่องถ้วย”** อาณาจักรอยุธยาเอง เมื่อได้มีอำนาจเหนือรัฐสุโขทัย ก็ได้พยายามสนับสนุนการผลิตเครื่องสังคโลก ที่มีชื่อเสียงของสุโขทัย ทั้งที่แหล่งเตาเผาศรีสัชนาลัย แหล่งเตาเผาบ้านเตาไห และที่แหล่งเตาเผาวัดพระพรหม เพื่อเป็นสินค้าส่งไปจำหน่ายในหัวเมืองต่าง ๆ ภายในประเทศและต่างประเทศ อันเป็นการส่งสินค้าเครื่องถ้วยออกไปขายแข่งกับเครื่องถ้วยจีนที่ถูกรัฐบาลจีนระงับส่งออกชั่วคราว ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 19-20 จนพุทธศตวรรษที่ 21 จึงลดความสำคัญลงจนเลิกการผลิต อาจเป็นเพราะรัฐบาลจีนเริ่มส่งเครื่องถ้วยของตนออกไปขายอีกครั้งหนึ่ง รวมทั้งเครื่องถ้วยที่มีรูปแบบแปลกใหม่เรียกว่า เครื่องห้าสี หรือ **“เครื่องถ้วยเบญจรงค์”** ประกอบกับเหตุการณ์สงครามภายในอยุธยาเอง หรืออาจเป็นเพราะเครื่องถ้วยจากแหล่งเตาเผาใหม่ที่อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี มีคุณภาพไม่ดีพอ ทำให้การผลิตเครื่องสังคโลกต้องเลิกไปในที่สุด

เครื่องถ้วยลายเขียนสีที่เรียกว่า เครื่องห้าสี หรือเครื่องถ้วยเบญจรงค์ อายุประมาณพุทธศตวรรษที่ 22-24 หมายถึง เครื่องปั้นดินเผาเคลือบ ที่เขียนลายโดยวิธีลงยา (enamel) ด้วยสีต่าง ๆ ตั้งแต่ 3 สีขึ้นไป จีนเรียกว่า อุ๋ฉั๊ ไต้ฉั๊ ฉินฉั๊ และฝาลัฉั๊ ตามเทคนิคการเขียนลายสีที่แตกต่างกันไปของจีน แต่ถ้าเป็นเครื่องถ้วยไทยแล้วหมายถึงเครื่องถ้วยเบญจรงค์อย่างของไทย ที่สั่งจีนทำ ใช้รูปแบบลายแบบลายไทย จีนนิยมเครื่องถ้วยลงยาห้าสีมาตั้งแต่สมัยราชวงศ์หมิงตอนปลาย โดยเฉพาะในสมัยพระเจ้าวันลี่ และสืบต่อมาจนถึงสมัยราชวงศ์ชิง ราชสำนักไทยสมัยอยุธยาได้สั่งซื้อเข้ามาใช้ และต่อมาได้จัดส่งลายไปสั่งทำด้วย โดยสั่งทำเป็นโกปริก และโกฟานาดกลาง เขียนเป็นลายกระหนก ลายพุ่มข้าวบิณฑ์ ลายเทพนมมรสิงห์ เป็นต้น เครื่องถ้วยเบญจรงค์ของไทย มีทั้งที่สั่งทำที่จิงเต๋อเจิ้น และที่ทำจากเตาเผาผมณฑลฝูเจี้ยน และกวางตุ้ง เมื่อการใช้เครื่องถ้วยชนิดนี้ เป็นที่นิยมในตลาดเมืองไทย เครื่องถ้วยเบญจรงค์ที่สั่งทำจากจิงเต๋อเจิ้นนั้น มักจะเป็นของใช้ในราชสำนัก เพราะเนื้อดินปั้นละเอียด แข็ง และบาง ช่างที่ทำมีฝีมือดี และเขียนลายได้ละเอียดสวยงาม

2.2.3 เครื่องถ้วยสมัยธนบุรีและรัตนโกสินทร์

ธนบุรีเป็นเมืองหลวงต่อจากกรุงศรีอยุธยา ในระหว่าง พ.ศ. 2310-2325 เมื่อพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราชแห่งราชวงศ์จักรี ได้เสด็จขึ้นเสวยราชสมบัติ ทรงย้ายเมืองหลวงจากธนบุรีไปอยู่ที่กรุง

รัตนโกสินทร์ หรือกรุงเทพฯ ปัจจุบัน วัฒนธรรมประเพณีและงานศิลปกรรมต่าง ๆ ยังคงสืบทอดมาจากสมัยอยุธยา ในเรื่องเครื่องปั้นดินเผาหรือเครื่องถ้วย ที่ใช้ในชีวิตประจำวันยังคงผลิตต่อมา เป็นพวกหม้อข้าว หม้อแกง หม้อน้ำ ครก ไห แบบต่าง ๆ ส่วนเครื่องถ้วยที่มีคุณภาพที่ใช้อยู่ในราชสำนัก หรือบ้านขุนนางและคหบดีนั้น มักจะนิยมสั่งทำจากเมืองจีน โดยให้รูปแบบลวดลายไปดั่งเช่นในสมัยอยุธยา ด้วยมีพ่อค้าจีนเข้ามาค้าขายมาก ประกอบกับราชสำนักและขุนนางผู้ใหญ่ก็มีสำเภาจัดสินค้าพื้นเมืองออกไปขายยังเมืองจีนด้วย จึงสะดวกแก่การสั่งทำเครื่องถ้วยชาม ตามความสวยงามที่ตนต้องการ ไทยจึงมีเครื่องถ้วยเบญจรงค์ และเครื่องถ้วยลายน้ำทอง มาใช้ในสังคมไทยอย่างมากมาย และขยายความนิยมออกไปยังคนสามัญทั่วไปด้วย จากลักษณะเนื้อดิน และร่องรอยของเทคนิคการเผาบนเครื่องถ้วยเบญจรงค์บางใบ มีลักษณะคล้ายเครื่องถ้วยญี่ปุ่น ที่ผลิตจากแหล่งเตาเผาแถบอะริตะมาก จึงน่าจะสันนิษฐานได้ว่า นอกจากการสั่งทำที่เมืองจีน หรือพ่อค้าจีนคิดทำเลียนแบบลายไทยส่งมาขายแล้ว อาจมีการสั่งทำเครื่องถ้วยเบญจรงค์ และลายน้ำทองจากญี่ปุ่น สืบต่อจากสมัยอยุธยาก็เป็นได้

การผลิตเครื่องถ้วยลายน้ำทองของคนไทย ที่สำคัญคือ "เตากรมพระราชวังบวร" ซึ่งกรมพระราชวังบวรวิชัยชาญ ในรัชกาลที่ 5 โปรดให้ตั้งเตาถ้วยชามเขียนลายไทย แบบเครื่องถ้วยลายน้ำทองขึ้น ที่มีชื่อมากคือ กระโถนค่อม และในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว มีขุนนางบางคน เช่น พระยาสุนทรพิมล (เผล วสุวัต) ได้นำช่างจีนมาทำเครื่องถ้วยในเมืองไทย โดยตั้งเตาเผาไว้ในบริเวณบ้านของท่านเอง และสั่งทำถ้วยชามสีขาวมาจากจีน แล้วให้ช่างเขียนลายแบบไทยขึ้น โดยวิธีเขียนสีลงยาบนเคลือบ (on glaze enamels) เป็นลายวรรณคดี และลายไทยต่าง ๆ

จากการที่ต้องติดต่อกับชาติตะวันตกมากขึ้น ตั้งแต่รัชสมัย พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เป็นต้นมา ราชสำนักไทยเริ่มนิยมเครื่องถ้วยจากตะวันตก อันทำให้วัฒนธรรมในด้านชีวิตความเป็นอยู่เริ่มเปลี่ยนไป โดยเฉพาะในเรื่องการรับประทานอาหาร นั่นคือ มีการนั่งโต๊ะแบบตะวันตก ใช้ช้อนส้อม เครื่องถ้วยชามเริ่มมีรูปแบบแปลก ๆ เพิ่มขึ้น เช่น มีชุดกาแฟ เขียวน้ำ ชามอ่าง สำหรับใส่เหล้า ผลไม้ แจกันแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ประดับโต๊ะและห้องต่าง ๆ เครื่องถ้วยจีนและญี่ปุ่นก็ยังเป็นที่นิยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุดลายครามจีน ซึ่งทำขึ้นสำหรับตั้งโต๊ะ ถึงกับมีการประกวดโต๊ะกันไปในโอกาสต่าง ๆ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงโปรดทั้งเครื่องถ้วยตะวันตก และเครื่องถ้วยจีน เช่น เครื่องถ้วยชุดน้ำชาจักรีเป็นชุดชालายดอกเดซีสีต่าง ๆ 9 สี โดยมีเครื่องหมายพระราชวงศ์ คือ จักรและตรีปรากฏบนฝาและที่ใต้ก้นถ้วยชา ซึ่งทรงสั่งทำจากโรงงานแซฟวร์ (Sèvres) ประเทศฝรั่งเศส และเครื่องถ้วยชุดลายอักษรพระนาม จ.ป.ร. ซึ่งทรงสั่งทำจากจีน โดยใช้ลายอักษรพระนามภิไธยย่อในพระองค์ ผูกเป็นลายออกมา 12 แบบ คือ ลายอักษรพระนาม เลียนแบบลายจีนอย่างหนังสือใหญ่ ลายยี่ยาว ลายยี่ซ้อน ลายยี่คด ลายยี่ขัด ลายยี่ขดขัด ลายยี่สยาม ลายกระแปะ ลายกระแปะฮ่อ ลายฮ่อเครื่องมงคล ลายลูกไม้คางคาว และลายลูกไม้อักษรพระนาม

หลังจากสิ้นรัชกาลที่ 5 แล้ว ความนิยมในเครื่องถ้วยยุโรปมีมากขึ้นเป็นลำดับ แม้ว่าเครื่องถ้วยจีนและญี่ปุ่นจะยังคงนิยมอยู่เช่นเดิม สามารถหาซื้อได้ตลอดมา จนปัจจุบัน ส่วนเครื่องถ้วยเบญจรงค์ และลายน้ำทองของไทยก็ลดความนิยมไม่มีการสั่งทำอีก มีแต่สะสมของโบราณไว้เป็นมรดกสืบทอดต่อมาเท่านั้น

อย่างไรก็ดีปัจจุบันการผลิตเครื่องถ้วยยังมีโรงงานหลายแห่งดำเนินการอยู่ มีทั้งที่ผลิตเครื่องถ้วยแบบเดิม ทั้งรูปแบบเก่าและด้วยเทคนิคแบบเดิม กับที่มีการพัฒนาปรับปรุงแบบให้ทันสมัยยิ่งขึ้น โดยมีรูปแบบที่เป็นสากลทั้งสีสันทันและลวดลายที่ประดับ สำหรับเครื่องถ้วยที่เลียนแบบของเก่ามีหลายโรงงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าแต่ละแห่งนั้น คำนึงและสนใจเครื่องถ้วยโบราณแบบใด เช่น เครื่องดินเผาประเภท หม้อน้ำ คนโท หม้อข้าว หม้อแกง ซึ่งเดิมเรียกว่าหม้อบางจากตะนาวศรี ก็ยังคงมีผลิตอยู่ในแถบจังหวัดนนทบุรี และที่เกาะเกร็ด และเรามักจะเห็นว่ามี จำหน่ายมากที่แถวสะพานสูง บางซื่อ นอกจากนี้ยังมีผลิตแถวจังหวัดพระนครศรีอยุธยาในภาคอีสานบางจังหวัด สำหรับคนโทหรือน้ำตั้นยังพบว่ามีการผลิตที่จังหวัดเชียงใหม่และลำปาง การสืบทอดรูปแบบเครื่องถ้วยสังคโลกของสุโขทัย และเครื่องถ้วยล้านนาจากเตาเวียงกาหลงและสันกำแพง ก็มีหลายโรงงาน ทั้งในจังหวัดสมุทรสาคร อำเภอกะทู้แม่แบน ตำบลอ้อมน้อย ที่จังหวัดสุโขทัย มีทั้งในเขตเมืองเก่า และที่อำเภอสรีสัชนาลัย และในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำปาง ซึ่งล้วนแต่ทำได้สวยงาม และคล้ายคลึงของเก่ามากทีเดียว

เครื่องถ้วยเบญจรงค์ และเครื่องถ้วยลายน้ำทอง ก็มีหลายโรงงานที่ให้ความสนใจผลิตสืบต่อมา โดยทำได้อย่างสวยงามและประณีต บางโรงงานทำเลียนแบบของเก่าได้ดี ทั้งสีสันทันและการตกแต่งลวดลาย ที่สวยงามจริง ๆ ก็มีราคาสูงมากเช่นกัน เพราะทำยาก หลายขั้นตอน ต้องใช้ความละเอียดในการลงยาสีและการเขียนทอง ซึ่งช่างต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษ โรงงานที่ผลิตเครื่องถ้วยเบญจรงค์และลายน้ำทองมีอยู่ทั้งที่จังหวัดสมุทรสาคร อำเภอมินบุรี กรุงเทพฯ และสุพรรณบุรี

ยิ่งกว่านั้นโครงการศิลปาชีพพิเศษ ซึ่งเป็นโครงการพระราชดำริในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ ที่ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณต่อพสกนิกรผู้ยากไร้ ให้ได้มีอาชีพเพื่อเลี้ยงตนเอง และครอบครัว โดยทรงให้หาครูมาสอนการทำเครื่องปั้นดินเผาแก่ประชาชนที่สนใจที่บ้านกุดนาขาม จังหวัดสกลนคร โปรดเกล้าฯ ให้ตกแต่งลวดลายที่มีลักษณะพิเศษ แตกต่างไปจากลวดลายประเพณี เพื่อให้นักเรียนของมูลนิธิศิลปาชีพพิเศษได้มีความคิดสร้างสรรค์ที่ดี ดังนั้นเครื่องปั้นดินเผาของบ้านกุดนาขาม แม้ว่าจะมีรูปแบบคล้ายของโบราณแต่ลวดลายที่เขียนประดับจะเป็นภาพ พระบรมสาทิสลักษณ์และลายธรรมชาติ เช่น ลาย นก ลาย ดอกไม้ไทยและลายสัตว์ป่าหายาก เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นเครื่องปั้นดินเผาเคลือบที่เป็นเอกลักษณ์ของงานศิลปะรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 9 ที่โดดเด่นประเภทหนึ่ง ดังนั้นจึงเป็นที่น่ายินดีที่ศิลปะการทำเครื่องถ้วยของไทย คงจะไม่สูญไป เมื่อมีช่างที่สนใจสืบทอดศิลปะแขนงนี้ต่อมา และประชาชนก็ให้ความสนใจซื้อหาไว้ใช้เป็นของขวัญ ของกำนัล และสะสมให้เป็นมรดกแก่ลูกหลานสืบไป

สำหรับเตาเผาที่ใช้ในการเผาเครื่องปั้นดินเผา เครื่องเคลือบ และเครื่องถ้วย ในยุคประวัติศาสตร์ของไทยนั้นมีการพัฒนาการค่อนข้างช้า ส่วนใหญ่เป็นการใช้เตาเผาที่ก่อด้วยอิฐ ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง จนถึงช่วงรัตนโกสินทร์ตอนปลาย ไม่เกิน 50 ปีก่อนนี้ ที่เริ่มมีการนำเทคโนโลยีของฝั่งตะวันตกเข้ามาใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก เริ่มใช้อิฐทนไฟ วัสดุทนไฟ หัวทนไฟ หัวเผาที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันเตา จนถึงการใช้แก๊สเชื้อเพลิง แก๊สหุงต้มและแก๊สธรรมชาติ

2.3 เตาเผาชนิดดั้งเดิม

พัฒนาการเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาดั้งเดิมมีมานานเริ่มจากยุคประวัติศาสตร์ โดยเฉพาะในทวีปยุโรปเมื่อเริ่มมี “การปฏิวัติอุตสาหกรรม” (industrial revolution) คือช่วงเวลาตั้งแต่ ค.ศ. 1760 ถึง ค.ศ. 1850 [13] เมื่อการเปลี่ยนแปลงในภาคเกษตรกรรม การผลิต การทำเหมืองแร่ การคมนาคมขนส่ง และเทคโนโลยี ส่งผลกระทบอย่างลึกซึ้งต่อสภาพสังคม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรมในขณะนั้น การปฏิวัติเริ่มต้นในสหราชอาณาจักร จากนั้นจึงแพร่ขยายไปยังยุโรปตะวันตก อเมริกาเหนือ ญี่ปุ่น จนขยายไปทั่วทั้งโลกในเวลาต่อมา กระบวนการเริ่มต้นขึ้นในช่วงปลายของคริสต์ศตวรรษที่ 18 ด้วยการเปลี่ยนผ่านซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการเปลี่ยนจากเศรษฐกิจแบบพึ่งพาแรงงานคนและสัตว์เป็นหลักไปเป็นเศรษฐกิจแบบพึ่งพาเครื่องจักรเป็นหลักของสหราชอาณาจักร โดยเริ่มในอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมแรก อันเป็นผลมาจากการพัฒนากรรมวิธีการทอไหมและกรรมวิธีการปั่นฝ้าย ความนิยมในการใช้ถ่านหินโค้กที่แพร่หลายขึ้น การขยายตัวของการค้าขายเป็นผลมาจากการพัฒนาคลองถนน และทางรถไฟ ด้วยการเปลี่ยนแปลงจากเศรษฐกิจแบบพึ่งพาเกษตรกรรมไปเป็นเศรษฐกิจแบบพึ่งพาอุตสาหกรรมผลิต ทำให้เกิดการไหลบ่าของประชากรจากชนบทเข้าสู่เมืองขนาดใหญ่ และก่อให้เกิดการขยายตัวของจำนวนประชากร

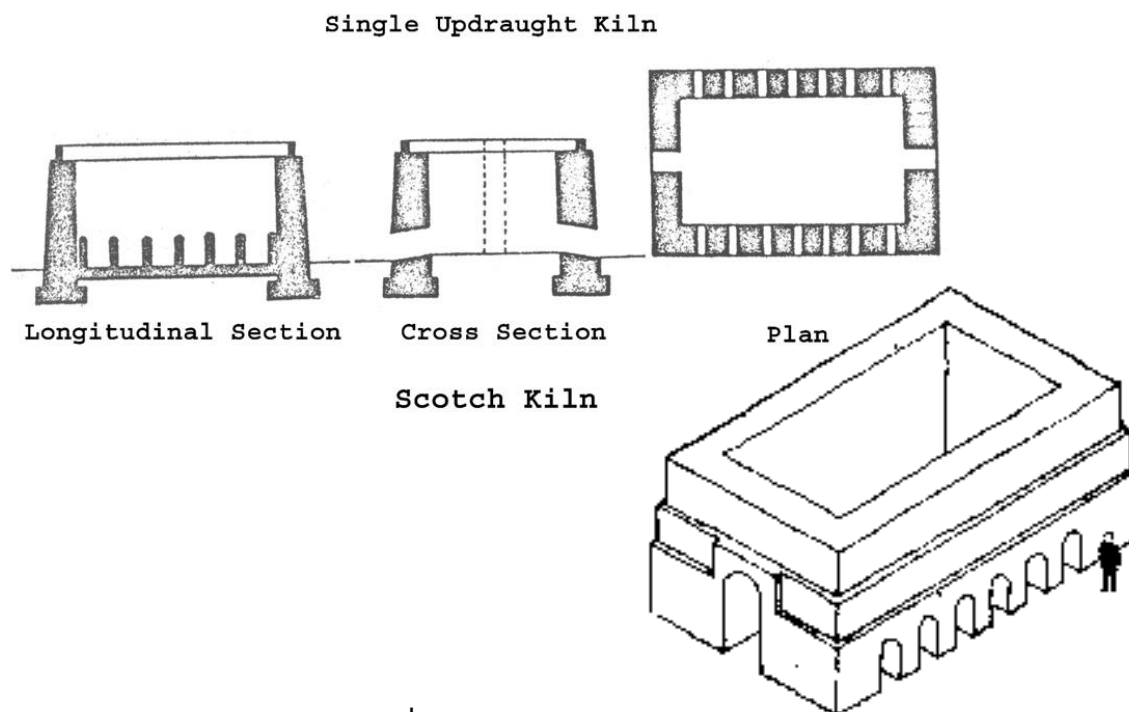
การเปลี่ยนแปลงการผลิตครั้งสำคัญในการปฏิวัติอุตสาหกรรมคือการผลิตชิ้นส่วนที่สามารถสับเปลี่ยนกันได้ เครื่องกลึงและเครื่องกลึงอื่น ๆ ในการปฏิวัติอุตสาหกรรมทำให้การผลิตสินค้ามีความละเอียดแม่นยำสูง และสามารถผลิตซ้ำเช่นเดิมได้เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การผลิตปืนซึ่งในอดีตผลิตได้ทีละกระบอกด้วยการนำชิ้นส่วนเข้าประกอบกันอย่างพอดีจนได้ออกมาเป็นหนึ่งกระบอก หากแต่ชิ้นส่วนในการประกอบปืนครั้งนั้นไม่สามารถใช้แทนกันกับชิ้นส่วนจากปืนกระบอกอื่นได้ ด้วยความละเอียดแม่นยำในการผลิตซ้ำจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมนี้เอง ทำให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของปืนสามารถแลกเปลี่ยนทดแทนกันได้ และยังก่อให้เกิดการผลิตแบบจำนวนมาก ๆ จนส่งผลให้ราคาสินค้าจากการผลิตแบบนี้ลดลงเป็นอย่างมาก

จากการเปลี่ยนแปลงเป็นการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการพัฒนเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาแบบต่าง ๆ มีเตาเผาหลายชนิดได้รับการออกแบบ และใช้งาน เพื่อให้ผลิตสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่

2.3.1 เตาสก๊อตซ์

เตาสก๊อตซ์ (scotch kiln) เป็นเตาเผาอิฐก่อสร้าง ในประเทศอังกฤษ เตารูปทรงสี่เหลี่ยมมีกำแพงหรือผนังเตา 4 ด้าน ไม่มีหลังคาเตา ลักษณะดังแสดงใน **รูปที่ 2.12** ในประเทศไทยมีเตาเผาลักษณะนี้ในหลายพื้นที่ ผู้แต่งได้สำรวจแหล่งผลิตอิฐดินเผาที่อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีเตาเผาแบบนี้จำนวนมากที่อื่นในประเทศ จึงขอตั้งชื่อว่า “เตาชะอวด” การใช้งานเตาชะอวดนี้เมื่อทำการขึ้นรูปอิฐดินด้วยการอัดรีดแล้วจะลำเลียงเข้าไปเรียงในเตา เتامักจะมีผนังชั่วคราวอยู่หนึ่งด้าน บางครั้งเรียกว่าประตูเตา ใช้ในการลำเลียงเข้าไปในเตา ทำการเรียงให้มีช่องโพรงที่ด้านล่างให้ตรงกับปากเตาที่ใช้ในการใส่ฟืน เมื่อเรียงอิฐแล้วจะเรียงอิฐชั้นบนสุดให้ชิดกันเพื่อลดการไหลออกของแก๊สร้อนออกจากเตา เมื่อใส่ฟืนให้ความร้อน ลมร้อนจะลอยตัวขึ้นผ่านชั้นอิฐขึ้นไปเรื่อย ๆ จนลอยออกจากเตาที่บนหลังคาชั่วคราว ภาพเตาเผาชะอวด ดังแสดงใน **รูปที่ 2.13** ชมคลิปการแนะนำการผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาในพื้นที่อำเภอชะอวดได้ใน **คลิปวิดีโอที่ 2.6**

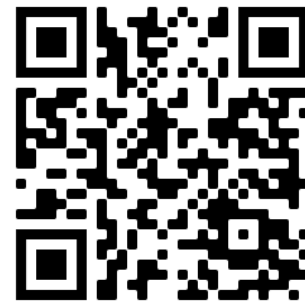
สำหรับเตาเผาอิฐ มีการพัฒนาให้ปากเตาหรือช่องสำหรับใส่ฟืน (dog house) มีโพรงยื่นออกมา แล้วมีการเจาะรูเพื่อช่วยเพิ่มช่องทางให้อากาศจากภายนอกเตา ได้ไหลเข้าไปในห้องเผาไหม้ (combustion chamber) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้เพิ่มขึ้น เรียกว่า เตา Haseltine's kiln ดังแสดงใน รูปที่ 2.14



รูปที่ 2.12 เตาสก๊อตซ์ Scotch kiln[14]



รูปที่ 2.13 เตาชะอวด เตาอิฐก่อสร้างดินเผา อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)



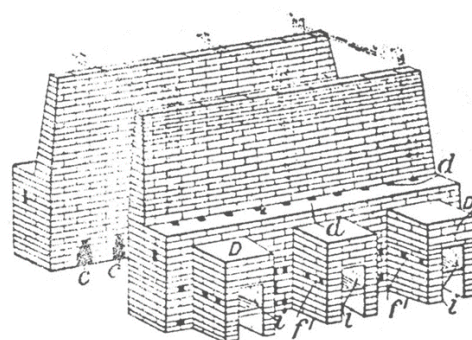
คลิปวิดีโอที่ 2.6 เตาชะอวด เตาเผาอิฐ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมาและ QR code

https://www.youtube.com/watch?v=_amXOxLOCfY

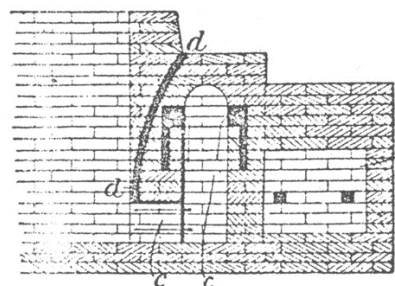


คลิปวิดีโอที่ 2.7 การผลิตอิฐ และการเผาด้วยเตาชะอวด จังหวัดนครราชสีมาและ QR code

https://www.youtube.com/watch?v=8o_sJLObWnM



Haseltine's Kiln

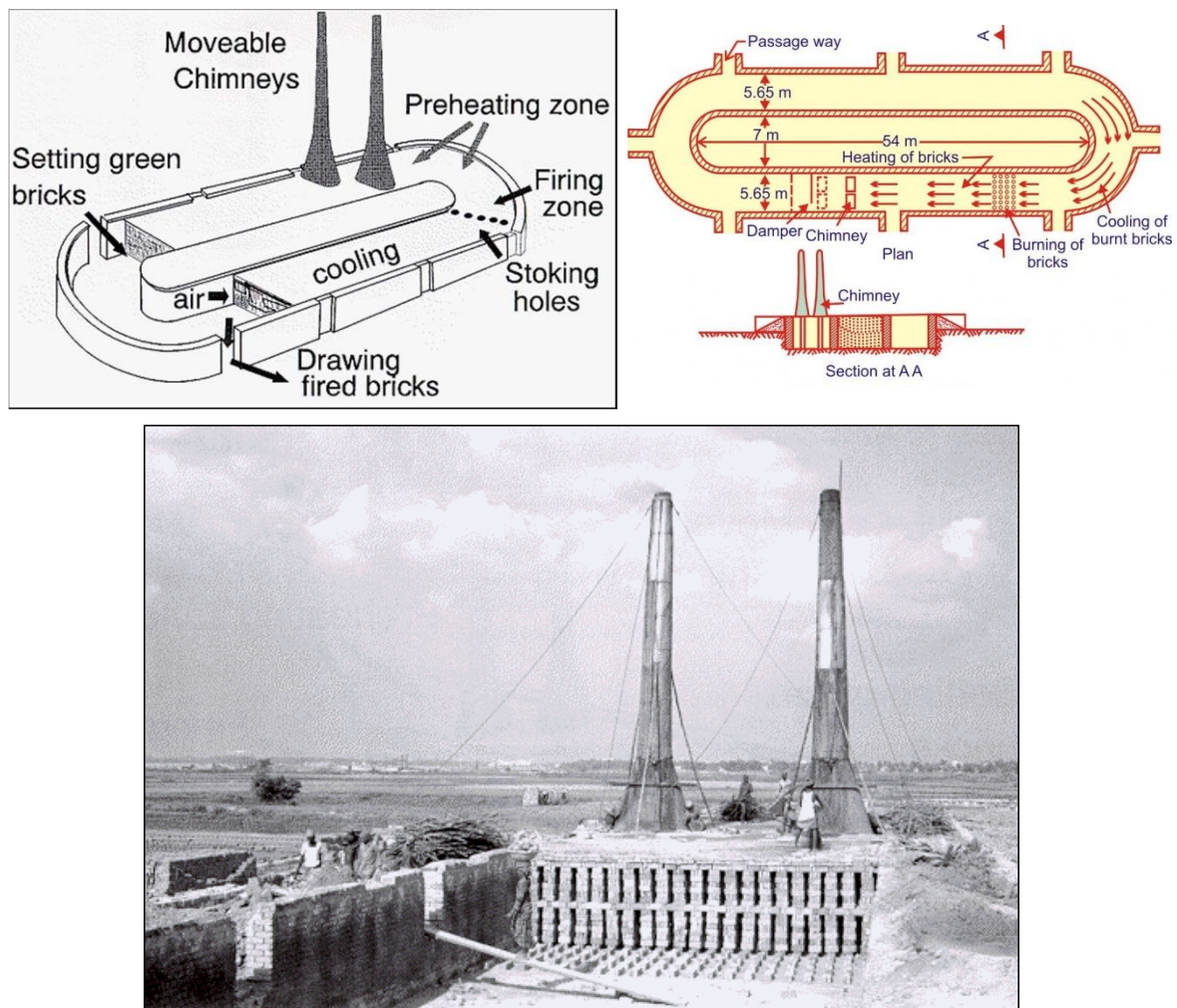


Cross section

รูปที่ 2.14 เตา Haseltine's kiln

2.3.2 เตาเผาสนามแข่งวัวกระทิง

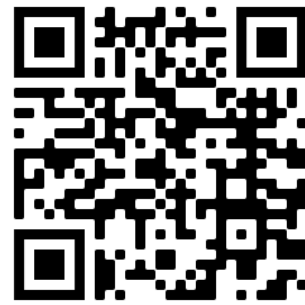
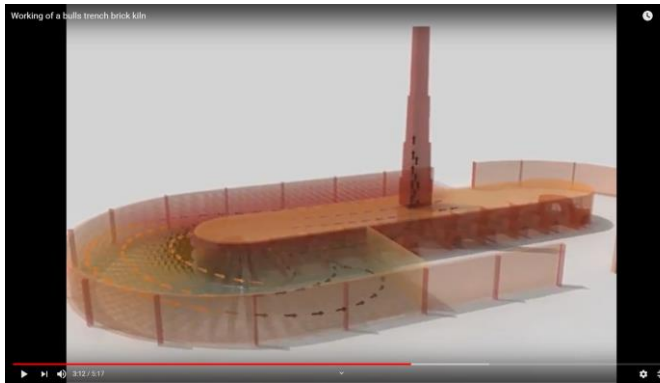
เตาเผาสนามแข่งวัวกระทิง (bull's trench kiln)[14] บางประเทศเรียกว่าเตาซิกแซก (zigzag kiln) เป็นเตาเผาที่พัฒนาขึ้นในแถบประเทศยุโรป แล้วแพร่กระจายมายังอินเดีย บังคลาเทศ ลักษณะของเตาคัล้ายกับเตาสก๊อตซ์ที่เอามาวางเรียงต่อกัน แล้วมีการเรียงอิฐให้เป็นช่องโพรงต่อไปที่ปล่องควันที่อยู่ตรงกลาง ดังแสดงใน ปัจจุบันไม่พบในยุโรปแล้วแต่ยังพบได้ในอินเดียและบังคลาเทศ บางครั้งใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิงจะมีการก่อปากเตาไว้ด้านล่าง แต่หากใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะนิยมหยอดถ่านหินจากบนหลังคาเตา โดยมีการเปิดรูหลังคาไว้ แล้วใช้วัสดุปิดรูเพื่อบังคับให้ลมร้อนไหลไปออกที่ปล่องควันที่เดียวกัน ดังแสดงใน รูปที่ 2.15 และชมได้ในคลิปวิดีโอที่ 2.8 และสำหรับเตาซิกแซก ชมวิดีโอถ่ายทอดจากท้องฟ้าได้ใน คลิปวิดีโอที่ 2.9 นอกจากนี้แล้วยังได้มีการพัฒนาไปบางส่วนในประเทศอังกฤษ ด้วยการสร้างเป็นเตาเผาที่มีโครงสร้างถาวร หลังคาและประตูเตาถาวร เรียกชื่อว่าเตาแอนนูลาร์ (annular kiln) ดังแสดงใน รูปที่ 2.16 แต่ในปัจจุบันไม่พบเตาแบบนี้แล้ว



รูปที่ 2.15 เตาเผาสนามแข่งวัวกระทิง

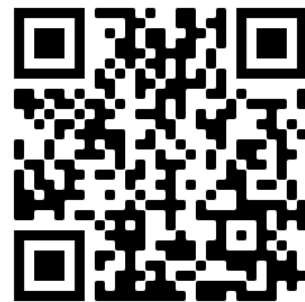
https://www.fastonline.org/CD3WD_40/GATE_DL/BUILDING/BK/EN/BK.HTM

<https://civilengineerspk.com/hoffmanns-kiln-and-bulls-trench-kiln/>



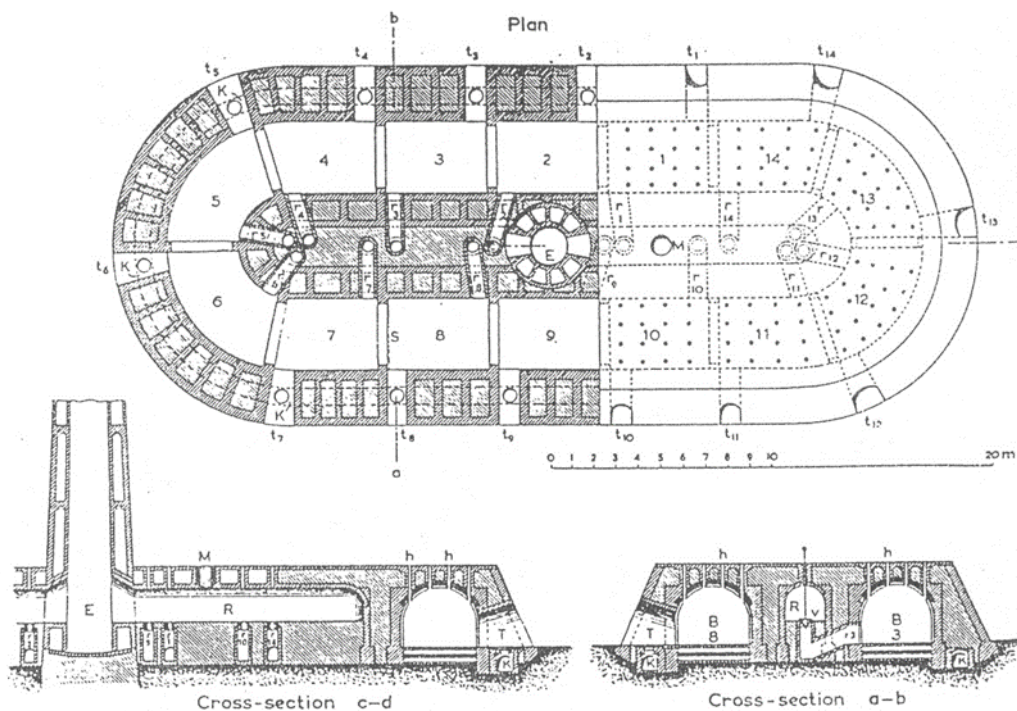
คลิปวิดีโอที่ 2.8 การจำลองการทำงานของเตาเผาสนามแข่งวัวกระทิง และ QR code

https://www.youtube.com/watch?v=pbOkO4_2E1I



คลิปวิดีโอที่ 2.9 ภาพถ่ายทางอากาศของเตาเผาซิกแซกในประเทศปากีสถาน และ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=xdsrv5ecVjo>

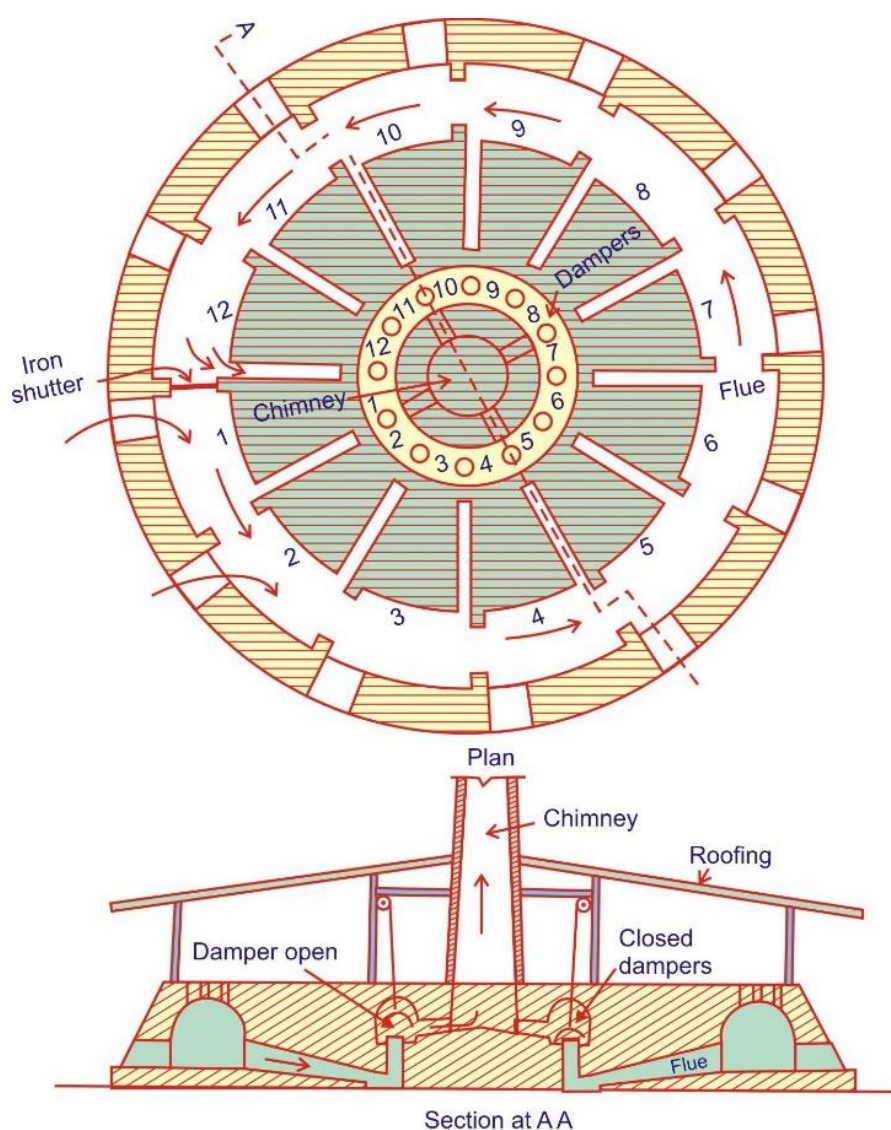


The annular Kiln

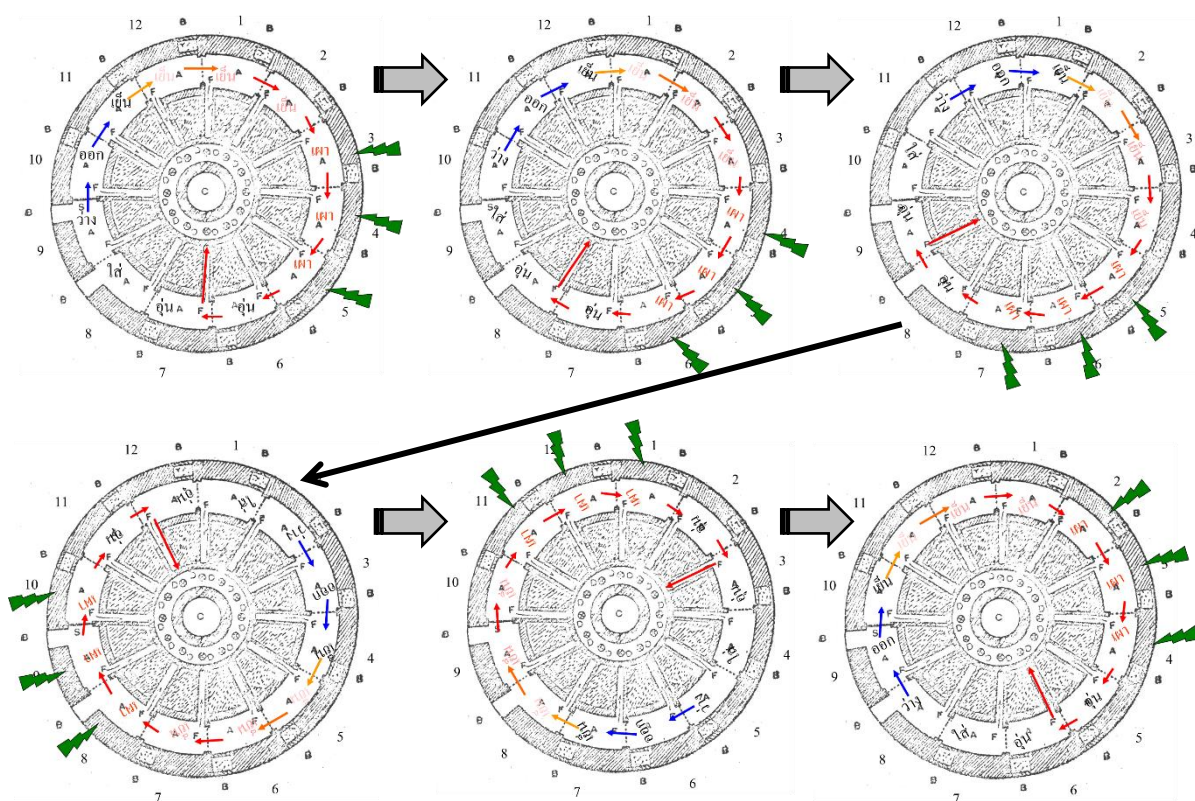
รูปที่ 2.16 เตาแอนนูลาร์ [14]

