หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ลักษณะการดำเนินงานโดยทั่วไปของธุรกิจในอุตสาหกรรมอิฐทนไฟ

อิฐทนไฟเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิคส์ประเภทหนึ่งซึ่งนำไปใช้สร้างเตาและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมที่ใช้อุณหภูมิสูงในขบวนการผลิต คำว่า "อุณหภูมิสูง" นี้โดยทั่วไปหมายถึง อุณหภูมิที่สูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิซึ่งไม่สามารถนำโลหะธรรมดามาใช้ในการก่อสร้างดังกล่าวได้เนื่องจากจะเกิดการหลอมละลาย หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นเมื่อมีการใช้งาน ณ อุณหภูมิที่สูง

อิฐทนไฟใช้กันมากในการบุผนังเตาเผาปูนซิเมนต์ ใช้ก่อเตาหลอมโลหะหรือเตาเผาชนิดต่าง ๆ ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ใช้ทำภาชนะรองกระเบื้องและเซรามิคส์ (sagger) ใช้สร้างเตาถลุงเหล็ก เตาอบแท่งเหล็ก และโรงงานรีดโลหะ ใช้สร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมแก้วและอุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้บุภายในปล่องและท่อลมร้อน นอกจากนี้ยังใช้บุผนังหม้อน้ำ (Steam boiler) ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปอีกด้วย

<u>ประวัติความเป็นมาและสภาพของอุตสาหกรรมในประเทศไทย</u>

โรงงานผลิตอิฐทนไฟแห่งแรกในประเทศไทย คือ โรงงานผลิตวัสดุทนไฟท่าหลวง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโรงงานปูนซิเมนต์ของบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด ตั้งอยู่ที่จังหวัดสระบุรี เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปีพ.ศ. 2496 ในระยะแรกทำการผลิตอิฐทนไฟธรรมดาสำหรับใช้บุในหม้อเผาปูนซิเมนต์ของบริษัท และใช้ทำเตาหลอมเหล็กท่าหลวงซึ่งในปัจจุบันคือ บริษัท เหล็กสยาม จำกัด ได้ทำการผลิตอย่างจริงจังเพื่อจำหน่ายสู่ท้องตลาดตั้งแต่พ.ศ. 2515 สำหรับโรงงานผลิตอิฐทนไฟที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนที่เปิดดำเนินการเป็นรายแรกคือ บริษัท ไทยรีแฟรคตอรี่ จำกัด ซึ่งในปัจจุบันคือ บริษัทเอเชียบริคแอนด์ไทล์ จำกัด หลังจากนั้นก็มีผู้ผลิตเปิดดำเนินการเพิ่มขึ้นโดยลำดับ จนในปัจจุบันมีโรงงานที่ผลิตอิฐทนไฟทั้งที่เป็นบริษัทและห้างหุ้นส่วนจำกัด รวม 7 โรงงาน (ดูตารางที่ 1 หน้า 59) ในจำนวนนี้มีโรงงานที่สามารถผลิตอิฐทนไฟได้หลายแบบตามวัตถุประสงค์การใช้งานอยู่ 4 โรงงานคือ บริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด บริษัท

จี เอส ซิแร็มมิคส์ จำกัด บริษัท เอเชียบริคแอนด์ไทล์ จำกัด และบริษัท กระเบื้องเคลือบสยาม จำกัด

ปัจจุบันโรงงานที่ผลิตอิฐทนไฟธรรมดาจะใช้วัตถุดิบประเภทดิน หินและแร่ธาตุในประเทศ แต่ถ้าเป็นการผลิตอิฐทนไฟที่มีอลูมิน่าสูง (เป็นอิฐที่มีอลูมิน่ามากกว่าร้อยละ 45 อลูมิน่าคือออกไซด์ของอลูมิเนียม ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟจะทำให้อิฐทนความร้อนได้ดี) จะใช้วัตถุดิบในประเทศประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณการใช้วัถดุดิบ ส่วนที่เหลือใช้วัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากวัตถุดิบบางชนิดไม่มีในประเทศและบางชนิดคุณภาพไม่ดีพอ วัตถุดิบที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศได้แก่ ดินทนไฟจากญี่ปุ่นและไต้หวัน แร่แมกนีไซด์จากสาธารณรัฐประชาชนจีน เนเธอร์แลนด์ อังกฤษ และญี่ปุ่น แร่บอกไซด์จากมาเลเซียและสาธารณรัฐประชาชนจีน แร่โครไมท์จากเบลเยี่ยมและญี่ปุ่น

