บทที่ 3

เตาเผาและเทคนิคที่ใช้ในการเผา

เตาเผา เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ทุกชนิด นอกจากจะมีราคาสูงที่สุดในบรรดาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้ว ยังต้องการการควบคุมที่ดีอีกด้วย

ในสมัยโบราณ เตาเผามีลักษณะเป็นที่โล่ง ใช้ฟืน ฟาง หรือมูลสัตว์เป็นเชื้อเพลิง เผาได้อุณหภูมิประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส ต่อมาได้พัฒนาเป็นเตาแบบมีผนัง และพื้นก่ออิฐถาวร แต่หลังคาเตาเป็นไม้ฉาบดิน ในที่สุดจึงเป็นเตาเผาที่สมบูรณ์ คือ มีห้องเผา มีหลังคาโค้ง ทำให้สามารถเผาได้อุณหภูมิสูงขึ้น และมีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

การจำแนกชนิดของเตาเผา

อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. เตาเผาแบบครั้งคราว (Intermittent kiln หรือ Periodic kiln) มีขั้นตอนการเผา คือ เรียงผลิตภัณฑ์ที่แห้งดีแล้วเข้าเตาเผาจนเต็มเตา เริ่มเผาเรื่อยไปจนถึงจุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์ ดับเตา และปล่อยให้เย็นตัวลง จึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตา เชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแก๊ส อาจมีการใช้พลังงานไฟฟ้าบ้าง ข้อดีของเตาเผาชนิดนี้ คือ ต้นทุนต่ำ และการควบคุมการทำงานไม่ยุ่งยาก ส่วนข้อเสีย คือ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และเนื่องจากอุณหภูมิภายในเตาขึ้น ๆ ลง ๆ อยู่เสมอ ทำให้อายุการใช้งานของอิฐทนไฟภายในเตาสั้น จึงต้องมีการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เตาชนิดนี้มีหลายแบบ ได้แก่

1.1 เตาเผาแบบตัวเตายึดอยู่กับที่ (Stationary periodic kiln) เตาแบบนี้ไม่นิยมเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดดี เพราะเสียค่าใช้จ่ายในการเรียงและการนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาสูง

1.2 เตาเผาแบบยกตัวเตาขึ้นได้ (Elevator kiln) เตาเผาแบบนี้ใช้มากในโรงงานขนาดเล็ก ขั้นตอนการเผา คือ เรียงผลิตภัณฑ์ลงบนรถเตา เข็นเข้าไปใต้เตา แล้วลดตัวเตาลงมาครอบ หรืออาจเป็นแบบเรียงผลิตภัณฑ์ไว้กับที่ แล้วเลื่อนตัวเตาลงมาครอบผลิตภัณฑ์

1.3 เตาเผาแบบยกประตูเตาขึ้นลง (Shuttle kiln) เตาเผาชนิดนี้จะสร้างบนฐานที่แข็งแรง จะมีประตูเตาที่สามารถยกขึ้นลงได้ทั้งหัวเตาและท้ายเตา ผลิตภัณฑ์จะเรียงบนรถที่สามารถเคลื่อนที่เข้าเตาได้

2. เตาเผาชนิดหมุน (Rotary kiln) เตาเผาชนิดนี้ใช้สำหรับการเผาหรือสตุ (calcining and sintering) วัสดุให้เป็นเม็ด เช่น เตาเผาปูนซิเมนต์ เป็นต้น

3. เตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous kiln) การเผาแบบนี้ ผลิตภัณฑ์จะเข้าที่ปลายเตาด้านหนึ่งแล้วออกที่ปลายเตาอีกด้านหนึ่ง

ชนิดของเตาเผาแบบต่อเนื่อง มีหลายแบบต่าง ๆ กัน ขึ้นกับ ลักษณะการใช้งาน พลังงานที่ใช้ และอื่น ๆ เช่น

- เตาอุโมงค์ชนิดเปลวไฟสัมผัสโดยตรง (Tunnel kiln direct fired)
- เตาอุโมงค์ชนิดมีห้องเผา (Muffle tunnel kiln)
- เตาอุโมงค์ชนิดใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง
- เตาอุโมงค์รูปร่างเป็นวงกลม
- เตาเผาชนิดมีแผ่นวัตถุทนไฟรองรับผลิตภัณฑ์สำหรับเข้าเผา (Slab kiln)
- เตาเผาชนิดใช้สายพานลำเลียง (Conveyer-type kiln)
- เตาเผาชนิดใช้แกนหมุน (Roller kiln)
- เตาเผาชนิดที่ควบคุมบรรยากาศภายในเตาได้ (Controlled atmoaphere kiln)

เตาเผาทุกชนิดจะมีจุดสำคัญ 4 ประการ คือ

1. แหล่งของพลังงานความร้อนที่สามารถควบคุมได้
2. วิธีการถ่ายเทพลังงานความร้อนไปสู่ผลิตภัณฑ์
3. ฐานที่ใช้สำหรับเรียงผลิตภัณฑ์เข้าเผา
4. วัตถุทนไฟที่ใช้ทำตัวเตา ซึ่งทำหน้าที่กักพลังงานความร้อนไว้ใช้ประโยชน์