2.3.3 เตาฮอฟแมน

เตาฮอฟแมน (Hoffmann kiln) [14] เป็นเตาเผาอิฐที่มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับเตาแอนนูลาร์ แต่มีรูปร่างเป็นวงกลม เป็นเตาที่มีโครงสร้างถาวร และยังมีการสร้างอาคารครอบทับเพื่อความสะดวกในการใช้งานอีกด้วย เตาฮอฟแมนคิดค้นขึ้นโดยนักอุตสาหกรรมชาวเยอรมัน Friedrich Hoffman ได้จดสิทธิบัตรการออกแบบเตาเผาสำหรับการผลิตอิฐก่อสร้างดินเผา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1858 นับเป็นเตาเผาแบบต่อเนื่อง (continuous kiln) เตาแรกของโลกที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้งานเผาอิฐได้อย่างต่อเนื่องไม่ต้องหยุดไปเป็นเวลานานตลอดทั้งปี โดยการแบ่งห้องเผาออกเป็น 12 ห้อง ทุกห้องเชื่อมต่อกันไปที่ปล่องควันเดียว ในการทำงานจะหมุนเวียนกันไปดังแสดงใน **รูปที่ 2.17** และภาพจำลองรูปแบบการทำงานของเตาฮอฟแมนแบบเวียนใส่ไฟไปที่ละห้องจนครบรอบ ดังแสดงใน **รูปที่ 2.18**



รูปที่ 2.17 เตาฮอฟแมน [14]



รูปที่ 2.18 รูปแบบการทำงานของเตาสอฟแมนแบบเวียนไปทีละห้อง

บทที่ 3

โครงสร้างของเตาเผาเซรามิก

Ceramic Kiln's Structure

เตาเผามีส่วนประกอบมากมาย ขึ้นอยู่กับประเภทของเตา และลักษณะการเผา รวมทั้งเทคโนโลยีต่าง ๆ ด้วย ได้แก่[10]

• ห้องเผาผลิตภัณฑ์	firing chamber, firing zone
• ผนังเตา	kiln wall
• พื้นเตา	kiln floor
• ปล่องไฟ	chimney, stack
• กำแพงไฟ	flash wall, bag wall
• ห้องเผาไหม้	fireplace, combustion chamber or bag
• หลังคาเตา	crown, kiln roof
• ตะแกรงเตา	grate
• ปากเตา	firing mouth
• ตาไฟ	stoking hole
• ช่องเดินลมร้อน	flue
• ช่องเปิดที่พื้นเตา	floor opening
• หัวพ่น	burner
• รถเตา	kiln car
• ประตูเตา	door
• แผ่นบังคับลม	damper
• เครื่องวัดอุณหภูมิ	temperature meter
• ช่องดูไฟ	peep hole
• อุปกรณ์เตาเผา	kiln furniture

3.1 ห้องเผาผลิตภัณฑ์

ห้องเผาผลิตภัณฑ์ (firing chamber, firing zone) คือบริเวณที่ใช้วางและเผาผลิตภัณฑ์ เตาเผาโดยปกติหากเราแบ่งส่วนของห้องเผาผลิตภัณฑ์ออกเป็น 3 ส่วน ก. ห้องเผาส่วนบน (top part) ข. ห้องเผาส่วนกลาง (middle part) ค. ห้องเผาส่วนล่าง (bottom part) โดยให้แต่ละส่วนมีขนาดใกล้เคียงกัน และควบคุมให้อุณหภูมิในการเผาแต่ละส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพ

3.2 ผนังเตา

ผนังเตา (kiln wall) โดยปกติผนังเตาก่อด้วยอิฐ 2 ชั้น ทำหน้าที่ควบคุมความร้อน อิฐผนังภายในเตา (lining) จะใช้อิฐทนไฟที่มีคุณภาพดี ถ้าเป็นเตาไฟฟ้าหรือเตาแก๊ส จะใช้อิฐทนไฟชนิดเบา (insulating brick) ส่วนภายนอกจะหุ้มด้วยอิฐทนไฟธรรมดาหรืออิฐก่อสร้างก็ได้ ถ้าเป็นเตาชนิดที่ต้องเผาในอุณหภูมิสูง อาจจะ

3.3 พื้นเตา

พื้นเตา (kiln floor) ทำหน้าที่รับน้ำหนัก ผลึกภัณฑ์ที่เข้าเตาเผาในสมัยโบราณ เตาที่สร้างบนพื้นดิน เช่น เตาสมัย สุโขทัย เตาจีน นิยมใช้ทราย (silica) รองพื้นเตา ใช้ป้องกันน้ำเคลือบไหลย้อยติดพื้นเตา ปัจจุบัน เตาเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะเตาทางลมร้อนลง (down draft kiln) ต้องออกแบบพื้นเตาให้มีช่องระบายลมร้อนลง เป็นแบบตาหมากรุกทั่ว ๆ ไปบนพื้นเตา ส่วนเตาชนิดทางลมร้อนขึ้น (up draft kiln) จะต้องเจาะพื้นเตาให้ความร้อนขึ้นได้สะดวก เตาชนิดทางลมร้อนขึ้นควรสร้างให้พื้นเป็นเหมือนตะแกรงหลายชั้นซ้อนเหลื่อมกัน (checker work) เพราะช่วยให้ความร้อนสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา

3.4 ปล่องไฟ

ปล่องไฟ (chimney, stack) หรือปล่องควัน เตาที่ใช้ฟืน แก๊ส น้ำมัน ถ่าน ต้องออกแบบเตาให้ปล่องไฟ เพื่อช่วยให้การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ดี โดยเฉพาะเตาฟืนปล่องต้องมีขนาดโต ส่วนเตาแก๊ส เตาน้ำมันมีขนาดเล็กกว่า ส่วนเตาไฟฟ้าจะไม่จำเป็นต้องมีปล่องเตาเหมือนเตาชนิดอื่น

3.5 กำแพงไฟ

กำแพงไฟ (flash wall, bag wall) อยู่ภายในเตา โดยเฉพาะเตาฟืน เตา น้ำมัน เตาแก๊ส เป็นตัวการป้องกันไม่ให้เปลวไฟที่ออกจาก กองไฟ หัวฟืน จะสัมผัสกำแพงไฟ อิฐทนไฟที่ใช้ก่อกำแพงไฟ ต้องเป็นอิฐทนไฟที่มีคุณภาพดี

3.6 หัวฟืน

หัวฟืน (burner) มีทั้งชนิดที่ใช้น้ำมันและแก๊ส หัวฟืนที่ใช้กับน้ำมันชนิดที่ใช้พัดลม (blower) ในตัวก็มี ชนิดที่แยกต่างหากก็มี แต่ที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถใช้งานเผาได้ ติดต่อกันตลอดเวลา ส่วนหัวฟืน แก๊สนิยมใช้หัวฟืนแบบเวนจูรี (venturi) ใช้อากาศปรับได้ในตัว นอกจากนี้ยังมีการใช้หัวฟืนสำหรับถ่านหิน ชี เลื่อย และกลบ ซึ่งอยู่ในสภาพของแข็ง แต่ต้องมีลักษณะเป็นผงละเอียด จึงจะฟืนเป็นเปลวไฟได้คล้ายกับ น้ำมันหรือแก๊ส

3.7 หลังคาเตา

หลังคาเตา (crown, kiln roof) เตาเผาที่ใช้อิฐทนไฟในการก่อสร้างเตา หลังคาเตาต้องออกแบบให้โค้ง (arch) เพราะทรงตัวได้ดี เนื่องจากการเผามีความร้อนสูงและเป็นจุดอ่อน โอกาสที่พังทลายมีอยู่มาก จึงนิยม

ออกแบบในเตาขนาดใหญ่ มีหลังคาโค้งทุกเตา การเรียงอิฐหลังคาเตาก็ต้องมีเทคนิคสูง เกี่ยวกับการหดตัวและขยายตัวของอิฐ ซึ่งสำคัญมาก และอาจทำให้หลังคาเตายุบพังได้ง่าย

3.8 ประตูเตา

ประตูเตา (door) ใช้ทำหน้าที่ปิด-เปิด ในการบรรจุของเข้าเตา การเอาของออกจากเตา เตาชนิดที่ใช้รถบรรจุของ เข้าเตา (kiln car) มักจะออกแบบประตูติดกับตัวรถ บางแบบออกแบบติดกับเตา ประตูเตามักจะเจาะ ช่อง (peep hole) ไว้สองระดับ ไว้สังเกตสีของไฟ ส่วนเตาไฟฟ้าประตูเตานั้นก็คือฝาเตานั้นเอง โดยเฉพาะฝาเตาที่ดีต้องป้องกันความร้อนไม่ให้รั่วได้ ต้องปาดเป็นลื่นให้เข้ากันได้สนิท สำหรับเตาฟืน เตาจีน ประตูเตาจะใช้อิฐเรียงบังไม่ให้ความร้อนออก ในการเผาผลิตภัณฑ์ทุกครั้ง

3.9 รถเตา

รถเตา (kiln car) หรือรถบรรทุกทุกผลิตภัณฑ์ในเตาเผา เตาเผาชนิดที่ใช้รถ ส่วนมากเป็นเตาที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมัน แก๊ส ไฟฟ้า โดยการ ออกแบบเตาชนิดที่ใช้รถบรรทุกทุกผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา ส่วนมากได้แก่เตาชนิด shuttle kiln, tunnel kiln โดยเฉพาะรถเตามีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนบน (car top) ล้อ และที่ป้องกันความร้อน (sand seal) การบรรจุของในรถก็เช่นเดียวกับการบรรจุของเข้าเตาแบบที่ไม่มีรถ ต้องมี章程และ章程เช่นเดียวกัน แต่ว่าคล่องตัวกว่า และกำลังเป็นที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรม

3.10 แผ่นบังคับลมร้อน

แผ่นบังคับลมร้อน (damper) ส่วนมากเป็นเตาแก๊ส เตาใช้น้ำมัน จะมีแผ่นบังคับลมร้อน ซึ่งมักจะอยู่ในช่องที่ลมร้อนจะไหลขึ้นสู่ปล่อง ทำหน้าที่คอยบังคับไม่ให้ความร้อนไหลเร็วจนเกินไป

3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิ

เครื่องวัดอุณหภูมิ (temperature meter) เป็นเครื่องมือบอกอุณหภูมิภายในเตาซึ่งสามารถบอกเป็น องศาเซลเซียส (°C) เครื่องวัดอุณหภูมิสามารถบอกเป็นตัวเลขหรือตารางกราฟก็ได้ หรือจะใช้ตั้งแบบอัตโนมัติ ก็มี เครื่องวัดอุณหภูมิชนิดที่เทียบสีเรียกว่าไพโรมิเตอร์ (optical pyrometer) นอกจากนี้เรายังใช้โคน (cone) ชนิดที่ใช้วัตถุเข้าเผาในเตาเรียกว่า pyrometric cone ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ดีชนิดหนึ่ง

3.12 ช่องดูไฟ

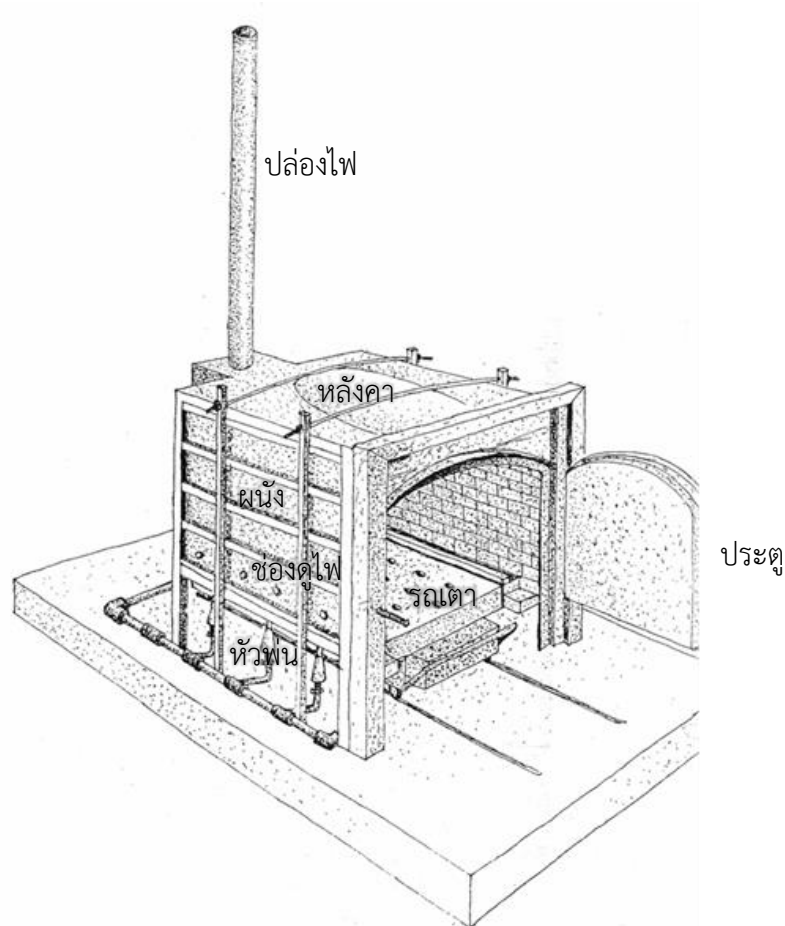
ช่องดูไฟ (peep hole, fire hole) เตาที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ผู้ที่ออกแบบสร้างเตาทุกชนิด ทุกแบบจะต้องมีช่องหรือรูขนาดเล็ก ไว้สำหรับดูไฟภายในเตา ซึ่งมักจะเจาะไว้ 3 ระดับ เพื่อเปรียบเทียบสีของไฟ อาจใช้ดูโคนที่วางไว้ในเตาในการเผา ในเตาไฟฟ้าอาจใช้ทำหน้าที่ระบายแก๊สไปในตัวด้วย

3.13 อุปกรณ์เตา

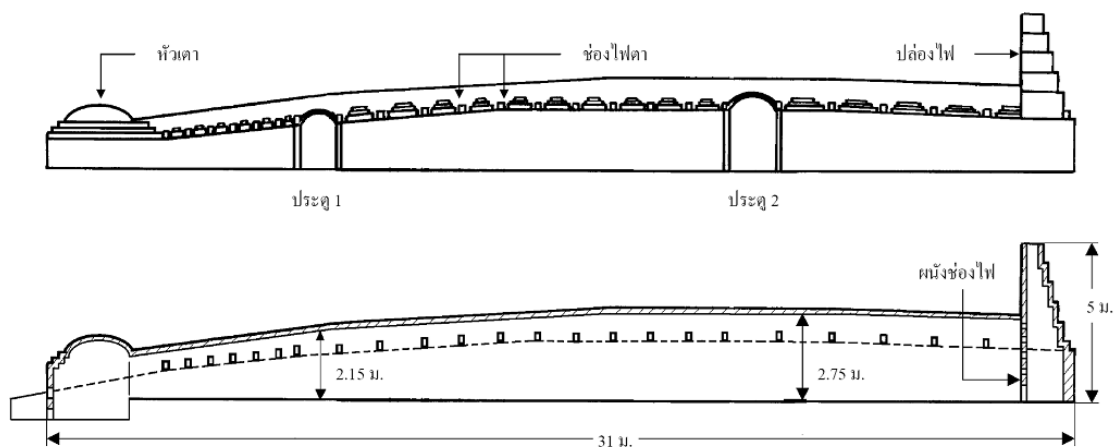
อุปกรณ์เตา (kiln furniture) เตาทุกชนิดต้องมีอุปกรณ์โดยเฉพาะ章程วางไว้สำหรับวางผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาเคลือบ ที่นิยมใช้ มี 2 ชนิด คือ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) และ คอร์ดีไรต์ (cordierite) เตา

บางชนิดใช้หีบทนไฟ (sagger) ก็ได้ ส่วนมากนิยม ในเตาพื้น สมัยก่อนนิยมใช้กับเตาน้ำมันเตา แต่ปัจจุบันแทบไม่มีเตาเผาที่ใช้น้ำมันเตาแล้ว เพราะน้ำมันเตามีต้นทุนสูง

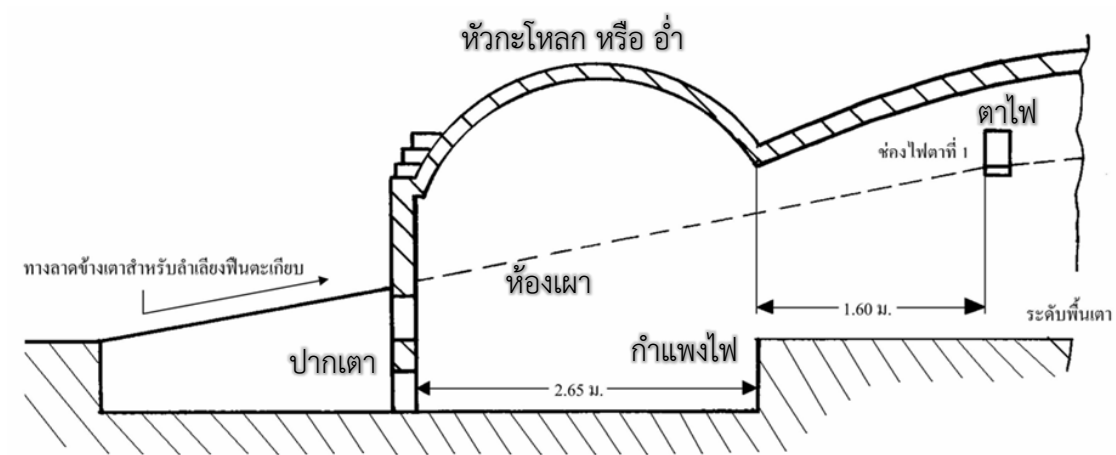
ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตาเผาแต่ละชนิดอาจมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันออกไปตามแต่การออกแบบ และวัตถุประสงค์ของการใช้งานหรือชนิดของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับการลงทุนในการเลือกใช้ ส่วนประกอบต่าง ๆ อีกด้วย ดังแสดงตัวอย่างใน รูปที่ 3.1 ถึง รูปที่ 3.6



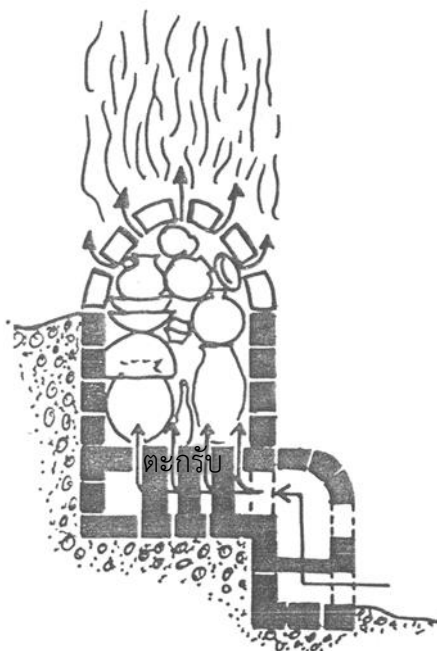
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของเตาซีตเติล ใช้แก๊ส



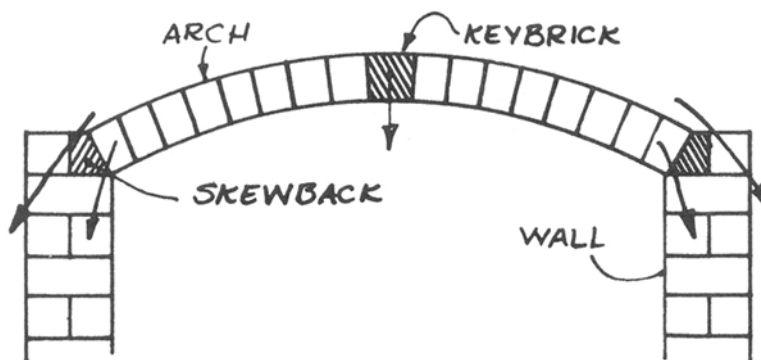
รูปที่ 3.2 โครงสร้างเตามังกร สำหรับเผาโอ่งมังกร จังหวัดราชบุรี



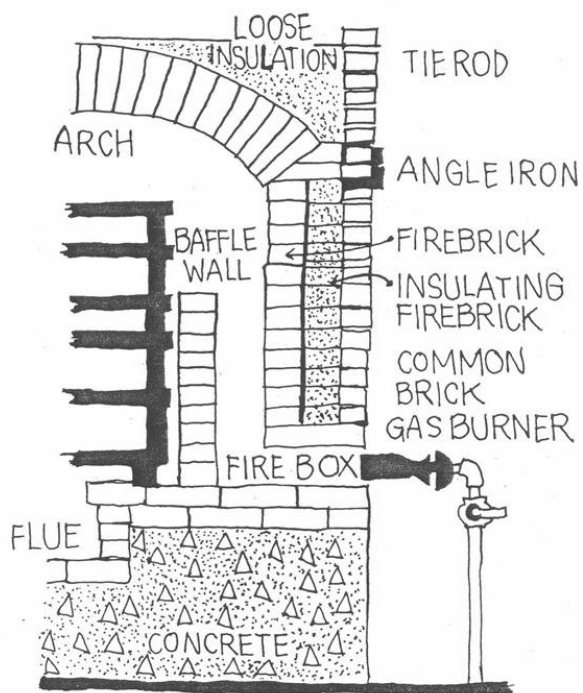
รูปที่ 3.3 ภาพขยายโครงสร้างส่วนหัวของเตามังกร



รูปที่ 3.4 เตาเผาพื้นแบบกลม ลมร้อนขึ้นด้านบน หรือ เตาตะกรับ



รูปที่ 3.5 โครงสร้างหลังคาเตาที่ก่อด้วยอิฐทนไฟ



รูปที่ 3.6 โครงสร้างเตาเผาผนังอิฐทนไฟ ใช้แก๊ส

บทที่ 4

การจำแนกชนิดของเตาเผาเซรามิก

Classification of Ceramic Kiln

เตาเผาเซรามิกมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เตาบางชนิดมีชื่อเรียกมากกว่าหนึ่งชื่อ และชื่อเตาบางชื่อก็อาจจะใช้เรียกเตาที่ต่างชนิดกันก็มี ขึ้นอยู่กับมุมมองหรือการรับรู้การใช้งานของเตาเผา นั้น เราสามารถจำแนกชนิดหรือประเภทของเตาเผา รวมทั้งการตั้งชื่อเตาเผาชนิดต่าง ๆ ได้หลายกลุ่มดังต่อไปนี้[10]

- จำแนกตามรูปร่าง รูปทรง
- จำแนกตามผลิตภัณฑ์ที่เผา
- จำแนกตามทางเดินลมร้อน
- จำแนกตามเชื้อเพลิงหรือแหล่งความร้อนที่ใช้เผา
- จำแนกตามการสัมผัสของเปลวไฟ
- จำแนกตามความต่อเนื่องของการเผา
- จำแนกตามโครงสร้าง ความต่อเนื่องของเตา

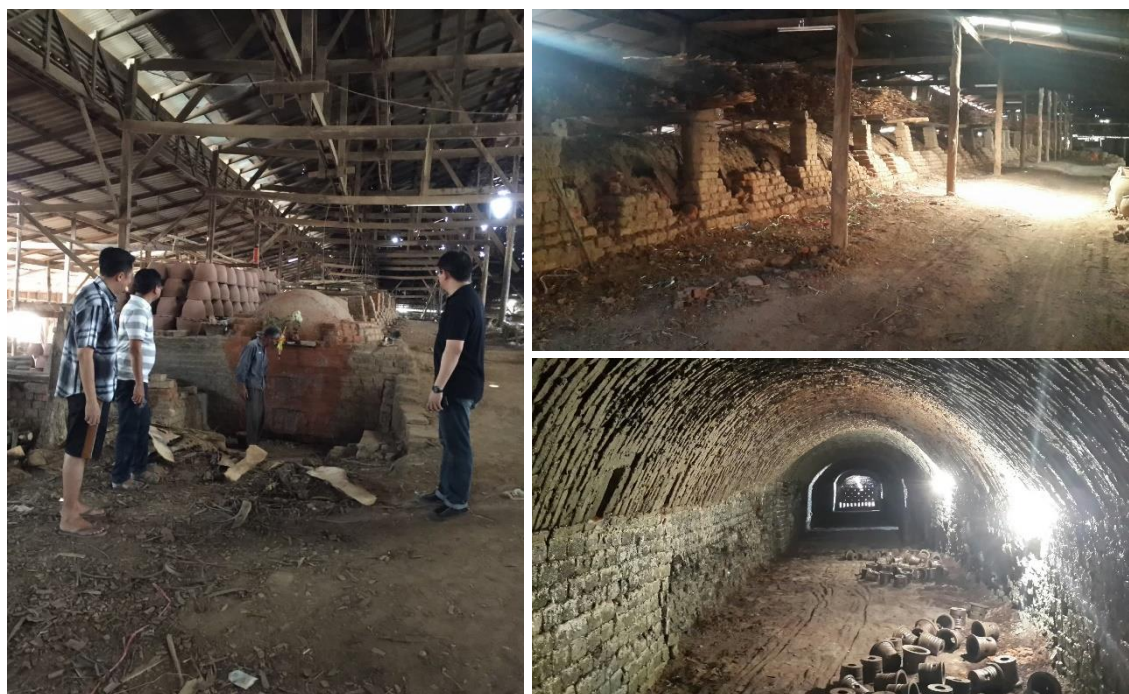
4.1 จำแนกตามรูปร่าง รูปทรง

การจำแนกประเภทหรือเรียกขานชื่อเตาเผาตามรูปร่างหรือรูปทรงของเตามันใช้ในการเรียกของมาแต่ดั้งเดิมของผู้ก่อสร้างเตาผู้ใช้เตาเผา นั้น ซึ่งในบางครั้งอาจเรียกตามจินตนาการของแต่ละท้องถิ่นด้วย หรือบางครั้งอาจมีชื่อเรียกหลายชื่อก็ได้ ดังต่อไปนี้

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| - เตามังกร | dragon kiln |
| - เตางู | snake kiln |
| - เตาสี่เหลี่ยม | square kiln |
| - เตาวงกลม หรือเตากลม | circle kiln, round shape kiln |
| - เตารังผึ้ง เตาโดม เตาจอมปลวก | beehive kiln |
| - เตาแมงป่อง | scorpion kiln |
| - เตาหลังเต่า | turtle back kiln |
| - เตาอุโมงค์ | tunnel kiln |
| - เตาริมตลิ่ง ริมหน้าผา | bank kiln, hill kiln |
| - เตาขั้นบันได | climbing kiln, step kiln |

4.1.1 เتامังกร

เตามังกร (dragon kiln) มีประวัติมายาวนานจากประเทศจีนมานับพันปี มีการขุดค้นพบหลักฐานทางโบราณคดีว่ามีการใช้เตามังกรตั้งแต่ราชวงศ์ซาง ประมาณศตวรรษ ที่ 12 ใช้ในการผลิตเครื่องเคลือบเป็นปริมาณมาก ๆ ที่ได้ชื่อว่าเตามังกรก็เพราะความยาวของเตาเผา อาจยาวได้ถึง 50 เมตร หรือ 100 เมตร เتامังกรเป็นเตาที่ก่อด้วยอิฐดินดิบ มีปากเตาสำหรับจุดไฟใส่ฟืน ทำเป็นหัวกะโหลกเพื่อให้เป็นห้องเผาไหม้จนไม้ฟืนลุกไหม้เป็นเปลวไฟอย่างค่อนข้างสมบูรณ์ มีตาไฟ สำหรับใส่ฟืนด้านข้างของเตาทั้งสองฝั่งยาวตลอดตัวเตา ช่องไฟห่างกันประมาณช่องละ 80-120 เซนติเมตร จำนวนของตาไฟขึ้นอยู่กับความยาวของเตา ไปจนถึงปล่องควัน ปล่องควันจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ขึ้นอยู่กับขนาดของเตาด้วย และตลอดความยาวของเตาจะต้องมีประตูเตา สำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าออกจากเตา หากเตายาวมาก ก็มักจะมีจำนวนประตูเตาเพิ่ม อาจมี 2-3 ประตูก็ได้ ในประเทศไทย พบเตามังกรได้ที่จังหวัดราชบุรี แสดงใน รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปร่างของเตามังกร จังหวัดราชบุรี (ซ้าย) ปากเตาและหัวกะโหลก (ขวา-บน) ภาพด้านข้างเตา (ขวา-ล่าง) ภาพภายในเตา
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

สำหรับประเทศไทย นายจื่อเหม็ง แซ่อึ้ง และนายช่งฮอง แซ่เตีย[15] เป็นชาวจีนโพ้นทะเลที่มาเมืองไทย ได้รวบรวมทุนได้ 3,000 บาท ตั้งโรงงานถลุงเหล็กขึ้น เป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2476 เป็นโรงงานขนาดเล็ก บริเวณสนามบินอยู่ตรงข้ามโรงเรียนอนุบาลราชบุรี ปัจจุบันนี้ แหล่งดินสีแดงที่ราชบุรีก็ค่อนข้างจะมีคุณภาพเหมือนที่เมืองจีน ดังนั้น จากเดิมเราใช้โอ่งอ่างไหจากเมืองจีน ผู้ริเริ่มก็ทำอ่าง ไห กระปุก และโอ่งบ้างเล็กน้อย ให้ชาวมอญราชบุรีใส่เรือไปเร่ขาย การทำโอ่งได้ริเริ่มอย่างจริงจังก่อนสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ดินขาวที่ใช้แตง ลวดลายเดิมได้มาจากเมืองจีน ต่อมาได้หาทดแทนจากดินที่ท่าใหม่จันทบุรี และสุราษฎร์ธานี เมื่อกิจการรุ่งเรืองขึ้น โรงงานจึงขยายกิจการและผลิตโอ่งเพิ่มมากขึ้น หนึ่ส่วนหลายคนแยกตัวไปตั้งโรงงานเอง โดยเฉพาะ

ในจังหวัดราชบุรี มีโรงงานผลิตโถอยู่ถึง 42 แห่ง และเป็นโรงงานผลิตเครื่องเคลือบรูปแบบต่าง ๆ ออกไปอีก 17 แห่งตามจังหวัดอื่น ๆ ที่แยกไปจากนี้คือที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จังหวัดชลบุรีและใน กรุงเทพมหานครบริเวณ สามเสน เป็นต้น เจ้าของโรงงาน ช่างปั้น และประชาชนส่วนใหญ่ของจังหวัดราชบุรี เมื่อเครื่องศตวรรษมาแล้วล้วนเป็นลูกหลานจีน ดังนั้นช่างปั้นจึงได้คิดคัดเลือกลวดลายที่เป็นมงคล และมีความหมายที่ดี เพื่อให้เกิดความรู้สึกที่ดีต่อผู้ใช้ นอกเหนือจากความงามเพียงอย่างเดียว ที่สุดท้ายก็ได้เลือกสรรลวดลายมังกร ซึ่งแฝงและฝังไว้ด้วยความหมายตามความเชื่อคตินิยมในวัฒนธรรมจีนลวดลายมังกรต้นเมฆ มังกรคาบแก้ว และมังกรสองตัวเกี่ยวพันกัน ล้วนเป็นสัตว์สำคัญในเทพนิยายของจีน เป็นเทพแห่งพลัง เทพแห่งความดี และเทพแห่งชีวิต ช่างปั้นเลือกเอามังกรที่มี 3 เล็บหรือ 4 เล็บ เป็นลวดลายตกแต่งโถ ช่างผู้ชำนาญปาดเนื้อดินด้วยหัวแม่มือเป็นรูปมังกร โดยไม่ต้องร่างแบบ ชิดเป็นลายมังกรด้วยปลายชี้หัว เป็นหนวดนิ้วเล็บ ส่วนเกล็ดมังกรหยักด้วยแผ่นสังกะสีแล้วเน้นลูกตาให้เด่นออกมา ชมสารคดีตามังกร ประวัติโถราชบุรีได้ใน **คลิปวิดีโอที่ 4.1** กระบวนการผลิตและปั้นโถใน **คลิปวิดีโอที่ 4.2** และเตาเผาโถมังกรได้ใน **คลิปวิดีโอที่ 4.3**



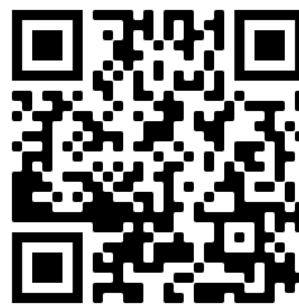
คลิปวิดีโอที่ 4.1 สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโถมังกรราชบุรีและ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=ZJrbhnCm1Sw>



คลิปวิดีโอที่ 4.2 การผลิตโถมังกรราชบุรีและ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=SRskLTsNcmk&t=544s>



คลิปวิดีโอที่ 4.3 เตามังกร สำหรับเผาโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code

<https://www.youtube.com/watch?v=sRIAXYpTr40>

4.1.2 เตาสูง

เตาสูง (snake kiln) เป็นเตาเผาเซรามิกที่มีประวัติศาสตร์มาแต่โบราณคล้ายกันกับเตามังกร ที่เรียกว่าเตาสูงนั้นหมายถึงเตาเผาที่มีขนาดยาว แต่ความยาวไม่มากนัก และก็มีขนาดหน้าตัดไม่ค่อยใหญ่มากด้วย จึงเรียกว่าเตาสูงนั่นเอง ในประเทศไทยพบได้ในหลายพื้นที่ เช่นในจังหวัดจันทบุรี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่นิยมใช้ในการเผาถ้วยรองน้ำยางเนื้อสโตนแวร์เคลือบสีเถ้าด้านใน อุณหภูมิเผาประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง จากการไปสำรวจของผู้แต่ง พบว่าเตาส่วนใหญ่จะมีขนาดยาวประมาณ 20-30 เมตร ดังแสดงใน รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เตาสูงใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง สำหรับเผาถ้วยรองน้ำยาง
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

4.1.3 เตาสี่เหลี่ยม

เตาสี่เหลี่ยม (square kiln) เรียกตามรูปร่างที่เป็นสี่เหลี่ยม โดยจะเรียกเฉพาะเตาสี่เหลี่ยมที่ไม่มีชื่อเฉพาะเป็นอย่างอื่น ตัวอย่างเตาสี่เหลี่ยมดังแสดงใน รูปที่ 4.3 เป็นเตาสี่เหลี่ยมแบบทางเดินลมร้อนลง ใช้ฟืน

เป็นเชื้อเพลิง ก่อด้วยอิฐดินเผาด้วยดินเหนียว ใส่ฟืนที่ปากเตาด้านหน้า ลมร้อนจะเข้าไปในห้องเผาโดยผลิตภัณฑ์จะลำเลียงเข้าออกทางประตูเตาที่อยู่ด้านข้างดังในรูป ซึ่งพื้นเตามีการยกตัวสูงขึ้นประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อให้มีการเปิดช่องทางเดินลมร้อนผ่านผลิตภัณฑ์แล้วลงไปพื้นเตาออกไปสู่ปล่อง ควันด้านหลังเตาที่ต่อออกไปภายนอกหลังคา



รูปที่ 4.3 เตาสีเหลี่ยมแบบทางเดินลมร้อนลงใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

4.1.4 เตาวงกลม

เตาวงกลม หรือเตากลม (circle kiln, round shape kiln) โดยจะเรียกเฉพาะเตาวงกลมที่ไม่มีชื่อเฉพาะเป็นอย่างอื่น ตัวอย่างเตาวงกลมดังแสดงใน รูปที่ 4.4 เป็นเตาวงกลมแบบทางเดินลมร้อนขึ้นข้างบน ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ก่อด้วยอิฐดินเผาด้วยดินเหนียว ใส่ฟืนที่ปากเตาด้านหน้า ลมร้อนจะเข้าไปในห้องเผาโดยผลิตภัณฑ์จะลำเลียงเข้าออกทางประตูเตาที่อยู่ด้านหลังดังในรูป เป็นเตาไม่มีหลังคา เวลาจะเผาผลิตภัณฑ์จะวางผลิตภัณฑ์เรียงซ้อนกันให้มีการทำเป็นช่องให้ลมร้อนกระจายตัวจากปากเตาไปยังพื้นที่ทั่วหน้าตัดของเตาในแนวนอนด้านล่างเตาแล้วจึงลอยขึ้นผ่านผลิตภัณฑ์ขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งจะมีการใช้แผ่นกระเบื้องเผาแล้ววางปิดทั้งด้านบนสุดก่อนจะเผาทำหน้าที่คล้ายเป็นหลังคาชั่วคราว ลดการสูญเสียความร้อน สามารถเผาได้อุณหภูมิสูงถึง 800-900 องศาเซลเซียส ในรูปเป็นตัวอย่างเตาเผากระเบื้องเคลือบมุงหลังคาชั่วคราวในท้องที่จังหวัดอ่างทอง



รูปที่ 4.4 เตาวงกลมแบบทางเดินลมร้อนขึ้นใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงไม่มีหลังคาเตาถาวร

(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

4.1.5 เตารังผึ้ง

เตารังผึ้ง (beehive kiln) เป็นชื่อเรียกของชาวตะวันตก ที่เข้าใจผิดว่ารังต่อคือรังผึ้ง จึงเป็นภาพติดต่อนิทานเด็กหลายเรื่องที่ใช้รังต่อแทนรังผึ้งที่มีน้ำผึ้งอยู่ เช่น วินนี่เดอะพูห์ (Winnie-the-Pooh) รูปที่ 4.5 ในประเทศไทยนิยมเรียกเตาโดม (dome type kiln) หรือเตาอิฐปาโมก เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตอิฐที่ใช้เผาทรงโดมรายแรกในประเทศไทยที่อำเภอปาโมก จังหวัดอ่างทอง และตั้งชื่อยี่ห้ออิฐว่า บปก. (บางปลากด) พ.ศ. 2487 ภายใต้ชื่อ โรงงานอิฐ บ.ป.ก. เฮ้งม่วยหลี เตาอิฐปาโมกได้แพร่กระจายไปทั่วจังหวัดอ่างทอง และจังหวัดอื่นหลายที่ด้วย อีกจังหวัดหนึ่งที่มีเตาลักษณะเดียวกันนี้คือที่จังหวัดชลบุรี โดยเฉพาะโรงงานเผาอิฐอำเภอบางพลี