การจำหน่ายภายในประเทศมีทั้งที่เป็นการจำหน่ายให้ลูกค้าซึ่งเป็นผู้ใช้โดยตรง ได้แก่ โรงงานแก้ว โรงงานน้ำตาล โรงหลอมเหล็ก และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อใช้ในหม้อน้ำ (Boiler) การจำหน่ายให้กับตัวแทนจำหน่าย และการที่โรงงานผู้ผลิตผลิตให้บริษัทในเครือเดียวกันที่ใช้อิฐทนไฟเป็นจำนวนมาก เช่น โรงงานผลิตวัสดุทนไฟท่าหลวง ซึ่งเป็นโรงงานในเครือของบริษัทปูนซิเมนต์ไทยที่ทำการผลิตอิฐทนไฟให้กับโรงงานปูนซิเมนต์ และโรงงานหลอมเหล็กของบริษัทเหล็กสยาม จำกัด บริษัทจี เอส ซิแร็มมิคซ์ จำกัดซึ่งทำการผลิตอิฐทนไฟป้อนโรงงานหลอมเหล็ก ของบริษัท จี เอส สตีล จำกัด ในด้านการนำเข้านั้นเนื่องจากประเทศไทยเองก็เป็นผู้ผลิตอิฐทนไฟรายใหญ่ที่สุดในกลุ่มประเทศอาเซียน รัฐบาลจึงตั้งกำแพงภาษีไว้สูง เพื่อป้องกันการทุ่มตลาดจากประเทศนอกกลุ่มอาเซียนซึ่งได้แก่ ญี่ปุ่น ไต้หวัน และเกาหลีใต้ ส่วนการส่งออกนั้นเป็นการขายตามใบสั่งซื้อโดยตรงจากลูกค้า และจำหน่ายโดยผ่านตัวแทนจำหน่าย ในการส่งออกนี้ต้องประสบกับการแข่งขันกับผลิตภัณฑ์จาก ญี่ปุ่น ไต้หวัน เยอรมันและอิตาลี

<u>ประเภทของอิฐทนไฟ</u>

การที่มีการนำอิฐทนไฟไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ กันตามที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้มีการผลิตอิฐทนไฟขึ้นหลายรูปแบบตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานนอกเหนือไปจากอิฐทนไฟแบบมาตรฐาน (Standard Refractory Brick) (ดูรูปที่ 1 หน้า 144)ที่ผู้ผลิตผลิตเก็บไว้ในสต๊อค เช่น รูปเสี้ยว รูปลิ่ม รูปทรงกระบอก รูปกรวย และรูปอื่น ๆ อีกในขนาดต่าง ๆ กัน (ดูรูปที่ 2 หน้า 145)

อิฐรูปแบบต่าง ๆ นี้ ลูกค้ามักสั่งทำเพื่อใช้สร้างหรือซ่อมแซมเตาหรืออุปกรณ์ที่ชำรุด ในบางครั้งผู้ผลิตอาจส่งเจ้าหน้าที่ไปสำรวจเพื่อให้คำปรึกษาว่าลูกค้าควรใช้อิฐรูปแบบใดและมีส่วนประกอบทางเคมีอย่างไร เพราะการใช้งานต่าง ๆ นั้นย่อมต้องการอิฐที่มีคุณสมบัติทนความร้อน ความสามารถในการรับน้ำหนัก สภาพความเป็นกรดหรือด่างของอิฐ การเป็นตัวนำไฟฟ้า และการทนต่อการกัดกร่อนของของเสียจากการหลอมโลหะต่างกัน

อิฐทนไฟสามารถแบ่งออกตามส่วนประกอบทางเคมีได้หลายประเภท ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในประเทศไทยมี 5 ประเภทดังนี้

1. <u>อิฐทนไฟไฟร์เคลย์</u> (Fireclay refractory bricks)

อิฐทนไฟชนิดนี้ทำขึ้นจากดินทนไฟซึ่งเป็นดินที่มีจุดหลอมเหลวสูง ดินทนไฟนี้สามารถแบ่งออกตามคุณสมบัติในการใช้งานออกเป็น 2 ประเภทคือ ดินทนไฟที่มีลักษณะเหนียวเมื่อนำไปผสมกับน้ำซึ่งเรียกว่า Plastic clay และดินทนไฟซึ่งมีลักษณะแข็งเมื่อผสมกับน้ำที่เรียกว่า Flint clay ไม่มีความเหนียวยากแก่การขึ้นรูป โดยทั่วไปดินทนไฟที่มีลักษณะแข็งนี้มีค่า PCE (Pyrometric cone equivalent) สูงกว่า Plastic clay และมักใช้ผสมกับ Plastic clay เพื่อให้ได้อิฐทนไฟที่มีเกรดสูงขึ้น