สำหรับเตาอุโมงค์ ยังต้องการวิธีการเคลื่อนผลิตภัณฑ์ผ่านเข้าเตาอีกด้วย

เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln)

เป็นเตาที่ได้รับการออกแบบสร้างเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสูง สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ติดต่อกันตลอดเวลา เตาอุโมงค์ที่ใช้งานมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ ชนิดที่เปลวไฟสัมผัสโดยตรง (direct fired) และชนิดมีห้องเผา (muffle)

โดยทั่วไป เตาอุโมงค์ จะประกอบด้วยอุโมงค์ซึ่งมีภาคตัดสม่ำเสมอตลอดระยะทางที่ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ผ่านไป ทำให้ผลิตภัณฑ์ทุกชิ้น ต้องผ่านเส้นทางที่มีอุณหภูมิลักษณะเดียวกันตลอดความยาวของเตา เตาอุโมงค์มีลักษณะยาวเป็นเส้นตรง อาจอยู่ในระดับหรืออยู่ในรูปวงกลมก็ได้ ภายในเตาก่อด้วยอิฐทนไฟที่มีคุณภาพดี กรุด้วยฉนวนทนความร้อน และภายนอกหุ้มด้วยอิฐทนไฟชนิดธรรมดา ควบคุมความร้อนโดยอัตโนมัติ (Automatic Control System) การบรรจุผลิตภัณฑ์ทำโดยเรียงผลิตภัณฑ์ดิบลงบนรถเตา (Kiln car) ซึ่งจะวิ่งตามรางเข้าไปในเตาโดยอัตโนมัติได้ตลอดเวลา นับว่าสะดวกมาก อาศัยเครื่องดัน (Hydraulic pusher) เข้าไป โดยตั้งเวลาตามตารางการเผา

ผลิตภัณฑ์ที่เข้าเผาอาจจะสัมผัสโดยตรงกับก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ หรือโดยการแผ่รังสีความร้อน หรือการนำความร้อนจากมัฟเฟิล (Muffle) ก็ได้ เตาเผาชนิดนี้ทุก ๆ จุดในเตาจะมีอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา ดังนั้น อายุการใช้งานของวัตถุทนไฟจะยาวนานมากขึ้น เพราะไม่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ส่วนบนของรถบรรทุกผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาจะถูกเผาสลับไปกับการเย็นตัวในทุกรอบของการเผา จึงต้องมีการซ่อมบำรุงอยู่เสมอ ๆ ในเตาอุโมงค์ส่วนใหญ่จะมีกระบวนการรีคิวเปอเรตีฟ (Recuperative action) คือ มีการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มาเผาอากาศที่เข้ามา และผลิตภัณฑ์ที่กำลังเย็นตัวลงก็จะถ่ายเทพลังงาน

ความร้อนให้กับอากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้ด้วยอีกทอดหนึ่ง

ข้อได้เปรียบของการใช้เตาอุโมงค์

1. อุณหภูมิภายในเตาคงที่สม่ำเสมอทุกจุดในเตาและทุกระระเวลาการเผา
2. ประหยัดเชื้อเพลิง
3. ลดจำนวนคนงานในการเรียงผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากเตาเผา
4. วัตถุทนไฟที่ใช้ก่อสร้างเตามีอายุการใช้งานยาวนาน
5. กำลังการผลิตมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตในขั้นตอนอื่นๆ

ข้อเสียเปรียบของการใช้เตาอุโมงค์

1. ไม่สามารถสร้างในโรงงานแบบเก่าได้ เพราะเตาอุโมงค์มีความยาวมาก
2. มีการลงทุนสูง
3. เป็นเครื่องมือที่ทำงานเต็มที่ ไม่สามารถลดอัตราเร็วลงได้ต่ำกว่าครึ่งของอัตราเดิม เตาขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการเผาหรือหยุดเผาที่ยาวนาน