รูปที่ 4.5 รังผึ้งในแบบการ์ตูนของชาวตะวันตก

<https://www.debate.org/debates/Dinosaurs-Lived-With-People/3/>

<https://www.pinterest.com/pin/471752129719110280/>

<https://www.zazzle.com/vintage+pooh+bear+gifts>

ลักษณะของเตาเผาเป็นเตาที่ก่อด้วยอิฐดินเผาเป็นรูปทรงโดมวงกลม บางครั้งก็ดูคล้ายเจดีย์ มีประตูเตาและปากเตาอยู่ที่เดียวกัน แต่เป็นการก่ออิฐทำเป็นประตูชั่วคราว เว้นช่องไว้สำหรับเป็นปากเตา เป็นช่องจุดไฟใส่ฟืน ยอดโดมเป็นช่องเปิดทำหน้าที่เป็นปล่องควันระบายควันและความชื้นในช่วงแรกของการเผาเพื่อเป็นการอบแห้งอิฐและเผาไล่สารอินทรีย์ในดิน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแล้วคนงานจะป็นขึ้นไปครอบปิดปากปล่องด้านบน กดให้ลมร้อนไหลลงผ่านตัวอิฐที่กองเรียงอยู่ในเตาลงไปที่ช่องทางเดินลมที่พื้นซึ่งเรียงอิฐไว้เป็นช่องโพรง ลมร้อนเมื่อผ่านกองอิฐแล้วจะไหลออกไปทางปล่องที่อยู่ด้านข้าง อาจมีปล่อง 2 ถึง 3 ปล่อง ขึ้นอยู่กับการออกแบบและขนาดของเตา ดังแสดงใน รูปที่ 4.6 การเผาอาจใช้เวลานานตั้งแต่ 5 ถึง 10 วัน ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณอิฐที่เผา อาจเผาอิฐได้ครั้งละ หนึ่งแสนถึงห้าแสนก้อน ซึ่งนับว่าเป็นเตาเผาอิฐที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เเผาได้อุณหภูมิสูงถึง 900-1000 องศาเซลเซียส แต่การเรียงอิฐเข้าไปในเตาจะต้องใช้แรงงานที่มี

ฝีมือ เนื่องจากต้องเรียงให้เป็นระเบียบ เว้นช่องไฟระหว่างอิฐ ให้เป็นช่องลมสำหรับเป็นช่องทางเดินลมร้อนที่เหมาะสม จึงจะเผาอิฐได้มีคุณภาพ สุกตัวทั่วถึงกันทั้งเตา สามารถชมกระบวนการผลิตอิฐและการเผาอิฐด้วยเตาโดมในพื้นที่อำเภอบางบาล จังหวัดชลบุรี ได้ใน **คลิปวิดีโอที่ 4.4**



รูปที่ 4.6 เตาโดมก่อด้วยอิฐดินเผาใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)



คลิปวิดีโอที่ 4.4 การผลิตอิฐด้วยเตาโดมที่จังหวัดชลบุรีและ QR code

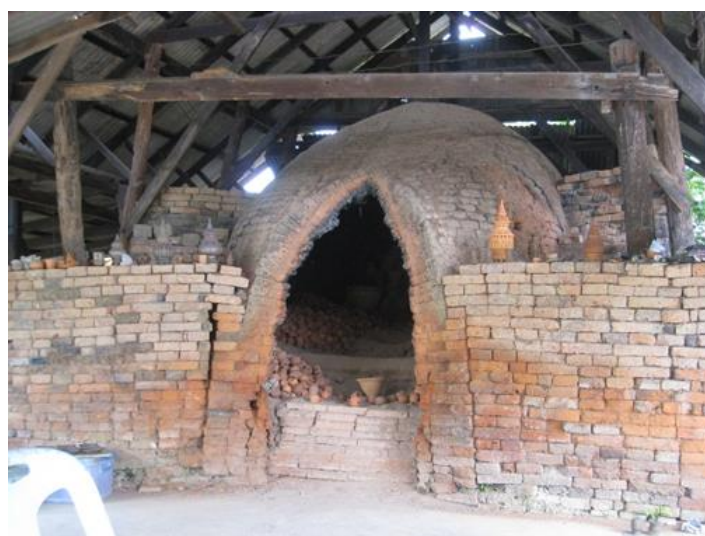
<https://www.youtube.com/watch?v=Qb96KS16ZD8>

4.1.6 เตาแมงป่อง

เตาแมงป่อง (scorpion kiln) เป็นเตาที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก มีลักษณะคล้ายแมงป่อง เนื่องจากมีโครงสร้างอิฐก่อค้ำค้ำลายก้ามของแมงป่อง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของตัวเตาบริเวณประตูเตา ก่อด้วยอิฐดินดิบ บริเวณประตูเตาจะก่ออิฐไว้เป็นประตูชั่วคราว สำหรับการนำผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากเตา เวลาที่ประตูเตาจะเว้นช่องไว้สำหรับเป็นปากเตาจุดไฟใส่ฟืน และมีปล่องควันอยู่ด้านท้ายมีลักษณะคล้ายหางที่ยกตัวขึ้นของแมงป่องนั่นเอง ดังแสดงใน **รูปที่ 4.7** นิยมใช้ในการเผาเครื่องปั้นดินเผาทั้งไฟต่ำประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส และสามารถเผาครกตำสัปดาห์ที่เผาไฟสูงได้ถึง 1200 องศาเซลเซียส พบได้หลายพื้นที่ในประเทศไทย เช่นที่เคยมีใช้งานในเกาะเกร็ดจังหวัดนนทบุรี ปัจจุบันพบมากที่แหล่งเครื่องปั้นดินเผาบ้านมอญ จังหวัดนครสวรรค์ และที่ด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 4.7 เตาแมงป่องก่อด้วยอิฐดินดิบใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ ที่ชุมชนบ้านมอญ จังหวัดนครสวรรค์)

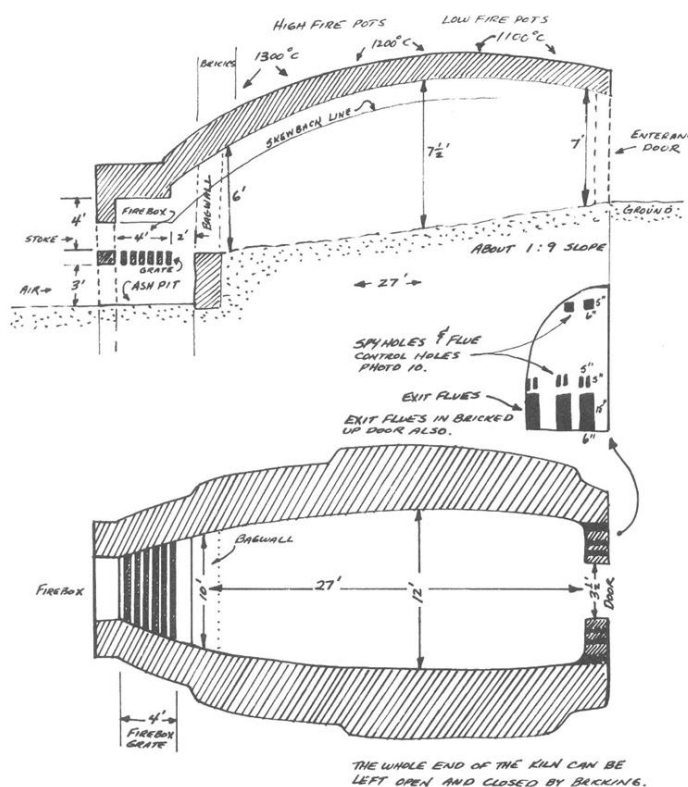


รูปที่ 4.8 ประตูชั่วคราวของเตาแมงป่องก่อด้วยอิฐดินดิบสำหรับเผาครกสัปดาห์

(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ ที่เกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรี)

4.1.7 เตาหลังเตา

เตาหลังเตา (turtle back kiln) เป็นเตาขนาดไม่ใหญ่ ใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง มีลักษณะหลังคาโค้งคล้ายหลังของเต่า มักไม่มีปล่อง เาได้อุณหภูมิไม่สูงนักประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 เตาหลังเตาใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิง (ชนิดไม่มีปล่อง) [10]

4.1.8 เตาอุโมงค์

เตาอุโมงค์ (tunnel kiln) เรียกเตาอุโมงค์เพราะเป็นเตาที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และยาวคล้ายถ้ำหรืออุโมงค์ แต่ในปัจจุบันนิยมเรียกเตาอุโมงค์เฉพาะเตาที่มีรางให้รถเตาเคลื่อนเข้าไปในเตาตลอดความยาวของเตา

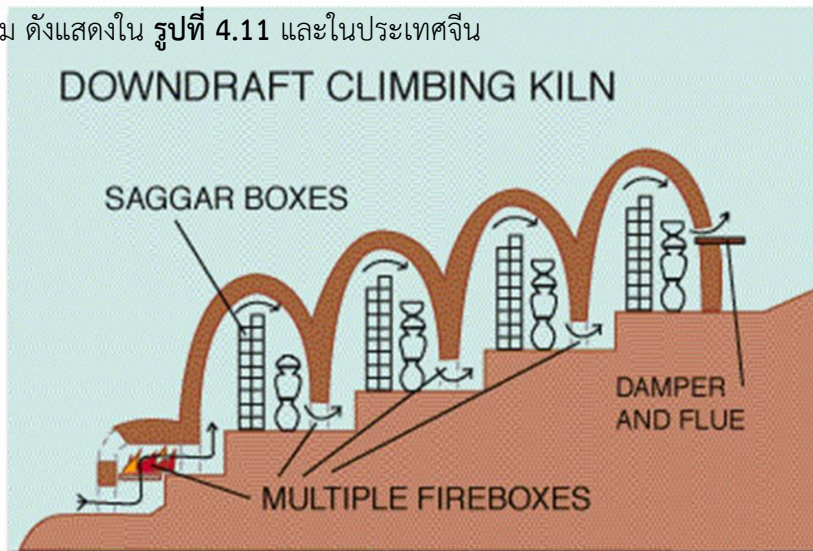
4.1.9 เตาริมตลิ่ง

เตาริมตลิ่ง (bank kiln) บางครั้งเรียกเตาริมหน้าผา เตาริมเนิน (cave kiln, hill kiln) เนื่องจากดั้งเดิมมีการขุดพื้นดินบริเวณริมตลิ่งน้ำ เป็นช่องโพรงสำหรับใช้วางเผาเครื่องปั้นดินเผา แต่บางครั้งมีการพบว่าไม่ใช่เฉพาะพื้นที่ริมแม่น้ำ แต่ก็สามารถขุดสร้างเตาได้บริเวณเนินดินก็มี

4.1.10 เตาขั้นบันได

เตาขั้นบันได (climbing kiln, step kiln) มีลักษณะเป็นห้องเผาแยกแต่ละห้องไต่ระดับขึ้นไปบนเนินเป็นขั้นบันได ห้องละหนึ่งขั้น ในแต่ละห้องจะมีช่องทางเดินลมร้อนเชื่อมต่อถึงกันตั้งแต่ห้องแรกไปถึงห้องสุดท้าย มักไม่พบปล่องควันเนื่องจากห้องสุดท้ายที่อยู่สูงกว่าห้องแรก ๆ จะทำหน้าที่เหมือนเป็นปล่องควันไปในตัวอยู่แล้ว ดังแสดงใน รูปที่ 4.10 มักออกแบบให้ลมร้อนผ่านผลิตภัณฑ์เป็นแบบทางเดินลมร้อนลง โดยแต่

ละห้องเผาจะมีตาไฟเป็นช่องเติมไฟใส่ฟืนเพื่อรักษาอุณหภูมิที่มาจากลมร้อนจากห้องก่อนหน้า ให้มีอุณหภูมิคงที่สม่ำเสมอได้ไล่ไปทีละห้อง เตาชั้นบันไดมักก่อด้วยอิฐดินดิบ ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง มักก่อสร้างโดยมีโรงเรียนปกครองเพื่อกันฝนกันแดดได้ และนิยมทำชั้นวางของที่ด้านหลังเตาเพื่อใช้วางฟืนไว้สำหรับการใส่ในแต่ละตาไฟ เป็นการอบแห้งไม้ฟืนไปด้วยในตัวคล้ายกันกับเตามังกร ในประเทศไทยไม่พบเตาชั้นบันได แต่ยังพบได้ในประเทศเวียดนาม ดังแสดงใน รูปที่ 4.11 และในประเทศจีน



รูปที่ 4.10 เตาชั้นบันไดใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

<https://sites.google.com/site/meeneecat/educational-materials/history-of-kilns-and-designs-gccceramics?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

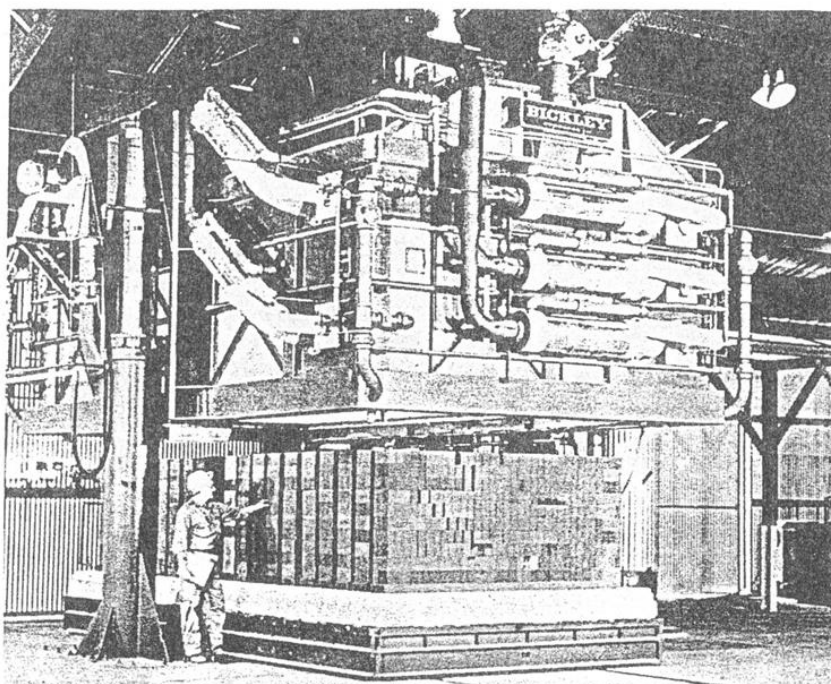


รูปที่ 4.11 เตาชั้นบันไดใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ ที่ประเทศเวียดนาม)

4.1.11 เตาเผารูปประฆัง

เตาเผารูปประฆัง (car-bell kiln) มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำครอบทับผลิตภัณฑ์หรือรถเตา หรือคล้ายฝาชี เนื่องจากบางครั้งผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย หรือเปราะบางไม่เหมาะที่จะเคลื่อนย้าย จึงทำตัวเตาให้มีลักษณะเหมือนระฆังคว่ำครอบทับผลิตภัณฑ์ เมื่อเผาเสร็จแล้ว ก็ยกตัวเตาขึ้นเพื่อนำผลิตภัณฑ์ออกไปแล้วบรรจุใหม่ ดังแสดงใน รูปที่ 4.12



Car-bell kiln for firing refractories

รูปที่ 4.12 เตาเผารูปประฆังคว่ำ [4]

4.2 จำแนกตามผลิตภัณฑ์ที่เผา

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| - เตาเผาโอ่งมังกร | dragon jar kiln |
| - เตาเผาอิฐ | brick firing kiln |
| - เตาเผาปูนขาว | lime kiln |
| - เตาเผาปูนซีเมนต์ | cement & clinker kiln |
| - เตาเผากระเบื้อง | tile firing kiln |
| - เตาเผากระถาง | pot firing kiln |
| - เตาเผาครก | mortar firing kiln |
| - เตาเผาเครื่องสังคโลก | Sungkaloke kiln, Thurieng kilns |
| - เตาถลุงเหล็ก | blast furnace |

- เตาหลอมแก้ว

glass furnace

4.2.1 เตาเผาโอ่งมังกร

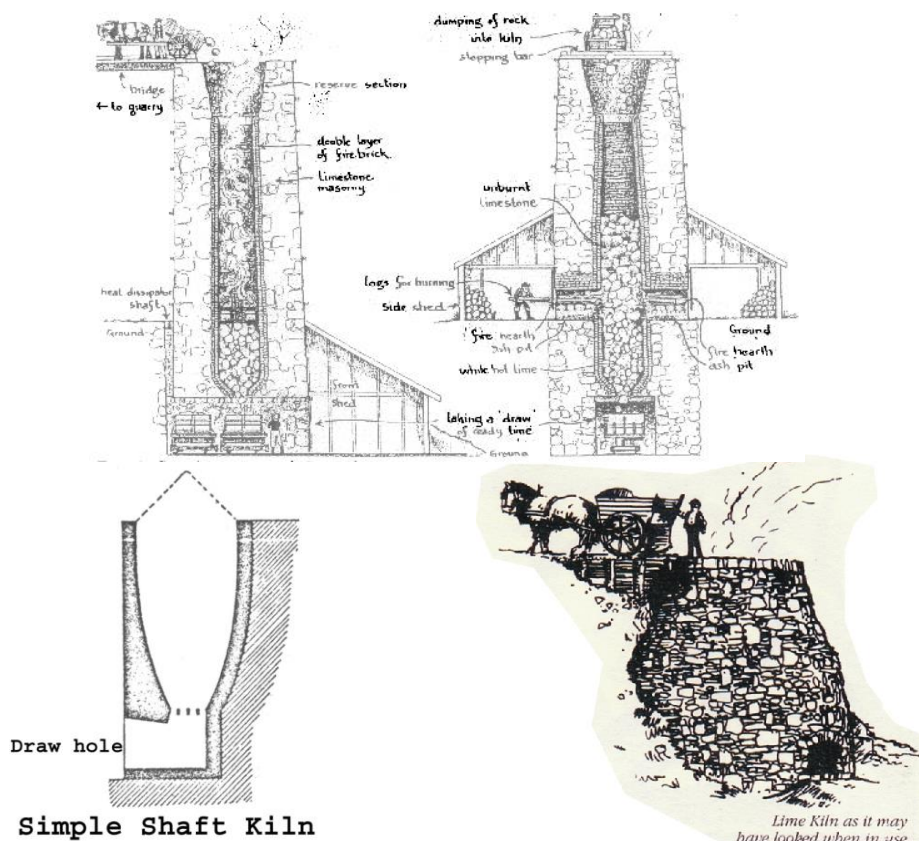
เตาเผาโอ่งมังกร (dragon jar kiln) จากที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ว่าเตามังกรคือเตาที่มีความยาวและใหญ่โต สามารถบรรจุและเผาโอ่งมังกรได้คราวละนับร้อยใบ โดยเตาที่ใช้เผาโอ่งมังกรก็นิยมใช้เตามังกรนั่นเอง ในประเทศไทย นอกจากที่จังหวัดราชบุรีแล้ว ก็ยังพบเตามังกรได้ที่จังหวัดจันทบุรีด้วย

4.2.2 เตาเผาอิฐ

เตาเผาอิฐ (brick firing kiln) เตาที่ใช้เผาอิฐก่อสร้างมีหลายชนิดเตา ได้แก่เตาเผาเรียงกอง เตาเรียงฝั่ง เตาชะวอด เตาอุโมงค์ (แบบมีรถเตา) เตาฮอฟแมน เตาซัดเติล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดคุณภาพของอิฐที่ต้องการผลิต ปริมาณการผลิต ความเชี่ยวชาญของผู้ผลิต รวมทั้งชนิดของเชื้อเพลิงที่ต้องการใช้เผาอิฐด้วย

4.2.3 เตาเผาปูนขาว

เตาเผาปูนขาว (lime kiln) เป็นเตาที่ใช้สำหรับการเผาปูนขาวจากวัตถุดิบหินปูน ซึ่งมีมานานหลายร้อยปี ในอดีตนิยมใช้เตาที่มีลักษณะโครงสร้างง่าย ๆ อาจเป็นทรงกระบอกใส่หินปูนและเชื้อเพลิงเช่นไม้ฟืน หรือ ถ่านหินที่ด้านบน เมื่อหินปูนได้รับความร้อนอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียสขึ้นไป หินปูนจะสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และปูนขาวเป็นผงร่วน ร่วงลงสู่ส่วนล่างของเตา แล้วนำผงปูนขาวออกจากเตาได้ง่าย บางครั้งเรียกว่า เตาอุโมงค์แนวตั้งอย่างง่าย (simple shaft kiln) ดังแสดงใน รูปที่ 4.13 ในประเทศไทย พบได้ที่จังหวัดสระบุรี แต่ที่จังหวัดราชบุรีจะมีการใช้เตาที่มีลักษณะต่างออกไป โดยนิยมใช้เตารูปทรงสี่เหลี่ยม คล้ายกับเตาชะวอด แต่สูงกว่าและเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังแสดงใน รูปที่ 4.14

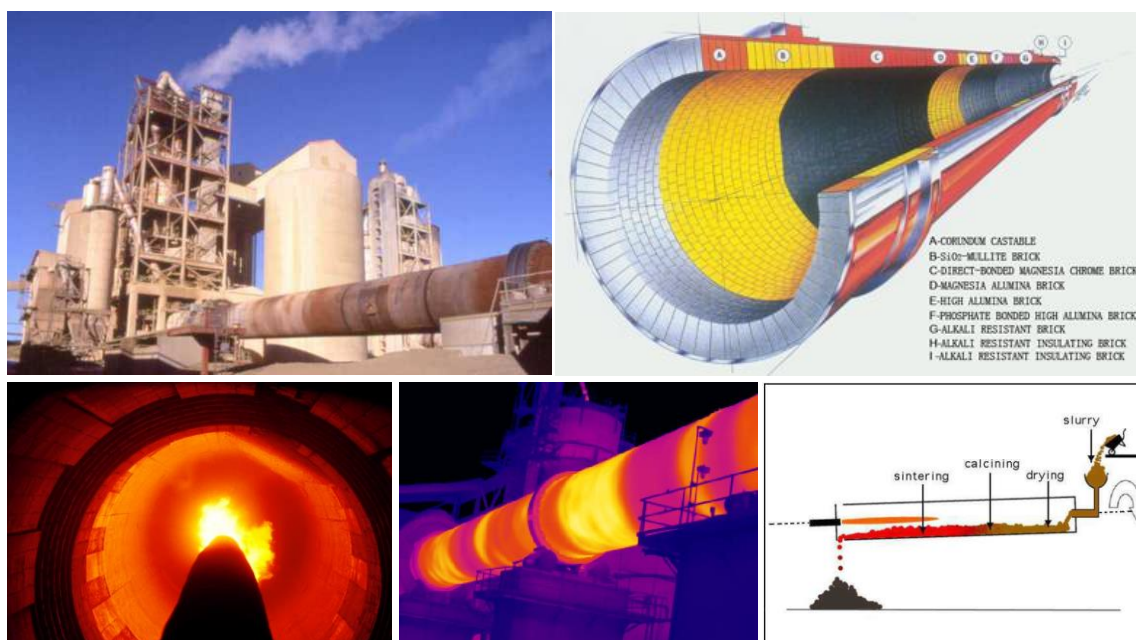


รูปที่ 4.13 เตาเผาปูนขาวรูปทรงอุโมงค์แนวตั้ง[10]

รูปที่ 4.14 เตาเผาปูนขาวรูปทรงสี่เหลี่ยมใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและใช้โบล์เวอร์เป่าอากาศ
(ภาพถ่ายโดย ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ ที่จังหวัดราชบุรี)

4.2.4 เตาเผาปูนซีเมนต์

เตาเผาปูนซีเมนต์ (cement & clinker kiln) เป็นเตาที่ใช้สำหรับเผาปูนซีเมนต์ ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เตาท่อหมุน (rotary kiln) ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ป้อนวัตถุดิบที่ปลายท่อวางเอียงเตาเพื่อให้วัสดุค่อย ๆ เคลื่อนตัวไปตามท่อที่เอียงออกไปอีกปลายหนึ่ง มักมีหัวพ่นเปลวไฟที่ปลายฝั่งด้านวัสดุออก เตาชนิดนี้สามารถผลิตเม็ดปูนแบบต่อเนื่องตลอดเวลาวันละหลายพันตัน และเป็นเตาที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูงมาก



รูปที่ 4.15 เตาเผาปูนซีเมนต์ชนิดโรตารี[16]

4.2.5 เตาเผากระเบื้อง

เตาเผากระเบื้อง (tile firing kiln) หมายถึงเตาที่ใช้สำหรับเผากระเบื้อง ไม่ว่าจะเป็นกระเบื้องปูพื้น บัว ผนัง แกรนิต โมเสก หรือกระเบื้องมุงหลังคา จะเป็นเตาเผาชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เตาโรลเลอร์ หรือเตาแท่งหมุน (roller kiln) เตาอุโมงค์ เตาชุดเตล หรือแม้แต่เตาแบบโดม เตาสี่เหลี่ยม เตาวงกลม ก็มีการใช้งานในการเผากระเบื้องด้วยเช่นกัน

4.2.6 เตาเผากระถาง

เตาเผากระถาง (pot firing kiln) ใช้สำหรับเผากระถางต้นไม้ เนื้อเอิร์ธเทนแวร์ หรือ สโตนแวร์ หากเป็นสินค้าพื้นบ้านแบบดั้งเดิม นิยมใช้เตาพื้น เตาแมงป่อง เตาจีน เتامังกร

4.2.7 เตาเผาครก

เตาเผาครก (mortar firing kiln) เป็นเตาที่เผาได้อุณหภูมิสูงถึง 1200 องศาเซลเซียส เนื่องจากครกจะต้องเป็นเนื้อดินปั้นที่มีความแกร่งพอสมควรระดับสโตนแวร์ขึ้นไป นิยมใช้เตาแมงป่อง บางพื้นที่ก็ใช้เตาจีน หรือเตาหลังเต่า

4.2.8 เตาเผาเครื่องสังคโลก

เตาเผาเครื่องสังคโลก (Sungkaloke kiln, Thurieng kilns) หรือเตาทุเรียง นิยมใช้เตาจีน เนื่องจากได้รับการถ่ายทอดมาจากช่างเครื่องปั้นดินเผาจากประเทศจีนมาตั้งแต่สมัยสุโขทัย นิยมใช้เผาเครื่องสังคโลกมาแต่โบราณ ปัจจุบันมีการเปลี่ยนมาใช้เตาชุดเตล ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง

4.2.9 เตาถลุงเหล็ก

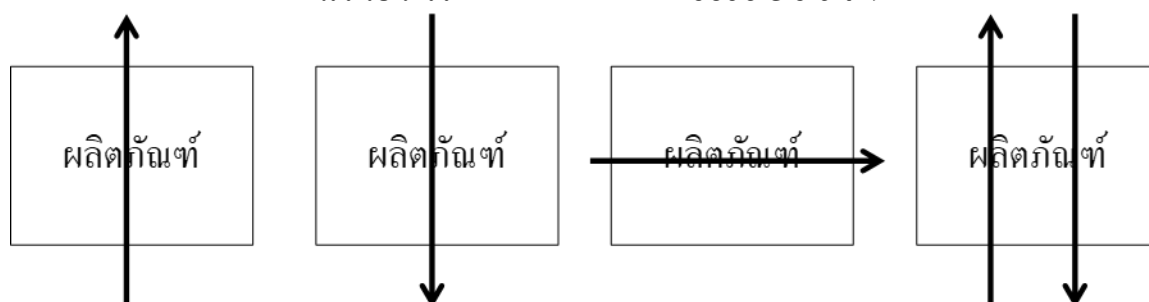
เตาถลุงเหล็ก (blast furnace) เป็นเตาสำหรับใช้ถลุงเหล็ก

4.2.10 เตาหลอมแก้ว

เตาหลอมแก้ว (glass furnace) เป็นเตาสำหรับหลอมแก้ว

4.3 จำแนกตามทางเดินลมร้อน

- เตาทางเดินลมร้อนขึ้นบน up draft kiln
- เตาทางเดินลมร้อนลง down draft kiln
- เตาทางเดินลมร้อนขนาน หรือแนวนอน horizontal draft kiln
- เตาทางเดินลมร้อนผสม double draft kiln



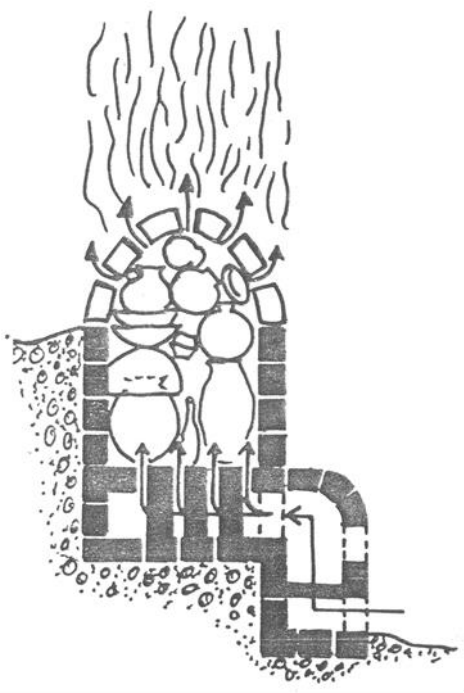
รูปที่ 4.16 ทิศทางของทางเดินลมร้อนในเตาเผาผ่านผลิตภัณฑ์

4.4 จำแนกตามเชื้อเพลิงหรือแหล่งความร้อนที่ใช้เผา

- | | |
|----------------|-----------------------|
| - เตาฟืน | wood firing kiln |
| - เตาแก๊ส | gas firing kiln |
| - เตาไฟฟ้า | electrical furnace |
| - เตาถ่านหิน | coal firing kiln |
| - เตาน้ำมันเตา | heavy oil firing kiln |
| - เตาแกลบ | rice husk firing kiln |
| - เตาขี้เลื่อย | saw dust firing kiln |

4.5 จำแนกตามการสัมผัสของเปลวไฟ

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| - เตาเผาแบบสัมผัสเปลวไฟโดยตรง | direct flame firing kiln |
| - เตาเผาแบบไม่สัมผัสเปลวไฟ | indirect or muffle kiln |



รูปที่ 4.17 เตาเผา (ซ้าย) เตาตะกรับโดนเปลวไฟโดยตรง (ขวา) เตาเผาแบบไม่สัมผัสเปลวไฟ

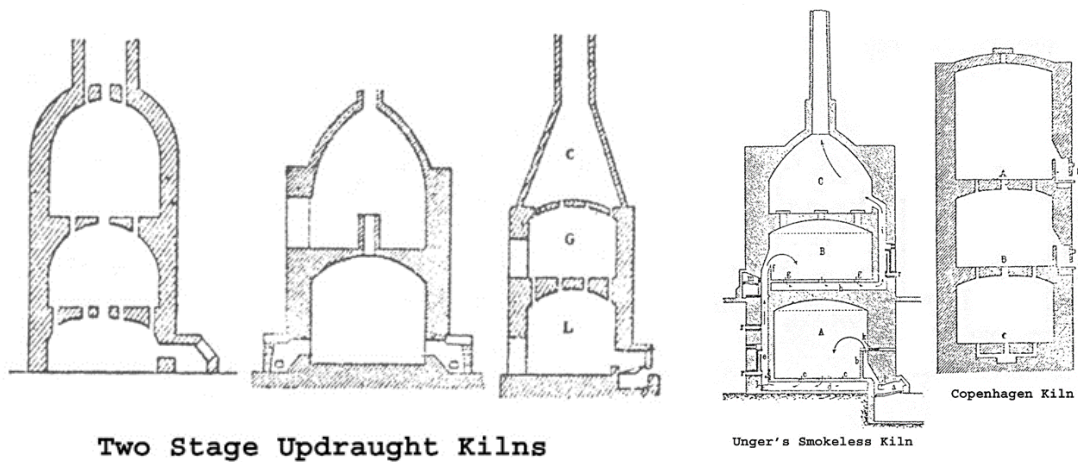
4.6 จำแนกตามความต่อเนื่องของการเผา

- เตาเผาเป็นครั้งๆ เตาเผาไม่ต่อเนื่อง เตาเผาเป็นระยะ ๆ เตาเผาเป็นคาบ intermittent kiln, periodic kiln
- เตาเผากึ่งต่อเนื่อง semi-continuous kiln
- เตาเผาต่อเนื่อง continuous kiln

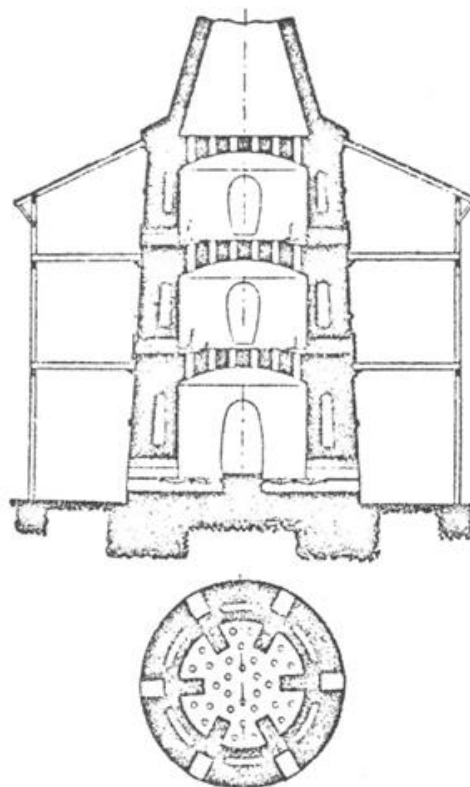
- เตาอุโมงค์ (มีรถเตา) tunnel kiln
- เตาโรตารี เตาทอหมุน rotary kiln, tube furnace
- เตาโรลเลอร์ เตาแท่งหมุน roller kiln

4.7 จำแนกตามโครงสร้าง ความต่อเนื่องของเตา

- เตาเดี่ยว single kiln
- เตาเชื่อมต่อ connected kiln

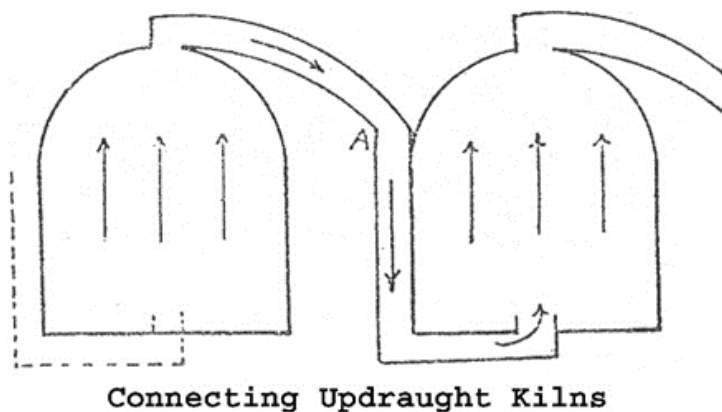


รูปที่ 4.18 เตาเผาเชื่อมต่อแนวตั้ง

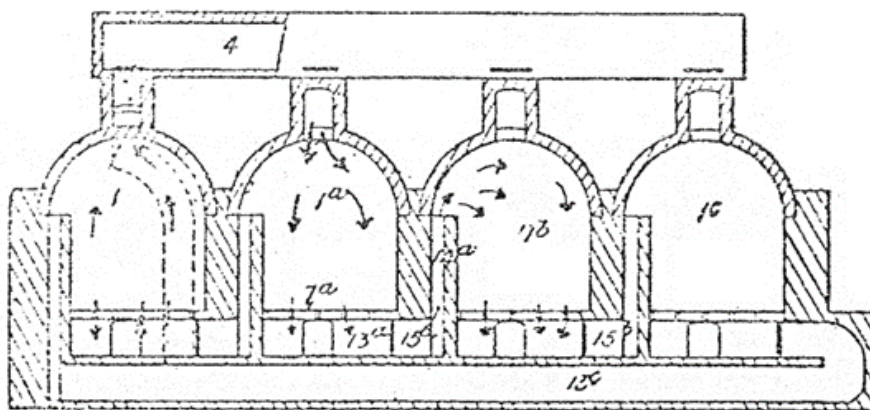


Triple Stage Kiln (Schmatolla)

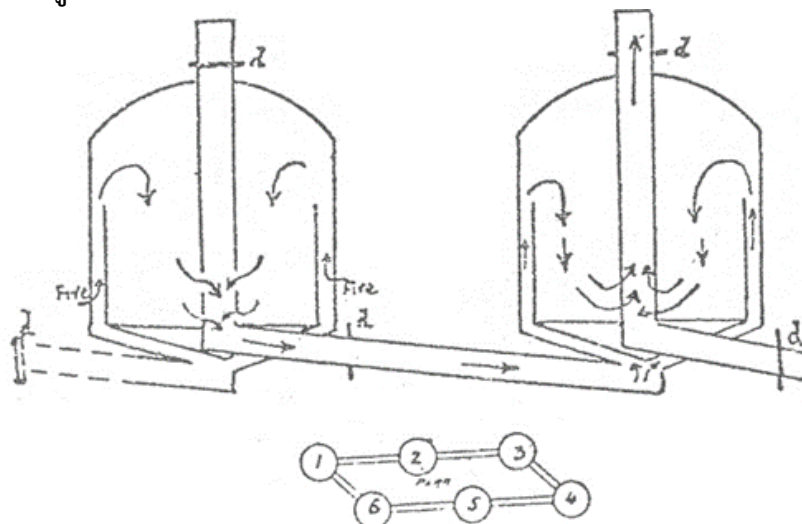
รูปที่ 4.19 เตาเผาเชื่อมต่อแนวตั้งพร้อมโครงสร้างอาคาร



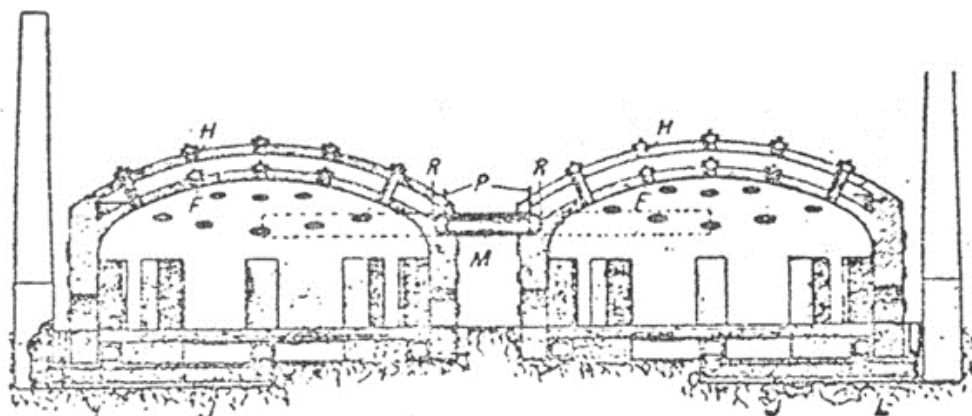
รูปที่ 4.20 เตาเผาเชื่อมต่อแบบลมร้อนขึ้น



รูปที่ 4.21 เตาเผาเชื่อมต่อแบบลมร้อนลงใช้หลังคาร่วมกัน

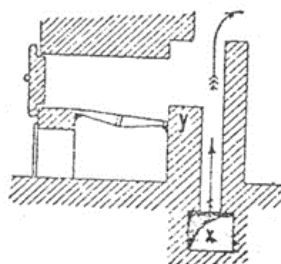
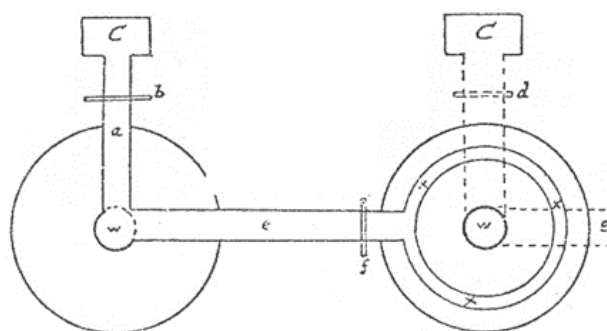