อิฐทนไฟชนิดนี้อาจใช้ Plastic clay ผสมกับ Flint clay หรือ Plastic clay ผสมกับดินเชื้อ (grog) มีการจัดเกรดอิฐทนไฟนี้ออกเป็น 10 ชั้นตามจุดหลอมเหลว (fusion point) และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (firing temperature) อิฐแบบนี้เกือบทั้งหมดผลิตโดยกระบวนการอัดแบบแห้ง (dry-press process) โดยใช้เครื่องอัดอัตโนมัติ ส่วนการเผามักใช้เตาอุโมงค์ที่อุณหภูมิ 1100 ถึง 1500 องศาเซลเซียส

2. <u>อิฐทนไฟอลูมินาสูง</u> (High-alumina refractory brick)

อิฐชนิดนี้ทำขึ้นจากดินทนไฟซึ่งมีไฮเดรทของอลูมิเนียมออกไซด์อยู่ด้วยนอกเหนือจากอลูมินา (Al_2O_3) ที่มีอยู่ตามปกติในดินทนไฟซึ่งทำให้ปริมาณของอลูมินาทั้งหมดสูงขึ้น อิฐทนไฟชนิดนี้ก็จะมีความทนไฟสูงขึ้นด้วย คุณสมบัติที่สำคัญของอิฐทนไฟชนิดนี้คือ สามารถรับน้ำหนักได้มากและทนต่อการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงได้ดี

แร่ซิลิมาไนท์และไคยาไนท์เป็นแร่ชนิดแอนไฮดรัสอลูมิโนซิลิเคทใช้ทำอิฐทนไฟรูปแบบพิเศษ เช่น เบ้าหลอมโลหะ ท่อและเบ้าหลอมชนิดควันเข้าไม่ได้ และใช้ผสมกับดินทนไฟเพื่อเพิ่มความทนไฟและเพื่อควบคุมการหดตัวในระหว่างการเผา

3. <u>อิฐซิลิก้า</u> (Silica brick)

อิฐชนิดนี้เป็นอิฐทนไฟที่มีส่วนผสมของหินควอท์ซึ่งมีเปอร์เซนต์ซิลิก้าสูง ในส่วนผสมของอิฐทนไฟชนิดนี้มีซิลิก้าผสมอยู่ประมาณร้อยละ 95 และต้องใช้หินปูน (lime) ผสมประมาณร้อยละ 1.5-3.0 เพื่อให้มีการเกาะตัวกัน (binding) ในเนื้ออิฐ ในการเผาต้องใช้อุณหภูมิถึง 1,400-1,850 องศาเซลเซียส ถ้าทดสอบความเป็นกรด-ด่างของอิฐทนไฟชนิดนี้จะพบว่ามีฤทธิ์เป็นกรดจึงจัดเป็น Acid refractory

4. <u>อิฐทนไฟเชิงด่าง</u> (Basic brick)

อิฐชนิดนี้ทำจากมักนีเซี่ยมออกไซด์ (MgO) ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทด่างจึงเรียกอิฐชนิดนี้ว่า Basic brick แร่ที่นิยมใช้ในการผลิตอิฐนี้ได้แก่ โดโลไมท์ ซึ่งมีส่วนผสมของ แคลเซียมมักเนเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) การเผาอิฐนี้มักเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส อิฐชนิดนี้ใช้สร้างเตาถลุงโลหะซึ่งจำเป็นต้องใช้อิฐที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของขี้โลหะ

นอกจากอิฐทนไฟ 5 ประเภทที่กล่าวมาแล้วยังมีอิฐทนไฟชนิดย่อย ๆ อีกหลายชนิด และในโรงงานผลิตอิฐทนไฟส่วนมากจะผลิต ปูนทนไฟ (refractory mortar) และคอนกรีตทนไฟ (refractory concrete หรือ castable) ซึ่งใช้วัตถุดิบประเภทเดียวกันกับอิฐทนไฟ แต่มีการเติมสารที่ทำให้มีการเกาะตัวชนิดพิเศษ (special bonding agent) ในการผลิตไม่ต้องขึ้นรูปและเผา ปูนทนไฟใช้ในการก่ออิฐทนไฟ และคอนกรีตทนไฟใช้หล่ออิฐที่มีรูปแบบพิเศษ

5. <u>อิฐฉนวนกันความร้อน</u> (Insulating brick)

เป็นอิฐที่มีน้ำหนักเบา สามารถเก็บความร้อนได้ดี ปัจจุบันนิยมใช้กันในการก่อเป็น backup ของเตา เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน เป็นการช่วยประหยัดพลังงาน