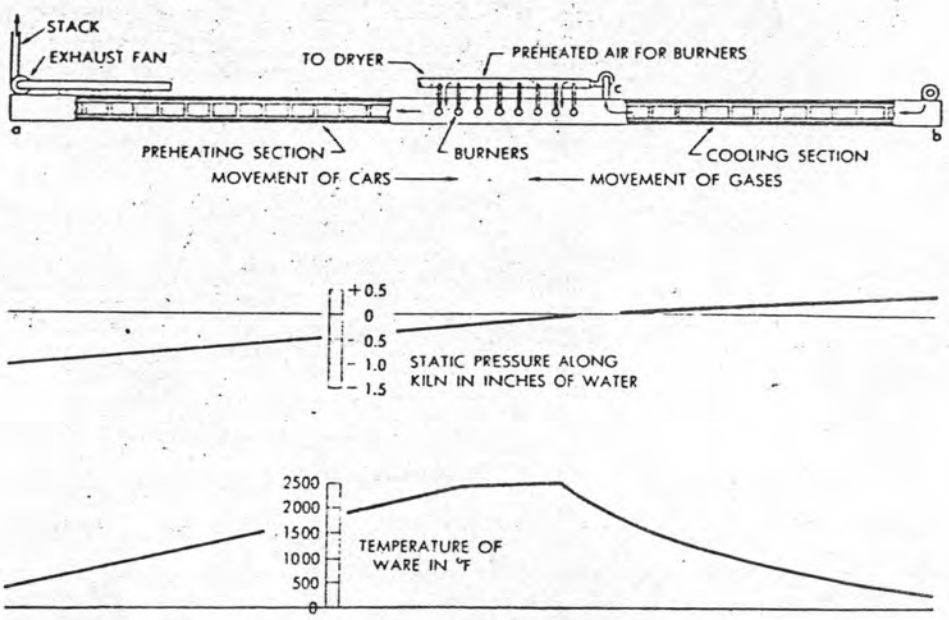
การทำงานของเตาอุโมงค์

โดยทั่วไป เตาอุโมงค์จะแบ่งส่วนสำคัญออกได้ 3 ช่วง ได้แก่

1. ช่วงของการอุ่นผลิตภัณฑ์ (Preheating zone) เป็นช่วงที่เผาเพื่อไล่น้ำและสารอินทรีย์ (carbonaceous compound) ที่มีอยู่ในส่วนผสมออกไปจนหมด ที่อุณหภูมิประมาณ 900°C

2. ช่วงเผา (Firing zone) เป็นช่วงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสุกตัว ภายในส่วนผสมจะเกิดปฏิกริยาทางเคมีขึ้น เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 900 °C จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ในช่วงนี้อาจมีการแช่อุณหภูมิเอาไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง (soaking period) เพื่อให้ส่วนผสมเกิดปฏิกริยาที่สมบูรณ์

3. ช่วงของการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง (Cooling zone) ช่วงนี้อุณหภูมิภายในเตาจะลดลง การปรับอัตราเร็วของการลดอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญ เพราะถ้าผลิตภัณฑ์เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วแล้ว จะเกิด thermal shock ผลิตภัณฑ์จะแตกหักเสียหายได้



ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเตาอุโมงค์

จากภาพ จะมีแหล่งพลังงานความร้อนอยู่ในช่วงประมาณกลาง ๆ เตา จากจุดนี้ ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ จะเคลื่อนที่ไปในแนวระดับสวนทางกับการเคลื่อนที่ของรถเตา ในช่วงการอุ่นผลิตภัณฑ์ (Preheating zone) ก๊าซร้อนจะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ดิบอีกด้านหนึ่งของเตาซึ่งเป็นช่วงที่ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่สุกตัวแล้วเย็นตัวลง (Cooling zone) อากาศจะถูกดูดเข้าไปสวนทางกับรถบรรทุกผลิตภัณฑ์ที่สุกตัวแล้ว ผลิตภัณฑ์จะเย็นตัวลง เนื่องจากคายความร้อนให้กับอากาศที่สวนเข้ามาภายในเตา ซึ่งเป็นการอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น (Preheating air) อากาศนี้อาจใช้ทั้งหมดหรือเป็นเพียงบางส่วนในการเผาไหม้ ดังนั้นพลังงานความร้อนจะถูกนำกลับมาใช้อีกถ้าเตามีความยาวมากพอ จนกระทั่งก๊าซที่ออกมาจากเตามีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง และฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติดีมาก จนไม่มีการสูญเสียความร้อนออกไปนอกผนังเตาเลย ดังนั้น พลังงานความร้อนที่จะใช้ก็เป็นเพียงพลังงานความร้อนที่ต้องการให้เกิดปฏิกริยาขึ้นในดินเท่านั้น โดยปกติอุณหภูมิของก๊าซที่ออกมาจากเตาจะสูงประมาณ 200 ถึง 300 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ยังมีการสูญเสียความร้อนตามผนังและหลังคาเตา แต่อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาเตาอุโมงค์ก็น้อยกว่าการเผาด้วยเตาชนิดเผาเป็นครั้งคราว

หัวพ่น (Burner)

จะอยู่ภายในผนังเตา หัวพ่นแบบที่ใช้มาก เป็นแบบที่มีอากาศและเชื้อเพลิง (น้ำมันหรือก๊าซ) ผ่านเข้ามาด้วยความดันต่ำที่หัวพ่น และจะผสมกัน ซึ่งจะเผาไหม้กับอากาศอีกทีหนึ่ง อากาศที่ใช้เผาไหม้ในครั้งหลังนี้มักเป็นอากาศอุ่น คือ มีอุณหภูมิประมาณ 150 ถึง 200 องศาเซลเซียส