รูปที่ 4.22 เตาเผาเชื่อมต่อแบบลมร้อนลงแยกช่องหลังคา



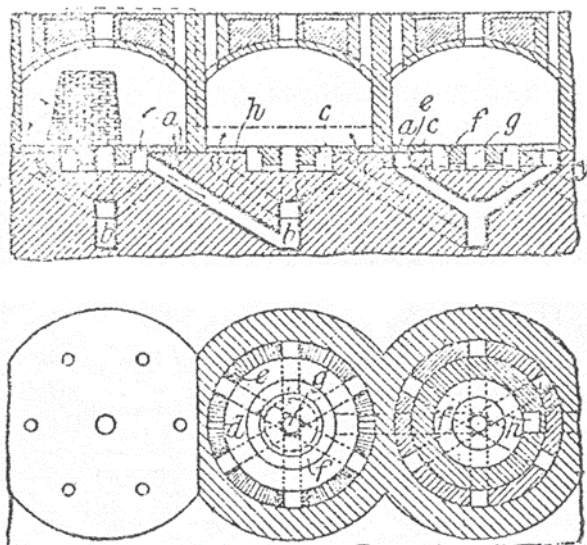
Finch's Conneted Kilns

รูปที่ 4.23 เตาเผาเชื่อมต่อ 2 เตาแยกปล่องควันกัน



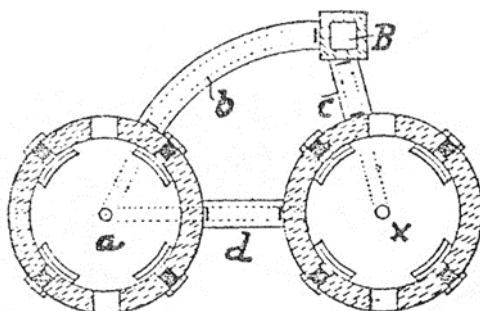
Connecting Downdraught Kilns

รูปที่ 4.24 เตาเผาเผาเชื่อมต่อลมร้อนลงแสดงช่องต่อลมร้อน[10]

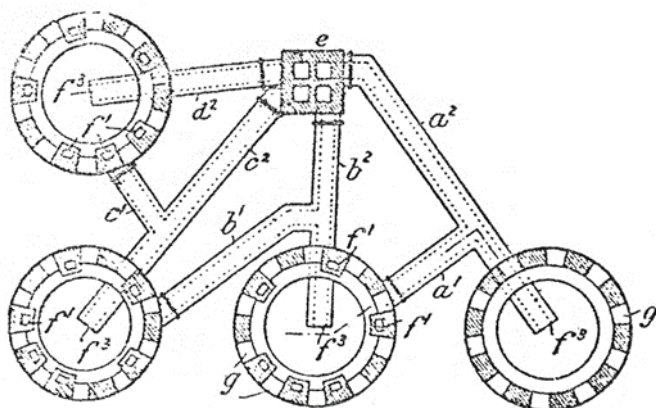


Wundrack's Kiln

รูปที่ 4.25 เตาเผาเชื่อมต่อกันแบบแรก



Warrington's Connected Kilns



Clifford's Connected Kilns

รูปที่ 4.26 เตาเผาเชื่อมต่อกันแบบวาร์ริงตัน และ คลิฟฟอร์ด

บทที่ 5

การออกแบบและก่อสร้างเตาเผาเซรามิก

Design and Construction of Ceramic Kiln

ในการเลือกใช้เตาเผาหรือจะลงทุนซื้อเตาเผาเซรามิก[17] นอกจากเหตุผลในด้านการประหยัดเชื้อเพลิงและความสามารถของเตาที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพแล้ว การเลือกใช้เตาเผาเซรามิกอาจต้องคำนึงถึง

- เชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ในการผลิต ซึ่งอาจเป็นได้ทั้ง ฟืน ไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส หรือสิ่งอื่นใดก็ตามจะต้องคำนึงถึงปริมาณการใช้ในขนาดความยาวกายเพียงพอกับความต้องการหรือไม่

- ชนิดของเตาเผา จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมวาทะไรเตาเผาแบบต่อเนื่องหรือชั่วคราว การใช้เตาอุโมงค์เผาแบบต่อเนื่องแม้จะช่วยให้ต้นทุนการผลิตต่ำก็ตาม จะต้องตรวจสอบลักษณะความพร้อมของโรงงานและความฉะวาทะไรที่จะแกปญหาที่เกิดขึ้นให้ไ้ทันท่วงทีอีกดวย มิฉะนั้นจะเป็นการเสี่ยงต่อความเสียหายเกิดขึ้นได้

- ในด้านระบบการเผาและอัตราการใช้อุณหภูมิภายในเตา จะต้องตรวจสอบชนิด ขนาดของผลิตภัณฑ์แล้วนำมาพิจารณาเลือกใช้เตาในอันดับต่อไป เมื่อพิจารณาถึงเหตุผลดังกล่าวแล้ว การเลือกใช้เตาเผาายังต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้อีกดวย

- ความสามารถในการใช้เตานั้น ๆ ได้ยืดหยุ่นมากน้อยเพียงใด ปญหาอยู่ที่ความต้องการในการผลิตซึ่งควรจะเป็นเตาที่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตได้ช่วงกว้างพอสมควร เพราะในด้านการค้าย่อมมีความต้องการของตลาดที่ไม่แน่นอนจากปริมาณที่คาดการณ์เฉลี่ยความต้องการของตลาด มักจะนิยมเลือกใช้เตาที่สามารถจะผลิตได้สูงต่ำจากปริมาณที่คาดการณ์ไว้ 25 %

- ความคงทนของเตาต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก ปญหาต่าง ๆ ย่อมเกิดขึ้นได้เสมอ ถึงขั้นต้องหยุดการใช้งานและหยุดโรงงานในที่สุด ดังนั้น การเลือกสวณประกอบต่าง ๆ ของเตาควรพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วน โดยเฉพาะจุดที่จะเกิดปญหา เช่น โครงสร้างของเตาอุปกรณ์เตา และสิ่งอื่น ๆ จะต้องนำมาขบคิดและเตรียมการแก้ไขปญหาที่คาดว่าจะเกิดไ้ล่วงหน้า

- ความง่ายและสะดวกต่อการก่อสร้าง หรือการใช้งาน ก็เป็นสวณหนึ่งที่ควรพิจารณา ตลอดจนวิธีการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ กันเตาไม่ควรจะเลือกของที่ยุงยากเกินไป นอกจากนี้ วิธีการควบคุมเตาเผาอาจจะใช้ควบคุมดวยคนหรือเครื่องมืออัตโนมัติ เพื่อ Operate เตาให้ไ้ตามอุณหภูมิที่ต้องการก็ไ้ ระบบการควบคุมควรเลือกใช้ให้ไ้ดีพอและไม่ยากต่อการ Operate หรือ Control นั้น รวมไปถึงเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องควบคุมการเผาอื่นที่จะให้บรรลู่วัตถุประสงค์ที่เราต้องการอีกดวย เหล่านี้เป้นสิ่งจำเป้นมากต่อการเลือกใช้เตา

เมื่อเลือกชนิดและขนาดของเตาได้ไ้แล้ว ก็มาพิจารณาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเตาด้วย ในกรณีที่ใช้อิฐทนไฟเป็นวัสดุในการก่อสร้างเตาเผาเซรามิก ยังต้องมีการพิจารณาถึงชนิดที่จะเลือกใช้ด้วยว่าต้องการใช้งานที่อุณหภูมิเผาที่เท่าใด ลักษณะการเผาเป็นแบบเตาเผาครั้งคราวหรือเตาเผาแบบต่อเนื่อง ดังต่อไปนี้ใน **ตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2**

5.1 วัสดุทนไฟที่ใช้ในการก่อสร้างเตาเผา

ตารางที่ 5.1 ประเภทของวัสดุทนไฟที่ใช้ทำอิฐทนไฟก่อเตาเผาเซรามิก[10]

Fire Clay and High-Alumina Refractory Brick Classes and Types

Class	Type	PCE	Panel Spalling Loss (max. %)	Hot Load Subsidence (max. %)	Reheat Shrinkage (max. %)	Modulus of Rupture (Min. PSI, Kg/mm ²)	Other Test Requirements
FIREBRICK CLAY							
Super Duty	Regular	33	8 at 1649°C (3000°F)	—	1.0 at 1599°C (2910°F)	600 (0.422)	—
	Spall Resistant	33	4 at 1649°C (3000°F)	—	1.0 at 1599°C (2910°F)	600 (0.422)	—
	Slag Resistant	33	—	—	—	1000 (0.703)	Bulk density Min. 140 lb/ft. ³ (2243 Kg/m ³)
High Duty	Regular	31 1/2	—	—	—	—	—
	Spall Resistant	31 1/2	10 at 1599°C (2910°F)	—	—	500 (0.352)	Bulk density Min. 140 lb/ft. ³ (2194 Kg/m ³) or max. porosity of 15%
Semi-silica		31 1/2	—	1.5 at 1349°C (2460°F)	—	300 (0.211)	Silica Content Min. 72%
Medium Duty		29	—	—	—	500 (0.352)	—
Low Duty		15	—	—	—	600 (0.422)	—
HIGH-ALUMINA BRICK							
50% Al ₂ O ₃		34	—	—	—	—	Alumina content 50 ± 2.5%
60% Al ₂ O ₃		35	—	—	—	—	Alumina content 60 ± 2.5%
70% Al ₂ O ₃		36	—	—	—	—	Alumina content 70 ± 2.5%
80% Al ₂ O ₃		37	—	—	—	—	Alumina content 80 ± 2.5%
85% Al ₂ O ₃		—	—	—	—	—	Alumina content 85 ± 2.0%
90% Al ₂ O ₃		—	—	—	—	—	Alumina content 90 ± 2.0%
99% Al ₂ O ₃		—	—	—	—	—	Alumina content 97%

SOURCE: ASTM Chart C27-70

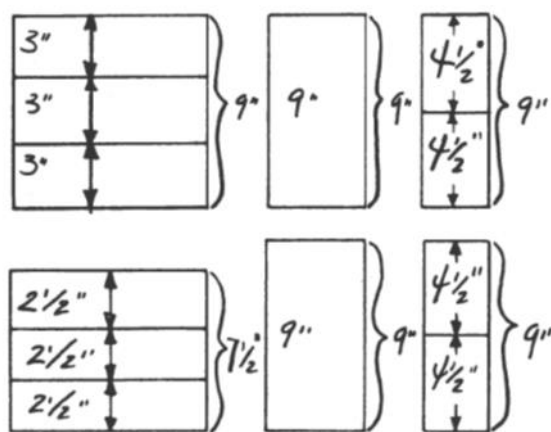
ตารางที่ 5.2 ประเภทของอิฐฉนวนทนไฟสำหรับก่อเตาเผาเซรามิก[10]

Insulating Firebrick

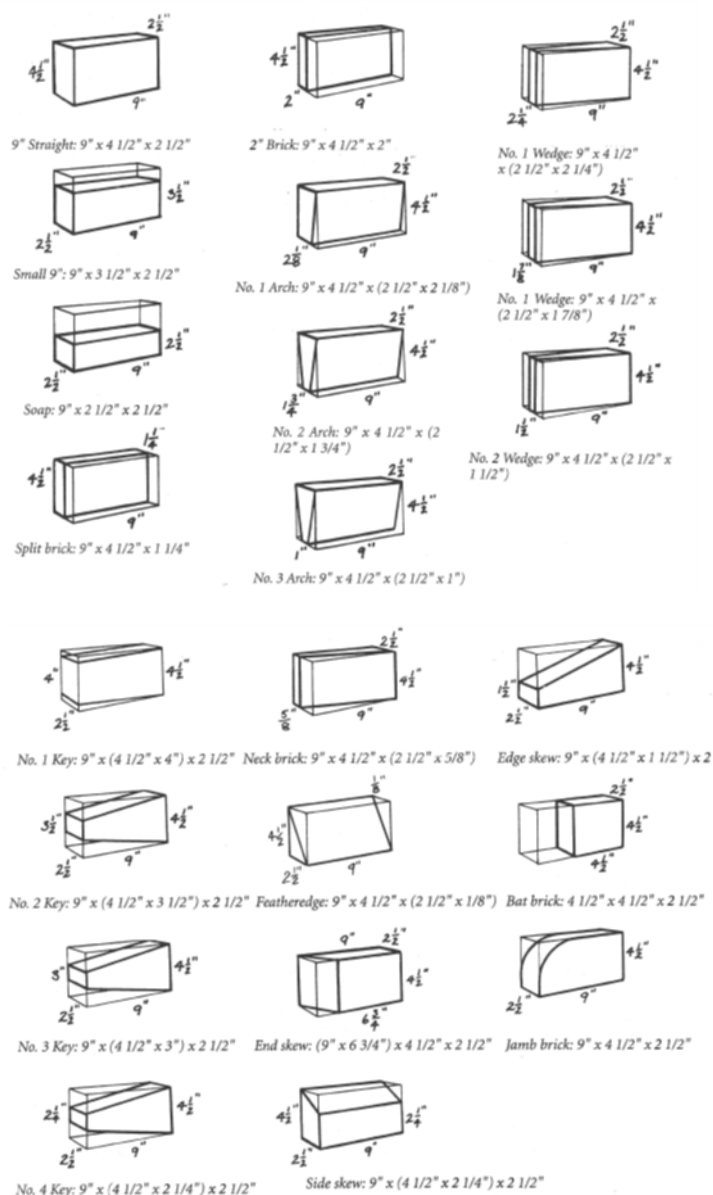
Common Refractory Type		Group Identification No.	Reheat Change not more than 2% when tested at		Bulk Density not greater than	
°F	°C		°F	°C	lb/ft ³	hg/m ³
1620	882	16	1550	845	34	545
2000	1093	20	1950	1065	40	641
2300	1260	23	2250	1230	48	769
2600	1427	26	2550	1400	54	865
2800	1538	28	2750	1520	60	961
3000	1649	30	2950	1620	68	1089
3200	1760	32	3150	1730	95	1522
3300	1816	33	3250	1790	95	1522

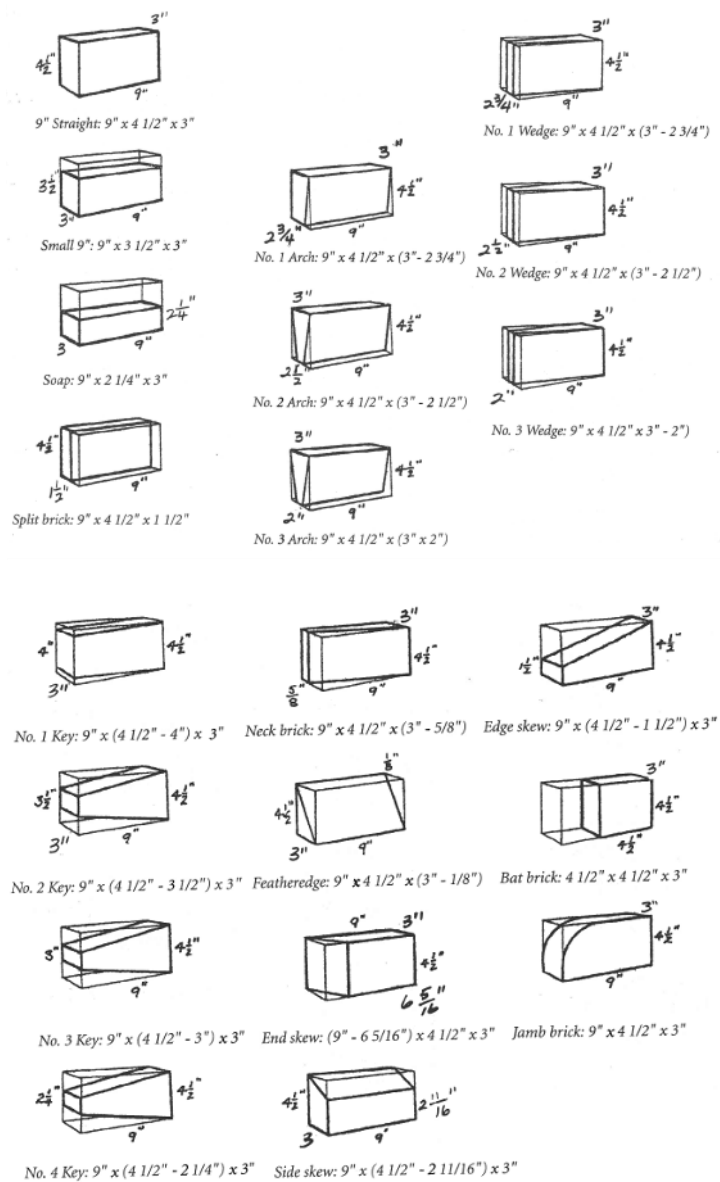
SOURCE: ASTM classification C155-70.

5.2 การก่ออิฐการเรียงอิฐทนไฟในการก่อสร้างเตาเผาเซรามิก

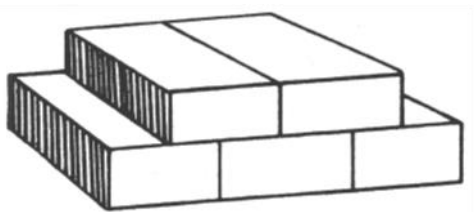


รูปที่ 5.1 อิฐทนไฟขนาดมาตรฐาน 9 นิ้ว x 4 1/2 นิ้ว x 3 นิ้ว
และ 9 นิ้ว x 4 1/2 นิ้ว x 2 1/2 นิ้ว

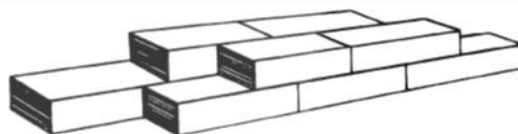




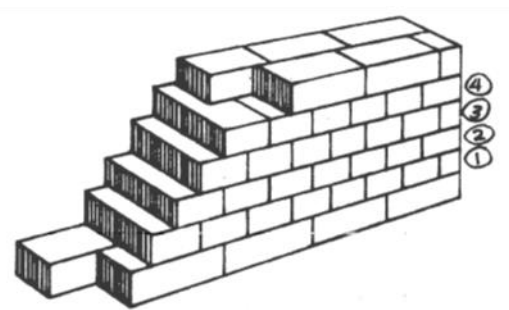
รูปที่ 5.2 อิฐทนไฟขนาดมาตรฐาน 9 นิ้ว รูปทรงต่างๆ



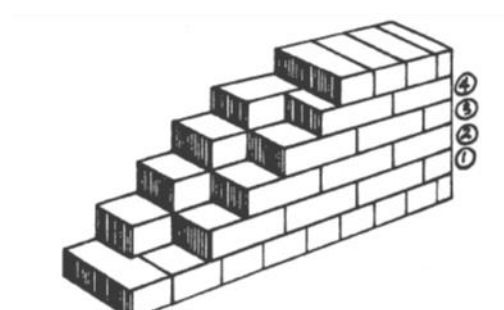
รูปที่ 5.3 การเรียงอิฐทวนไฟแบบ header course



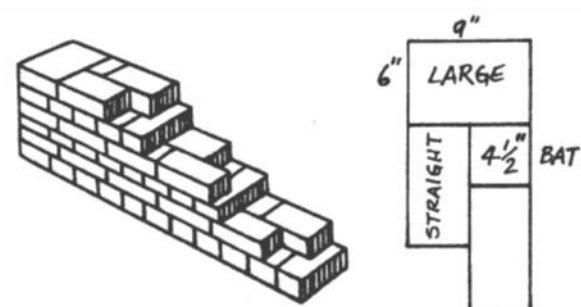
รูปที่ 5.4 การเรียงอิฐทวนไฟแบบ stretcher



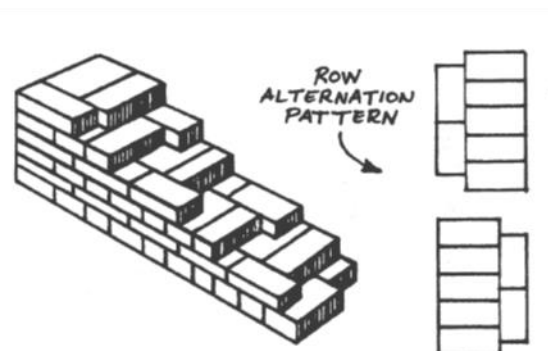
รูปที่ 5.5 การเรียงอิฐทวนไฟแบบสลับกัน header 4
ชั้น สลับกับ stretcher 1 ชั้น ได้กำแพงที่แข็งแรง



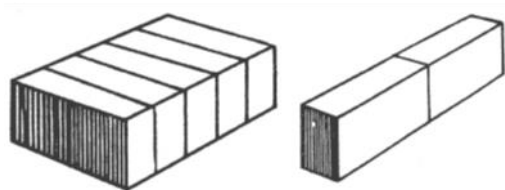
รูปที่ 5.6 การเรียงอิฐทวนไฟแบบสลับกัน stretcher 4
ชั้น สลับกับ header 1 ชั้น สะดวกสำหรับงานซ่อม



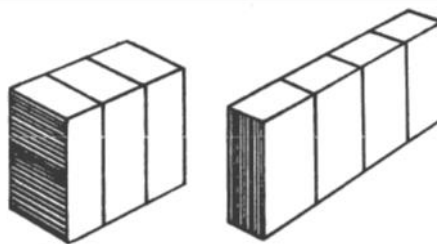
รูปที่ 5.7 การเรียงอิฐทวนไฟแบบสลับกัน header
และ stretcher สำหรับกำแพงหนา 9 นิ้ว



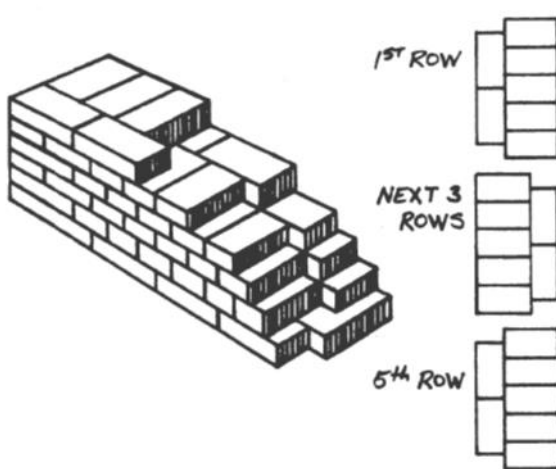
รูปที่ 5.8 การเรียงอิฐทวนไฟแบบสลับกัน header
และ stretcher สำหรับกำแพงหนา 13 1/2 นิ้ว



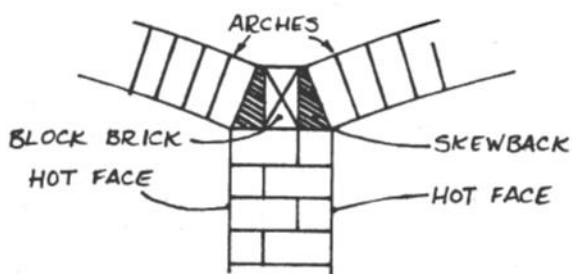
รูปที่ 5.9 การเรียงอิฐทไฟแบบ rowlock course
ด้านชนด้าน และ หัวชนหัว



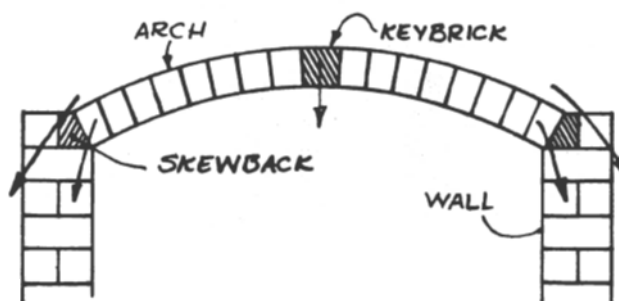
รูปที่ 5.10 การเรียงอิฐทไฟแบบ soldier course
ด้านชนด้าน และ ข้างชนข้าง



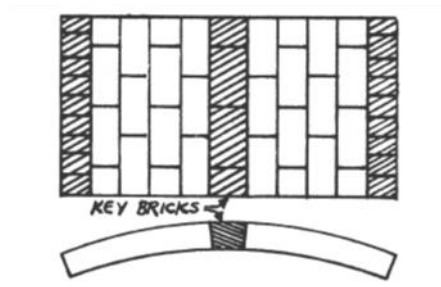
รูปที่ 5.11 การเรียงอิฐทไฟแบบสลับกัน header และ
stretcher สำหรับกำแพงหนา 13 1/2 นิ้ว วิธีที่ 2



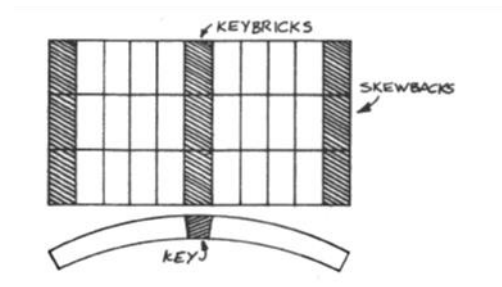
รูปที่ 5.12 การเรียงอิฐทไฟส่วนของกำแพงเพื่อ
รองรับน้ำหนักของหลังคาเตา 2 ห้อง



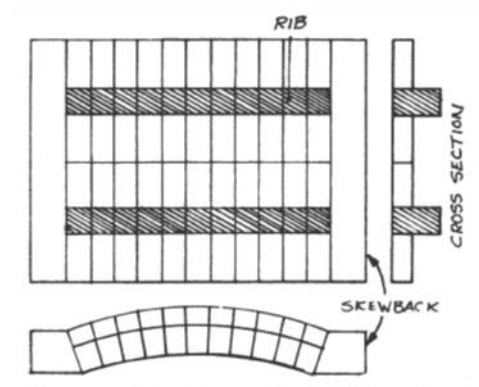
รูปที่ 5.13 การเรียงอิฐทไฟส่วนของกำแพงเพื่อ
รองรับน้ำหนักของหลังคาเตา



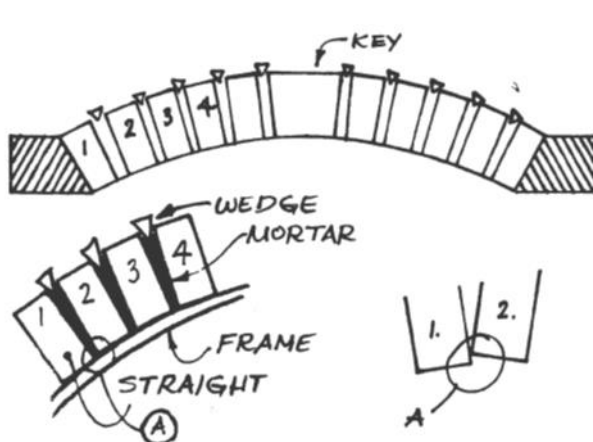
รูปที่ 5.14 การเรียงอิฐทนไฟส่วนหลังคา
หรือส่วนโค้งที่มีอิฐ key brick



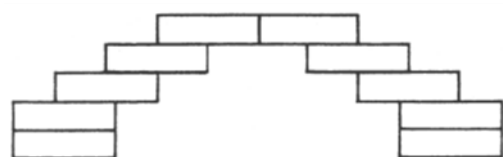
รูปที่ 5.15 การเรียงอิฐทนไฟส่วนหลังคา
หรือส่วนโค้งที่มีอิฐ key brick แบบ ring



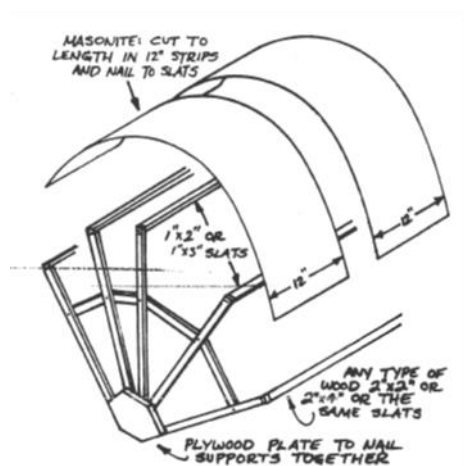
รูปที่ 5.16 การเรียงอิฐทนไฟส่วนหลังคา
หรือส่วนโค้งซ้อน 2 ชั้น มีแกนซี่โครง



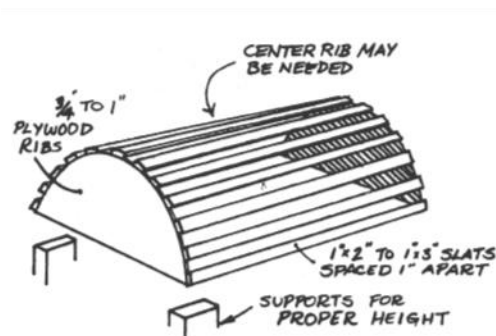
รูปที่ 5.17 การเรียงอิฐทนไฟส่วนหลังคา
หรือส่วนโค้งคองตัว sprung arch



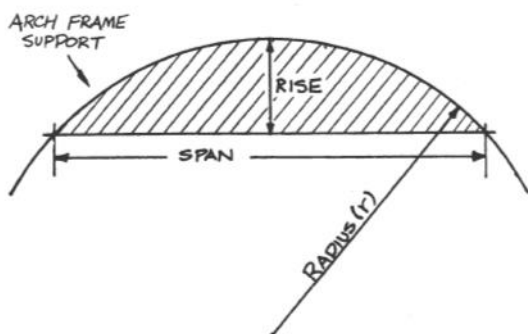
รูปที่ 5.18 การเรียงอิฐทนไฟส่วนโค้งรอด corbel
arch สำหรับทางเดินลมร้อน



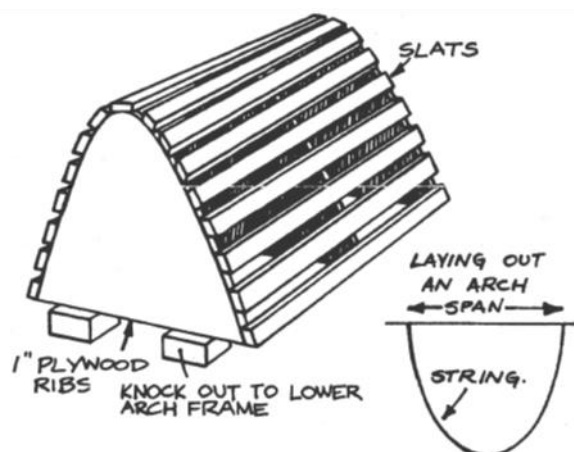
รูปที่ 5.19 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคา



รูปที่ 5.20 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคาแบบถอดใช้ใหม่ได้หลายครั้ง

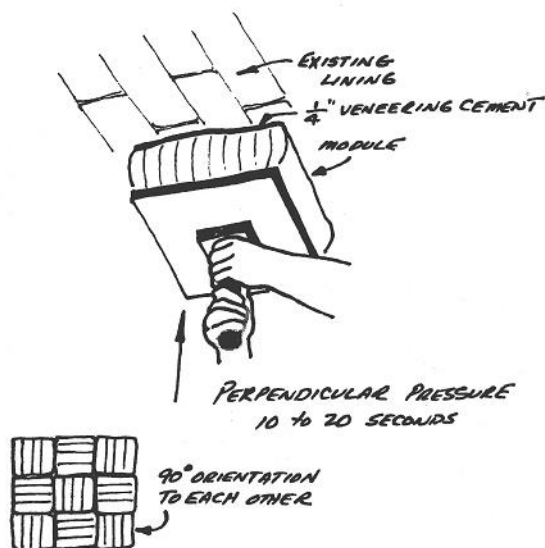


รูปที่ 5.21 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคาแบบส่วนโค้งวงกลมรับน้ำหนักไม่มาก

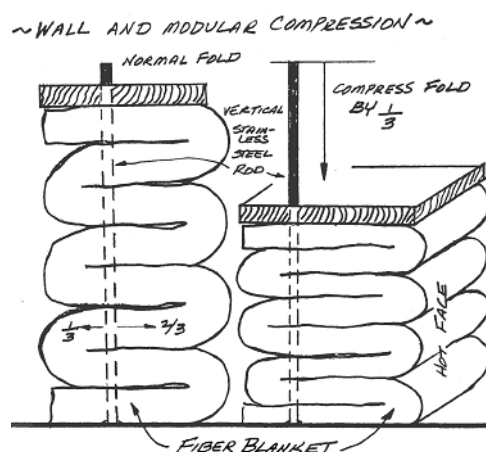


รูปที่ 5.22 ไม้แบบรองรับการก่อโค้งหลังคารับน้ำหนักได้ แบบพาราโบลา หรือ catenary arch

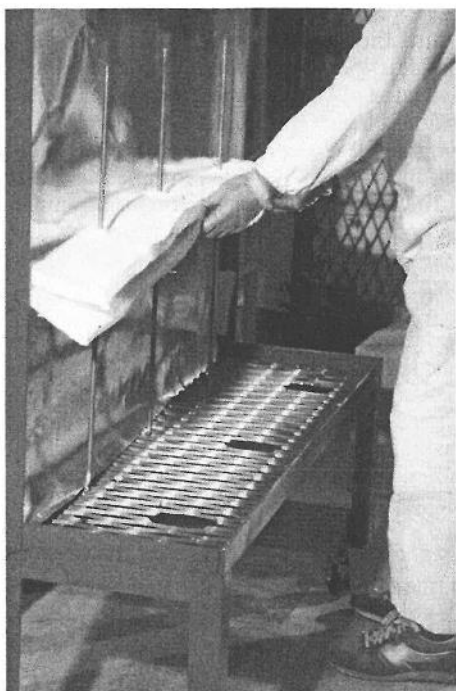
5.3 การใช้เซรามิกไฟเบอร์ในการก่อสร้างเตาเผา



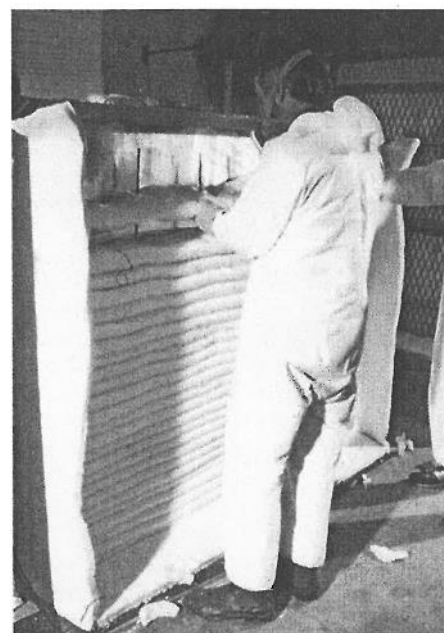
รูปที่ 5.24 การติดตั้งโมดูลเซรามิกไฟเบอร์ทนไฟ



รูปที่ 5.23 เทคนิคการอัดโมดูลเซรามิกไฟเบอร์ทนไฟ



รูปที่ 5.25 การติดตั้งผนังเตาเซรามิกไฟเบอร์ทนไฟ



รูปที่ 5.26 การติดตั้งผนังเตาเซรามิกไฟเบอร์ทนไฟ
โดยการอัดทับทุกๆ 12 นิ้ว

บทที่ 6

การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

Ceramic Products Firing

กระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก หรือการทำให้เซรามิกสุกตัว (maturing) เป็นหัวใจหลักของการผลิตเซรามิก โดยจะเป็นกระบวนการหลังๆ ที่จะต้องมีการเตรียมในขั้นตอนต่างๆ มาเป็นอย่างดี แต่หากการเผามีปัญหาจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาเสียหาย หรือไม่ได้สมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการ ก็อาจจะเป็นการสูญเสียเปล่า กระบวนการทางความร้อนของเซรามิกสำหรับการทำให้เซรามิกสุกตัว สามารถเรียกได้หลายแบบด้วยกัน ดังนี้

- การเผา (firing) เป็นคำเรียกกลางๆ ทั่วๆ ไป
- การหลอม (melting) ใช้สำหรับกรณีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลว ได้แก่ผลิตภัณฑ์แก้ว กลาสเซรามิก
- การสุกตัวเป็นเนื้อแก้ว (vitrification) มีบางส่วนหลอมเป็นเนื้อแก้ว
- การเผาผนึก (sintering) เป็นกระบวนการทางความร้อนเพื่อให้ผงเซรามิกเชื่อมติดกันจนมีความหนาแน่นสูง
- การเชื่อมยึดด้วยปฏิกิริยา (reaction bonding) เป็นการผลิตชิ้นงานเซรามิกที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี สร้างพันธะให้เชื่อมติดกัน
- การเผาให้ได้ตามที่ต้องการ เผาสตุ (เผาปูน) (calcining)
- การเคลือบผิว (coating) เป็นกระบวนการทางเซรามิกอีกอย่างหนึ่ง ที่ใช้ประโยชน์จากสมบัติบางประการของเซรามิกได้แก่ความแข็ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อการขีดข่วนมากขึ้น

การเผาผนึก คือการเชื่อมอนุภาคหรือผงวัสดุให้ติดกัน อัดตัวกันแน่น โดยใช้ความร้อน ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลว โดยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานที่สังเกตได้ดังนี้

- strength, elastic modulus ความแข็งแรง และความยืดหยุ่น
- hardness, fracture toughness ความแข็ง และ ความเหนียว
- electrical and thermal conductivity การนำไฟฟ้า และความร้อน
- permeability to gases and liquids การซึมผ่านของแก๊ส และของเหลว
- average grain number, size and shape จำนวนเกรน ขนาดเกรน และรูปร่างของเกรน
- distribution of grain size and shape การกระจายตัวของเกรน ขนาด และรูปร่าง
- average pore size and shape ขนาดรูพรุน และรูปร่าง

- distribution of pore size and shape การกระจายตัวของขนาดรูพรุน และรูปร่าง
- chemical composition and crystal structure องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างผลึก

ในกระบวนการเผาผนึก ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ เผาผนึกสถานะของแข็ง กับ เผาผนึกที่มีของเหลว (ไม่เกิน 10 vol%) สำหรับการเผาผนึกสถานะของแข็ง จะมีขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

6.1 การเผาผนึก

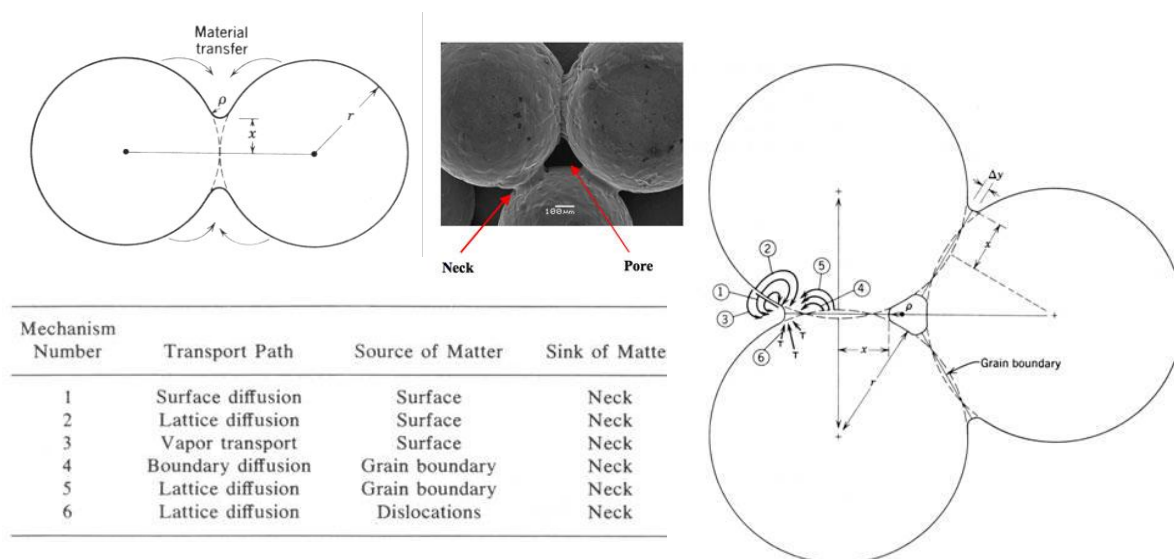
การเผาผนึก (sintering) เป็นกระบวนการทางความร้อนเพื่อให้วัสดุเปลี่ยนสภาพไปตามที่ต้องการ โดยมีการเผาผนึกอยู่ 2 แบบ คือเผาผนึกแบบของแข็งล้วน และการเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลวช่วย

6.1.1 การเผาผนึกแบบของแข็ง

การเผาผนึกแบบของแข็ง (solid state sintering) ไม่มีส่วนของเฟสของเหลวเจือปน เป็นทฤษฎีดั้งเดิมของการเผาผนึก แบ่งเป็นขั้นต่าง ๆ ด้วยกัน 3 ขั้นตอนคือ

ขั้นที่ 1 (initial stage of sintering)