<u>วัตถุดิบ</u>

อิฐทนไฟจะมีคุณภาพสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิต วัตถุดิบที่นำมาใช้ที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. <u>ดินทนไฟ</u> (Fire clay) คือดินที่มีจุดหลอมตัวสูง สามารถทนความร้อนได้ถึง 1500 องศาเซลเซียส เมื่อเป็นวัตถุดิบอาจพบเป็นสีน้ำตาลอ่อน สีเทาหรือเทาเข้ม มีอยู่ 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

- ดินทนไฟที่มีลักษณะแข็ง (Flint clay) เป็นดินที่มี เปอร์ เซนต์ของซิลิคอน-ไดออกไซด์สูง ในบางครั้งเรียกว่า "ดินทราย" ดินชนิดนี้มีความ เหนียวยากแก่การขึ้นรูป

- ดินทนไฟที่มีความ เหนียว (Plastic clay) พบอยู่ทั่ว ๆ ไป บางครั้งพบในรูปของดินดำและดินขาว เหนียว หรือถ้ามี เปอร์ เซนต์ของ เหล็กออกไซด์ปนอยู่สูงจะมีสี เหลืองไปจนถึงแดง

- ดินทนไฟที่มี เปอร์ เซนต์ของอลูมิน่า (Al_2O_3) สูง เมื่อนำมาทำวัสดุทนไฟจะมีปริมาณอลูมิน่ามากกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป

ดินทนไฟมีอยู่ทั่ว ๆ ไป แต่ที่สามารถนำมาใช้ทำอิฐทนไฟให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีนั้นจะต้องนำมาทำการวิ เคราะห์ทาง เคมี เสียก่อน เพื่อให้ได้สูตรส่วนผสมตามที่ต้องการซึ่งดินจากแต่ละแห่งจะไม่ เหมือนกัน เนื่องจากส่วนประกอบทาง เคมี ดินในประ เทศที่นิยมนำมาใช้ทำอิฐทนไฟ ได้แก่ ดินจากจังหวัดลำปาง ระยอง สุราษฎร์ธานี ชลบุรี และปราจีนบุรี

2. <u>ดิน เชื้อ</u> (Grog) เป็นดินประ เภท เดียวกันกับที่นำมาใช้ทำอิฐทนไฟแต่ต้องนำมา เผาให้ถึงอุณหภูมิ 1,400 องศา เซล เซียส เสียก่อน เพื่อไล่น้ำที่อยู่ในดินออก ดิน เชื้อจะแข็งตัว เป็นก้อน แล้วนำมาบดให้ละ เอียดใช้ผสมกับดินทนไฟ (ดินที่ไม่ได้ เผา) การที่ต้องทำ เช่นนี้ เพราะการผลิตอิฐทนไฟนั้นอิฐมีลักษณะ เป็นแท่งสี่ เหลี่ยมตันมีการหดตัวสูง หากไม่ผสมดิน เชื้อ เข้าไปด้วยจะทำให้มีการแตก เสียหาย เนื่องจากการหดตัว

3. <u>หินสบู่</u> (Pyrophyllite) ใช้ เป็นส่วนผสม เพื่อช่วยให้มีความทนไฟได้สูงขึ้น ก่อนนำมาใช้ต้อง เผา เสียก่อน เพื่อไล่น้ำออกแล้วจึงนำมาบดให้ละ เอียด ใช้ เป็นส่วนผสม เพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่ง โดยปกติหากใช้ดินทนไฟที่มีคุณภาพดีสามารถทนความร้อนได้สูงแล้ว จะไม่ใช้หินสบู่ผสมด้วยก็ได้ หินสบู่มีที่จังหวัดนครนายก เชียงราย และสระบุรี

4. <u>แร่ไคยาไนท์</u> (Kyanite) เกิดขึ้นตามธรรมชาติใช้สำหรับผลิตอิฐทนไฟที่ต้องการคุณสมบัติในการทนความร้อนสูงกว่าอิฐทนไฟชนิดธรรมดา ในการผลิตอิฐทนไฟจะต้อง เผาแร่ไคยาไนท์ก่อน ทั้งนี้ เนื่องจากที่อุณหภูมิ 1,350 องศา เซล เซียส แร่ไคยาไนท์จะ เปลี่ยนสภาพ เป็นมูลไลท์ (Mullite) ซึ่ง เป็นวัสดุที่มีสภาวะอยู่ตัวและทนความร้อนได้สูงมาก

5. <u>แร่บอกไซท์</u> เมื่อนำมาทำอิฐทนไฟจะต้องมีปริมาณอลูมิน่าสูงและจะต้องมีสารที่ไม่บริสุทธิ์ เจือปนอยู่น้อยมาก จากการผสมกับตัวประสานที่มีคุณภาพสูงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอลูมิน่าตั้งแต่ร้อยละ 50-80 ปริมาณของอลูมิน่าที่สูงขึ้นจะช่วยให้ความทนไฟสูงขึ้นไปด้วย