พลังงานที่ใช้

เตาอุโมงค์อาจใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง โดยปกติ จะใช้เส้นลวดความต้านทานชนิด Kanthal ฝังไว้ในร่องตามผนังเตา พื้นเตา หรือหลังคาเตา ถ้าต้องการเผาที่อุณหภูมิสูง ก็จะใช้แท่งซิลิกอนคาร์ไบด์แทน

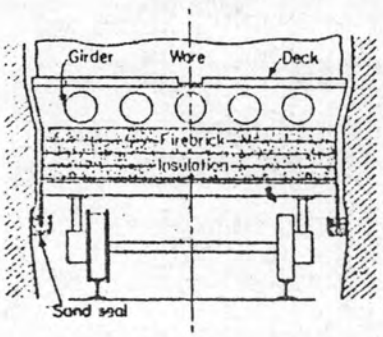
ผนังเตา หลังคาเตา และการหุ้มฉนวนกันความร้อน

เตาอุโมงค์ขนาดใหญ่มักมีขนาดเทอะทะ ภายในจะก่อด้วยอิฐทนไฟชนิดต่าง ๆ ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะเข้าเผา ถัดมากรุด้วยฉนวนกันความร้อน และชั้นนอกสุดจะก่อด้วยอิฐก่อสร้าง

รถบรรทุกผลิตภัณฑ์หรือรถเตา (Kiln car) และเครื่องผลัก (Hydraulic pusher)

รถบรรทุกผลิตภัณฑ์จะมีล้อวิ่งไปตามราง โดยที่รางจะต้องมีช่องว่างเป็นช่วง ๆ เพื่อการขยายตัว วัสดุทนไฟตอนบนของรถจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่เสมอ เพราะจะถูกเผาและเย็นตัวลงสลับกัน ปกติส่วนบนของรถเตาจะก่อด้วยฉนวนกันความร้อน อิฐทนไฟและส่วนบนสุดก่อด้วยอิฐพิเศษ ดังรูป

ภาพที่ 3.2 แสดงภาคตัดขวางของรถบรรทุกผลิตภัณฑ์ (Kiln car)



เพื่อป้องกันก๊าซร้อนวิ่งลงใต้รถ จึงใช้ทรายเป็นตัวอุดรอยรั่วดังกล่าว รถเตาจะเคลื่อนที่เป็นจังหวะโดยอาศัยเครื่องผลัก หมายความว่าขบวนรถเตาจะเคลื่อนที่ตลอดเวลา หรือบางแห่งก็จะหยุดเคลื่อนที่สองสามนาที การปิดประตูเตาทั้งสองด้าน จะช่วยควบคุมความดันของอากาศภายในเตา อาจสร้างเตาที่ไม่ต้องใช้ประตูก็ได้ แต่ในกรณีนี้ความดันที่ปลายเตาทั้งสองด้านต้องไม่มีหรืออาศัยการพ่นอากาศลงมาเป็นม่านกั้น

การควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิอย่างดี เป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ อุณหภูมิจะต้องคงที่ตลอดเวลาและสม่ำเสมอตลอดภาคตัดขวางของเตาอุโมงค์

การวัดและการควบคุมอุณหภูมิ ทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ ตลอดความยาวของเตา และต่อเข้ากับเครื่องรายงานอุณหภูมิ ซึ่งอาจเป็นแบบเครื่องบันทึก เครื่องบอกอุณหภูมิโดยตรง หรือเป็นกราฟ ในขณะเดียวกันจะต่อกับเครื่องควบคุมเชื้อเพลิงและอากาศด้วย หรืออาจใช้ไพโรเมตริกโคน (Pyrometric cone) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีรูปร่างแบบโคน มีคุณสมบัติยุบตัวเมื่อเผาถึงอุณหภูมิเฉพาะของโคนเบอร์หนึ่ง ๆ ที่วางคู่ไปกับผลิตภัณฑ์ที่เผา เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิตลอดความยาวของเตา มีหลายวิธี เตาเผาที่มีหัวพ่นหลาย ๆ หัว บริเวณที่ร้อนจัดสามารถปรับอุณหภูมิได้ตามต้องการ ในบริเวณที่เป็นช่วงอุ่นผลิตภัณฑ์อาจเพิ่มอุณหภูมิโดยการเพิ่มปริมาณก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ ในช่วงการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง อาจปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอากาศเย็นหรือปริมาณการแผ่รังสี

ในเตาเผาที่มีภาคตัดขวางขนาดเล็ก การกระจายความร้อนจะสม่ำเสมอดี ส่วนเตาเผาที่มีภาคตัดขวางขนาดใหญ่ ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิจะเป็นไปได้ดีต้องอาศัยการพาความร้อน

การใช้เตาอุโมงค์ให้มีประสิทธิภาพควรพิจารณาหลักต่อไปนี้

1. ชนิดและขนาดของผลิตภัณฑ์ควรสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน
2. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตควรมีคุณภาพเหมือนกัน
3. ปริมาณการผลิตและการเผาควรสมดุลกัน
4. มีช่างเทคนิคหรือผู้ชำนาญควบคุมการเผา