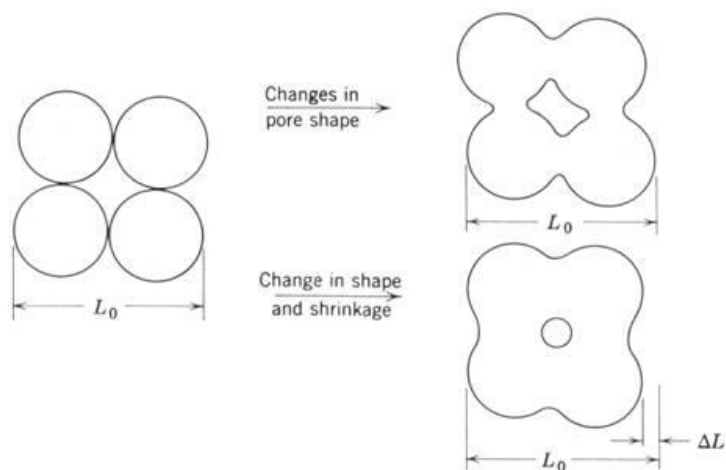
เริ่มมีการเชื่อมต่อกันของอนุภาพ โดยไม่เกิดการหดตัวของชิ้นงาน และเกิดคอคอด (neck) ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 การเกิดคอคอดในขั้นที่ 1

ขั้นที่ 2 (intermediate stage of sintering)

คอคอดเริ่มโตขึ้น เกิดการเรียงตัวของรูพรุน และเริ่มเกิดการหดตัวของชิ้นงาน

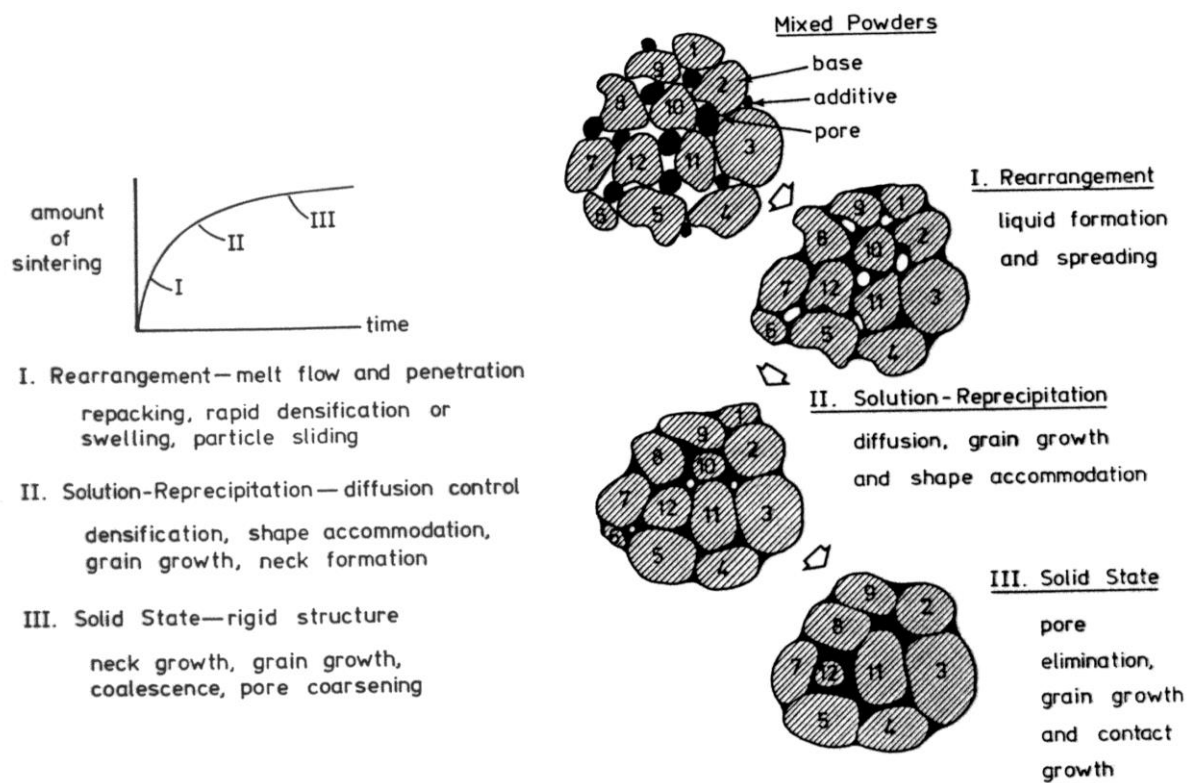


รูปที่ 6.2 การเกิดคอคอดที่โตขึ้นและเกิดการหดตัวในขั้นที่ 2

ขั้นที่ 3 (final stage of sintering)

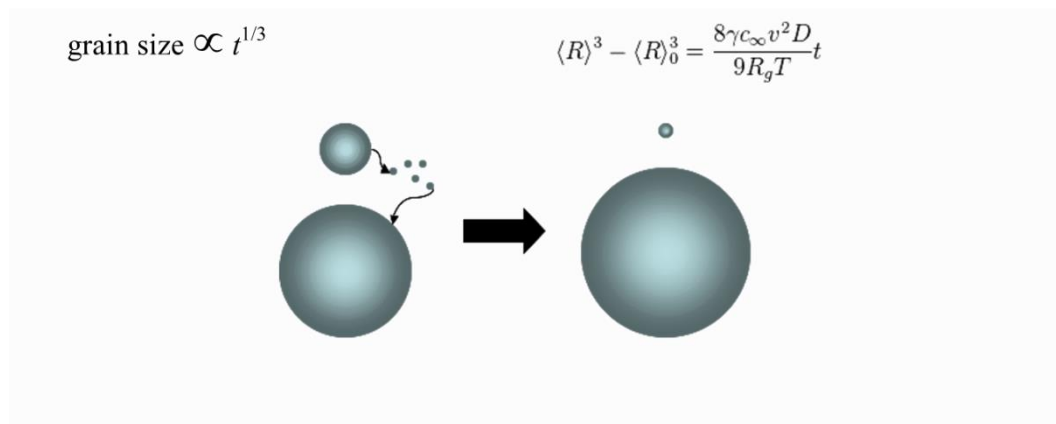
เกิดรูพรุนแบบปิด หรือรูพรุนแยกตัวกัน รูพรุนโดยรวมลดลง แล้วเริ่มเกิดการโตขึ้นของเกรน ความหนาแน่นโดยรวมจะประมาณ 93-95% ขึ้นไป

6.1.2 การเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลว



รูปที่ 6.3 การเผาผนึกแบบมีเฟสของเหลว มี 3 ช่วง

6.2 กลไกการโตของเกรน

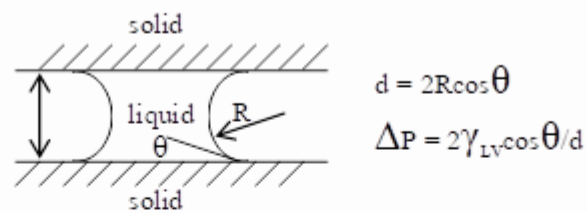


รูปที่ 6.4 การโตของเกรนตามทฤษฎีของ Ostwald ripening process

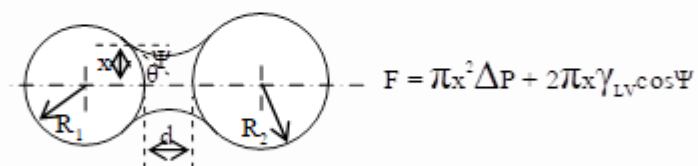
Thermodynamic and kinetic factor of liquid phase sintering

1. Surface tension

2. Capillary force



3. Wetting --- contact angle



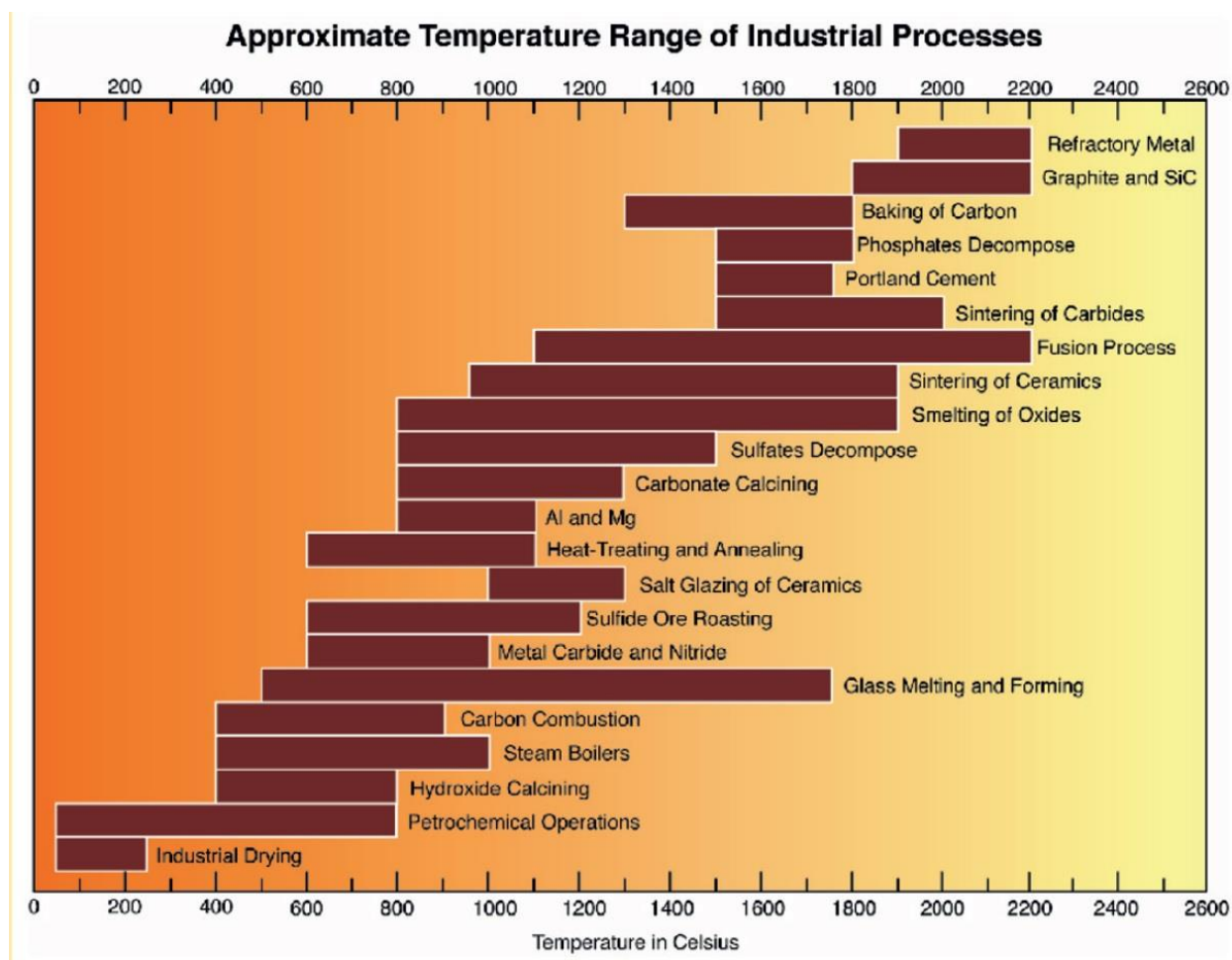
4. Spreading

5. Viscous Flow

6. Solubility

7. Interdiffusion, Reaction and Homogenization

6.3 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงช่วงอุณหภูมิในการผลิตของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางประเภท

http://www.refractoryexpert.com/Publications_files/RefracConsid.pdf

6.4 การเผาเซรามิก

เทคนิคการเผาผนึก (sintering technique)

- hot isostatic pressing (>100 mpa, ตัวอย่างมีความหนาแน่นสูงมาแล้วหรือแคปซูล)
- gas pressure sintering (>1 mpa)
- gas pressureless sintering (1 atm)
- hot pressing (20-200 mpa)
- pressureless sintering
- vacuum sintering (< 1 atm)
- air sintering
- reaction bonding (sintering)

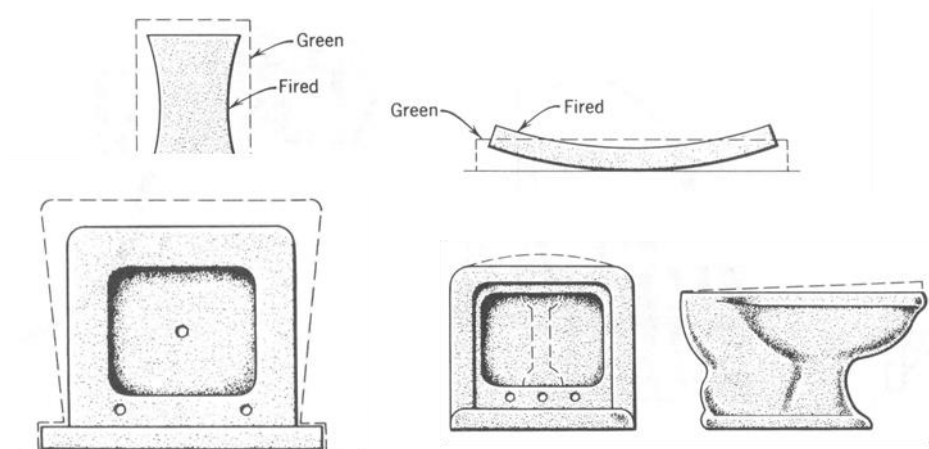
6.5 ข้อพึงระวังและข้อจำกัดในการเผาเซรามิก

ข้อจำกัดในการออกแบบเครื่องใช้เซรามิก

- เซรามิกมีการหดตัวในระหว่างการผลิต
 - หดตัวจากการแห้ง drying shrinkage 3-5 %
 - หดตัวจากการเผา firing shrinkage 5-8 %

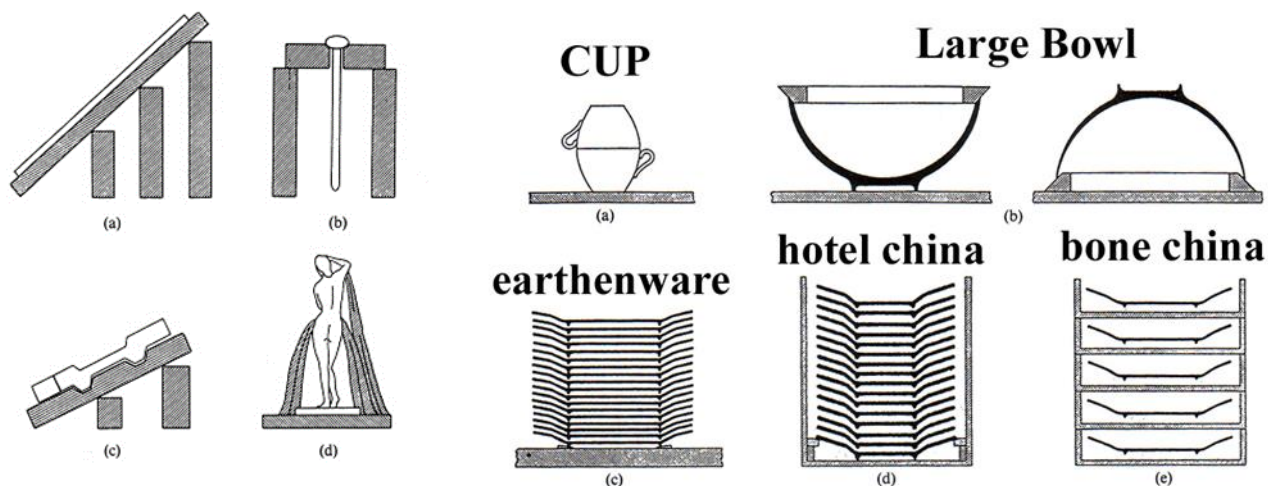
จึงต้องมีการออกแบบเผื่อค่าขนาดของชิ้นงาน

- เซรามิกมีการยวบตัวขณะเผา
- ไม่สามารถออกแบบให้มีมุมหรือเหลี่ยมได้

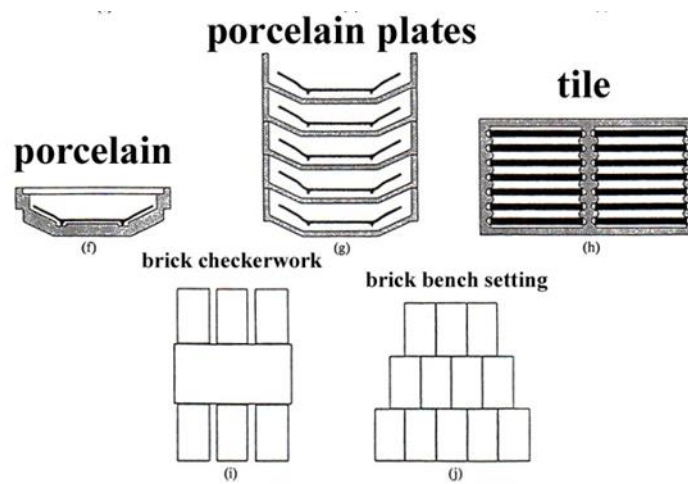


รูปที่ 6.6 ตัวอย่างแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกบางชนิดที่ต้องการเผื่อการยุบตัว

วิธีการเรียงผลิตภัณฑ์เพื่อลดการโค้งงอ



รูปที่ 6.7 เทคนิคในการวางเรียงเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีรูปทรงที่บิดเบี้ยวได้ง่าย



รูปที่ 6.8 เทคนิคในการวางเรียงเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกบางประเภท

บทที่ 7

เทคนิคการเผาและการควบคุมเตาเผาเซรามิก

Ceramic Firing Technique and Control

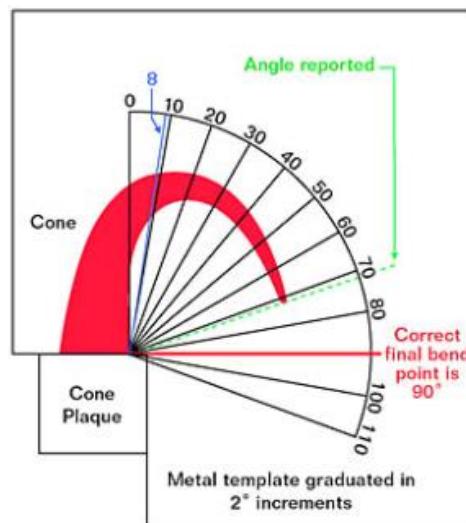
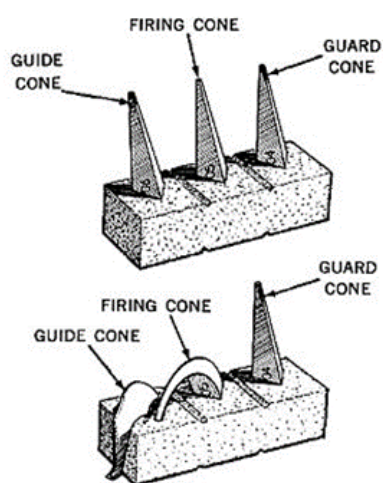
การเผาในทางเซรามิก คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตา ภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดิน หรือส่วนผสมวัตถุดิบ ให้เป็นวัสดุที่มีความแข็งแกร่งเหมือนหิน ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวร และสวยงาม

7.1 เทคนิคในการวัดอุณหภูมิ

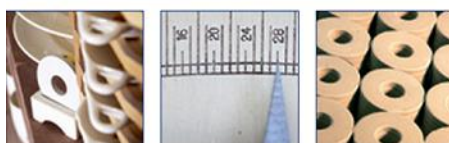
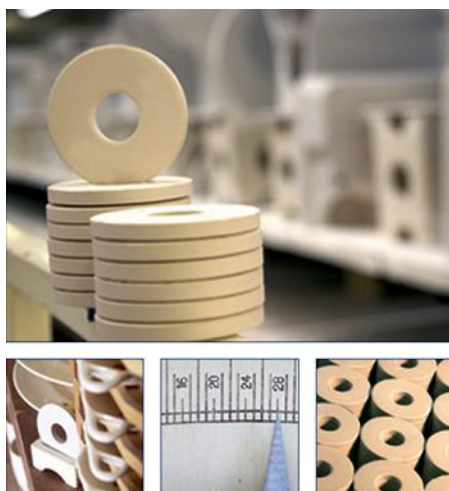
1. คูสีไฟ (color temperature)
2. วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple)
3. ไพโรมิเตอร์ (pyrometer)
4. โคนวัดอุณหภูมิ (pyrometric cone equivalent)
5. แหวนวัดอุณหภูมิ (thermal ring, bullers ring)

ตารางที่ 7.1 วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple)

Thermocouple type	Temperature range °C	Metal
T	-270 to 400	Cu/Constantan
N	-270 to 1300	NiCrSi/NiSi
E	-270 to 910	NiCr/Constantan
J	-210 to 1200	Fe/Constantan
K	-270 to 1370	NiCr/NiSi
B	20 to 1820	PtRh30 / PtRh6
R	-50 to 1760	PtRh13 / Pt
S	-50 to 1760	PtRh10 / Pt



รูปที่ 7.1 การใช้โคนในการวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผา



รูปที่ 7.2 ตัวอย่างวงแหวนที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา

ตารางที่ 7.2 อุณหภูมิมาตรฐานของโคนแต่ละเบอร์แต่ละชนิด

**Temperature Equivalents (°C)
For Orton Pyrometric Cones**

	Self Supporting Cones						Large Cones				Small
	Regular			Iron Free			Regular		Iron Free		Regular
	Heating Rate °C/hour (last 100 °C of firing)										
Cone	15	60	150	15	60	150	60	150	60	150	300
022		586	590				N/A	N/A			630
021		600	617				N/A	N/A			643
020		626	638				N/A	N/A			666
019	656	678	695				676	693			723
018	686	715	734				712	732			752
017	705	738	763				736	761			784
016	742	772	796				769	794			825
015	750	791	818				788	816			843
014	757	807	838				807	836			870
013	807	837	861				837	859			880
012	843	861	882				858	880			900
011	857	875	894				873	892			915
010	891	903	915	871	886	893	898	913	884	891	919
09	907	920	930	899	919	928	917	928	917	926	955
08	922	942	956	924	946	957	942	954	945	955	983
07	962	976	987	953	971	982	973	985	970	980	1008
06	981	998	1013	969	991	998	995	1011	991	996	1023
05½	1004	1015	1025	990	1012	1021	1012	1023	1011	1020	1043
05	1021	1031	1044	1013	1037	1046	1030	1046	1032	1044	1062
04	1046	1063	1077	1043	1061	1069	1060	1070	1060	1067	1098
03	1071	1086	1104	1066	1088	1093	1086	1101	1087	1091	1131
02	1078	1102	1122	1084	1105	1115	1101	1120	1102	1113	1148
01	1093	1119	1138	1101	1123	1134	1117	1137	1122	1132	1178
1	1109	1137	1154	1119	1139	1148	1136	1154	1137	1146	1184
2	1112	1142	1164				1142	1162			1190
3	1115	1152	1170	1130	1154	1162	1152	1168	1151	1160	1196
4	1141	1162	1183				1160	1181			1209
5	1159	1186	1207				1184	1205			1221
5½	1167	1203	1225				1201	1223			N/A
6	1185	1222	1243				1220	1241			1255
7	1201	1239	1257				1237	1255			1264
8	1211	1249	1271				1247	1269			1300
9	1224	1260	1280				1257	1278			1317
10	1251	1285	1305				1282	1303			1330
11	1272	1294	1315				1293	1312			1336
12	1285	1306	1326				1304	1324			1355
13*	1310	1331	1348				1321	1346			N/A
14*	1351	1365	1384				1388	1366			N/A

7.2 บรรยากาศที่ใช้ในการเผาเตาโดยทั่วไป

7.2.1 บรรยากาศออกซิเดชัน (oxidation firing)

เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้ อย่างสมบูรณ์ และใช้ออกซิเจนมากเกินไป ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้ว จะมีออกซิเจนเหลืออยู่

7.2.2 บรรยากาศรีดักชัน (reduction firing)

เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ในเตาเผา มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้ว จะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เหลืออยู่

7.2.3 บรรยากาศนิวทรัล (neutral firing)

เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่เลย การเผาไหม้ มีออกซิเจนที่พอดี

7.3 การเผาเซรามิก

การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกมี 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การเผาดิบ (biscuit firing)
2. การเผาเคลือบ (gloss firing)
3. การเผาตกแต่ง (decorating firing)

7.3.1 การเผาดิบ (biscuit firing)

ชิ้นงานที่ผ่านการเผาแล้ว ยังคงมีความชื้น และสารอินทรีย์ อยู่ในชิ้นงาน การเผาไล่ความชื้น และสารอินทรีย์ ก่อนนำไปชุบเคลือบ เป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากช่วยลดปริมาณน้ำ ในชิ้นงาน ซึ่งเป็นตัวการ ทำให้เกิดแรงดัน จนชิ้นงานอาจจะบิด ในการเผาเคลือบ ถ้าชิ้นงานถูกเผาดิบมาก่อน การเผาในช่วงแรก แรงไฟเร็วขึ้นได้ การชุบเคลือบ จะชุบได้ง่ายกว่า ชิ้นงานที่ยังไม่ได้เผาดิบ บรรยากาศของการเผาดิบ คือ บรรยากาศออกซิเดชัน (oxidation firing : OF) ที่เผาบรรยากาศนี้ เพื่อเปลี่ยนเหล็กออกไซด์ ในชิ้นงานให้อยู่ในรูปของสารประกอบของเฟอร์ริกออกไซด์

การเผาดิบ คือการเผาครั้งที่หนึ่ง โดยยังไม่ได้ชุบน้ำเคลือบ สามารถที่จะเผาในอุณหภูมิต่ำ หรืออุณหภูมิสูงก็ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้ว จะมีความพรุนตัวสูง เนื่องจากการเผาดิบ เผาในอุณหภูมิต่ำ 750-800 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์ สามารถดูดซึมน้ำเคลือบได้ดี เหมาะสำหรับผู้ไม่ชำนาญในการชุบเคลือบ เมื่อชุบเสีย สามารถนำผลิตภัณฑ์ ไปล้างเคลือบออก ผึ่งให้แห้ง แล้วนำมาเคลือบใหม่

วงจรการเผาดิบผลิตภัณฑ์ ประเภทถ้วยชาม แจกันที่มีขนาดสูงไม่เกิน 30 เซนติเมตร ใช้วงจรการเผาดิบธรรมดา แต่ถ้าเป็นงานประติมากรรม หรืองานที่มีความหนาเกิน 1 นิ้ว ต้องเผาให้ช้าลงกว่าธรรมดา ควรแยกเผาคนละเตา

สรุปการเผาดิบ จะต้องเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ (fully oxidation) ตั้งแต่ต้นจนจบ 24-750 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 6-7 ชั่วโมง ระวังไม่ให้เกิดเขม่า หรือควันสีดำจับผลิตภัณฑ์ และเตาเผา ถ้าเป็น

ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ ควรอุ่นที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ผึ่งในแสงแดดร้อนจัด อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป ผลิตภัณฑ์อาจแตกได้ เผาเสร็จแล้ว ทิ้งให้เตาเย็นลง เท่ากับเวลาที่ทำกาเผา ห้ามเปิดเตาก่อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์กระทบอากาศเย็นนอกเตา จะแตกได้ back

7.3.2 การเผาเคลือบ (gloss firing)

ชิ้นงานที่เผาดิบ ถูกนำมาชุบเคลือบแล้วเผา เพื่อให้เคลือบหลอมเป็นแก้ว ติดแน่นอยู่บนผิวชิ้นงาน การเผาเคลือบ จะเผาที่อุณหภูมิเท่าใด ภายในบรรยากาศใด ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น การเผา ผลิตภัณฑ์ฟอร์ชเลน เริ่มต้นเผา ภายใต้บรรยากาศออกซิเดชัน ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มจุดเตา จนถึงอุณหภูมิ ประมาณ 950 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น เผาภายใต้บรรยากาศรีดักชัน (reduction firing : RF) จนถึง อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ

ภาชนะที่ชุบเคลือบแล้วทุกชิ้น ต้องเช็ดกันผลิตภัณฑ์ให้หมดเคลือบ เพื่อป้องกันการหลอมละลายของ เคลือบ ติดบนแผ่นรองเตาเผา ผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจะต้องวางห่างกันเล็กน้อย ไม่ให้น้ำเคลือบสัมผัสกัน เพราะ เคลือบจะหลอมติดกัน เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง

ผลิตภัณฑ์ในเตาแก๊ส ควรวางห่างจาก บริเวณหัวฟันทันเล็กน้อย ถ้าผลิตภัณฑ์โดนเปลวไฟเสีย เคลือบจะ ต่าง ในเตาไฟฟ้า อย่างวางผลิตภัณฑ์ชิดชิดลวดมากเกินไป เคลือบจะไหล ติดชิดลวดเสียหายได้ ผลิตภัณฑ์ใหญ่ ควรวางไว้กลาง ๆ เตา ให้ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ ลดความบิดเบี้ยวหลังการเผา

วงจรในการเผาเคลือบ

ช่วงที่ 1 อุณหภูมิห้อง 24-950 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5-6 ชั่วโมง

ช่วงที่ 2 950-1250 องศาเซลเซียส OF ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง

หรือ 950-1250 องศาเซลเซียส RF ใช้เวลา 4-5 ชั่วโมง

ช่วงที่ 3 เผาเย็นไฟที่อุณหภูมิกงที่ (soaking) 1250 องศาเซลเซียส = 15 นาที

การเผาในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ ต้องใช้เวลาในการเผา นานกว่าเตาไฟฟ้าเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ความจุของเตาเผา เตาขนาดใหญ่ จะต้องใช้เวลาในการเผานานขึ้น และแช่อุณหภูมิกงที่ไว้นาน 20-30 นาที โดยปกติเตาเผาทุกเตา บริเวณชั้นบน จะร้อนกว่าด้านล่าง 20-30 องศาเซลเซียส ผู้ใช้เตาควรสังเกตผล การเผาทุกครั้ง เพื่อให้ทราบความแตกต่าง ของเตาเผาแต่ละเตา back

7.3.3 การเผาตกแต่ง (decoration firing)

ชิ้นงานที่เผาเคลือบแล้ว นิยมตกแต่งด้วยสี หรือติดรูปลอก (decal) ที่ทำขึ้นสำหรับตกแต่งสี โดยเฉพาะ ติดลงไปบนภาชนะที่เคลือบ แล้วนำไปเผา เพื่อให้สีตกแต่ง ติดทนกับชิ้นงาน เรียกว่า การตกแต่ง บนเคลือบ (on glaze firing) อุณหภูมิที่ใช้เผาตกแต่งบนเคลือบ ประมาณ 650-850 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับ ชนิดสี (pigment) หรือประเภทวัตถุดิบ ที่นำมาทำสีว่าจะสุกที่อุณหภูมิใด

การเผาสีตกแต่งลอก และสีเงินสีทอง จะต้องเผาในบรรยากาศสันดาปสมบูรณ์ ตลอดการเผา จาก อุณหภูมิห้องถึง 750 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไม่ควรมีความชื้นอยู่ ถ้าเตาเผามีความชื้นจากการเผาดิบ เมื่อนำ

สีทอง เผาต่อจากเตาเผาดิบ สีทองจะหมอง เพราะไม่ชอบความชื้น สีเขียนก็จะพอง เพราะมีความชื้นในเตาเผา มากเกินไป

ดังนั้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการเผาที่ 750 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับการเผาสีตกแต่ง ก็ไม่ควรเอา ชิ้นงานเขียนสี และติดรูปลอกเข้าเตาเผาในการเผาดิบ เพราะชิ้นงานที่ออกมา จะมีตำหนิ ไม่ได้มาตรฐาน สี หมองคล้ำ หรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

บทที่ 8

การให้ความร้อนสำหรับเตาเผาเซรามิก

Ceramic Kiln Heating Process

การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก ด้วยเตาเผาเซรามิก แบ่งการให้ความร้อนตามแหล่งพลังงานได้ 2 ประเภท

- แหล่งความร้อนจากการเผาไหม้ combustion heat
- แหล่งความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า electrical heat

8.1 ความร้อนจากการเผาไหม้

เตาเผาเซรามิกที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายชนิด

- ฟืน (ไม้ยางพารา ไม้พื้นเบญจพรรณ)
- วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร (ไม้ก้านมะพร้าวหรือก้านจาก ฟางข้าว แกลบ ชี้อย)
- ถ่านหิน
- น้ำมันเตา
- แก๊สหุงต้ม
- แก๊สธรรมชาติ

8.1.1 แก๊สธรรมชาติ NG (natural gas)

แก๊สสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เกิดจากการทับถมของซากพืช และสัตว์ จุลินทรีย์แปรสภาพเป็นแก๊ส เนื่องจากความร้อน และ ความดันใต้ผิวโลก

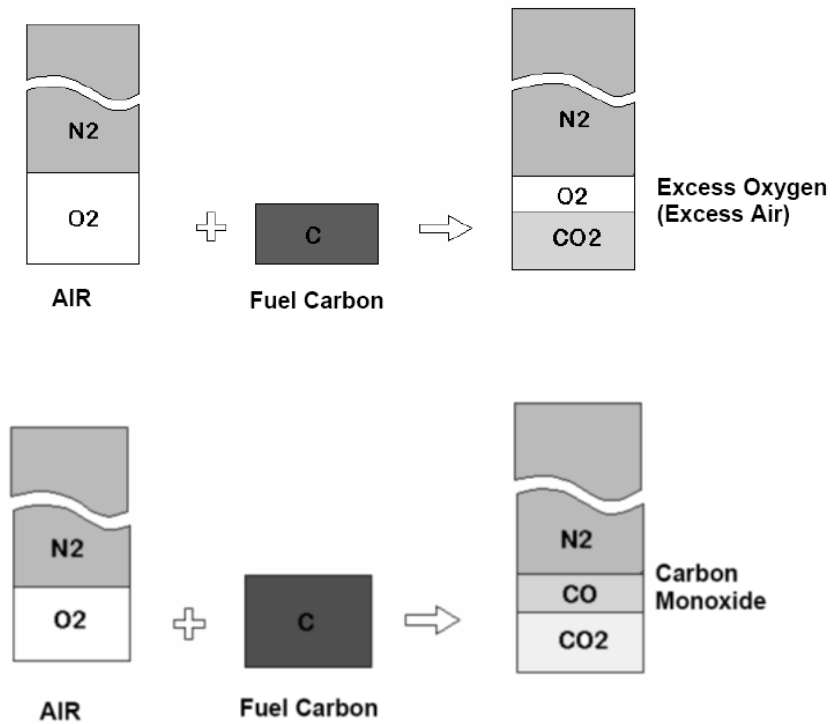
- ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น
- เบากว่าอากาศ (M ของ $\text{CH}_4 = 16$, Air = 29)
- เชื้อเพลิงสะอาด
- แก๊สแห้ง มีเทน (70%) อีเทน (10%)
- แก๊สขึ้น แก๊สมี โปรเพน บิวเทน ไฮโดรคาร์บอนเหลว แก๊สโซลีน เพนเทน ผสมอยู่มาก

8.1.2 แก๊สหุงต้ม LPG (liquefied petroleum gas)

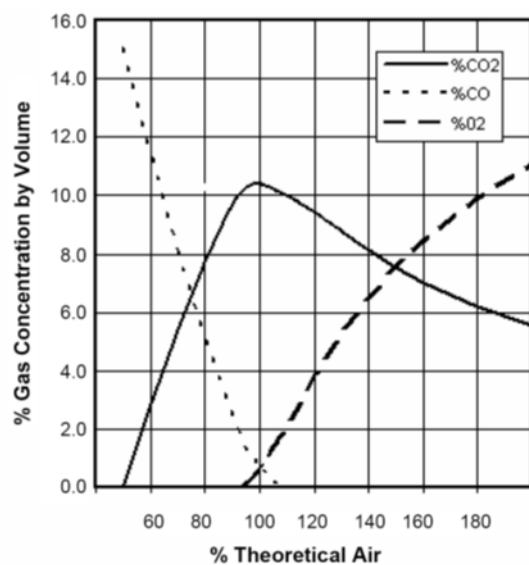
- ประกอบด้วย โพรเพน และ บิวเทน 60 : 40 (โรงแยกแก๊ส) 20 : 80 (โรงแยกน้ำมัน)
- ไม่มีสี แต่ ถ้ารั่วออกมา เกิดไอสีขาวเนื่องจากการกลั่นตัวของไอน้ำ
- ไม่มีกลิ่น แต่ใส่ Ethyl mercaptan ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$)
- หนักกว่าอากาศ (M = 50 – 55 g/mol, Air 29 g/mol)

- จุดเดือด $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Auto ignition $500\text{ }^{\circ}\text{C}$

การเผาไหม้



รูปที่ 8.1 คุณภาพของการเผาไหม้ (บน) มีออกซิเจนเกินพอ (ล่าง) มีออกซิเจนพอดีกับการเผาไหม้



- Oxygen (O₂)
- Carbon Monoxide (CO)
- Carbon Dioxide (CO₂)
- Exhaust gas temperature
- Supplied combustion air temperature
- Draft
- Nitric Oxide (NO)
- Nitrogen Dioxide (NO₂)
- Sulfur Dioxide (SO₂)

รูปที่ 8.2 สัดส่วนของแก๊สต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้ที่มีปริมาณอากาศในสัดส่วนเทียบกับสูตรทางทฤษฎี

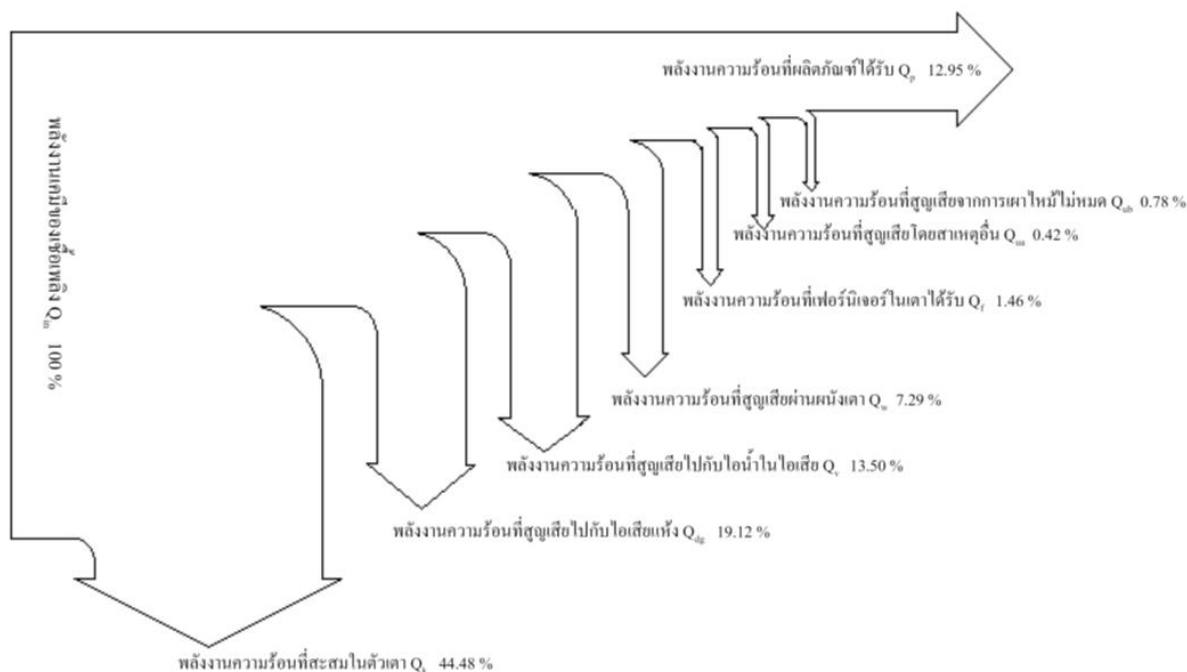
ตารางที่ 8.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ

ชนิดแก๊สธรรมชาติ	(CO ₂) _{max} , %
แก๊สธรรมชาติขึ้น	10.6
แก๊สธรรมชาติแห้ง	11.5
LPG	13.8 - 15.1
ถ่านหินแอนทราไซต์	19 - 20
ถ่านโค้ก	20.6