อิฐทนไฟที่มีปริมาณไคยาไนท์หรือบอกไซท์เป็นส่วนใหญ่นี้ นอกจากจะมีความทนไฟที่อุณหภูมิสูงได้ดีดังกล่าวแล้ว ยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของขี้โลหะบางชนิดได้ดีและมีความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงสูงขึ้น

6. <u>แร่แมกนีไซต์</u> มี 2 ชนิดคือ Natural Magnesite ซึ่งมีสิ่งเจือปนค่อนข้างสูง และแมกนีไซต์ที่สกัดจากน้ำทะเลซึ่งมีเปอร์เซนต์ของแมกนีเซี่ยมออกไซด์สูงและมีสิ่งเจือปนน้อยกว่าชนิดแรก

7. <u>แร่โครไมท์</u> ใช้ผสมในการผลิตอิฐทนไฟเชิงด่าง (Basic brick) เพื่อลดการขยายตัวและทำให้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดีขึ้น (Thermal shock resistance)

<u>กรรมวิธีการผลิต</u>

อิฐทนไฟจะมีคุณภาพดีได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับเทคนิคการผลิตกล่าวคือ อิฐทนไฟอย่างดีจะต้องเป็นอิฐเนื้อแน่น มีการขยายตัวหรือหดตัวน้อยเมื่อถูกความร้อนหรือเย็นลง ดังนั้นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอิฐทนไฟ จึงต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียดทั้งคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์ กรรมวิธีการผลิตอิฐทนไฟ ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) นำวัตถุดิบประเภทดินและหินมาตรวจสอบคุณสมบัติทั้งทางเคมีและฟิสิกส์เพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการ

คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญในการตรวจสอบได้แก่ ปริมาณแร่ที่ทำให้อิฐมีความทนไฟสูงตามเปอร์เซนต์ที่กำหนด และนอกจากนั้นยังต้องมีการตรวจสอบเกี่ยวกับสิ่งเจือปนด้วย

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญได้แก่ ความเหนียวของดิน (Plasticity), ความพรุนตัว (porosity), การหดตัวของดิน (firing shrinkage)

2) <u>การย่อยและบด</u> (Crushing and Grinding)

วัตถุดิบที่ผ่านการตรวจคุณภาพแล้วจะมีการตักโดยใช้รถตักจากกองวัตถุดิบนำมาใส่รถชั่งน้ำหนัก (weighing car) (ดูรูปที่ 3 หน้า 146) แต่ถ้าไม่มีก็อาจชั่งน้ำหนักวัตถุดิบโดยตักใส่รถบรรทุกแล้วขับไปจอดบนเครื่องชั่ง วัดน้ำหนักได้เท่าไรหักด้วยน้ำหนักรถเปล่าจะได้น้ำหนักวัตถุดิบแล้วเทวัตถุดิบใส่เครื่องบดย่อยแบบต่าง ๆ ได้แก่ Jaw crusher, (ดูรูปที่ 4 หน้า 147) และ Edge runner, Ball mill และ Pulverizer ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุดิบที่ต้องการว่าต้องการให้ละเอียดขนาดไหน ก็ใช้เครื่องชนิดนั้น ๆ ภายในเครื่องยดส่วนมากมักมีตะแกรงสำหรับ

แยกขนาดวัตถุดิบที่บดแล้ว โดยตะแกรงมีรูขนาดต่าง ๆ กันตามที่ต้องการ วัตถุดิบที่บดแล้วและมีขนาดตามที่ต้องการก็จะไหลผ่านตะแกรงไปได้ ส่วนที่ยังไม่ละเอียดพอก็จะถูกเป่าด้วยลมให้กลับไปอยู่ที่เป็นบริเวณที่จะบดอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เครื่องบดใหม่ หน่วยที่ใช้วัดขนาดเม็ดของวัตถุดิบนิยมใช้หน่วย มม.(มิลลิเมตร) และเมช (mesh)

3) <u>การผสม</u> (Mixing)

ชั่งวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตให้ได้น้ำหนักตามอัตราส่วนในสูตร แล้วนำมาผสมกันโดยใช้เครื่องผสม การที่ต้องควบคุมเกี่ยวกับการชั่งน้ำหนักเนื่องจาก ในการกำหนดสูตรแต่ละสูตรขึ้นมานั้น แผนกวิจัยได้ทดลองหาอัตราส่วนในการผสมและทดลองเผาอิฐแต่ละชนิดนั้นมาอย่างดีแล้ว หากไม่มีการควบคุมการชั่งน้ำหนัก ปล่อยให้มีการกะประมาณตามสะดวกหรือตามที่มีวัตถุดิบมากน้อยแล้วแต่ความพอใจ ผลที่ได้จะได้เนื้อดินไม่ถูกส่วน เมื่อนำเนื้อดินที่มีส่วนผสมไม่ถูกส่วนไปใช้ อาจทำให้เกิดรอยร้าว หรือบิดเบี้ยวได้