เตาที่ใช้ในการเผาอิฐทนไฟ

ที่นิยมโดยทั่วไป มี 2 แบบ คือ

1. เตาเผาแบบยกประตูเตาขึ้นลงได้ (Shuttle kiln) ใช้สำหรับเผาอิฐทนไฟที่มีรูปทรงขนาดใหญ่ มีลักษณะการเรียงอิฐคล้ายกับเตาอุโมงค์ รถเตาสามารถหมุนเวียนใช้ได้ หัวพ่นจะอยู่ด้านข้างเตา และอยู่ในระดับต่ำ ในส่วนกลางของรถเตาจะมีช่องลมร้อน ข้อดีของเตาชนิดนี้ คือ การเรียงและนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาได้ง่าย

2. เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln) ในการเผาอิฐทนไฟ ต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ชนิดและขนาดของอิฐทนไฟมีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้งาน นอกจากนี้ อิฐทนไฟแต่ละชนิดยังใช้อุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน ดังนั้น การเลือกใช้เตาเผาและการควบคุมการเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง

การใช้เตาอุโมงค์ในการเผาอิฐทนไฟ เป็นที่นิยมมากกว่าการใช้เตาเผาแบบครั้งคราว เพราะจะได้อิฐที่มีคุณภาพที่ดีกว่าและมีต้นทุนต่ำกว่า แต่เตาเผาแบบครั้งคราวนี้จะมีข้อดีในแง่ที่สามารถเผาอิฐทนไฟที่มีขนาดใหญ่มากหรือที่มีลักษณะสลับซับซ้อน ในกรณีที่ตารางการเผาแตกต่างไปจากมาตรฐาน การทำงานของเตาอุโมงค์โดยทั่วไปมีลักษณะดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น แต่ในการเผาอิฐทนไฟนั้นต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเผาอยู่เสมอ เพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพตามต้องการ

ข้อดีของการใช้เตาอุโมงค์

1. เตาอุโมงค์เป็นเตาเผาแบบต่อเนื่อง จึงช่วยลดเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ได้น้อยลง

2. การนำผลิตภัณฑ์เข้าเผาและออกจากเตาทำได้ง่าย ถ้าเป็นอิฐทนไฟที่ขึ้นรูปแบบใช้ความชื้นต่ำ (semi-dry press) สามารถนำเข้าเผาได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านการอบ

3. โครงสร้างของเตาเผาได้ออกแบบให้เหมาะสมกับรถเตา ทำให้อุณหภูมิการเผาสม่ำเสมอ

4. ถ้ามีการออกแบบช่วงการอุ่นผลิตภัณฑ์และการนำผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาให้

สอดคล้องกับการออกแบบตารางการเผา จะช่วยลดเวลาในการเผาผลิตภัณฑ์ให้สั้นลงได้

5. ในเตาเผาที่มีภาคตัดขวางขนาดเล็ก ความร้อนถ่ายเทไปสู่ผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วสม่ำเสมอดี จะทำให้เผาผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการใช้เตาเผาแบบชนิดครั้งคราว ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์อย่างเร่งด่วน

6. เตาอุโมงค์ประหยัดเชื้อเพลิงกว่า

ข้อเสียของการใช้เตาอุโมงค์

1. โครงสร้างของเตาเผามีการลงทุนสูง มีกำลังการผลิตคงที่แน่นอน ไม่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นเป็นลำดับได้อย่างเตาเผาแบบครั้งคราว

2. การเปิดปิดเตาอุโมงค์แต่ละครั้งเป็นอันตรายต่อตัวเตา และเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเชื้อเพลิงและเวลา

3. เสียค่าบำรุงรักษามาก

4. การควบคุมอุณหภูมิของรถเตาให้สม่ำเสมอทำได้ยาก ต้องใช้ผู้มีความชำนาญบางครั้งด้านบนและด้านข้างของรถเตาอาจมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านล่าง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ

5. เตาอุโมงค์มีความยาวมาก จึงไม่เหมาะกับสภาพของโรงงานบางแห่ง

6. ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่เข้าเผามีลักษณะคงที่ เตาอุโมงค์จะมีประสิทธิภาพการเผาสูงที่สุด แต่ถ้ามีการเปลี่ยนตารางการเผาไปเผาผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างใหญ่กว่า หรือมีส่วนผสมที่แตกต่างกันไป การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อโครงสร้างของเตาเผา

7. เตาอุโมงค์ไม่สามารถเผาได้อย่างมีประสิทธิผล ถ้าลดกำลังการผลิตลง จึงมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าเตาเผาแบบครั้งคราว ดังนั้น ต้องทำเต็มกำลังการผลิต เพื่อให้ป้อนผลิตภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่อง