ตารางที่ 8.2 ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ ค่าพลังงาน ราคา และต้นทุน ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ

องค์ประกอบ	แก๊สธรรมชาติ	แก๊สหุงต้ม	น้ำมันเตา	ถ่านหิน	ไม้ฟืนแห้ง
Carbon (%)	70.93	81.82	85.84	75-90	51.8
Hydrogen (%)	23.47	18.18	12.46	5.2	6.3
Sulfur (%)	0	0	1.6-3	3	0
Energy (kJ/kg)	50,977	50,510	45,483	31,207	21,282
ราคา (บาท/ก.ก.)	12	18.5	23	2	1
ต้นทุน (kJ/บาท)	4,288.08	2,730.27	1,977.52	15,603.73	21,282.05

8.1.3 ประสิทธิภาพการเผาไหม้



รูปที่ 8.3 ตัวอย่างการใช้พลังงานของเตาเผาโถงมั่งกรราขบุรี ขนาด 23 ตาไฟ

8.2 ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า

ฮีตเตอร์ (heater) สำหรับเตาอบหรือเตาเผา จะใช้วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ฮีตเตอร์ มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีการไหลผ่านวัสดุตัวนำไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทาน จะทำให้วัสดุตัวนำร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับ โหลด ดังนั้น วัสดุตัวนำที่ใช้จะต้องมีสมบัติที่ทนความร้อนได้สูงสำหรับการใช้งานเป็นฮีตเตอร์ วัสดุตัวนำแต่ละชนิดที่นำมาใช้เป็นฮีตเตอร์จึงสามารถเลือกใช้ได้ตามการใช้งานทั้งในช่วงอุณหภูมิการใช้งานและบรรยากาศหรือสภาพแวดล้อมด้วย ดังแสดงในตารางที่ 8.3 จากการรวบรวมข้อมูลของผู้เขียนเอง

ตารางที่ 8.3 ข้อมูลเปรียบเทียบของการพันเคลือบแบบต่าง ๆ

ฮีตเตอร์	องค์ประกอบ	อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งานได้
นิกเกิล-โครเมียม	Ni-Cr	800-1000 °C
เหล็ก-โครเมียม-อะลูมิเนียม	Fe-Cr-AL	1200-1300 °C
ซิลิคอนคาร์ไบด์	SiC	1500 °C
โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์	MoSi ₂	1600-1800 °C (air)
เซอร์โคเนีย	ZrO ₂ (Y ₂ O ₃)	2200 °C (air)
ดีบุกออกไซด์	SnO ₂	1400 °C (glass melt)
แพลตินัม	Pt	1500 °C

ทังสเทน	W	1500 °C (inert gas)
คาร์บอน	C	2000-2500 °C (inert gas)

8.2.1 นิกเกิล-โครเมียม

นิกเกิล-โครเมียม (nickel-chromium, Ni-Cr) เป็นวัสดุโลหะ เป็นฮีตเตอร์ที่นิยมใช้งานในเครื่องใช้ไฟฟ้า ให้ความร้อนทั่วไปในครัวเรือน เช่น หม้อหุงข้าว เตารีด ฮอตเพลต กาต้มน้ำ เครื่องเป่าผม เตอบลวดความร้อน ซึ่งสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 800-1000 องศาเซลเซียส จึงไม่ค่อยนิยมใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

8.2.2 เหล็ก-โครเมียม-อะลูมิเนียม

เหล็ก-โครเมียม-อะลูมิเนียม (iron-chromium-aluminium, Fe-Cr-Al, Chromel-Alumel) เป็นวัสดุโลหะและเป็นฮีตเตอร์ที่นิยมใช้งานในเตาเผาเซรามิกทั้งระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 1200-1300 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีราคาที่ไม่แพงและใช้งานได้ค่อนข้างยาวนาน โดยเมื่อมีการใช้งานตัววัสดุร้อน จะเกิดการออกซิเดชันเกิดเป็นฟิล์มของอะลูมินาที่ผิว เป็นสีขาว เคลือบอยู่ ช่วยลดการแพร่ของแก๊สออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาต่อในเนื้อฮีตเตอร์ โดยฮีตเตอร์ชนิดนี้จะนิยมม้วนขดเป็นสปริง เพื่อเพิ่มพื้นที่การแผ่รังสีความร้อนและเพิ่มความต้านทานของฮีตเตอร์เนื่องจากมีความยาวเพิ่มขึ้นนั่นเอง ดูตัวอย่างเตาเผาที่ใช้ฮีตเตอร์ เหล็ก-โครเมียม-อะลูมิเนียม ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวัสดุศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 8.4

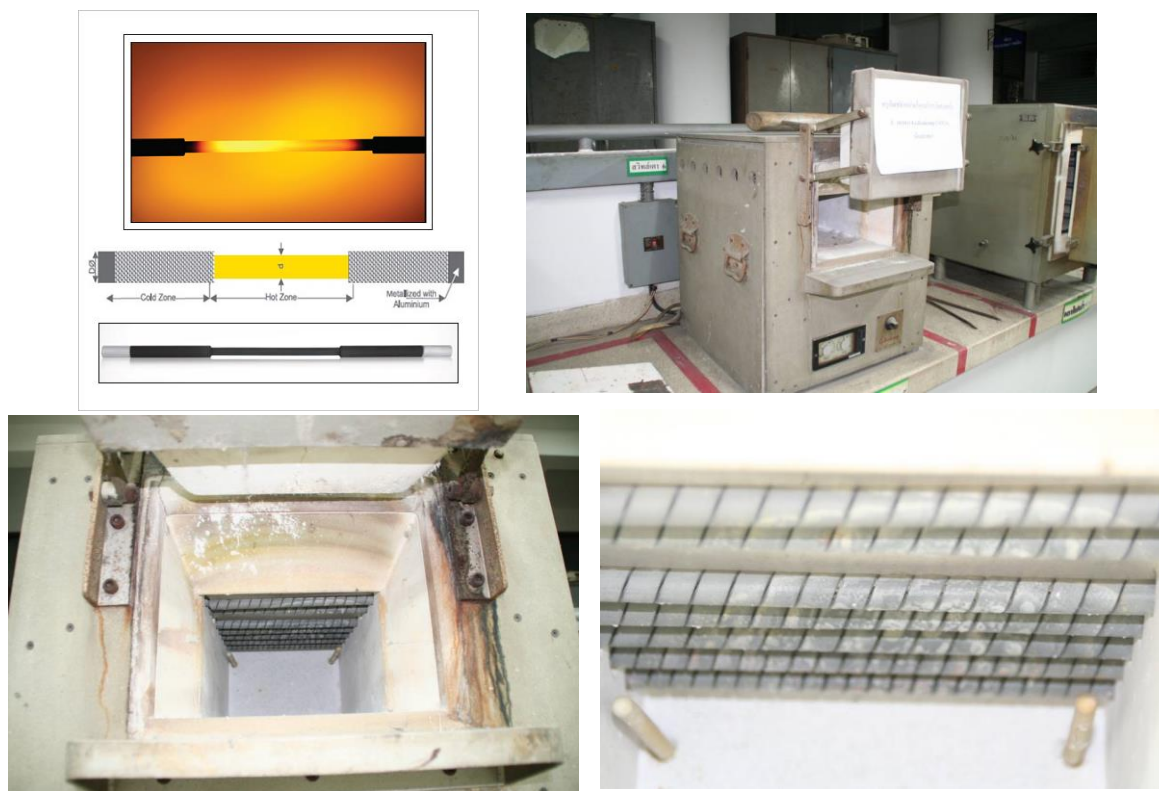


รูปที่ 8.4 ตัวอย่างฮีตเตอร์เหล็ก-โครเมียม-อะลูมิเนียม

8.2.3 ซิลิคอนคาร์ไบด์

ซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide, SiC) เป็นวัสดุเซรามิกกึ่งตัวนำไฟฟ้า เนื่องจากมีความทนไฟสูง จึงเป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานเป็นฮีตเตอร์ สามารถทำอุณหภูมิได้สูงถึง 1500 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศอากาศ ทั้งที่เป็นวัสดุนอนออกไซด์ แต่ซิลิคอนคาร์ไบด์ยังทนต่อออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงได้เนื่องจากเมื่อ

อุณหภูมิสูง จะเกิดฟิล์มซิลิกาเคลือบผิวทำให้ป้องกันการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับซิลิคอนคาร์ไบด์ภายในได้ ตัวอย่างเตาเผาที่ใช้ฮีตเตอร์ซิลิคอนคาร์ไบด์ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวัสดุศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 8.5



รูปที่ 8.5 ตัวอย่างฮีตเตอร์ซิลิคอนคาร์ไบด์

8.2.4 โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์

โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ (molybdenum disilicide, MoSi_2) เป็นวัสดุเซรามิกกึ่งโลหะ ที่เป็นสารกึ่งตัวนำเนื่องจากมีความทนไฟสูง จึงเป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานเป็นฮีตเตอร์ สามารถทำอุณหภูมิได้สูงถึง 1600-1800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศอากาศ ทั้งที่เป็นวัสดุทนออกไซด์ แต่โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ยังทนต่อออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงได้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูง จะเกิดฟิล์มซิลิกาเคลือบผิวทำให้ป้องกันการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ภายในได้ แต่ต่างจากซิลิคอนคาร์ไบด์ตรงที่ โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง พื้นผิวเรียบแน่น เมื่อเกิดออกซิเดชันเป็นฟิล์มซิลิกาแล้ว หากเย็นตัวลงแล้วใช้งานเผาชิ้นไปใหม่ จะเกิดการขยายตัวเนื่องจากความร้อน โดยที่เนื้อด้านในจะมีการขยายตัวสูง แต่ฟิล์มซิลิกาที่ผิวจะขยายตัวต่ำมาก จึงทำให้ฟิล์มเกิดการแตกระแหง รอยแตกในชั้นฟิล์มเหล่านี้จะหลอมปิดตัวเองได้ก็ต่อเมื่อใช้งานฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1300 องศาเซลเซียสขึ้นไป จึงจะทำให้รอยแตกเหล่านี้รักษาตัวเองได้ จนเย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้อง แต่หากมีการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1300 องศาเซลเซียสอยู่บ่อยครั้ง จะทำให้แท่งฮีตเตอร์เสื่อมสภาพเสียหายได้ง่าย นอกจากนี้ยังจะต้องใช้งานในบรรยากาศที่เป็นอากาศ ไม่สามารถใช้งานในบรรยากาศไนโตรเจนได้ เนื่องจากฟิล์มซิลิกาจะทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบกลุ่มไนไตรด์ จะทำให้ประสิทธิภาพการเป็นฮีตเตอร์ลดต่ำลงได้ด้วย ตัวอย่างเตาเผาที่ใช้ฮีตเตอร์โมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวัสดุศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 ตัวอย่างฮีตเตอร์โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

8.2.5 เซอร์โคเนีย

เซอร์โคเนีย (zirconia, ZrO_2) เป็นวัสดุเซรามิก มีค่าความต้านทานไฟฟ้าปานกลาง และมีความทนอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้สูงถึง $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ใช้งานได้ในบรรยากาศที่เป็นอากาศ แต่ยังไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้งานมากนักเนื่องจากจำเป็นต้องมีการอุ่นด้วยฮีตเตอร์อื่นก่อนที่อุณหภูมิต่ำ

8.2.6 ดีบุกออกไซด์

ดีบุกออกไซด์ (tin oxide, SnO_2) เป็นวัสดุเซรามิก มีค่าความต้านทานไฟฟ้าปานกลาง และมีความทนอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้สูงถึง $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ นอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่อปฏิกิริยาต่อน้ำแก๊วไฮโดรไลม์ แก๊วชนิดต่างๆ อลูมิเนียมหลอมเหลว และดีบุกหลอมเหลว ได้เป็นอย่างดี อีกทั้ง หากมีการปนเปื้อน หรือ กร่อนลงในน้ำแก๊ว ก็สามารถหลอมเป็นเนื้อเดียวกันได้ จึงเป็นที่นิยม



รูปที่ 8.7 ตัวอย่างฮีตเตอร์ดีบุกออกไซด์

<https://glassworksequipment.co.uk/products/>

8.2.7 แพลตินัม

แพลตินัม (platinum, Pt) เป็นวัสดุโลหะที่มีความทนไฟ ทนความร้อน สามารถใช้งานได้อุณหภูมิสูงถึง 1500 องศาเซลเซียส แต่นิยมใช้กับงานเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น เนื่องจากมีราคาแพงมากกว่าทองคำ

8.2.8 ทังสเตน

ทังสเตน (tungsten, W) เป็นวัสดุโลหะที่มีความทนไฟ ทนความร้อน สามารถใช้งานได้อุณหภูมิสูงถึง 1500 องศาเซลเซียส แต่นิยมใช้กับงานเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เท่านั้นเช่นกัน เนื่องจากมีราคาแพงแต่ก็ยังถูกกว่าทองคำ นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใช้ในบรรยากาศเฉื่อยเท่านั้น

8.2.9 แกรไฟต์

แกรไฟต์ (graphite, C) เป็นวัสดุเซรามิก เป็นวัสดุกึ่งตัวนำ ที่มีความทนไฟสูง สามารถใช้งานได้อุณหภูมิสูงถึง 2000-2500 องศาเซลเซียส แกรไฟต์เป็นวัสดุที่มีราคาค่อนข้างถูก แต่การใช้งานแกรไฟต์เป็นฮีตเตอร์ก็มีข้อจำกัดมาก ต้องใช้งานเฉพาะในบรรยากาศแก๊สเฉื่อยหรือสุญญากาศ เพราะเกิดออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้ง่ายมากที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ 8.8 ตัวอย่างฮีตเตอร์แกรไฟต์

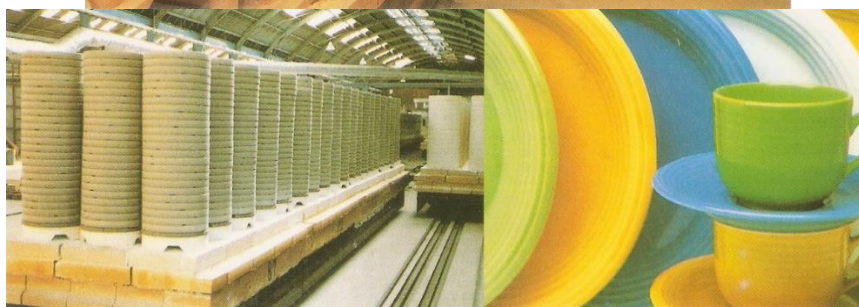
บทที่ 9

วัสดุทนไฟและอุปกรณ์การเผา

Refractory and Firing Equipment

9.1 วัสดุทนไฟ

วัสดุทนไฟสำหรับรองเผาและอุปกรณ์ประกอบเตาเผา (Sagger and Kiln Furniture)



รูปที่ 9.1 วัสดุทนไฟสำหรับรองเผาและอุปกรณ์ประกอบเตาเผา

9.1.1 วัสดุทนไฟรองเผาชนิดกล่อง

ประกอบด้วยเนื้อ Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) และ Cordierite ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) ทนต่อการกัดกร่อนของ Slag ได้ดี ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันได้ดี มีความแข็งแรงสูง ที่อุณหภูมิใช้งาน เหมาะกับการใช้งานในสภาพบรรยากาศการเผาแบบ Oxidation

การใช้งาน : ใช้สำหรับป้องกันผลิตภัณฑ์จากความสกปรกของแก๊ส อากาศ และการเสียหายเนื่องจากเปลวไฟในเตาเผา ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เบืองบุผนัง โม่เสก ซีเมนต์ เฟอร์ไรท์ (แม่เหล็ก) เป็นต้น



รูปที่ 9.2 วัสดุทนไฟสำหรับรองเผาชนิดกล่อง

9.1.2 วัสดุอุปกรณ์ทนไฟและแผ่นรองเผา

ประกอบด้วยเนื้อ Cordierite, Mullite-Cordierite, Mullite และ High-Alumina (Al_2O_3) ปริมาณต่างกันเล็กน้อย ตามแต่คุณภาพ ผลิตภัณฑ์ทนต่อการขัดสีได้ดี รับแรงและมีความแข็งแรงสูง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันได้ดี



รูปที่ 9.3 วัสดุอุปกรณ์ทนไฟและแผ่นรองเผา

: Slab เหมาะแก่การใช้งานในสภาพบรรยากาศการเผาแบบ Oxidation

: Support เหมาะแก่การใช้งานทั้งบรรยากาศการเผาแบบ Oxidation และ Reduction และเหมาะแก่การใช้งานในระบบการเผาแบบ fast firing

การใช้งาน : ใช้รองรับผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น ถ้วย จาน ชาม ของตกแต่งเซรามิกต่าง ๆ และแจกัน เป็นต้น

: ใช้รับน้ำหนักในโครงสร้างของรถเตาในอุตสาหกรรมเซรามิก

9.1.3 วัสดุทนไฟรองเผาจานชาม

ประกอบด้วยเนื้อ Mullite และ Cordierite ทนต่อการขีดสีสูง มีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิใช้งาน ทนต่อการร้าวร่อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วได้ดี เก็บสะสมความร้อนน้อย สามารถใช้งานได้ทั้งบรรยากาศการเผาแบบ Reduction และ Oxidation (ตามคุณภาพของ-ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด) ใช้งานได้ดีในระบบการเผาแบบ fast firing



รูปที่ 9.4 วัสดุทนไฟรองเผาจาน/ชาม

การใช้งาน : ใช้สำหรับป้องกันผลิตภัณฑ์จากความสกปรกของแก๊สและอากาศภายในเตา ป้องกันการเสียหายของ ผลิตภัณฑ์เนื่องจากเปลวไฟ ใช้ในอุตสาหกรรม ถ้วย จาน ชาม ของตกแต่ง เซรามิกต่าง ๆ

9.1.4 อิฐทนไฟชนิดไฟร์เคลย์

ชนิดสินค้า : อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ทนไฟสูงพิเศษ SK-34, K-43

: อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ทนไฟสูง SK-32, K-35

: อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ทนไฟปานกลาง SK-30, K-30

: มอก. 547-2541

สมบัติ : ผลิตจากขาม้อตคุณภาพสูง

: มีส่วนประกอบอะลูมินา ตั้งแต่ 30 ถึง 43%

: ทนต่อการขีดสีและการกัดกร่อนได้ดี

: ทนต่อการร้าวร่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี

: ความแข็งแรงสูงและหดตัวต่ำที่อุณหภูมิสูง

การใช้งาน 1. ใช้งานทั่วๆ ไป ที่มีสภาวะไม่รุนแรง

2. เป็น Back-up lining ในเตา boiler และเตาหลอมแก้ว

3. ใช้ในช่วง Cooling Zone ในเตาอุโมงค์, ใช้ในช่วง feed ends ในเตาเผาซีเมนต์

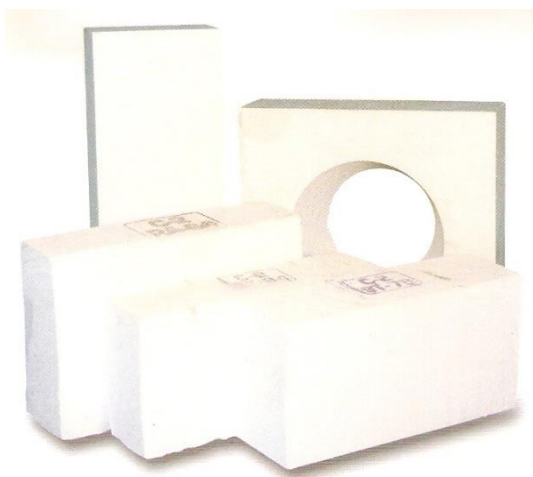
4. ใช้ในเตา Blast, ก่อรถเตา ฯลฯ

9.1.5 อิฐทนไฟอะลูมินาสูง

- ชนิดสินค้า** : อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (อะลูมินา 60 %, ความทนไฟเบอร์ 36)
 : อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (อะลูมินา 80 %, ความทนไฟเบอร์ 38)
 : อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (อะลูมินา 90 %)
 : มอก. 548-2541
- สมบัติ** : ผลิตจากบ็อกไซต์ ซึ่งนำมาจากแหล่งวัตถุดิบที่ได้รับการคัดเลือกมาโดยเฉพาะ
 : ส่วนประกอบอะลูมินาตั้งแต่ 60-90 %
 : คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนจาก Slag และน้ำโลหะได้ดี
 : ทนต่อการกัดกร่อนจากเถ้าของถ่านหิน ลิกไนต์ และน้ำมันเตาได้ดี
 : ความหนาแน่นและความแข็งแรงสูง
 : ทนต่อการร้าวร่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดี
 : ใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง 1600-1900 องศาเซลเซียส
 : รับน้ำหนักได้ดีมาก

- การใช้งาน**
1. ผนัง และพื้นของเบ้ารับน้ำโลหะ
 2. ใช้ในบริเวณหลังคาในเตา slab-heating furnaces และก่อกำแพงของเตา periodic ที่ใช้น้ำมันหรือแก๊ส เป็นเชื้อเพลิง

9.1.6 อิฐฉนวนทนไฟ



รูปที่ 9.5 อิฐฉนวนทนไฟ

- ชนิดสินค้า** : อิฐฉนวนทนไฟเบอร์ B-1, B-2, C-1, C-2
 : มอก. 554-2528
- สมบัติ** : ผลิตจากอะลูมินาที่มีส่วนประกอบตั้งแต่ 35% - 60%
 : มีค่าการนำความร้อนต่ำ ความจุความร้อนต่ำ และมีความแข็งแรงสูง

: เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีมีการสูญเสียความร้อนน้อย

: อุณหภูมิใช้งานช่วง 900-1400 °C

: ช่วยลดน้ำหนักของเตาเพราะอิฐมีน้ำหนักเบา

: ประหยัดพลังงาน

- การใช้งาน**
1. ใช้เป็น Back up lining ของอิฐไฟร์เคลย์และอิฐอะลูมินาสูงในเตาเผาเซรามิค เตาหลอมแก้วและเตา Periodic
 2. ใช้เป็น Support ผนังเตา Roller และใช้เป็นพื้นของรถเตาเผาเซรามิค

9.1.7 ปูนทนไฟสูง และทนไฟสูงพิเศษ

ชนิดสินค้า : ปูนทนไฟสูง และสูงพิเศษ (ชนิดแห้งและชนิดเปียก)

: ปูนทนไฟอะลูมินาสูง (ชนิดแห้ง)

: ปูนทนไฟสูง ฟอสเฟตบอนด์ (ชนิดเปียก)

สมบัติ : ปูนก่อผสมเสร็จ

: แข็งตัวหลังจากการให้ความร้อน

: ให้ความทนไฟสูง การหดตัวต่ำ

: ทนต่อการขีดสีและการกัดกร่อนจาก Slag ได้ดี

: มีทั้งชนิดเปียกผสมน้ำใช้งานได้ทันที และชนิดแห้ง ที่ต้องผสมน้ำก่อนใช้งาน

: ต้านทานการกัดกร่อนจาก Slag ควันไอระเหยและน้ำโลหะได้ดี

การใช้งาน : ใช้เป็นตัวกลาง ในการก่ออิฐทนไฟทุกชนิด

9.1.8 พลาสติกทนไฟชนิดไฟร์เคลย์ และ อะลูมินาสูง

ชนิดสินค้า : พลาสติกไฟชนิด ไฟร์เคลย์ และอะลูมินาสูง

สมบัติ : มีความแข็งแรงสูง ความหนาแน่นสูง มีค่าคงตัวปริมาตรสูงและมีการหดตัวต่ำที่อุณหภูมิใช้งาน

: ทนต่อการร้าวร่อนเนื่องจากความร้อนและการกัดกร่อนของสแลกได้ดี

การใช้งาน : ใช้ในการซ่อมเตาทั่ว ๆ ไป เช่น เตาเผา เตาหลอมเหล็ก หม้อไอน้ำ เตาเผาเซรามิค บล็อกหัวเผา โค้งหลังคา และผนังเตา

9.1.9 คอนกรีตทนไฟชนิดฉนวนทนไฟ ชนิดอะลูมินาสูง ความแข็งแรงพิเศษ

คอนกรีตทนไฟชนิดฉนวนทนไฟน้ำหนักเบา, คอนกรีตทนไฟชนิดอะลูมินาสูง และคอนกรีตทนไฟชนิดความแข็งแรงพิเศษ



รูปที่ 9.6 คอนกรีตทนไฟชนิดฉนวนทนไฟ

สมบัติ : ง่ายต่อการติดตั้ง และประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหรือซ่อมแซม

: ให้คุณสมบัติและอายุการใช้งานที่เทียบเท่าอิฐทนไฟทั่วไป

คอนกรีตทนไฟ ชนิดฉนวนทนไฟ

1. มีความพรุนตัวสูง การหดตัวน้อย การนำความร้อนต่ำ
2. ประหยัดพลังงานได้มากเพราะมีการสะสมพลังงานในตัวเองต่ำ

คอนกรีตทนไฟชนิดอะลูมินาสูง และชนิดความแข็งแรงพิเศษ

1. มีค่าสภาพคงตัวทางปริมาตรสูง หดตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ
2. ทนต่อการขัดสี การกัดกร่อนของ Slag และการร้าวร่อนเนื่องจากความร้อนได้ดี

การใช้งาน

คอนกรีตทนไฟชนิดฉนวนทนไฟ

1. เหมาะในการฉาบและก่อเป็น Back-up lining และก่อเป็นโครงสร้างแทนอิฐทนไฟ ไฟร์เคลย์ หรืออิฐทนไฟอะลูมินาสูง ซึ่งเป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนักไม่มาก เช่น โคงค์หลังคาเตา, ผนังเตา, พื้นรถเตา
2. สามารถนำไปใช้งานด้านอื่น ที่ต้องการประหยัดพลังงานและลดน้ำหนักโครงสร้าง

คอนกรีตทนไฟชนิดอะลูมินาสูง และความแข็งแรงพิเศษ

1. เหมาะกับงานก่อ หล่อ เป็นโครงสร้างแทนอิฐทนไฟไฟร์เคลย์ หรืออิฐทนไฟอะลูมินาสูง ซึ่งมีความแข็งแรงสูง รับน้ำหนักได้ดีที่อุณหภูมิสูง เช่น ผนังเตา โคงค์หลังคาเตา เบ้าและรางรับน้ำเหล็ก
2. ใช้ในงานหล่อที่มีรูปร่างพิเศษ ซึ่งไม่สามารถใช้อิฐทนไฟสร้างได้

9.1.10 ฉนวนกันความร้อนเซรามิกไฟเบอร์

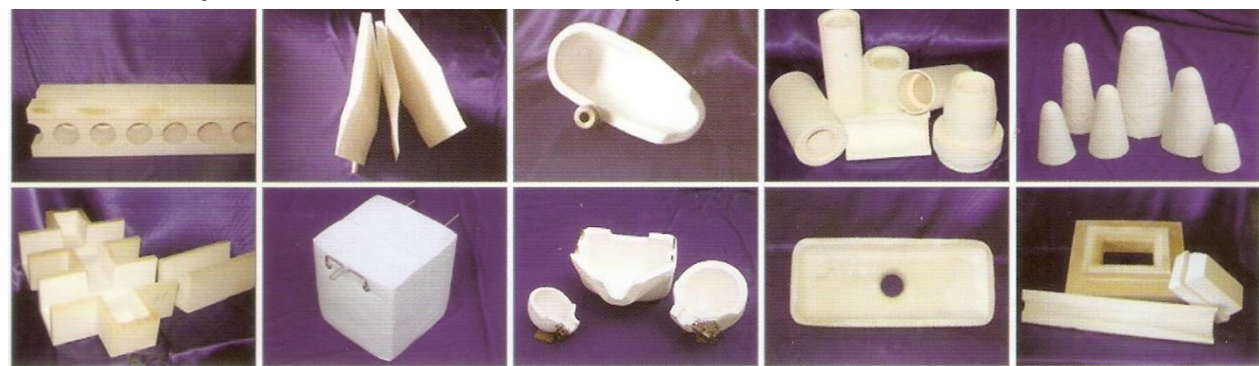
เป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงไม่ติดไฟ มีค่านำความร้อนที่ต่ำ และมีค่าต้านทานความร้อนที่ดี เป็นผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาสำหรับอุณหภูมิตั้งแต่ 1260°C, 1400°C และ 1600°C มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง แม้จะโดนแรงอัดอย่างมากก็สามารถกลับคืนรูปเดิมได้

ตารางที่ 9.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ฉนวนทนไฟเซรามิกไฟเบอร์ในลักษณะต่าง ๆ

				
BLANKET	BOARD	BULK	PAPER	TAPE
ใช้เป็นฉนวน ห่อหุ้มและป้องกัน วัสดุชิ้นงานที่มี อุณหภูมิสูงมาก ๆ หนา : 13, 25, 50 mm.	ใช้บุผนังตู้เพื่อเป็น ฉนวนกันความ ร้อน และใช้เป็น ภาชนะรองรับ วัตถุที่มีอุณหภูมิ สูงหนา : 25, 50 mm.	ใช้เป็นฉนวน ป้องกันความร้อน รั่วไหลในเตาเผา และใช้อุดรู ช่องว่างในผนังเตา	ใช้เป็นปะเก็น ซีล สำหรับงานหลอม โลหะ ผนังและฝา เตาอบ เตาหลอม หนา : 1-5 mm.	ใช้เป็น ซีล ผนัง เตาอบ และพันท่อ พันชิ้นงานที่ ป้องกันความร้อน หนา : 3 mm.

สามารถนำไปขึ้นรูปลักษณะต่างได้หลายชนิด โดยเซรามิก ไฟเบอร์ มีส่วนประกอบของแร่อะลูมินา และซิลิกา ซึ่งต้านทานการกัดกร่อนของน้ำโลหะ และคุณสมบัติเป็นฉนวน จึงสามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมหลอมโลหะ ทำเบ้าหลอม รางเท ปลั๊กอุด ที่เทน้ำโลหะ

ตารางที่ 9.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ฉนวนทนไฟเซรามิกไฟเบอร์ในรูปทรงต่าง ๆ

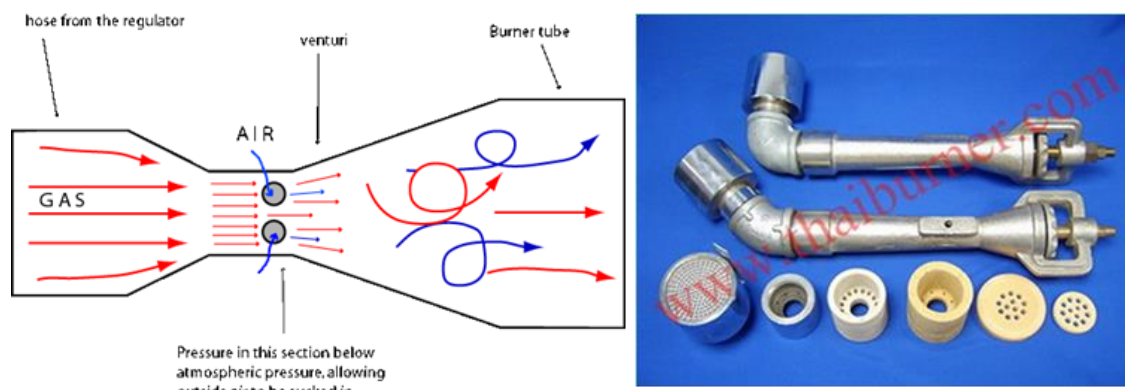


9.2 หัวเผา หัวพ่นไฟ

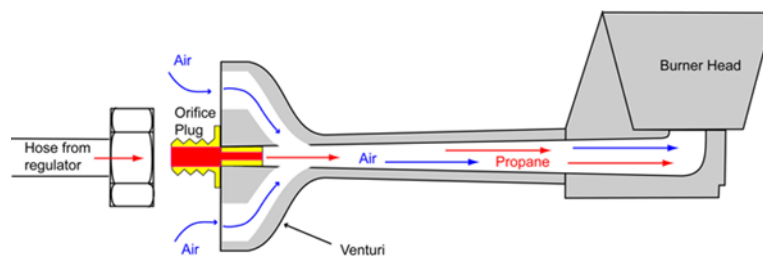
หัวเผา แบ่งตามการป้อนอากาศได้ 2 ประเภท

- venturi burner
- forced air burner

9.2.1 หัวเผาชนิดเวนจูรี

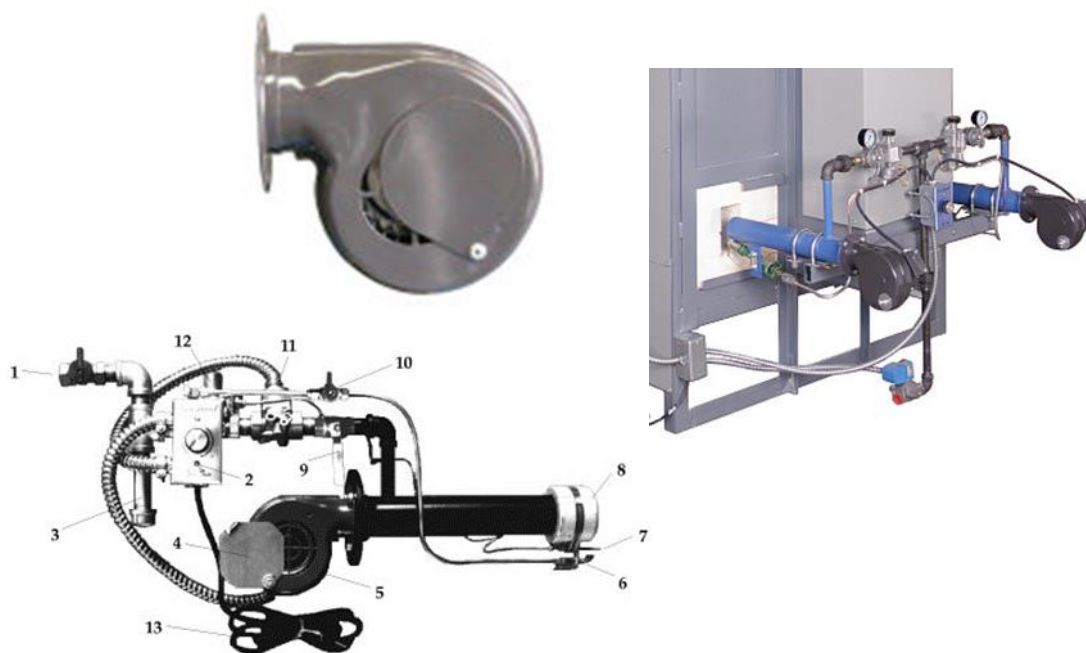


รูปที่ 9.7 ตัวอย่างหัวเผาชนิดเวนจูรี



รูปที่ 9.8 โครงสร้างการดึงอากาศเข้าไปผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงในหัวเผาเวนจูรี

9.2.2 หัวเผาชนิดเพิ่มแรงดันอากาศ



รูปที่ 9.9 ตัวอย่างหัวเผาชนิดเพิ่มแรงดันอากาศ

บทที่ 10

ปฏิกิริยาในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการเผา

Reaction in Product During Firing

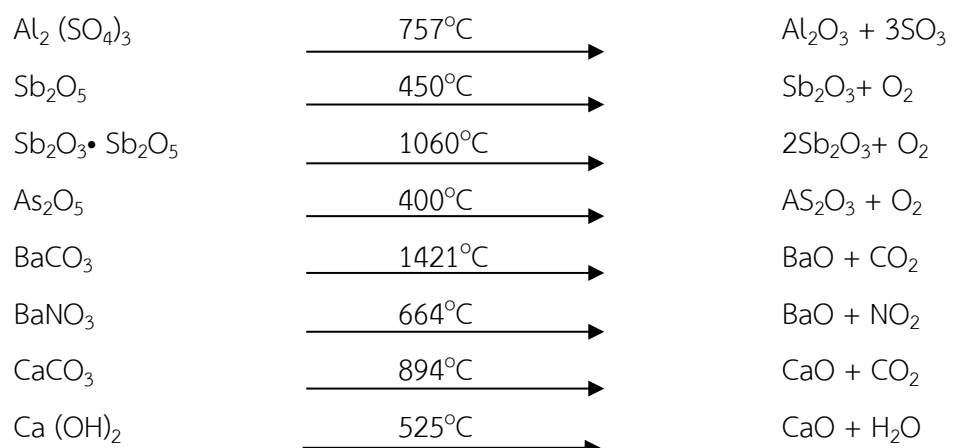
การแปรสภาพจากส่วนผสมของเคลือบดิบไปเป็นเคลือบ[18] เป็นกระบวนการที่ยุ่งยากและซับซ้อน กระบวนการประกอบด้วย การใช้อุณหภูมิสูงกระทำในช่วงระยะเวลาหนึ่ง องค์ประกอบทั้งสองนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ดี ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายคือการหลอมฟrit ฟritก็คือแก้วซึ่งผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในส่วนผสมของเคลือบ ทั้งที่ได้ทำการเลือกส่วนประกอบของเคลือบที่เหมาะสม เลือกใช้วัตถุดิบอย่างระมัดระวังบดผสมและชูปเคลือบอย่างดี การลงทุนลงแรงทั้งหมดนี้อาจสูญเสียไปโดยการเผาในสภาวะที่ไม่ถูกต้อง ขั้นตอนในการเปลี่ยนส่วนผสมของเคลือบไปเป็นเคลือบอาจแบ่งได้ 5 ขั้นตอน

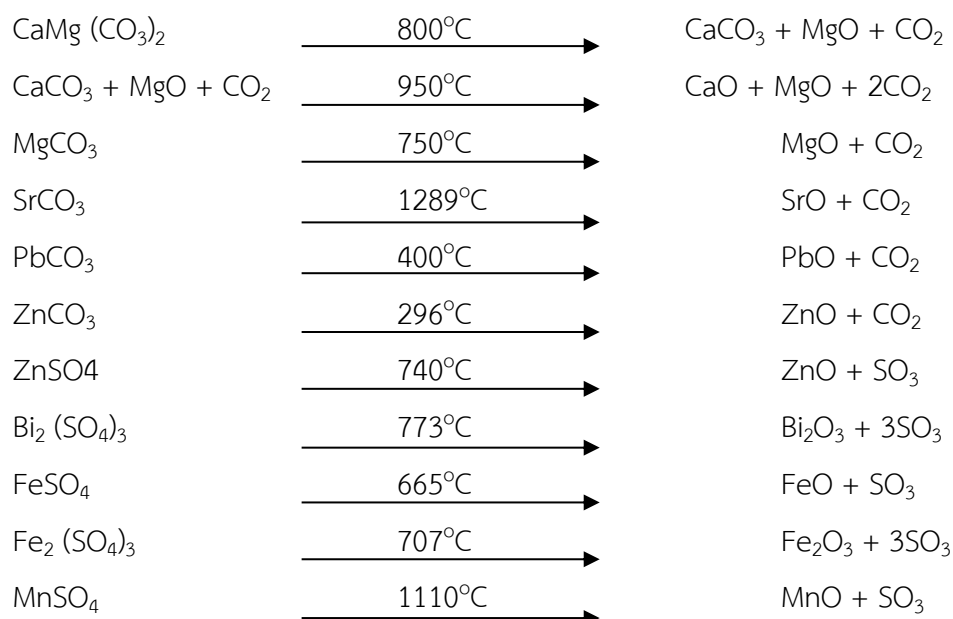
1. การแยกสลายตัวของวัตถุดิบ
2. การรวมตัวของสารประกอบเคมี
3. การพ่นิกอนภาคต่าง ๆ ด้วยความร้อน (sintering)
4. การหลอม
5. การตกผลึก

กระบวนการแต่ละขั้นตอนเป็นที่รู้จักกันดี แต่กระบวนการของแต่ละขั้นตอนมักมีการเหลื่อมล้ำกันเสมอ และเกิดขึ้นซ้ำอีกเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะมีการเกิดสารเคมีใหม่ขึ้นมาและการหายไป

10.1 การแยกสลายตัวของวัตถุดิบ

การแยกสลายตัวอาจให้ความสำคัญได้ว่าเป็นการแตกตัวของสารอย่างหนึ่งให้สารสองชนิด หรือมากกว่าโดยการกระทำของความร้อนแต่เพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น การสูญเสียไอน้ำในโครงสร้างของดิน การสลายตัวของ คาร์บอเนต ซัลเฟต ไนเตรต และออกไซด์ ศึกษาได้จากสมการต่อไปนี้