4) <u>การขึ้นรูป</u> (Forming)

การขึ้นรูปส่วนผสมให้เป็นอิฐที่มีรูปแบบต่าง ๆ (โปรดดูรูปที่ 11,12) มีหลายวิธีการดังต่อไปนี้

4.1 <u>การขึ้นรูปด้วยวิธีกด</u> (Press method)

การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีแรงกดดันสูง อิฐต่างชนิดกันใช้ความดันเพื่อขึ้นรูปต่างกันมาก เช่น Basic brick ใช้แรงอัด 14,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (p.s.i.) ส่วน Alumina brick ใช้ความดัน 11,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เครื่องมือที่ใช้ในการอัดหรือบางครั้งเรียกว่าเครื่องอัดอิฐ หรือเครื่องอัดแบบไฮโดรลิค (Hydraulic press) นั้นมีทั้งชนิดอัตโนมัติและแบบธรรมดาที่ใช้กำลังคนช่วยอัด มีรูปแบบของอิฐที่ผลิตได้ต่างกันไปตามแม่พิมพ์ (mould) ซึ่งถอดเปลี่ยนได้ การอัดของเครื่องมีทั้งเครื่องที่อัดแบบทางเดียว (Impact press) เครื่องอัดแบบสองทาง (Double impact press) นอกจากนี้ยังมีแบบอื่น ๆ อีก เช่น เครื่องอัดแบบทอกเกิล (Toggle press) เครื่องอัดอิฐแบบรันเนอร์ (Runner brick press) และเครื่องอัดอิฐแบบฟันเน็ล (Funnel brick press)

วัตถุดิบที่เตรียมมาใช้ในการผลิตอิฐทนไฟด้วยการอัดนี้มีลักษณะเป็นผง ซึ่งมีน้ำผสมอยู่ประมาณ 5-8% และไม่สามารถนวดแล้วปั้นเป็นก้อนได้ ต้องอาศัยแรงอัดจึงเกาะเป็นรูป

ได้ แม่พิมพ์ต้องสร้างด้วย เหล็กแข็ง การผลิตด้วยวิธีนี้มักใช้กับอิฐที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือ เป็นแท่งตัน และเป็นกลมแบน เช่น ceramics setter ในกรณีที่ใช้ เครื่องอัดแบบสองทางต้องใช้น้ำมัน หล่อลื่นผสมโดยอาจ เทลงในแม่พิมพ์ทุกครั้งที่อัด เพื่อช่วยลดการสึกหรอของแม่พิมพ์

4.2 <u>การขึ้นรูปด้วยวิธีรีดดิน</u>

การขึ้นรูปแบบนี้ทำโดยการอัดดินที่ผสมแล้วผ่านหัวแบบ แล้วตัดตามขนาดความยาวที่ต้องการด้วย เส้นลวดซึ่งติดอยู่ที่ เครื่องรีดอิฐ (Extruder) ดินที่นำมาใช้มีลักษณะเป็นก้อนและไม่แข็งมากนัก มีน้ำผสมอยู่ประมาณ 12-18% ในการผลิตจะ เตรียมดินโดยผ่าน เครื่องอัดดิน (Filter press) แล้วนำไป เข้า เครื่องรีดดิน เพื่อให้ได้รูปแบบที่ต้องการโดยใช้หัวแบบ (die) รูปร่างต่าง ๆ อิฐที่ผลิตด้วยการขึ้นรูปวิธีนี้มักมีรูปทรงเป็นแท่งโปร่ง เป็นท่อขนาดต่าง ๆ ทั้งกลมและ เหลี่ยม

4.3 <u>การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อ</u> (Casting method)