พลังงานที่ใช้

สำหรับพลังงานที่ใช้ในโรงงานแห่งนี้ คือ น้ำมันเตา ซึ่งมีข้อดีหลายประการ คือ

1. เป็นแหล่งพลังงานที่มีมาก
2. ให้พลังงานความร้อนสูง
3. มีราคาถูก
4. การจัดเก็บรักษาง่าย

เตาอุโมงค์ที่ใช้ในโรงงานตัวอย่าง มีความยาว 73 เมตร สามารถจุรถเตาได้ 37 คันรถ มีหัวเผา (burner) ที่ช่วงเผา (firing zone) 9 จุด ระยะห่างระหว่างหัวเผาเป็น 1 รถเตา (ความยาว 1.8 เมตร) แรงดันน้ำมันภายในท่ออยู่ระหว่าง 2-3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิที่หัวเผาภายในห้องเผาและระยะเวลาการเผา แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 และแสดงตัวอย่างตารางการเผาไว้ในภาพที่ 3.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิการเผาอิฐชนิดต่างๆที่หัวเผา

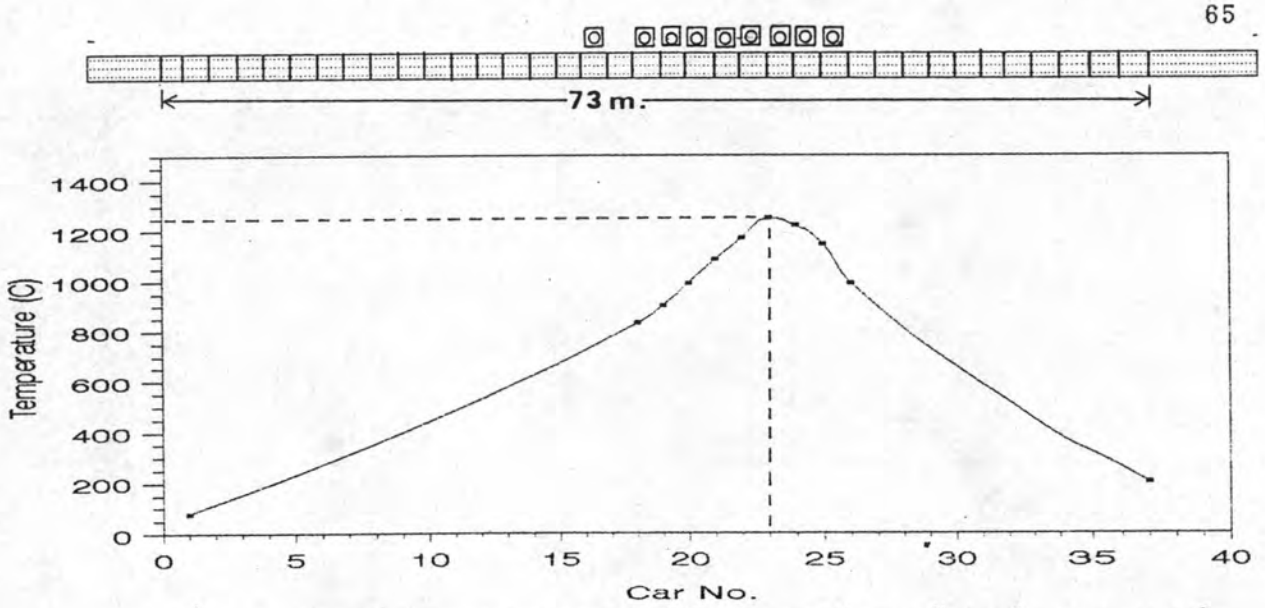
ชนิดของอิฐ	อุณหภูมิภายในเตาที่หัวเผา (°C)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I/B,B-1					1170	1250	1210	1150	
SK-30				1140	1200	1270	1240	1150	
SK-32				1150	1220	1290	1240	1150	
I/B,C-1				1150	1220	1300	1240	1150	
SK-34				1200	1270	1320	1270	1200	
SK-36				1220	1300	1340	1300	1220	
I/B,C-2				1250	1320	1360	1320	1250	1200
SK-38				1270	1360	1400	1360	1270	1200
B/B			1260	1320	1400	1450	1420	1320	1260

ตารางที่ 3.2 แสดงระยะเวลาการเผาและน้ำหนักบรรทุกของอิฐชนิดต่างๆโดยเฉลี่ย

ชนิดของอิฐ	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรถเตา (นาที)	น้ำหนักบรรทุก (ตันต่อคันรถ)	ระยะเวลาการเผา (นาที)
I/B,B-1	1250	90	0.81	3330
SK-30	1270	90	1.43	3330
SK-32	1290	90	1.44	3330
I/B,B-5	1300	90	0.84	3330
I/B,C-1	1300	90	0.93	3330
SK-34	1320	80	1.49	2960
SK-36	1340	100	1.53	3700
I/B,C-2	1360	110	1.00	4070
SK-38	1400	110	1.55	4070
B/B	1450	180	1.55	6660