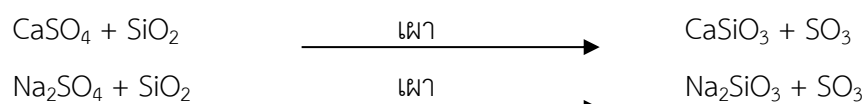




ในเคลือบซึ่งมีการเผาที่อุณหภูมิสูง สิ่งสำคัญกว่าการแยกสลายตัวทันทีทันใดคือ การแปลงสภาพจากของแข็งชนิดหนึ่งไปเป็นของแข็งชนิดใหม่ พร้อมกับคายแก๊สออกมาตลอดเวลาที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาที่เกิดจากการเผา Na_2CO_3 กับ SiO_2 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการผลิตโซเดียมซิลิเกตพร้อมกับคาย CO_2 หรือ



พวกซิลเฟตก็เกิดการแตกตัวในแบบนี้เช่นกัน เช่น



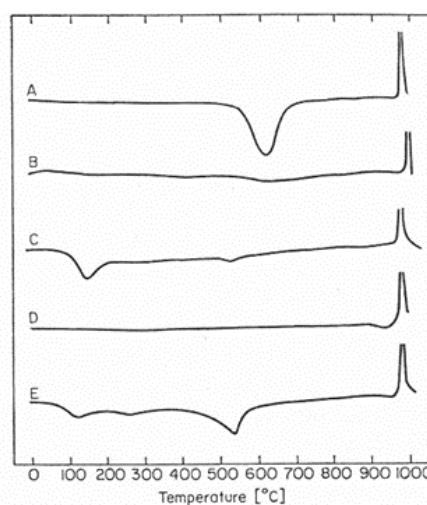
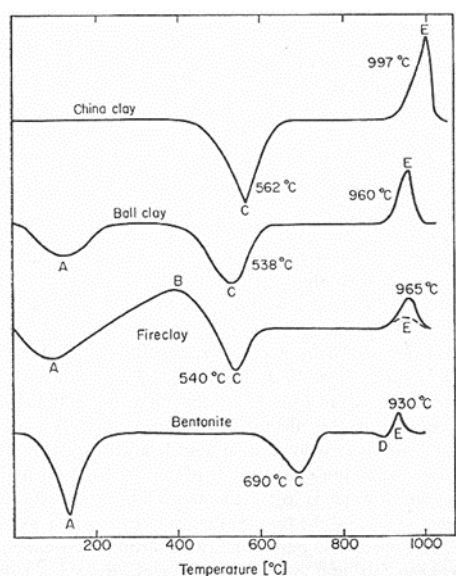
แต่ Na_2SO_4 และ Na_2SiO_3 ที่หลอมเหลวจะไม่รวมกันเป็นเนื้อเดียว แต่จะแยกชั้นกันเช่นเดียวกับน้ำและน้ำมัน

พวกซิลเฟตจะถูกரிติวซ์ให้เป็นซิลไฟต์และซิลไฟต์ได้ด้วยคาร์บอนและสารที่เป็นตัวรีดิวซ์และพวกซิลไฟต์และซิลไฟต์เมื่อเผาต่อไปในอากาศจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดพวก RO และ SO_2 หรือ SO_3 นอกจากความรู้เกี่ยวกับการสลายตัวของน้ำในโครงสร้างของสาร และการแตกสลายตัวของสารแล้ว ในปัจจุบันยังไม่มีนักเชรามิกคนใดรู้รายละเอียดเกี่ยวกับปฏิกิริยาการรวมตัวของสารเคมีที่เกิดขึ้นในเคลือบ ซึ่งมีความหมายยุ่งยากซับซ้อน ยกเว้นปฏิกิริยาที่เกิดจากสารประกอบเคมีง่ายๆ ที่มีเพียงสองสามสารเท่านั้น Na_2CO_3 กับ SiO_2 จะเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ในขณะที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700°C และเมื่อสารเริ่มเกิดการพ่นจนถึงอุณหภูมิ 800°C

ส่วนปฏิกิริยาระหว่างดินกับแคลเซียมคาร์บอเนตอาจเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800°C เกิด $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ หรืออาจเกิด $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ อุณหภูมิระหว่าง 800°C ถึง 900°C เกิด $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ และที่อุณหภูมิ 900 - 950°C เกิด $5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ อุณหภูมิระหว่าง 900 - 1200°C เกิด $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

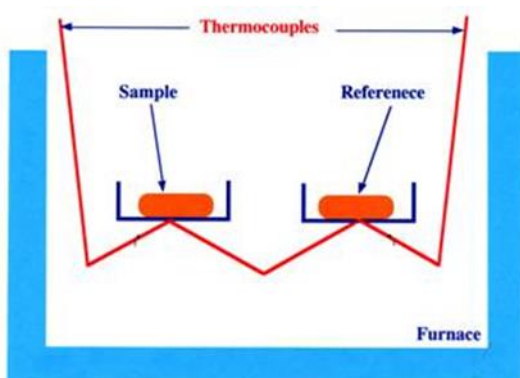
ตะกั่วออกไซด์ (PbO) ทำปฏิกิริยากับ SiO_2 เกิด PbSiO_3 ที่อุณหภูมิประมาณ 580°C ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีมากขึ้นที่ 670°C และ 730°C

การเผาเคลือบปกติจะเผาในบรรยากาศออกซิไดส์ เพราะฉะนั้น C ในดินที่ใช้หรือเป็นสิ่งสกปรกปนอยู่จะถูกขจัดออกไปที่อุณหภูมิระหว่าง 500 - 800°C ปฏิกิริยานี้สำคัญเพราะมีโอกาสทำให้เกิดเม็ดกลมหรือรูเข็มบนผิวเคลือบ Fe^{++} ถูกออกซิไดส์เร็วมากที่อุณหภูมิ 900°C

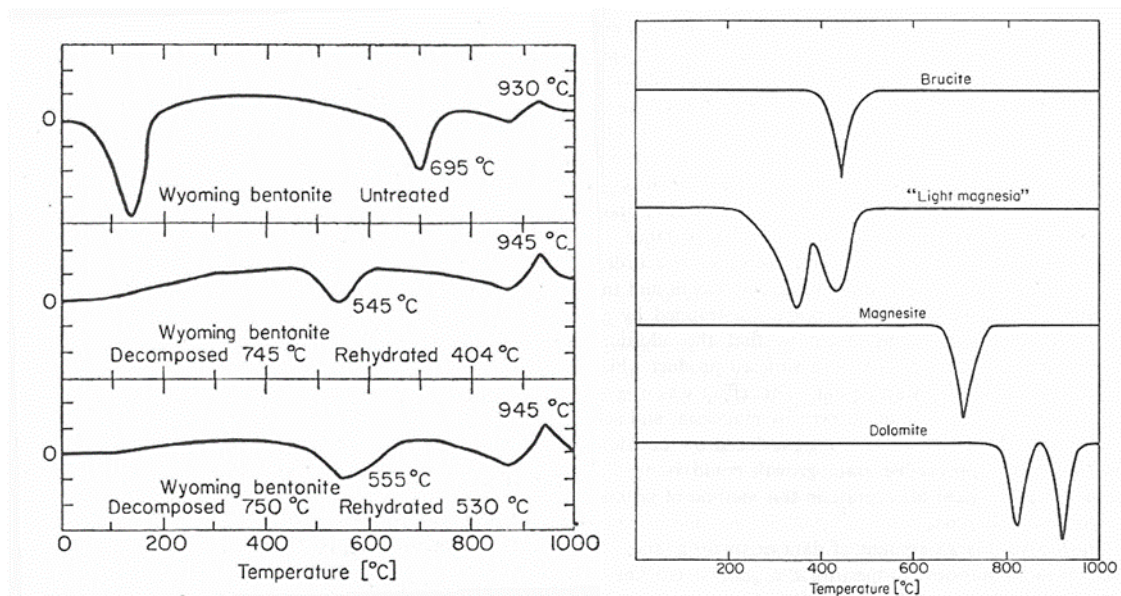


A. Untreated; B. Heated to 500°C; C. Heated to 500°C; rehydrated in steam at 100°C; D. Heated to 950°C; E. Heated to 950°C; rehydrated in steam at 200°C.

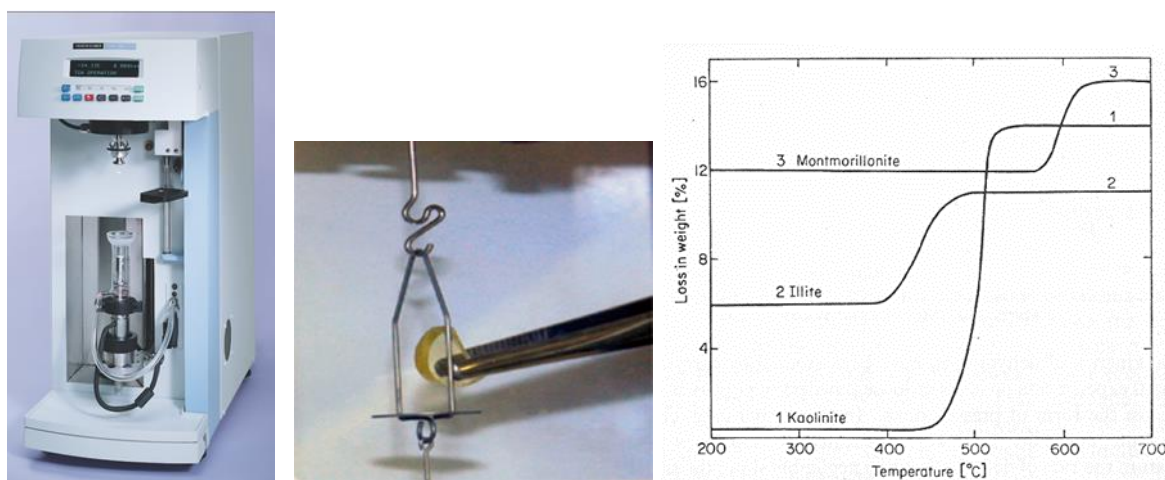
รูปที่ 10.1 การวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่มีการเกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินวัตถุดิบ



รูปที่ 10.2 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนการเกิดปฏิกิริยาในสารต่าง ๆ



รูปที่ 10.3 กราฟการดูดกลืนและคายความร้อนที่เกิดขึ้นในสารต่าง ๆ



รูปที่ 10.4 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนการเกิดปฏิกิริยาและเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารต่าง ๆ

10.2 ปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับของแข็ง

สารประกอบต่าง ๆ ถ้าผสมกันอย่างดี ถึงแม้ว่าจะไม่มีเนื้อสารในสภาพของเหลว จะเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ ตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง SiO_2 กับ RO หรือ RCO_3 ที่อุณหภูมิ 400°C หรือปฏิกิริยาระหว่าง CaO กับดินที่อุณหภูมิ 530°C อุณหภูมิทั้งสองต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารประกอบแต่ละตัวมากมาย

นักเซรามิกสนใจมากต่อปฏิกิริยาชนิดนี้และผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น การผลิตแก้ว เคลือบ และโลหะเคลือบ เนื้อผลิตภัณฑ์ สี วัสดุทนไฟ ซีเมนต์ และอื่น ๆ ปฏิกิริยารูปแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วใช้เป็นวิธี

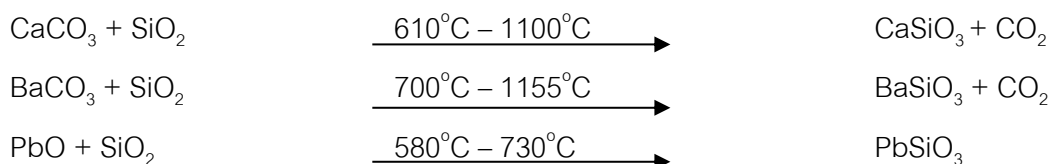
ผลิตัวสดหลายชนิดซึ่งไม่สามารถใช้วิธีอย่างอื่น เพราะว่าผลิภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นไม่คงตัวที่จุดหลอมเหลว หรือไม่กี่ของเหลวมีความหนืดมากจนไม่สามารถทำให้เกิดการตกผลึก ตัวอย่างเช่น CaO และ MgO จะทำปฏิกิริยากับดินที่อุณหภูมิ 800°C เกิด R SiO_3 ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมตัวหลายร้อยองศา

ปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับของแข็งจะเกิดขึ้นและช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาได้ โดยทำให้เกิดสภาวะซึ่งทำให้แรงยึดเกาะระหว่างอะตอมน้อยลง และทำให้โครงสร้างภายในอะตอมหละหลวมความแข็งแรงของสารลดลง และทำให้อะตอมภายในของสารเคลื่อนไหวเร็วขึ้น การใช้พลังงานความร้อนกระตุ้นจะทำให้เกิดสภาวะดังได้กล่าวมาแล้วคือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการเปลี่ยนแปลงรูปของอนุโมล การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกลไก การประสานกันระหว่างวัสดุซึ่งมีโครงสร้างภายในต่างกัน ความเครียดทั้งทางพลังกลและพลังไฟฟ้า และสมบัติทางแสงต่าง ๆ

ความเร็วของปฏิกิริยาวัตพลังงานความร้อน ที่ใช้ในการกระตุ้นให้อะตอมเกิดการสั่นสะเทือนมากพอ จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอนุโมลหรืออะตอมในโครงสร้างของสาร

ขั้นตอนปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง Na_2CO_3 กับของแข็ง SiO_2 ที่เกิดระหว่างการเผาเป็นแบบอย่างที่ดีของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับของแข็ง ในขณะที่อุณหภูมิของ CO_3 กับ SiO_2 สูงขึ้น พลังงานความร้อนไปกระตุ้นให้พันธะในโครงสร้างของ SiO_2 หละหลวมและขณะเดียวกัน Na^+ จะแทรกผ่านผิวโครงสร้าง ครั้งแรกสารที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะขุ่นมัว แต่ในที่สุดจะเกิดประกายเช่นเดียวกับโอปอล ปฏิกิริยานี้ไม่ใช่เป็นการรวมกันโดยอัตราส่วนที่แน่นอน แต่เป็นผลจากการดูดกลืนหรือเกิดจากการแพร่ของอนุโมล

ปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับของแข็งที่น่าสนใจอีกเช่น



10.3 การพินึกอนุภาคต่าง ๆ ด้วยความร้อน

การพินึกเป็นกรรมวิธีการใช้พลังงานความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากวัตถุที่เป็นผงไปสู่วัตถุที่เป็นก้อนโดยเกิดเนื้อแก้วเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิที่ใช้ในการพินึกต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์หรือของส่วนผสมนั้น ๆ โดยธรรมชาติวัตถุที่พินึกได้จะไม่ค่อยแข็งแรงมักจะเปราะและร่วนสภาวะที่ส่งเสริมให้เกิดการพินึกคือ

1. อนุภาคของสารที่ใช้มีพื้นที่ผิวค่อนข้างใหญ่และมีพลังงานที่ผิวสูง
2. ที่อุณหภูมิเหมาะสม ต้องมีการแพร่ของอนุโมลอย่างสม่ำเสมอ เพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอภายในโครงสร้างของสาร

3. การแทรกตัวอย่างสม่ำเสมอของอนุภาคขนาดเล็กเข้าไปในเนื้ออนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากความแตกต่างของพลังงานพื้นที่ผิวของอนุภาค และพื้นที่ตามมาคืออนุภาคขนาดเล็กจะค่อย ๆ หายไป และอนุภาคขนาดใหญ่จะใหญ่โตขึ้นเรื่อย ๆ ตัวอย่างการผก ZnO กับ SiO_2 กลายเป็น $2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$ ZnO และ SiO_2 ต่างก็อาจเกิดผกตัวเองและอาจเกิดการผกซึ่งกันและกัน

10.4 การหลอมเหลว

การหลอมเหลวมี 2 แบบ คือ

10.4.1 การหลอมเหลวแบบเมลติง

เป็นกระบวนการของความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากผลึกของแข็งไปเป็นของเหลว การเปลี่ยนแปลงของผลึกเกิดจากการจัดเรียงอะตอมหรืออนุโมเลกุลโครงสร้างภายใน ซึ่งต่างจากของเหลวในของเหลวจะไม่มีการจัดเรียงอะตอมหรืออนุโมเลกุลในโครงสร้าง หรือถ้ามีก็ไม่มีการจัดเรียงในรูปแบบที่สมบูรณ์

10.4.2 การหลอมเหลวแบบฟิวชัน

เป็นผลขั้นสุดท้ายของการกระทำภายใต้สภาวะหลายๆ อย่างอย่างมีระเบียบในขั้นตอนทำให้เกิดของเหลวที่เคลื่อนไหวได้ดีที่อุณหภูมิสูงสภาวะที่จะทำให้เกิดการหลอมเหลวแบบฟิวชันประกอบด้วย

1. อุณหภูมิสูง
2. การสลายตัวและการรวมตัวของสารประกอบเคมีต่าง ๆ
3. การแพร่
4. การละลาย

สารเคมีเมื่อได้รับความร้อนโครงสร้างภายในของสารมีการเคลื่อนไหว ทำให้โครงสร้างหลวมเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายการขยายทำให้เกิดความเครียดในทุกทิศทางและเหตุให้อนุภาคเกิดการแตก ขนาดของอนุภาคเล็กลงพื้นที่ผิวยิ่งเพิ่มมากขึ้น ทั้งขอบและมุมของอนุภาคพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยา สารประกอบที่มีส่วนประกอบที่แน่นอนเริ่มพัฒนาขึ้นมาเป็นเนื้อสารของเหลว และสารนี้จะทำปฏิกิริยาโดยการละลายวัตถุอื่น ๆ

ระหว่างขั้นตอนการหลอม การสลายตัวให้แก๊สออกมาจะทำให้เกิดการกวนส่วนผสมปฏิกิริยานี้จะเป็นไปอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิต่ำเพราะว่าของเหลวมีความหนืดสูง และจะรุนแรงมากขึ้นเมื่อความหนืดน้อยลง หรือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พร้อมกันนั้นก็เกิดปฏิกิริยาเคมีและการแพร่อย่างรวดเร็วซึ่งจะช่วยทำให้เกิดสารเนื้อเดียวสมบูรณ์มากขึ้น แก๊สที่ช่วยกวนส่วนผสมในการหลอมเหลวนั้นในตอนต้นของการหลอมเป็นแก๊สที่มาจากอากาศที่แทรกตัวอยู่ในวัตถุดิบ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแก๊สนี้ได้มาจากการสลายตัวของซัลเฟต คาร์บอเนต และสารอินทรีย์ องค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อการหลอมเหลวบ้าง เช่น 1. ความชื้น และ 2. ขนาดอนุภาคของส่วนผสม

โดยทั่วไปการบดวัตถุดิบให้ละเอียดมีข้อดีคือ ลดอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมได้ ของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ขณะสุกมีการไหลตัวดีกว่า ได้ผิวเคลือบที่เรียบร้อยและโอกาสมีตำหนิ น้อย เคลือบมีความแข็งแรงมากกว่าทนต่อการขีดข่วนได้ดีกว่า

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะหลอมเหลวส่วนมากเป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้ความร้อน เช่น การกลายเป็นไอ การแตกสลาย การเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้าง การหลอม ส่วนปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนออกมามักเป็น ปฏิกิริยาสารประกอบชนิดใหม่

10.5 ส่วนประกอบของเคลือบ

ส่วนประกอบที่แท้จริงของเคลือบเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ใน กระบวนการเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมของวัตถุดิบไปสู่เคลือบ เรื่องราวของส่วนประกอบของเคลือบเป็น เรื่องซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงมาก จนกระทั่งการพูดในรูปแบบง่าย ๆ ไม่เป็นการเพียงพอ

ข้อมูลในรูปแบบส่วนประกอบของเนื้อสารที่สมดุล ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิสูง เป็น ความรู้ที่ดีที่สุดสามารถจัดหาได้ ได้มีการพิมพ์เผยแพร่รูปภาพแสดงความสมดุลของเนื้อสารระหว่าง สารประกอบสองสามชนิด นักเซรามิกควรจะได้ทำความเข้าใจกับเรื่องราวของภาพแสดงความสมดุลของ เนื้อสาร เพราะว่าสิ่งนี้เป็นแหล่งความรู้ชนิดเดียวที่มีอยู่ เพื่อช่วยในการศึกษาพฤติกรรมเคมีของสารซิลิเกต ที่อุณหภูมิสูงอย่างมีระเบียบไม่มีคำอธิบายใด ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ต่อการพัฒนาปฏิบัติการ การ สร้างสูตรและการควบคุมเคลือบแต่จะช่วยให้เข้าใจพื้นฐานปัญหาปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิสูงของเคลือบ ได้ดียิ่งขึ้น

10.6 การละลายและการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

เนื้อเคลือบก็คือแก้วและเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นสารละลาย สารละลายที่เป็นสารเนื้อเดียวกันตลอด แต่ส่วนประกอบของสารนั้นเปลี่ยนแปลงได้กว้างขวาง อาจมีทั้งแก๊ส ของเหลว และของแข็งละลายปนอยู่ ตัวอย่างของสภาวะเช่นนี้อาจสังเกตได้จากการผลิตแก้วและเคลือบสารละลายต้องประกอบด้วยตัวทำ ละลาย ตัวถูกละลาย แต่อาจจะยุ่งยากในการแยกสารทั้งสองชนิด จึงยึดหลักที่ว่าสารใดมีปริมาณ มากกว่าสารนั้นเป็นตัวทำละลาย

แก๊สชนิดต่างๆ ละลายในของเหลวและของแข็งทุกชนิด ปริมาณสารละลายนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดัน แก๊สที่ถูกดูดกลืนในของเหลวจะแพร่ในของเหลวอย่างอิสระ เช่นเดียวกับพฤติกรรมของสาร ที่เป็นตัวถูกละลายอื่นๆ

ระบบปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากสารประกอบสองชนิด เช่น SiO_2 กับ Na_2O , K_2O , BaO หรือ Al_2O_3 จะ ได้สารใหม่ซึ่งเป็นเนื้อเดียวกันตลอดส่วนประกอบปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจาก SiO_2 กับ CaO , SrO , MgO และ FeO มีสารใหม่บางส่วนที่ผสมแล้วไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ระบบปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากสารประกอบสาม ชนิด เช่น $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO}$, $\text{SiO}_2\text{-CaO-SrO}$, $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ และ $\text{SiO}_2\text{-MgO-Na}_2\text{O}$ สารใหม่ที่ได้บางส่วนผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน

การละลายของเหลวกับของเหลวมีขอบเขตจำกัด และมีการเปลี่ยนแปลงมากมายที่เป็นไปตามธรรมชาติของสารประกอบนั้น ๆ และอุณหภูมิที่ใช้ มีตัวอย่างของผสมมากมายที่รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ และความจริงอันนี้ดูเหมือนจะเป็นหลักเกณฑ์ทั่วไปสำหรับสารประกอบซิลิเกตพวกแก้วและเคลือบต่าง ๆ ส่วนผสมที่หลอมเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิสูงอาจจะไปเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิต่ำ และเป็นไปได้เช่นกันในทางตรงข้าม

ระบบปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากสารประกอบของสาร เช่น B_2O_3 กับ ZnO จะได้ของผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าความเป็นกรดหรือเป็นด่างมีค่าเลยขอบเขตจำกัดอันหนึ่ง ดังตัวอย่างการเติม B_2O_3 ลงไปในเนื้อแก้วใสของโลหะบอเร็ตที่กำลังหลอม จะเป็นผลทำให้เกิดการแยกตัวออกมาเป็นสองชั้น B_2O_3 ที่มากไปจะลอยอยู่บนเนื้อแก้วใส ๆ ข้อสังเกตทั่ว ๆ ไปในการละลายซึ่งกันและกันอย่างง่ายดาย ทั้งในการหลอมแก้วหรือการหลอมเคลือบ สามารถนำมาใช้เป็นกรณีแวดล้อมที่ช่วยทำให้เกิดความสะดวกในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ มิฉะนั้นจะประสบกับความยุ่งยากและสิ้นเปลือง

ของผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันมักจะพบเสมอในระบบ $RO-B_2O_3$ และ $RO-SiO_2-B_2O_3$ ตัวอย่างของระบบนี้คือ B_2O_3-BaO หรือระหว่าง B_2O_3 กับ $CaO, CoO, MgO, PbO, ThO_2$ และ ZnO นอกจากนี้ก็มี $Al_2O_3-SiO_2, BaO-SiO_2, CaO-SiO_2, PbO-SiO_2, ZnO-SiO_2$ และ $B_2O_3-SiO_2$ เคลือบก็อาจเกิดเป็นของผสมที่เนื้อเป็นเนื้อเดียวกันได้ ถ้ามีบางส่วนที่หลอมและไหลตัวได้ดีและส่วนนี้ถูกดูดกลืนด้วยตัวผลิตภัณฑ์หรือเป็นเคลือบที่มีบางส่วนเกิดแก้วเหลวล้อมรอบอนุภาค ซึ่งบางส่วนถูกหลอมละลายออกไป การเลือกวัตถุดิบหรือการเลือกส่วนที่จะทำให้เกิดปัญหาออกจากฟrit อย่างระมัดระวังจะช่วยป้องกันความยุ่งยากต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการผลิตเคลือบได้

ของผสมที่เป็นของเหลวสองชนิดอาจไม่แยกกันให้เห็นอย่างเด่นชัด การแยกกันอาจเกิดขึ้นในลักษณะอนุภาคเล็ก ๆ แต่เกิดเป็นบริเวณพื้นที่ใหญ่หรือน้อยก็ได้

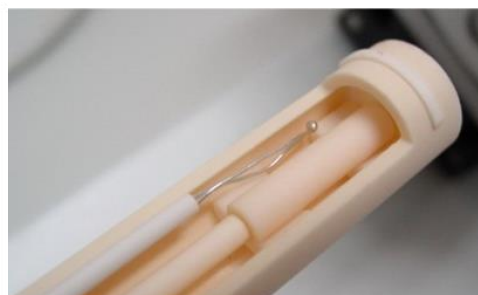
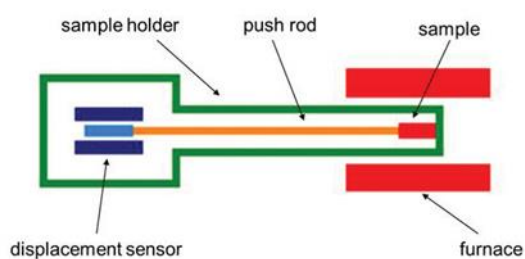
ของผสมซับซ้อนซิลิเกต มีแบบอย่างการผสมกันโดยไม่เป็นเนื้อเดียวกันอีกหลายแบบ บางทีของผสมซิลิเกตที่ปรากฏให้เห็นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ทั้งมีสมบัติโปร่งแสง และแม้จะดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงๆ ก็ยังคงเห็นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด อย่างไรก็ตามเมื่อสำรวจโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ชนิดอิเล็กตรอน จะพบว่าเนื้อของเหลวชนิดหนึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกลม กระจุกกระจายอยู่ในเนื้อแก้วซึ่งมีส่วนประกอบต่างกัน

บางกรณีถึงแม้ว่าเราจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงมาก ส่องดูเนื้อของผสมซิลิเกตที่ซับซ้อน ซึ่งมีโครงสร้างเล็ก ๆ ไม่รวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน ก็ไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างเหล่านั้นได้ แต่ถ้าเราเผาสารนี้ด้วยวิธีการที่เหมาะสมจะสามารถแยกสารนี้ได้ออกเป็นสองชนิด

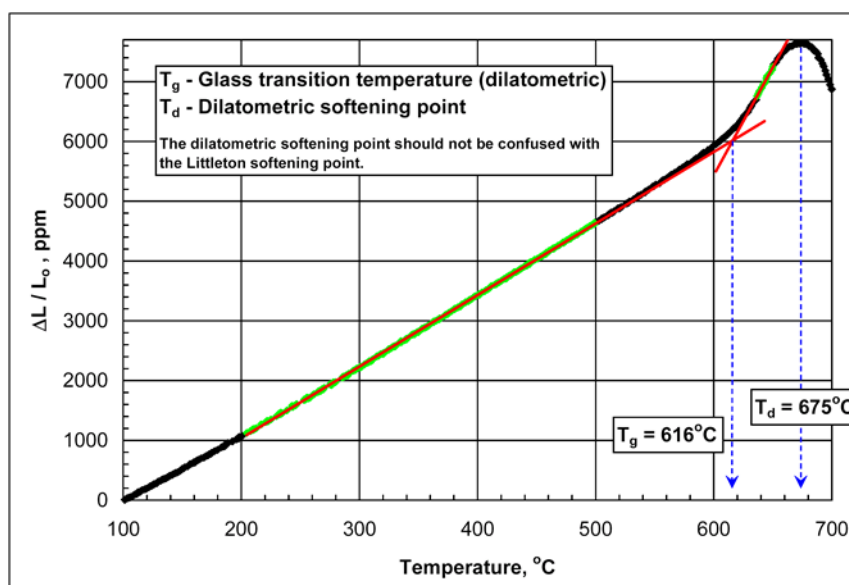
บางครั้งเนื้อแก้วที่มีโครงสร้างเล็ก ๆ กระจายอยู่ในเนื้อนี้ จะมีสมบัติใสและโปร่งแสงและบางครั้งก็มีสมบัติทึบแสง



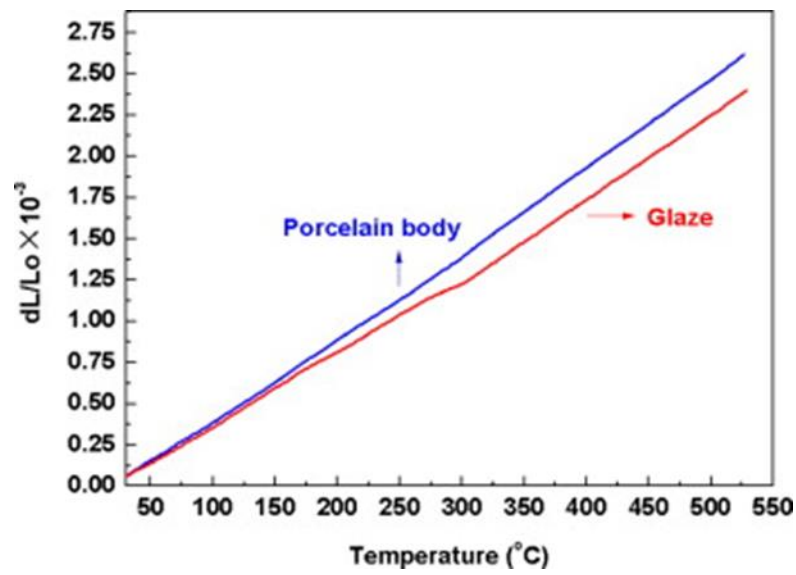
Fig. 1: NETZSCH Dilatometer DIL 402 C/7 (20 ... 2000 °C)



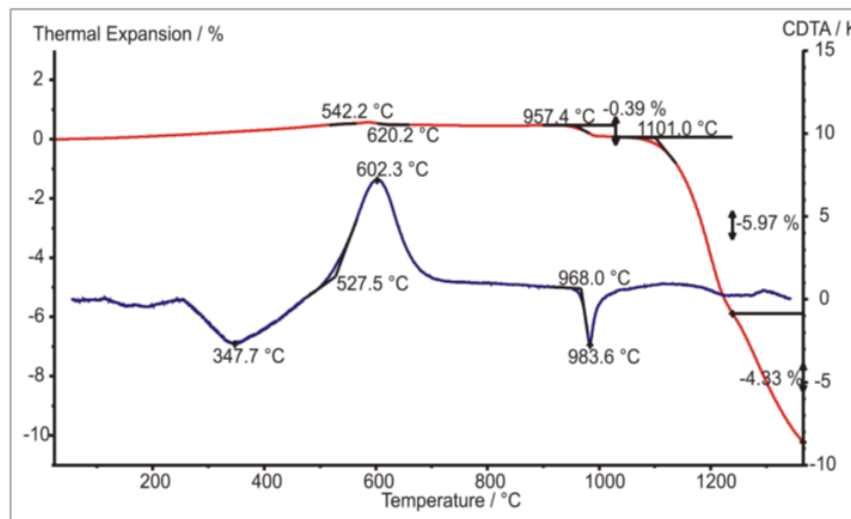
รูปที่ 10.5 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางการขยายตัวทางความร้อน



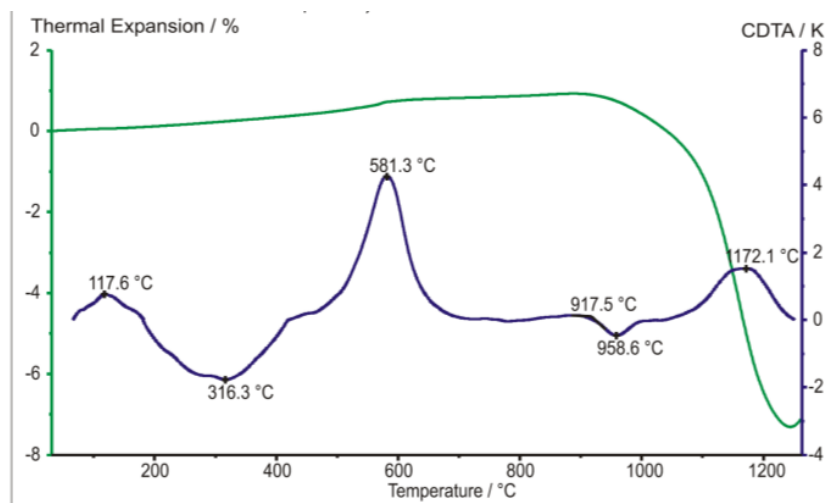
รูปที่ 10.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การขยายตัวทางความร้อนของแก้ว



รูปที่ 10.7 ตัวอย่างกราฟการขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินปั้นพอร์ซเลนและเคลือบ



รูปที่ 10.8 ตัวอย่างกราฟการขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินปั้นพอร์ซเลนดิบ



รูปที่ 10.9 ตัวอย่างกราฟการขยายตัวทางความร้อนของเนื้อดินปั้นกระเบื้องปูพื้นดิบ

ตารางที่ 10.1 ตารางสรุปปฏิกริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเผาบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน

ช่วงการขึ้นอุณหภูมิ	ระยะเวลาเผา (ชม.)	บรรยากาศ	คำอธิบาย
อุณหภูมิห้องถึง 110	1	OF	ช่วงระเหยของน้ำเป็นไอน้ำ
110-260	1.5	OF	น้ำ ความชื้นระเหยต่อเนื่องเป็นไอน้ำ
260-500	1	OF	สารอินทรีย์ในวัตถุดิบเริ่มเผาไหม้
500-600	1	OF	การเปลี่ยนแปลงของฟลักควอตซ์ 573
600-1000	1	OF	สารอินทรีย์และแก๊สหมดไปอย่างสมบูรณ์ที่ 1000 °C
1000-1150	1	RF หรือ OF	เริ่มเผาแบบสันดาปไม่สมบูรณ์ หินฟืนน้ำเริ่มหลอม
1150-1250	2	RF หรือ OF	เนื้อดินและน้ำเคลือบเกิดการเปลี่ยนแปลงจนสุกตัว
1250	5-15 นาที (รวม 8.45 ชม.)	RF หรือ OF	เผาเย็นไฟเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุกทั่วเตา
1250-150	6-12		ปิดเตาเผาให้อุณหภูมิลดลงจึงเปิดเตาเผา

บทที่ 11

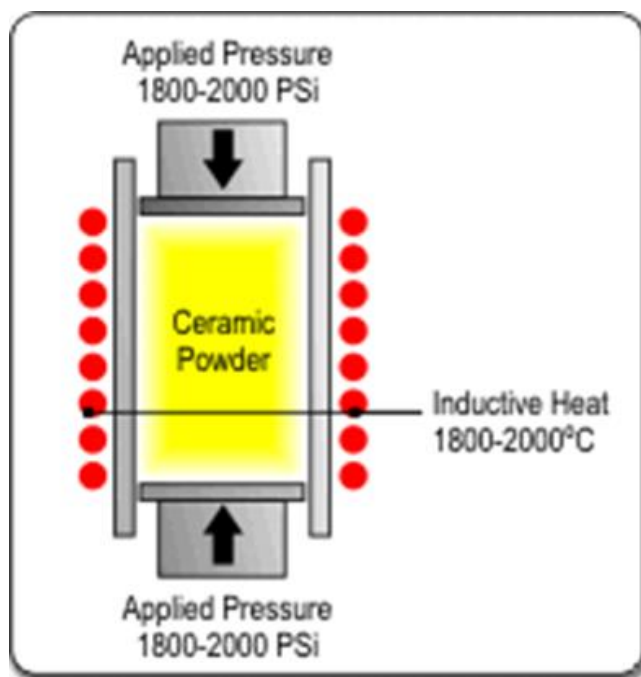
เตาเผาชนิดอื่น

Other Kinds of Kiln

นอกจากเตาเผาชนิดที่ให้ความร้อนโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิง ก็ยังมีการให้ความร้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้า ทั้งชนิดลดความร้อนซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาไม่สูง ไปจนถึงโลหะมีค่าที่ทนอุณหภูมิได้สูง นำมาใช้เป็นวัสดุให้ความร้อน แล้วก็มีเตาเผาชนิดอื่นๆ อีกที่อาจเลือกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ บางประการ ได้แก่เตาเผา หรือวิธีการเผาดังต่อไปนี้

- เตา hot press อัดร้อน
- เตา hot isostatic press อัดร้อนทุกทิศทาง
- เตา microwave ไมโครเวฟ
- เตา spark plasma sintering furnace
- เตาเหนี่ยวนำแม่เหล็ก induction
- laser heating
- solar thermal firing
- plasma spray coating (ไม่มีเตา)

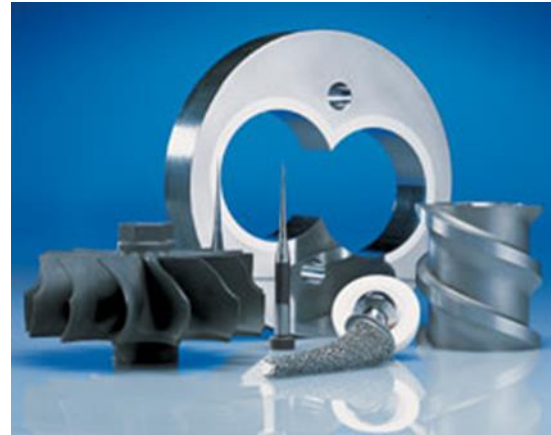
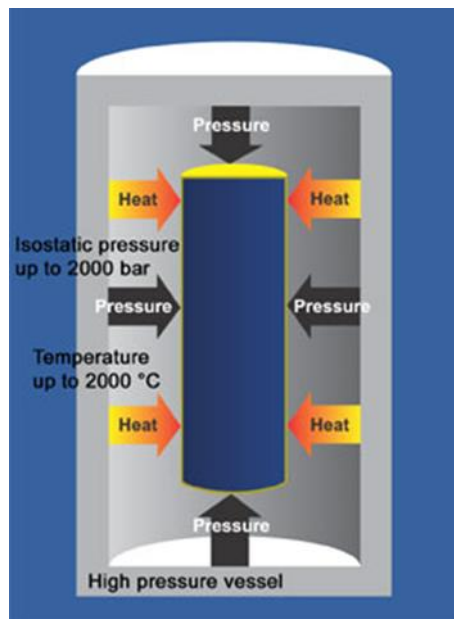
11.1 เตาเผาอัดร้อน



รูปที่ 11.1 ลักษณะการเผาในเตาเผาแบบอัดร้อน

11.2 เตาเผาอัดร้อนทุกทิศทาง

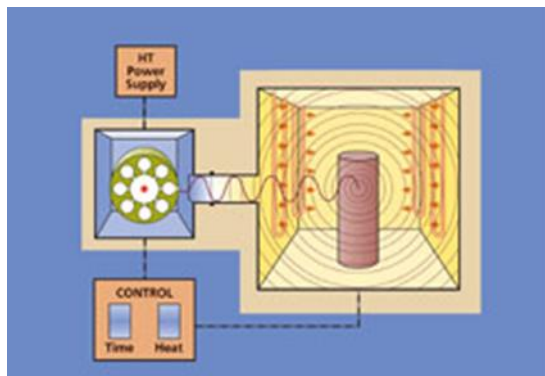
Hot isostatic pressing - HIP อัดร้อนทุกทิศทาง