ในกรณีที่ต้องทำอิฐทนไฟที่มีขนาดใหญ่มาก เช่นอิฐทนไฟที่ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว เช่น หม้อหลอม ภาชนะสำหรับ เทน้ำแก้ว และ ฟิวซ์บล็อค (fused block) วัตถุดิบซึ่งได้แก่ ดินทนไฟ ดินประ เภทพอท เคลย์ (pot clays) บอลล เคลย์ (ball clays) และ เกาลิน (kaolins) นั้นจะต้องนำบางส่วนไป เผาและบด เพื่อใช้ เป็นดิน เชื่อโดยต้องมีการระมัดระวังในการบดให้ได้ขนาดของ เม็ดวัตถุดิบตามที่กำหนด การผสมน้ำดิน (Slip) ต้องทำในที่ที่ เป็นสูญญากาศ เพื่อไล่อากาศออกแล้วจึง เทน้ำดินที่ผสมแล้วนั้นลงในแม่พิมพ์ซึ่งทำจากปูนปลาส เตอร์ (ดูรูปที่ 17 หน้า 154) แล้วปล่อยทิ้งไว้ในแบบ เมื่อแข็งและปรากฏว่าน้ำส่วนที่ เกินต้องการลดน้อยลง เนื่องจากปูนปลาส เตอร์ดูดน้ำออกไป ทำให้ เมื่อถอดออกจากพิมพ์แล้วสามารถนำไปอบแห้งได้ เลย

4.4 <u>การขึ้นรูปด้วยมือ</u> (Hand molding)

ใช้กับอิฐทนไฟที่มีขนาดใหญ่มาก และไม่ต้องการแรงอัด เพื่อทำให้ได้อิฐมี เนื้อแน่น

5) <u>การ เรียงอิฐขึ้นรถ เตา</u> (Loading kiln car)

ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วซึ่งพนักงานปั๊มอิฐ เรียงไว้บนชั้น เมื่อชั้น เต็มพนักงานแผนกปั๊มอิฐจะใช้รถยกยกไปไว้ที่แผนก เรียงซึ่งจะต้องรอให้อิฐแห้งก่อนจึงจะ เรียงลงบนรถ เตา (kiln car) เพื่อ เข็น เข้า เตาอุโมงค์เพื่อ เผาต่อไป อิฐบางชนิดก็สามารถปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิปกติได้

แต่บางชนิดต้องนำไปอบในห้องอบ (dryer) (โปรดดูรูปที่ 18) ซึ่งใช้อากาศร้อนจากเตาเผาอิฐส่งผ่านมาตามท่อมาทำให้อิฐแห้ง การอบหรือตากให้แห้งนี้ต้องระมัดระวังอย่าเร่งความร้อนเกินไป ต้องให้อิฐแห้งช้า ๆ มิฉะนั้นอิฐจะแตก การเรียงอิฐขึ้นรถเตาจะเรียงอิฐหลาย ๆ ชนิดคละกันในรถเตา 1 คัน และต้องเว้นช่องว่างเพื่อให้อิฐแต่ละก้อนได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง (โปรดดูรูปที่ 19)

รถเตา (Kiln car) เป็นรถที่ใช้บรรทุกอิฐเพื่อนำไปเข้าเตาเผาซึ่งเตาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอิฐทนไฟคือ เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln) รถเตามีลักษณะเป็นแท่นสี่เหลี่ยมก่อด้วยอิฐทนไฟมี 4 ล้อวิ่งไปตามราง เคลื่อนที่โดยใช้แรงคนเข็นประมาณ 5-6 คน เมื่อบรรทุกอิฐเต็มรถ ตามรางต้องมีช่องว่างเป็นช่วง ๆ เพื่อรับการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อิฐที่ใช้ก่อด้านบนของรถนั้นเป็นฉนวนกันความร้อนไม่ให้ผ่านมาด้านล่าง และเพื่อป้องกันก๊าซร้อนวิ่งลงใต้รถจะใช้รางทราย (Sand seal) เป็นเครื่องอุดรอยรั่วหรือรอยต่อต่าง ๆ

6) <u>การเผา</u> (Firing)

ในแผนกเผานั้นอุปกรณ์ประกอบด้วยเตาและห้องควบคุมเตา (โปรดดูรูปที่ 20 และ 21) โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมเซรามิคส์มีเตาอยู่หลายชนิด เช่น Periodic Kiln Continuous kiln เตาแบบที่ยกตัวเตาขึ้นลงในแนวดิ่ง (Top Hat kiln) และเตาอุโมงค์ (Tunnel kiln) ในอุตสาหกรรมผลิตวัสดุทนไฟนิยมใช้เตาอุโมงค์กันมาก เนื่องจากสามารถทำการเผาได้ตลอดเวลาจะหยุดต่อเมื่อเตาเกิดชำรุดเท่านั้น หากมีการขัดข้องในการเคลื่อนที่ของรถเตาก็จะมีประตูฉุกเฉิน (Emergency door) ใช้เปิดเตาได้ เช่นกรณีเกิดการติดขัดระหว่างทางเดินรถหรือมีอิฐตกลงมาขวางทาง ถ้าไม่มีประตูดังกล่าวนี้ก็จะต้องหยุดชะงักการเผาแล้วปล่อยให้เตาเย็นลง จึงจะเข้าไปแก้ไขได้ การปล่อยให้เตาเย็นลงต้องใช้เวลานานและกว่าจะทำให้ร้อนได้อีกก็เช่นกัน เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ที่ด้านหนึ่งของเตามีพัดลมดูดอากาศ (Exhaust Fan) ดูดความร้อนแล้วผ่านไปตามท่อเพื่อใช้ใน Dryer สำหรับอบสินค้า