หมายเหตุ : 1. น้ำหนักบรรทุกของอิฐชนิดต่าง ๆ นี้เป็นน้ำหนักบรรทุกหลังเผาซึ่งไม่เกิน 1.6 เมตริกตันต่อคันรถ

2. ระยะเวลาการเผา เป็นเวลาที่รถ 1 คันเริ่มเข้าเตาจนออกจากเตา



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างแสดงตารางการเผาของอิฐชนิดฉนวนกันความร้อน ชนิด B-1 อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส

จากตัวอย่างของตารางการเผาของอิฐทนไฟชนิดฉนวนกันความร้อน ชนิด B-1 มีอุณหภูมิการเผา 1250 องศาเซลเซียส เริ่มเข้าเผาตั้งแต่รถเตาคันที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส รถเตาจะเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ในเตา (จุดต่าง ๆ ในภาพ) ทุก ๆ 90 นาที จนถึงอุณหภูมิสูงสุด คือ 1250 องศาเซลเซียส (หัวเผาตำแหน่งที่ 6 หรือรถเตาคันที่ 23) เมื่อรถเตาเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่ 24 (เป็นช่วงการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง) อุณหภูมิจะเริ่มลดลง จนถึงปลายอีกด้านหนึ่งของเตา ซึ่งรถเตา 1 คัน จะใช้เวลาในการเผา 3330 นาที

แต่ในการเผาจริง จะเป็นการเผาแบบต่อเนื่อง ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการเผาจริงจะมีเวลาบางส่วนที่คาบเกี่ยวกันอยู่ ซึ่งในการคิดคำนวณเวลาที่ใช้ในการเผาอิฐทนไฟชนิดหนึ่ง ๆ ถ้าเริ่มจากการจุดเตา จะต้องใช้เวลาระยะหนึ่ง (ประมาณ 4-6 วัน) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ (1250 องศาเซลเซียส) แต่ก่อนที่จะถึงอุณหภูมินี้ ในช่วงแรกของการเผา รถเตาจะบรรทุกวัตถุดิบประเภทดิน (clay chammotte) เข้าไปเผา เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน และใช้เป็นวัตถุดิบในเนื้ออิฐด้วย จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ (หัวเผาตำแหน่งที่ 6 หรือรถเตาคันที่ 23) แสดงว่า รถเตาที่เผาก่อนหน้า (ตั้งแต่คันที่ 23-37 รวม 15 คัน) ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

ในการเผา จะเริ่มนับ ระยะเวลาการเผาอิฐคันแรกเมื่อรถเตาเคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งที่23 ในรถเตา ซึ่งจะใช้เวลาอีก 15 * Xโดยที่ X คือ ความเร็วรถเตา และจะเผาอีก (N-1) คันรถ เมื่อ (N-1) คือ จำนวนรถเตาทั้งหมดที่บรรทุกอิฐชนิดหนึ่ง ๆ เข้าเผา

หักด้วยรถเตาที่เผาอยู่ ณ ตำแหน่งเผา

กรณีที่มีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ จะต้องใช้เวลาอีกช่วงหนึ่ง เพื่อเผารถดินที่คั่น

ดังนั้น อิฐชนิดหนึ่ง ๆ จะใช้เวลาเผาทั้งหมด ดังนี้

1. เวลาที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิ (A) = จำนวนรถเตาที่คั่น * ความเร็วรถเตา

$= n X$

2. เวลาเผาของรถคันที่ 1 = 15 * ความเร็วรถเตาที่ต้องการ

(ที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิ) $= 15 X$

3. เวลาเผาผลิตภัณฑ์ที่เหลือ = (จำนวนรถเตาที่ต้องการ-1) * ความเร็วรถเตา

$= (N - 1) X$

โดยที่ N = จำนวนรถเตาที่ต้องการ

n = จำนวนรถเตาที่ใช้คั่นเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ

n = 6 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 10-30 °C

= 8 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 40-50 °C

= 10 เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปมากกว่า 60 °C

nX = 4.465-5 วัน ถ้าเป็นการเริ่มเปิดเตารอบใหม่

X = ความเร็วรถเตาที่ต้องการ

ดังนั้น เวลาที่ใช้จริง $= nX + 15 X + (N - 1) X$

$= nX + (15 + N - 1) X$

$= nX + (14 + N) X$

ข้อสังเกตเกี่ยวกับการเผาอิฐทนไฟด้วยเตาอุโมงค์

1. ควรเผาผลิตภัณฑ์เรียงไปตามอุณหภูมิจากสูงไปต่ำ หรือจากต่ำไปสูงตามลำดับ ไม่ควรเปลี่ยนอุณหภูมิขึ้น ๆ ลง ๆ เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

2. ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกครั้ง จะเผาผลิตภัณฑ์ติดต่อกันไปเลยไม่ได้ เพราะคุณสมบัติของอิฐที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ต้องเผาคั่นด้วยรถดินก่อน

สิ่งที่มีผลต่ออัตราการใช้น้ำมันเตา

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ถ้าแตกต่างกันมากจะใช้เชื้อเพลิงมากกว่า เพราะต้องใช้รถดินคั่นมาก เพื่อปรับอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละครั้ง จะใช้รถคั่นจำนวนต่างกัน ขึ้นกับอุณหภูมิที่ต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับจำนวนรถที่คั่น

อุณหภูมิต่างกัน ($^{\circ}C$)	จำนวนรถที่คั่นอย่างน้อย (คัน)
10-30	6
40-50	8
มากกว่า 50	10

2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในช่วงการเผารถดินคั่น ถ้าลดอุณหภูมิลงจะใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เพราะมีการปรับแรงดันของน้ำมันและลมที่หัวเผาให้ลดลง

3. อัตราการดันรถเตา (pushing rate) ถ้าเร็วจะใช้เชื้อเพลิงสูงกว่า

4. ระยะเวลาการเผา ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ควรเผาอย่างน้อย 1 วัน

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลในโรงงานตัวอย่าง อาจสรุปอัตราการใช้น้ำมันเตาเมื่อเผาอิฐทนไฟชนิดต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ดินคั่นเพื่อปรับอุณหภูมิกับอัตราการใช้น้ำมันเตาได้ ดังตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5 ดังนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราการใช้น้ำมันเตาเมื่อเผาอิฐทนไฟชนิดต่าง ๆ

หน่วย : ลิตร

ชนิดของอิฐ	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรถเตา (นาที)	อัตราการใช้น้ำมันเตา/วัน	
			<1วัน	>1วัน
I/B,B-1	1250	90	2620	2490
SK-30	1270	90	3335	3065
		100	3210	*
		110	*	3040
		140	*	3215
SK-32	1290	90	3350	3135
		110	*	3020
I/B,B-5	1300	90	2800	2665
I/B,C-1	1300	90	2800	2665
SK-34	1320	80	3395	3250
SK-36	1350	90	3465	3350
I/B,C-2	1360	110	3510	3415
SK-38	1400	110	4580	3640
B/B	1450	180	*	4250

หมายเหตุ : * ไม่มีการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำมันเตากับการใช้รถดินคั่น

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (°C)		ความเร็วรถเตา (นาที)		อัตราการใช้น้ำมันเตา/วัน (ลิตร)	
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เพิ่มอุณหภูมิ	ลดอุณหภูมิ
1250	1270	90	90	3390	2650
	1290	90	90	3635	2555
	1300	90	90	3710	
1270	1290	90	90	3210	3020
	1300	90	90	2945	2795
	1320	90	80	3320	3200
1290	1300	90	90	3170	3160
	1320	80	90	3320	2825
	1350	90	110	3470	
1300	1320	90	80	3470	2650
	1350	90	90	3580	
	1400	90	110	3765	2870
1320	1350	80	90	3370	
	1360	80	110	3720	
	1400	80	110	4420	3675
1350	1360	90	90	3450	
	1400	110	90	3615	
1360	1400	110	110	4110	3680
	1450	110	110	4485	

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำมันเตากับการใช้รถดินดั่น

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (°C)		ความเร็วรถเตา (นาที)		อัตราการใช้น้ำมันเตา/วัน (ลิตร)	
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 2	เพิ่มอุณหภูมิ	ลดอุณหภูมิ
1400	1450	110	180	4655	4045

จากตารางที่ 3.5 อธิบายได้ว่า ที่อุณหภูมิ 1250 °C ณ จุดที่ 1 เผาอิฐ I/B, B-1 ด้วยความเร็วรถเตา 90 นาที (จุดที่ 1) เมื่อเผาอิฐจนครบตามจำนวนที่ต้องการแล้ว ก็จะต้องเผาอิฐชนิดอื่นที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่า เช่น อิฐ SK-32 อุณหภูมิ 1290 °C จะถือว่าเป็นจุดที่ 2 ในช่วงต่อนี้จำเป็นต้องใช้ดินเผาดั่น ซึ่งใช้เป็นจำนวน 8 คันรถ โดยที่ความเร็วรถเตายังเท่าเดิม

ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิ = 8 * 90 = 720 นาที = 0.5 วัน

โดยที่ ใช้น้ำมันเตาทั้งหมด = 0.5 * 3635 = 1817.5 ลิตร

ในทางกลับกัน ถ้าต้องการลดอุณหภูมิจาก 1290 °C มาเป็น 1250 °C ก็ยังจะใช้จำนวนรถเตาและเวลาเท่าเดิม

แต่ปริมาณการใช้น้ำมันเตาจะเปลี่ยนไปเป็น 0.5 * 2555 = 1277.5 ลิตร

สำหรับที่อุณหภูมิอื่น ๆ ก็จะเป็นในทำนองเดียวกัน

จากตารางทั้งสอง สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำมันเตาในการเผาอิฐชนิดใด ๆ ได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้น้ำมันเตาเมื่อปรับอุณหภูมิ และการใช้น้ำมันเตาเมื่อเผาผลิตภัณฑ์