รูปที่ 11.2 ลักษณะการเผาในเตาเผาอัดร้อนทุกทิศทาง และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้เตาเผา

11.3 เตาเผาไมโครเวฟ

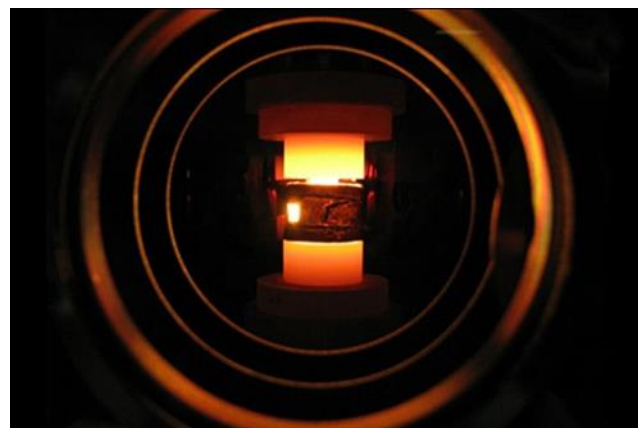
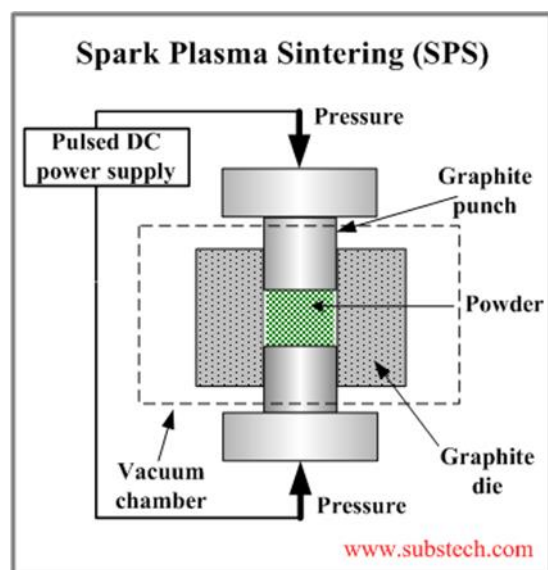
Microwave sintering



รูปที่ 11.3 ลักษณะการเผาด้วยเตาเผาไมโครเวฟ

11.4 เตาเผาสปาร์คพลาสมา

Spark plasma sintering furnace



รูปที่ 11.4 ลักษณะการเผาในเตาเผาแบบสปาร์คพลาสมา



รูปที่ 11.5 รูปภายนอกเตาเผาสปาร์คพลาสมา

11.5 เตาเผาพลังแสงอาทิตย์

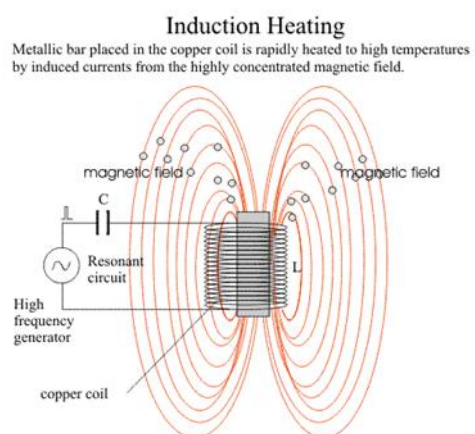
Solar thermal ความร้อนพลังแสงอาทิตย์



รูปที่ 11.6 การทดลองการรวมพลังงานแสงแดดเพื่อให้เกิดความร้อนอุณหภูมิสูง

11.6 เตาเผาเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

Induction heating การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

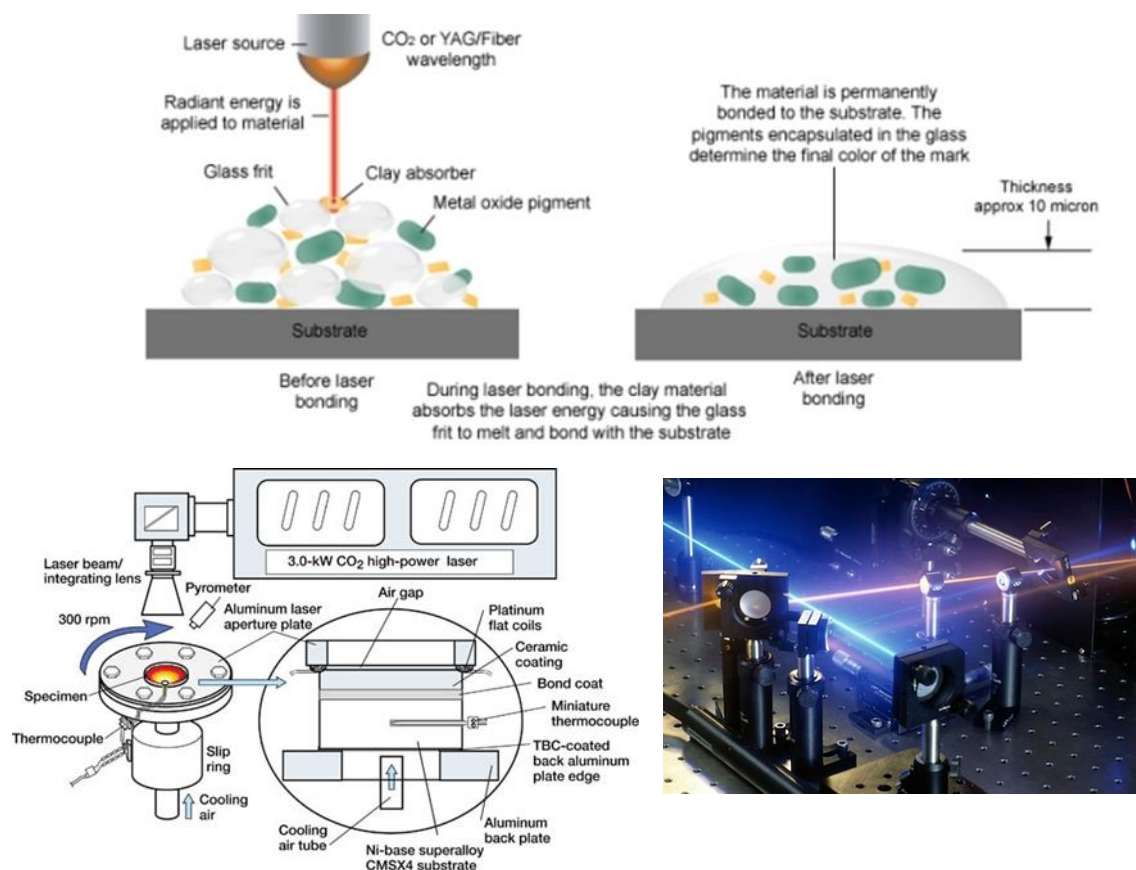


รูปที่ 11.7 ลักษณะการเกิดความร้อนของเตาเผาเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

การเกิดความร้อนจากกระแสไหลวนในชิ้นโลหะ สนามแม่เหล็กจากขดลวดเหนี่ยวนำจะทำให้เกิด การเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กในชิ้น โลหะทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อน การเกิดความร้อนจากความต้านทานของสนามแม่เหล็ก สนามแม่ เหล็กที่สร้างจากขดลวดเหนี่ยวนำจะมีทิศทางของขั้วที่สลับไปตามทิศทางของไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่ง โมเลกุลภายในชิ้นงานโลหะจะเกิดการเคลื่อนที่ตามทิศทางของขั้วที่เปลี่ยนไปมานี้ทำให้เกิดการเสียดสีและ เกิดความร้อน อย่างไรก็ตามการเกิดความร้อนจากความต้านทานของสนามแม่เหล็กจะเกิดเฉพาะโลหะที่มี สมบัติเป็นสารแม่เหล็กเท่านั้น

11.7 เตาเผาด้วยแสงเลเซอร์

Laser



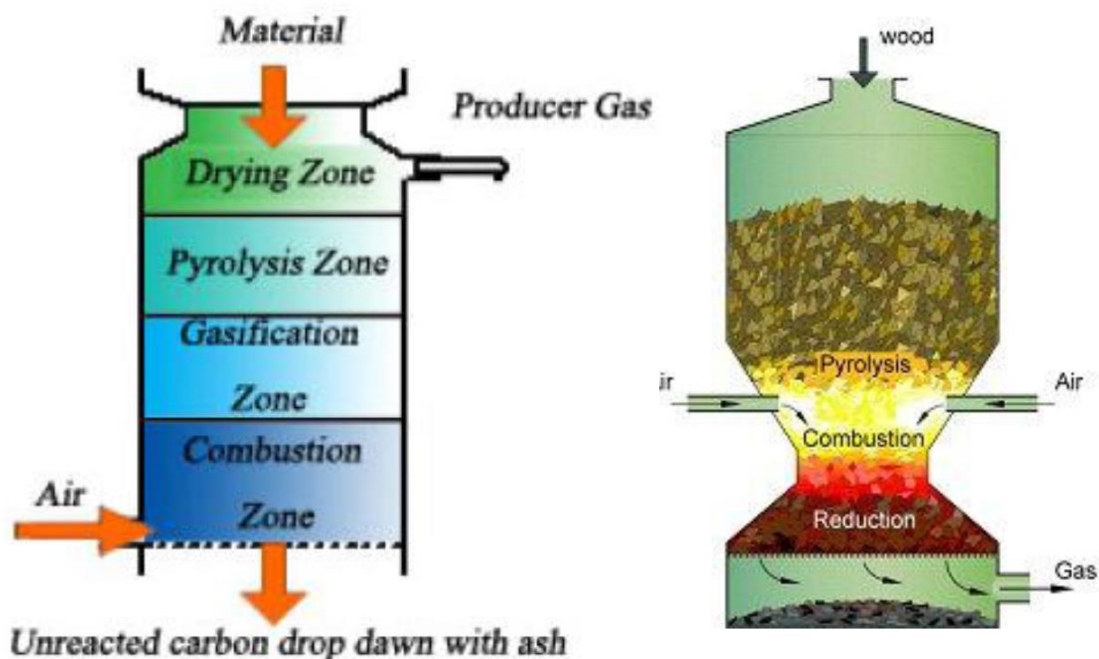
รูปที่ 11.8 ลักษณะการเผาด้วยแสงเลเซอร์พลังงานสูง

บทที่ 12

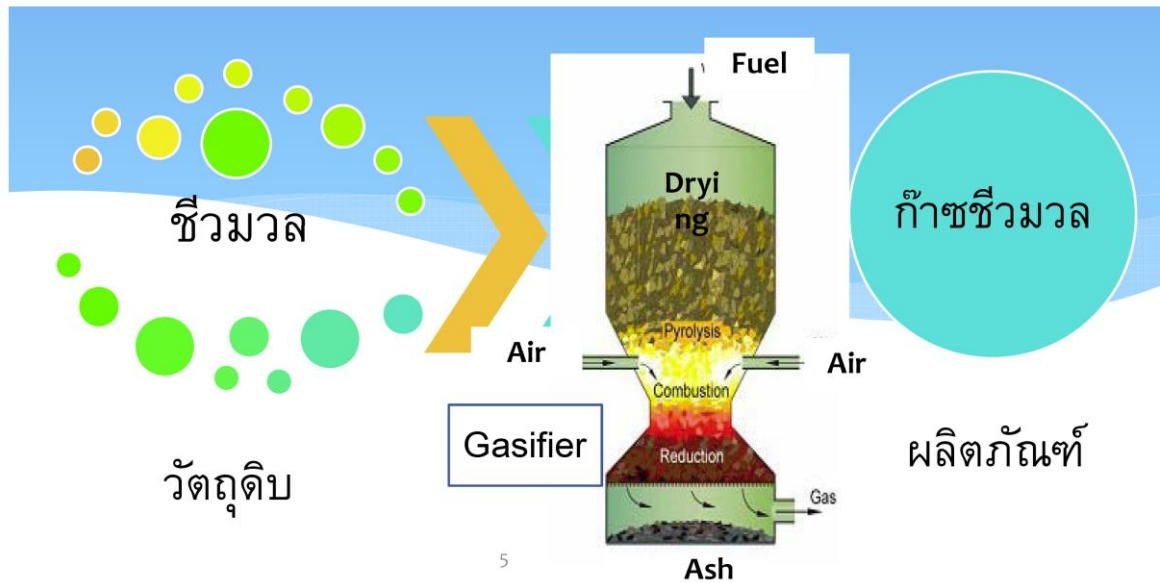
เชื้อเพลิงชีวมวลทางเลือก

Alternative Biomass Fuel

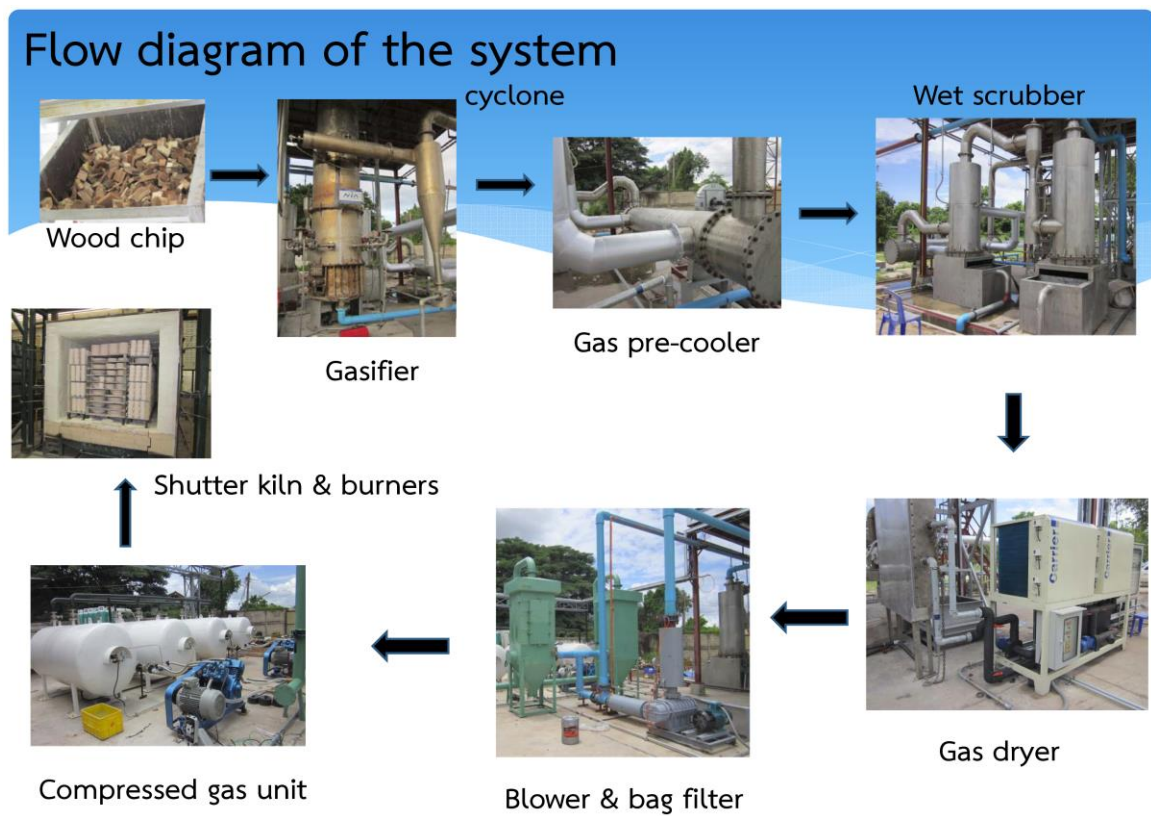
นอกจากแก๊สเชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็นแก๊สหุงต้มหรือแก๊สธรรมชาติซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกแล้ว เนื่องจากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และความยั่งยืนของการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดลงในไม่ช้า อีกทั้งปัญหาภาวะราคาของแก๊สเหล่านี้ที่นับวันจะสูงขึ้น ทำให้เกิดปัญหาด้านต้นทุนเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมเซรามิกได้ จึงได้มีการวิจัยที่พัฒนาการนำเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass fuel) ได้แก่ไม้พินจากต้นไม้ชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะไม้โตเร็วจากป่าปลูก เช่น ไม้ยูคาลิปตัส ไม้สนทะเล ไม้กระถินยักษ์ ไม้กระถินณรงค์ ไม้กระถินเทพา ไม้ไผ่ ไม้ยางพารา วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว แกลบข้าว ชานอ้อย ใบอ้อย ชังข้าวโพด กากปาล์มน้ำมัน กะลาปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มเปล่า วัสดุเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ กากส่าเหล้า กากชา ซึ่งรวมเรียกว่า ชีวมวล สามารถนำมาใช้งานเป็นเชื้อเพลิงได้ แต่การเผาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรงนั้น จะก่อให้เกิดปัญหาจากซัลเฟอร์ ค่าพลังงานที่ไม่สม่ำเสมอ ความชื้นในชีวมวล จึงจำเป็นต้องมีการทำให้เป็นแก๊สชีวมวล[20-24]



รูปที่ 12.1 ลักษณะเตาเผาผลิตแก๊สชีวมวล (ซ้าย) แบบอากาศไหลขึ้น (ขวา) แบบอากาศไหลลง[25]



รูปที่ 12.2 ลักษณะเตาเผาผลิตแก๊สชีวมวล[25]



รูปที่ 12.3 ขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวมวล[25]

ส่วนประกอบของก๊าซชีววมวล

โดยประมาณ สัดส่วนของก๊าซต่างๆ ในก๊าซชีววมวล ประกอบด้วย

คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ประมาณ 22.0%

มีเทน (CH₄) ประมาณ 2.5%

ไฮโดรเจน (H₂) ประมาณ 11%

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 12.0%

ไนโตรเจน (N₂) ประมาณ 50%

ออกซิเจน (O₂) ประมาณ 2%

มีค่าความร้อน ประมาณ 5.0- 6.0 MJ/Nm³



รูปที่ 12.4 องค์ประกอบของแก๊สชีววมวลที่ผลิตได้[26]



รูปที่ 12.5 เตาเผาเซรามิกต้นแบบที่ใช้แก๊สชีววมวลในจังหวัดราชบุรี[26]

สำนักนโยบายอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) เปิดเผยว่า สนพ.จะหันมาส่งเสริมให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกใช้แก๊สชีวมวล เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตเซรามิกแทนแอลพีจี เนื่องจากปัจจุบันราคาแอลพีจีภาคอุตสาหกรรมมีราคาสูงประมาณ 25-30 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งทำให้ไม่สามารถแข่งขันกับจีนได้ ส่งผลให้ผู้ประกอบการเซรามิกไทยหยุดการพัฒนามานาน

สนพ.ได้ร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และสมาคมเซรามิก ทำการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล ความร้อนสูงถึง 1230 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกโดยตรง โดยผลการทดลองศึกษาประสบความสำเร็จอย่างสูง และได้เทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตเซรามิก สามารถทดแทนแอลพีจีได้ 100%

ทั้งนี้ สนพ.จะนำเทคโนโลยีดังกล่าว เสนอต่อที่ประชุมคณะกรรมการกองทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในเดือน ธ.ค. 2557 เพื่อของบประมาณ 10 ล้านบาท ในการสร้างเครื่องผลิตแก๊สชีวมวลดังกล่าว เป็นเครื่องต้นแบบ 4 ขนาดให้ผู้ประกอบการเปลี่ยนมาใช้เครื่องผลิตแก๊สชีวมวลแทนแอลพีจีทั้งหมด ซึ่งปัจจุบันมีผู้ประกอบการประมาณ 600 ราย มีเตาเผาเซรามิกประมาณ 800 เตา โดยหากปรับเปลี่ยนมาใช้เครื่องผลิตแก๊สชีวมวลแทนแอลพีจีได้ทั้งหมด จะช่วยลดใช้แอลพีจีได้ถึง 3 หมื่นตันต่อปี หรือประหยัดได้ 900 ล้านบาทต่อปี

นายอนุชา พรหมวงษ์ ข้าราชการวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กล่าวว่า ได้สร้างเครื่องผลิตแก๊สชีวมวลขึ้นมา ซึ่งใช้เศษไม้ยางพารา รวมถึงเศษไม้ที่ได้จากการตกแต่งกิ่งลำไยมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สป้อนโรงงานเซรามิก ซึ่งประสบผลสำเร็จอย่างดี

นายธนโชติ วนาวัดน์ ผู้จัดการบริษัท กระเบื้องดินเผาลำปาง-ไทย จำกัด กล่าวว่า จากการทดลองใช้เครื่องผลิตแก๊สชีวมวลพบว่า ช่วยลดใช้แอลพีจีได้ถึง 220 กิโลกรัมต่อวัน และหากมีการใช้ทั่วประเทศ จะช่วยประหยัดค่าแก๊สแอลพีจีได้ 118,200 บาท เนื่องจากต้นทุนการผลิตแก๊สชีวมวลมีราคาเพียง 18 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่แอลพีจีเป็นราคาขึ้นลงตามตลาดโลกปัจจุบันอยู่ที่ 25.37 บาทต่อกิโลกรัม



คลิปวิดีโอที่ 12.1 เตาชีวมวลสำหรับเตาเผาอุตสาหกรรมเซรามิก จังหวัดลำปางและ QR code

https://www.youtube.com/watch?v=W4WfKwXi_uA



คลิปวิดีโอที่ 12.2 เตาชีวมวลสำหรับเตาเผาอุตสาหกรรมเซรามิก จังหวัดลำปางและ QR code
<https://www.youtube.com/watch?v=bv4FAx7d9TA>



คลิปวิดีโอที่ 12.3 สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code
<https://www.youtube.com/watch?v=8nfemrdLyak>



คลิปวิดีโอที่ 12.4 สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code
<https://www.youtube.com/watch?v=83kdCQvBLnc>



คลิปวิดีโอที่ 12.5 สารคดีประวัติความเป็นมาของการผลิตโอ่งมังกรราชบุรีและ QR code
<https://www.youtube.com/watch?v=XU6zglJbHSU>

บทที่ 13

เทคโนโลยีเตาเผาเซรามิกสำหรับชุมชน

Kiln Technology for Ceramic Community

เนื้อหาของบทนี้จะเป็นการยกตัวอย่างกรณีศึกษาผลงานวิจัยเชิงพัฒนาเทคโนโลยีและถ่ายทอดเทคโนโลยีเตาเผาประยุกต์ใช้ความรู้ในด้านวิชาการร่วมกับการศึกษาสมบัติของวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นพร้อมทั้งได้มีการถ่ายทอดอบรมให้ผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านในชุมชนได้เรียนรู้การสร้างเตาเผาอย่างง่ายและต้นทุนไม่สูงด้วยแรงงานในท้องถิ่นเองด้วย



รูปที่ 13.1 ทีมอาจารย์สอนชาวบ้านก่อสร้างเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 13.2 สอนให้ชาวบ้านผลิตอิฐดินดิบสำหรับการก่อเตาเผาใช้เองได้



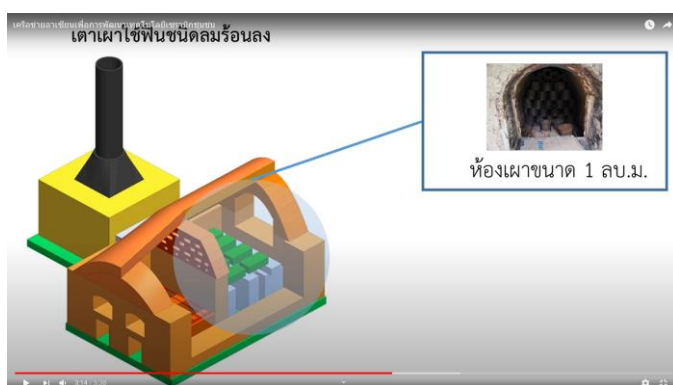
รูปที่ 13.3 เตาเผาที่ได้ออกแบบและร่วมกันก่อสร้างกับชาวบ้าน



รูปที่ 13.4 สภาพของเตาเผาที่ก่อสร้างขึ้นด้วยความร่วมมือของชาวบ้าน



รูปที่ 13.5 สอนให้ชาวบ้านใช้งานเตาเผาที่ได้พัฒนาและถ่ายทอดไว้



คลิปวิดีโอที่ 13.1 เตาเผาที่โครงการออกแบบและไปถ่ายทอด ที่จังหวัดเชียงใหม่และ QR code
<https://www.youtube.com/watch?v=zzyuuoTZer4>

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann, **Introduction to Ceramics**, John Wiley & Sons, New York, (1976).
- [2] สุจิตต์ วงษ์เทศ, เครื่องปั้นดินเผาและเครื่องเคลือบกับพัฒนาการทางเศรษฐกิจและสังคมของสยาม, โครงการศิลปอุตสาหกรรมไทย ชุดที่ 1, สำนักพิมพ์มติชน, จัดทำโดย บริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร, (2528).
- [3] ทวี พรหมพฤษช์, เตาและการเผา (**Kiln & Firing**), เอกสารการนิเทศการศึกษานับที่ 245 ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู, (2525).
- [4] D. Rhodes, **Kilns Design: Construction and Operation**, Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, USA, (1981).
- [5] H. Sato, D. Natsuki, **Human behavioral responses to environmental condition and the emergence of the world's oldest pottery in East and Northeast Asia: An overview**, *Quaternary International*, Vol. 441, pp. 12-28 (2017).
- [6] อนุรักษ์ภัทร จันทวิษ, ท. กัลยาณมิตร, สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ ๒๒ เรื่องที่ ๒ เครื่องถ้วยไทย, (2540).
- [7] M. Maggetti, C. Neururer, D. Ramseyer, **Temperature evolution inside a pot during experimental surface (bonfire) firing**, *Applied Clay Science*, Vol. 53 [3], pp. 500-508 (2011).
- [8] O. P. Gosselain, **Bonfire of the enquiries. Pottery firing temperatures in archaeology: What for?**, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 19 [3], pp. 243-259 (1992).
- [9] O. P. Gosselain, **Ceramics in Africa**, *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*, Springer Netherlands, Dordrecht, 2008, pp. 464-476.
- [10] F. L. Olsen, **The Kiln Book: materials, specifications & construction**, Krause Publications, Iola, Wisconsin, USA, (2001).
- [11] R. P. Na-Talang, S. Sirivithayapakorn, **Application of Life Cycle Assessment Method for Environmental Impact Assessment of Fired Brick Production Plant in Thailand**, *Applied Environmental Research*, Vol. 38 [3], pp. 15-26 (2016).

- [12] **Brick clamp**, accessed date: 3 May 2016, available online at: https://en.wikipedia.org/wiki/Brick_clamp.
- [13] **Industrial Revolution**, accessed date: 5 May 2018, available online at: https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Industrial_Revolution.
- [14] A. B. Searle, **Kilns and Kiln Building**, The Clayworker Press, London, (1915).
- [15] โอ่งราชบุรีทำไมต้องเขียนลายมังกร, accessed date: 25 May 2018, available online at: http://www.engrdept.com/tahanchangling/Pavatrachaburi_ongmungkon.htm.
- [16] H. F. W. Taylor, **Cement Chemistry**, Thomas Telford Publishing, New York, (1997).
- [17] อัมพน วัฒนรังสรรค์, เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร เทคนิคการใช้เตาเผาและการบำรุงรักษา เตาเผาเซรามิก, สำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, (2555).
- [18] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, เซรามิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 5), โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, (2547).
- [19] คชินท์ สายอินทวงศ์, ตำหนิที่เกิดจากการเผา, accessed date: 15 May 2016, available online at: http://www.thaiceramicsociety.com/ts_mark.php.
- [20] P. Bajpai, **Chapter 5 - Biomass conversion processes**, Biomass to Energy Conversion Technologies, Elsevier, 2020, pp. 41-151.
- [21] P. Punnarapong, A. Promwungkwa, N. Tippayawong, **Development and Performance Evaluation of a Biomass Gasification System for Ceramic Firing Process**, *Energy Procedia*, Vol. 110, pp. 53-58 (2017).
- [22] P. Punnarapong, T. Sucharitakul, N. Tippayawong, **Performance evaluation of premixed burner fueled with biomass derived producer gas**, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 9, pp. 40-46 (2017).
- [23] W. Puttapoun, J. Moran, P. Aggarangsi, A. Bunkham, **Powering shuttle kilns with compressed biomethane gas for the Thai ceramic industry**, *Energy for Sustainable Development*, Vol. 28, pp. 95-101 (2015).
- [24] S. K. Sansaniwal, K. Pal, M. A. Rosen, S. K. Tyagi, **Recent advances in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 72, pp. 363-384 (2017).
- [25] คู่มือพลังงานชีวมวล, accessed date: 15 May 2016, available online at: <http://www2.dede.go.th/kmmf/download/นวัตกรรม/สวค/คู่มือพลังงานชีวมวล.pdf>.

-
- [26] สุทธิพร ชีวสารณ์, นารถพล บัวอำไพ, เตาผลิตก๊าซชีววมวลพลังงานทางเลือกในอุตสาหกรรมเซรามิก, วารสารเซรามิกส์, Vol. 37, pp. 48-53 (2551).

ดัชนี

annular kiln.....	24	dragon jar kiln.....	44, 45
arch	29	dragon kiln.....	34, 35
ash	2	draught	3
bag wall.....	3, 13, 28, 29	drying shrinkage.....	67
bank kiln.....	11, 34, 42	electrical heat.....	1, 75
beehive kiln.....	34, 39	enamel	18, 19
biscuit firing	72	fire mouth.....	2
blast.....	4	fire wall	13
bonfire firing	8	fireplace	3, 28
brick firing kiln.....	44, 45	firing chamber.....	28
bull's trench kiln.....	24	firing mouth.....	28
burner	28, 29, 89, 117	firing shrinkage	67
calcining	62	firing zone	28
car top	30	flame.....	3
car-bell kiln.....	44	flash.....	3
celadon	17	flash wall	3, 28, 29
ceramic kiln	1, 4	floor opening	28
checker work.....	29	flue	28
chimney.....	3, 28, 29	furnace	1, 4, 44, 45, 47, 48, 49, 102, 104
circle kiln.....	34, 38	gloss firing	72
clamp firing.....	10	graphite	82
clamp kiln.....	10	grate	2, 28
climbing kiln.....	34, 42	Haseltine's kiln.....	22
combustion chamber	22, 28	heater	78
combustion heat.....	1	hill kiln.....	11, 34, 42
cone	30, 69	Hoffmann kiln	26
continuous kiln.....	26, 48	horizontal draft kiln	47
cordierite.....	30	incinerator.....	4
Cordierite.....	83	industrial revolution.....	21
crown	28, 29	insulating.....	29
damper.....	28, 30	intermittent kiln	48
decal	73	keramos	1
decorating firing.....	72	kiln	1
dog house.....	22	kiln car.....	28, 30
dome type kiln.....	39	kiln floor.....	28, 29
double draft kiln	47	kiln furniture.....	28, 30
down draft	29	Kiln Furniture	83
down draft kiln	29, 47	kiln roof.....	28, 29
draft.....	3	kiln wall.....	28, 29

lime kiln.....	44, 45	temperature meter	28, 30
maturing	62	thermocouple.....	69
microwave oven.....	3	Thurieng	44, 47
molybdenum disilicide.....	80	tin oxide	81
muffle kiln	48	traditional ceramic	1
Mullite.....	83	tungsten	82
neck.....	63	tunnel kiln	30, 34, 42, 49
nuclear reactor	4	turtle back kiln	34, 42
open firing.....	8	up draft	29
open pit firing.....	9	up draft kiln	29, 47
optical pyrometer.....	30	venturi	29, 89
oven	3	vitrification	62
peep hole	28, 30	wood firing kiln.....	48
periodic kiln.....	48	zigzag kiln.....	24
pigment	73	zirconia	81
platinum.....	82	ก่อนประวัติศาสตร์	6
pottery.....	1	การเผาผนึก	62, 63
primary air.....	2	การเผาไหม้.....	1
pyrometer.....	69	แก๊ส.....	48
pyrometric cone.....	30	แก๊สธรรมชาติ.....	20, 75, 77
reactor	4	แก๊สหุงต้ม.....	20, 47, 75, 77
roller kiln.....	47, 49	คอคอด	63
rotary kiln.....	46, 49	คอร์เดียไรต์.....	30
round shape kiln	34, 38	เครื่องถ้วย.....	15, 18, 19, 20
sagger	31	เครื่องปั้นดินเผา 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 18,	
Sagger.....	83	19, 20, 21, 30, 41, 42, 47, 113, 115	
sand seal	30	เคลือบขี้เถ้า	37
scorpion kiln.....	34, 41	เชื้อเพลิงนิวเคลียร์.....	4
scotch kiln	21	ซิลิคอนคาร์ไบด์.....	30, 79
Scotch kiln.....	22	เซรามิกดั้งเดิม	1
scove kiln	10	เซลาดอน.....	15, 17
secondary air.....	3	เซอร์โคเนีย	81
shaft kiln.....	45	ตะกรับเตา.....	2
shuttle kiln.....	30	ตาไฟ.....	28
silicon carbide.....	30, 79	ตาวงกลม.....	38
sintering	62, 63, 64, 65, 66, 91, 102, 103, 104	ตากลม.....	38
snake kiln	34, 37	เตาแก๊ส.....	30, 48
square kiln	34, 37	เตาชั้นบันได.....	34, 42, 43
stack	3, 28, 29	เตาสูง	34, 37
step kiln.....	34, 42	เตาชะवाद	21, 22, 23, 45
stoking hole.....	28	เตาขัดเตล.....	47
stove	3	เตาขัดเตล.....	31
Sungkaloke.....	44, 47	เตาโดม	34, 39, 40

เตาตะกรับ	32, 48
เตาทุเรียง	16
เตานอก	1
เตาประทุน	16
เตาเผาครก	47
เตาเผาเซรามิก	1
เตาเผาปูนขาว	46
เตาเผาริมตลิ่ง	11, 12, 13, 14
เตาเผารูปประขัง	44
เตาเผาเรียงกอง	10, 45
เตาเผาเรียงกองพอกทับ	10
เตาเผาอิฐ	45
เตาฝา	1
เตาพื้น	30, 31, 48
เตามังกร	32, 34, 35, 37, 45
เตาแมงป่อง	34, 41, 47
เตารังผึ้ง	34
เตารังผึ้ง	39
เตาริมตลิ่ง	34, 42
เตาโรตารี	49
เตาโรลเลอร์	47, 49
เตาวงกลม	34, 38
เตาสก๊อตซ์	21, 22, 24
เตาสีเหลี่ยม	34, 37, 38
เตาหลังเตา	42
เตาหลังเตา	34, 42
เตาอิฐปาโมก	39
เตาอุโมงค์	16, 34, 42, 45, 49
เตาฮอฟแมน	26, 27, 45
ถ้วยรองน้ำยาง	37
ถ่านหิน	24, 48, 75, 77
ถ่านลวด	8
ถ้ำผีแมน	7
ทองแดง	8
ทางเดินลมร้อนขนาน	47
ทางเดินลมร้อนขึ้น	38, 47
ทางเดินลมร้อนผสม	47
ทางเดินลมร้อนลง	37, 38, 47
ทางเดินลมร้อน	34
เทอร์โมคัปเปิล	69
น้ำมันเตา	31, 48, 75, 77
บ้านเก่า	7
บ้านเชียง	8

เบญจรงค์	18, 19, 20
ประตูชั่วคราว	39, 41
ประตูเตา	35
ปล่อง	30, 38, 39, 41
ปล่องควัน	12
ปล่องไฟ	15
ปากเตา	2, 12, 21, 22, 24, 28, 35, 38, 39, 41
ปูนซีเมนต์	1
เผาเคลือบ	72
เผาตาด	1, 2, 8, 9, 10
เผาดิบ	72
เผาตกแต่ง	72
เผาในหลุม	10
เผาพื้น	32
เผาเรียงกอง	10, 11
เผาสด	62
แผ่นบังคับลมร้อน	30
ฝางข้าว	2
พอร์ซเลน	16
พิพิธภัณฑ์บ้านจ่ามนัส	13
พิพิธภัณฑ์ศรีสขาลัย	13
มังกรคาบแก้ว	36
โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์	80, 81
ไม้พื้น	20, 77
ยุคก่อนประวัติศาสตร์	10, 13
ยุคโลหะ	9, 14
ยุคหินกลาง	6, 8, 14
ยุคหินใหม่	7, 9, 14
รถเตา	30
ราชวงศ์หมิง	18
รูปลอก	73
ลงยา	18, 19
ลมร้อน	13
ลายคราม	18, 19
ลายเชือกทาบ	6
ลายน้ำทอง	19, 20
ลายมังกรดินเมฆ	36
วัสดุทนไฟ	20, 54, 83
เวนจูรี	29
ศรีสขาลัย	17
ศิลาดล	16, 17
สโตนแวร์	16, 37, 47
สังคโลก	15, 16, 17, 18, 47

สำริด	8
สุกตัว	62
หลังคาชั่วคราว	10, 21, 38
หลังคาเตา	29, 32
ห้วยกะโหลก	35
หีบหนไฟ	31
เหล็ก	8

อิฐก่อสร้างดินเผา	10
อิฐดินดิบ	15, 16, 35, 41
อิฐดินเผา	10, 16, 40
อิฐหนไฟ	20, 29, 32, 33, 54
อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย	16
เอิร์ธเทนแวร์	47
โอ่งมังกร	36, 37, 45

ประวัติผู้แต่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร 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



กิจกรรมสำรวจโรงงานเครื่องเคลือบดินเผาราชบุรี
โรงงานโอ่งมังกร เก็บข้อมูลเตามังกร



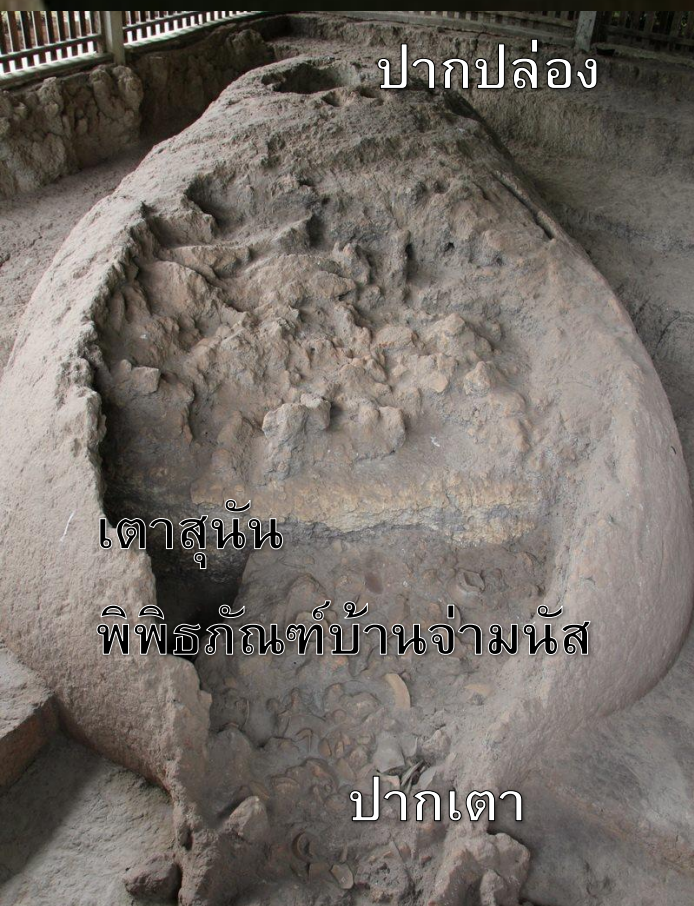


ปากปล่อง

เตาเผาริมตลิ่ง

ปากเตา

อุทยานประวัติศาสตร์ศรีสัชนาลัย



ปากปล่อง

เตาสุนัข

พิพิธภัณฑ์บ้านจ่ามนัส

ปากเตา



เตาเผาริมตลิ่ง

ภาพจำลอง

ปากปล่อง

ปากเตา