การเผาอิฐต้องค่อย ๆ เพิ่มความร้อน เมื่อความร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วควรปล่อยทิ้งไว้ในระดับอุณหภูมินั้นประมาณ 1-4 ชั่วโมงแล้วแต่คุณภาพของอิฐ จะได้อิฐทนไฟที่มีคุณภาพและแกร่งดียิ่งขึ้น วิธีการนี้เรียกว่า soaking คือการแช่ไว้ ณ อุณหภูมิหนึ่ง

7. <u>การคัดอิฐและลงอิฐ</u>

การคัดอิฐ คือ การคัดเลือกอิฐที่เผาเสร็จแล้วซึ่งอยู่บนรถเตา โดยเก็บก้อนที่ดีไว้ ส่วนก้อนที่มีรอยแตกร้าวจะแยกออกเป็นของเสีย

การลงอิฐ คือ การนำอิฐที่คัดแล้วจากรถเตามาเรียงบนพาเล็ท เพื่อรัดด้วยเทปพลาสติกก่อนนำเข้าเก็บในคลังพัสดุ

อิฐที่เผาเสร็จแล้วจะถูกเข็นออกมานอกเตาทั้งรถแล้วทิ้งไว้จนกว่าจะเย็นลง แล้วจึงเข็นไปที่แผนกคัดอิฐและลงอิฐ พนักงานในแผนกนั้นจะหยิบอิฐจากรถเตาวางลงบนพาเล็ท (pallet) โดยเลือกเฉพาะอิฐที่ดีเท่านั้นอิฐที่มีรอยแตกร้าว โค้งงอ จะถูกคัดออกเป็นของเสีย (โปรดดูรูปที่ 22)

นอกจากพนักงานในแผนกคัดอิฐและลงอิฐแล้วยังมีพนักงานแผนกควบคุมคุณภาพที่ทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยแต่ตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่างเท่านั้นไม่ได้ตรวจทุกก้อนเหมือนพนักงานในแผนกคัดอิฐ การตรวจสอบของแผนกควบคุมคุณภาพนั้นตรวจละเอียดกว่าคือตรวจคุณสมบัติของอิฐหลาย ๆ ด้าน เช่น น้ำหนัก ขนาด ความหนาแน่น และคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์

ในการผลิตอิฐทนไฟบางชนิดอาจมีขั้นตอนที่เพิ่มไปจากนี้ เช่น ต้องมีการเผาดินเชื้อ (grog) หรือมีการเผามูลไลท์ แล้วบดให้ได้ขนาดละเอียดตามที่ต้องการ เพื่อผสมในส่วนผสมเพื่อทำให้อิฐมีคุณภาพดีขึ้น กล่าวคือ ดินเชื้อช่วยทำให้อิฐมีความหนาแน่นมากขึ้นและลดการเสียหายเนื่องจากการแตกร้าวของอิฐในการเผา ส่วนมูลไลท์เป็นตัวทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวและแข็ง ดังนั้นหากมีการผสมวัตถุดิบ 2 ชนิดนี้กระบวนการผลิตก็จะมีเพิ่มขึ้นอีกส่วนหนึ่ง

แผนผังแสดงขั้นตอนในกระบวนการผลิตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 23 ในหน้า 13 ซึ่งอาจอธิบายโดยสรุปได้ว่า เมื่อนำวัตถุดิบไปบดและผสมแล้วถ้าเป็นปูนทนไฟหรือคอนกรีตทนไฟก็สามารถนำไปบรรจุลงถุงเพื่อจำหน่ายได้เลย แต่ถ้าเป็นการผลิตอิฐทนไฟจะต้องผสมดินเชื้อด้วย (ดินเชื้อ คือ ส่วนผสมตามสูตรนั้นที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงมากแล้วนำมาบดให้ได้ขนาดตามต้องการ) แล้วจึงนำมาขึ้นรูป ขั้นตอนในขั้นต่อไปคือการเรียง การเผา และการคัดอิฐและลงอิฐตามลำดับ หากมีอิฐเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนเหล่านี้ ก็สามารถนำไปบดใหม่แล้วนำกลับมาผสมกับส่วนผสมใหม่ที่เป็นสูตรเดียวกันเพื่อขึ้นรูปใหม่ได้ แต่มีข้อจำกัดว่าต้องไม่เกินปริมาณที่จำกัด

รูปที่ 23 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตอิฐทนไฟ