

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สาโรจน์ ขาวดี [1] ได้อธิบายถึงกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ (Refractory Brick) วัตถุดิบที่นำเข้ามาใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ คือ ทรายจากแหล่งเขาน้อย ต.หันคา จ.ชัยนาท วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐาน นำทรายหาอัตราส่วนในการขึ้นรูปอิฐทนไฟ ตามมาตรฐาน ASTM และเปรียบเทียบสมบัติพื้นฐานของอิฐทนไฟกับทฤษฎีอิฐทนไฟในท้องตลาด ผลการทดสอบที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติพื้นฐานอิฐฉนวนทนความร้อนที่ผลิตจากบริษัทสยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟจำกัด และบริษัทบางกอกแสงไทยจำกัด จากการศึกษาสมบัติพื้นฐานทรายชัยนาท พบว่า ผลการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์มีค่าสูงกว่าทั้งสองบริษัท ส่วนสมบัติทางกลมีค่าต่ำกว่าทั้งสองบริษัท

2.1.2 บุญเลิศ ยี่เต็ง และ รุจโรจน์ อ่อนสะอาด [2] ศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิตอิฐทนไฟภายในประเทศรวมถึงการนำตัวอย่างอิฐทนไฟมาทำการศึกษาคุณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและลดปริมาณการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าสูง ปัญหาที่สำคัญคือ การวางแผนการผลิตในแต่ละปี จำนวนการสั่งผลิตอิฐทนไฟของลูกค้าไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี รวมถึงปัญหาของแรงงาน วัตถุดิบ เครื่องจักรและปัจจัยด้านอื่นๆและในด้านการยอมรับในคุณภาพของอิฐทนไฟภายในประเทศ ตลาดโดยรวมยังไม่มี ความมั่นใจในมาตรฐานการผลิตและการควบคุมคุณภาพ จึงได้นำอิฐทนไฟที่ได้ผลิตจากโรงงานทั้งหมด 3 แห่งภายในประเทศมาทำการทดสอบตามอิฐทนไฟมาตรฐาน ASTM C 20-1974 และ ASTM C 133-1972 ผลจากการเปรียบเทียบระหว่างอิฐทนไฟไพร์เคลย์ K-43 ST-76 ขนาดมาตรฐานที่ผลิตที่ผลิตจากโรงงานทั้ง 3 แห่ง พบว่าส่วนใหญ่มีขนาด รูปร่าง น้ำหนักและสีที่คล้ายกัน มีสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง วิธีทดสอบวัสดุทนไฟ (มอก. 558-2528)

2.1.3 เชษฐ เอี่ยมจิตกุล [3] ได้กล่าวถึงอิฐทนไฟไพร์เคลย์ ซึ่งเป็นอิฐทนไฟที่มีการผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทยประมาณครึ่งศตวรรษมานี้โดยหน่วยงานของทางราชการ การใช้งานยังจำกัดอยู่ในวงแคบ เฉพาะแต่ของราชการเท่านั้น คุณภาพยังไม่ดีเท่าที่ควร เพราะแหล่งวัตถุดิบจำกัดและกรรมวิธียังไม่ทันสมัย จนถึงปี พ.ศ. 2505 จึงได้มีบริษัทวัสดุก่อสร้างเริ่มกิจการผลิตอิฐทนไฟไพร์เคลย์พร้อมทั้งพัฒนากรรมวิธีการผลิตควบคู่ไปกับการพัฒนาคุณภาพ จึงทำให้อิฐที่ผลิตได้ในปัจจุบันมีคุณภาพดี โดยเริ่มจากดินทนไฟที่มีความเหนียวเป็นตัวประสานและดินเชื้อ(Chayote) เป็นโครงสร้างของอิฐ ทั้งดินทนไฟและดินเชื้อ ต้องมีอุณหภูมิหรือผลรวมของอุณหภูมิของวัตถุทั้งสองจะต้องสูงกว่าผลรวมของซิลิกา ฉะนั้นอิฐที่ผลิตได้จะมีความทนไฟต่ำ กรมวิทยาศาสตร์บริการได้พิจารณาเห็นว่า การผลิตอิฐทนไฟขึ้นใช้ภายในประเทศเป็นสิ่งจำเป็นจึงได้จัดเป็นโครงการศึกษาวิจัยสำรวจแหล่งวัตถุดิบพบว่าดินทนไฟหนองใหญ่ จ.ปราจีนบุรี มีความทนไฟสูง และดิกโคต์ (Diskette) จ.นครนายก มีสัดส่วนของ ซิลิกาและอะลูมินาเหมาะที่จะใช้ทำวัสดุทนไฟได้ จึงได้ทดลองใช้ผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ โดยผสมในเครื่องผสมแบบถังผสม (Duipanmixer) หมักด้วยน้ำเพื่อให้เกิดความพอดีในการอัดขึ้นรูป ริดผ่านเครื่องริด (Extruder) ให้ได้รูปร่างอิฐ ผึ่งลมให้แห้งจนแข็ง จึงนำมาอัดด้วยเครื่องอัดใช้แรงอัด 5 ตัน/จังหวะเป็นอย่างน้อย ผลการทดสอบพบว่า ได้สูตรของการทำอิฐทนไฟ รวมทั้งเทคโนโลยีการผลิตและการเผา เพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพดี การเผานั้นจะต้องเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกมัลไลต์ ซึ่งจะเริ่มเกิดที่อุณหภูมิ 1,200 °C และเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 1,400 °C ขึ้นไป ถ้าใช้อุณหภูมิการเผาที่ต่ำเกินไป ปริมาณการใช้งานและการทนทานต่อการรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงจะน้อยลงไปด้วย

2.1.4 ปารวีร์ เชาวโน และ ศิริพร ลาภเกียรติถาวร [4] ได้กล่าวถึง ลักษณะความพรุนตัวของอะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป ขึ้นงานอะลูมินาถูกเตรียมให้มีความเป็นรูพรุน โดยการผสมผงอะลูมินากับสาร

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 10% และ 20 % ทำการผสมสารทั้งสองให้เข้ากันจากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปโดยวิธีการอัดให้เป็นเม็ดโดยใช้แรงอัดที่ 1,000 และ 1,500 kg/cm² นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 , 1,450 และ 1,500 °C รักษาอุณหภูมิสูงสุดนาน 2 ชั่วโมง ซึ่งงานที่ได้หลังการเผาจะนำไปวิเคราะห์ ค่าความหนาแน่น ค่าความพรุนตัว ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดซึมน้ำด้วยวิธีอะคิมิติสและศึกษาลักษณะของโครงสร้างระดับคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีผลต่อความพรุนตัวของชิ้นงานมากกว่าแรงอัดขึ้นรูปและความแตกต่างของความพรุนตัวจะแสดงความชัดเจนมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา การลดแรงอัดไม่แสดงการเพิ่มความพรุนตัว

2.1.5 สุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย วราภรณ์ คุณาวานากิจ ลดา พันธุ์สุขุมธนา วรธนา ต.แสงจันทร์ และพิมพ์วิมล วัฒนโณภาส [5] ได้กล่าวถึง อิฐมวลเบาจากเถ้าลอยลิกไนต์ แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะ และค่ากำลังรับแรงอัดได้สูงขึ้น ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์ของการไฟฟ้าการผลิตแห่งประเทศไทย ผลิตผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้า คือ เถ้าลอยลิกไนต์ มีลักษณะคล้ายๆ ฝุ่นซึ่งมีอยู่ปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี พบว่า มีสมบัติที่จะนำมาใช้ทดแทนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างจากการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (XRD) ทดลองหาอัตราส่วนผสมโดยการแปรเปลี่ยนส่วนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 38-80 % ปูนซีเมนต์ 20-50 % ปูนขาว 0-40 % ผลการทดลองมีค่าความหนาแน่น 1.27-1.55 g/cm³ ผลการทดลองมีค่ากำลังรับแรงอัด 148-335 kg/cm² การทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมของสารทำให้เกิดฟอง มีการทดลองแปรเปลี่ยนปริมาณผงอะลูมิเนียมและสารเติมแต่งเช่นการลดน้ำผลการทดสอบค่าความหนาแน่นลดเหลืออยู่ในช่วง 0.51-0.70 g/cm³ ค่ากำลังรับแรงอัด 23-60 kg/cm² และทดลองเพิ่มกำลังแรงอัด โดยเติมทรายละเอียดลงในส่วนผสมแปรเปลี่ยนปริมาณทรายในช่วงร้อยละ 5-35 โดยผลการทดลองมีค่าความหนาแน่นลดเหลืออยู่ในช่วง 0.54-0.70 g/cm³ และค่ากำลังรับแรงอัด 32-52 kg/cm² ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานในการก่อสร้างได้

2.2 สมบัติทั่วไปของวัตถุดิบไฟ

2.2.1 ซิลิกา (Quartz) [7]

ควอตซ์ หรือ ซิลิกา คือ องค์ประกอบหลักการเนื้อทรายที่พบเห็นกันทั่วไป สูตรทางเคมี SiO₂ มี Si 46.7% และ O₂ 53.3% มีความเสถียรคงทนต่อการกัดกร่อนสูงมาก มีองค์ประกอบทางเคมีที่บริสุทธิ์ และสมบัติทางฟิสิกส์ที่คงที่ แร่อื่นๆ ที่อาจพบได้ คือ ลิเทียม โวเดียม โปรแตสเซียม อลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และไททานเนียม ควอตซ์มีรูปผลึกหกเหลี่ยม เกิดเป็นแท่งยาวปลายแหลมทั้งหัวท้าย บางครั้งเกิดผลึกแฝด มีเนื้อสमानแน่น มีความแข็งแรงความถ่วงจำเพาะ 2.65 รอยแตกแว้ว วาวคล้ายแก้ว หรือเทียนไข มีสีขาว หรือสีอื่นๆ ขึ้นอยู่กับมลทิน เช่น เหล็กให้สีม่วงถึงเหลือง ไททานเนียมให้สีชมพู เป็นต้น เนื้อควอตซ์โปร่งใสถึงโปร่งแสง ควอตซ์จึงมีมากมายหลายชนิดรวมทั้งที่เป็นผลึกหยาบ และพวกที่เป็นผลึกละเอียดหรือเนียนละเอียดมองตาเปล่าไม่เห็น ซึ่งมีเนื้อเป็นแบบเส้นใย (Fibrous) และแบบมวลเม็ด (Granular) ควอตซ์เป็นส่วนประกอบของหินอัคนี เช่น แกรนิต ไรโอไลต์ และเปกมาไทต์ แล้วสะสมตัวเป็นหินทราย และอื่นๆ เมื่อหินอัคนีผุพังไปโดยทั่วไป จะพบควอตซ์ อยู่ร่วมกับเฟลด์สปาร์เป็นสายแร่ และพบควอตซ์ ตามลำธารท้องน้ำฝั่งทะเลส่วนประกอบของดินในรูปของทราย ควอตซ์ ใช้เป็นรัตนชาติ หินประดับ หรือนำไปใช้งานในลักษณะอื่น เช่น เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือทางแสง ทำเลนส์และปริซึม ควอตซ์ในรูปของทรายเป็นส่วนประกอบหลักในงานคอนกรีต งานก่อสร้างทุกชนิด เป็นผง (Flux) ทำวัสดุขัดสีเป็นวัสดุหลักในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก เป็นส่วนผสมในเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก เครื่องเคลือบ (Porcelain) ทำเนื้อกระดาดทรายและเป็นวัสดุเติม (Filler)

2.2.2 อะลูมิเนียม (Aluminum) [7]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม [7]

สมบัติทางกายภาพ	หน่วย
เลขอะตอม	13
น้ำหนักอะตอม	26.9815 cm ³ /mol
โครงสร้าง	FCC
สี	ขาวเงิน
รัศมีอะตอม	1.82 ⁰
ความหนาแน่น	293 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	660.37 °C
จุดเดือด	2,519 °C
ความร้อนจำเพาะ	0.90 j/kg
ความร้อนในการหลอมละลาย	10.790 kJ/mol
ความร้อนกลายเป็นไอ	293.40 kJ/mol
การนำความร้อน	2.37 w/cmK
อัตราการหดตัวจากสภาพการหลอมเหลว	6.60 %

อะลูมิเนียมผลิตจากแร่บ็อกไซต์ (Bauxite) แร่ชนิดนี้มีปริมาณของอะลูมิเนียมมากพอที่จะนำไปถลุงได้ เมื่อถลุงแล้วต้องนำไปแยกด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า (Hall Process) จึงจะได้อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณ 98-99 % ซึ่งต่อมาอาจทำให้บริสุทธิ์ได้ถึงประมาณ 99.99 % อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่สำคัญและได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะเบา (Light Metal) ซึ่งโลหะเบา หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า 4 g/cm³ อะลูมิเนียมมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น น้ำหนักเบาและมีความทนทานต่อการเกิดของสนิมมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปานกลางแต่มีค่าความเหนียวสูงอะลูมิเนียม ยังมีสมบัติด้านการหล่อหลอมที่ดีทนทานต่อการผุกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งานทั่วไปได้ดีมากโดยมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำสามารถรวมตัวกับโลหะอื่นๆ เป็นโลหะผสมได้ง่ายและมีความสามารถในการไหลอยู่ในเกณฑ์สูงสมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของอะลูมิเนียม [7]

สมบัติทางกล	หน่วย
ความแข็งแรง (Tensile Strength)	2 kg/mm ²
พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)	3 kg/mm ²
อัตราการยืดตัว (Percent Elongation)	8-10 MPa
ความแข็ง (Hardness)	16-20 HRC
โมดูลัสของการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	7,800 kg/mm ²

2.2.3 อะลูมินา (Alumina) [10]

อะลูมินามีชื่อทางเคมีว่า อะลูมิเนียมออกไซด์ สูตรทางเคมีคือ Al_2O_3 พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอร์ันดัม (Corundum) โดยปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่หากมีสิ่งเจือปนในโครงสร้าง ของอะลูมินา เล็กน้อย จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ทำให้มีความสวยงามมากขึ้น กลายเป็นแร่ที่มีค่า เช่น สีแดงของทับทิมเกิดจาก มีธาตุโครเมียมอยู่ในเนื้ออะลูมินา เป็นต้น อะลูมินาที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตขึ้นจากแร่บ็อกไซต์โดย กระบวนการที่มีชื่อว่า กระบวนการของเบเยอร์ เพื่อเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนและเปลี่ยนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ให้เป็นอะลูมินา ที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโลหะอะลูมิเนียม ส่วนที่ เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 นำไปใช้ในรูปของอะลูมินาโดยตรง มีโครงสร้างผลึกแบบเฟสอัลฟา (Alpha Phase) เป็นเฟสที่มีเป็นตัวที่มีค่าเสถียรมากที่สุดที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลึกมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีค่าความหนาแน่นสูง อะลูมินามักพบในรูปของแข็ง (Hydrate) คือ ผลึกของอะลูมินามีการรวมตัวทางเคมีกับ น้ำ เช่น หินบักไซต์ (Bauxite) ซึ่งประกอบด้วยแร่ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ จิบไซท์ ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) มีความแข็งแรงสูง ที่สุด โดยเฉพาะ (Hexagonal Alpha H_2O) เคออสปอร์ ไบท์ไมท์ จุดหลอมเหลวสูง ($2,050^\circ C$) อะลูมินา เป็นวัสดุที่มีความทนไฟสูง มีความทนต่อการกัดกร่อน จากสารเคมี และมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีด้วย สมบัตินี้เอง อะลูมินาจึงถูกนำมาใช้ในการผลิตวัตถุดิบไฟ เบ้าหลอม หัวเทียน และแผ่นรองวงจรรไฟฟ้า ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านเตาเผาได้รุดหน้าไปมากสามารถผลิตอะลูมินาที่หลอมตัวเป็นเนื้อแก้ว มีความโปร่ง แสงได้ดี ซึ่งใช้ประกอบกับอุปกรณ์ทำคอมพิวเตอร์และได้มีการนำอะลูมินามาผสมในเนื้อดินใช้ในการผลิตถ้วยชาม (Tableware) ด้วยอย่างไรก็ตามการนำอะลูมินามาใช้ ก็มีผลเสียในบางกรณี เช่น อัตราการขยายตัวของดินต่ำ ไม่เท่ากับอัตราการขยายตัวของเคลือบ เพราะเมื่อผลึกอะลูมินา เมื่อเผาผ่านความร้อนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง รูปผลึกซับซ้อนเหมือนซิลิกานอกจากนี้ อะลูมินาเป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะหนักถึง 3.95 ถ้าใช้ผสม เนื้อดินปริมาณ 35 % จะทำให้เนื้อดินหลังการเผา มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 20% และอะลูมินามีค่าความแข็งแรงถึง 90 HRC ซึ่งรองจากเพชร ทำให้การบดย่อย ให้เป็นผงละเอียดทำได้และค่อนข้างยาก ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินา [10]

Fine ceramics	Zirconium				
Properties Eigenschaften	Units	Polycrystalline Ruby $Al_2O_3 + Cr_2O_3$	Al_2O_3 99.7%	Al_2O_3 99.99%	Ronnie Toughened Alumina 90% Al_2O_3 + 10% ZrO_3
Density Ditches	g/cm^3	3.9	3.9	3.98	4.25
Color Far be	-	Red	White	White	White
Flexural Strength Biegefestig kit	MPa	360	310	340	500
Compressive strength Druckfestig kit	MPa	3700	3200	3700	2000
Hardness Head	HV1	2200	1800	2100	2000
Grain Size Kinross	μm	<2	<10	<2	<0.5
Characteristics Eigenschaften	-	-	-	-	-

2.2.4 เซอร์โคเนียม (Zirconium: ZrO₂) [10]

เตรียมได้จากแร่เซอร์โคเนียม (ZrSiO₄) เซอร์โคเนียม เป็นวัสดุทนไฟสูง และมีค่าความแข็งสูงกว่าซิลิกา จึงบดให้ละเอียดได้ยาก และทนต่อการต้านทานอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงฉับพลันกะทันหัน (Thermal Shock) วัสดุเซอร์โคเนียมถูกนำมาใช้ในการเตรียม น้ำเคลือบสีขาวที่บใช้ทำอุปกรณ์ทนไฟในเตาเผา และนำมาใช้พ่นแผ่นรองเตาเผา เมื่อนำมาบดละเอียด โดยผสมกับดินขาวในปริมาณ 10% เซอร์โคเนียมมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2,550 °C รูปผลึกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้ามียอดปิรามิดด้านบนและล่าง ประโยชน์ของเซอร์โคเนียมใช้พ่นบุผนังเตาหลอมอะลูมิเนียม และทำแม่พิมพ์หล่ออะลูมิเนียม เนื่องจากเซอร์โคเนียมเป็นวัสดุที่ไม่เปียกอะลูมิเนียมใช้ทำเซอร์คอนปอร์เลนโดยการใช้เซอร์โคเนียมในปริมาณ 60-70% ของเนื้อดินหลังการเผามีความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักมากเนื่องจากเซอร์โคเนียมมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีใช้ในการทำอุปกรณ์ให้องค์ปฏิบัติการเคมี ผลึกของเซอร์โคเนียมเป็นอัญมณีมีค่าชนิด ซึ่งเรียกชื่อไทยว่า เพทาย

2.2.5 อะลูมินาและเซอร์โคเนียม (Zirconium Toughened Aluminum ZTP) [10]

เป็นวัสดุที่ประกอบด้วย อะลูมินา ที่มีความแข็ง และมีสมบัติทนต่อการสึกหรอ กับเซอร์โคเนียมที่มีความเหนียว และความแข็งแรงดี ซึ่งเมื่อรวมตัวกันจะทำให้เกิดโครงสร้างภายในแบบทรงสี่เหลี่ยม (Cubic) ซึ่งเซอร์โคเนียมเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบทรงสี่เหลี่ยม ZTP มีการปกคลุมถึงสามชั้นเพิ่มขึ้นในบริเวณที่เป็นส่วนโค้ง มีความบริสุทธิ์ (99.99%) สูงกว่า อะลูมินาและเซอร์โคเนียม 2 เท่าดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.2.6 แร่เหล็กออกไซด์ (Iron Oxides) [8]

แร่ที่ปรากฏอยู่ในดินและมีอิทธิพลที่ทำให้เกิดสีต่างๆขึ้นในดิน โดยเฉพาะสีน้ำตาล เหลือง และแดง และอาจเกิดในลักษณะจุดประจุดในดินด้วย ประกอบด้วยแร่ต่อไปนี้คือวัสดุที่บดจะได้แก่ เฮมาไทต์ (Iron Ore) แร่เหล็ก ถ่านหิน และหินปูนอากาศร้อนจะถูกเป่าเข้าไปในเตาเผาเพื่อจะทำให้ถ่านหินติดไฟและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยพลังงานความร้อนอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ มีปฏิกิริยากับถ่านหินทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์จะช่วยลดปริมาณของออกไซด์ของเหล็กในแร่เหล็กที่กำลังละลาย ซึ่งจะไหลผ่านส่วนล่างของเตาเผา คาร์บอนมอนอกไซด์นี้จะถูกออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นในเหล็กออกไซด์ หินปูนจะช่วยดึงสิ่งเจือปนที่เป็นกรดออกจากแร่และทำให้เป็นเศษกากของสารละลาย ซึ่งจะล่องออกไปที่ส่วนผิวหน้าของเหล็กละลายคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดทิ้งรวมทั้งคาร์บอนมอนอกไซด์จะลอยผ่านออกไปตอนบนของเหล็กหรือเหล็กกล้าได้ถูกใช้วงกว้าง เนื่องจากมีความแข็งแรงและราคาถูกแต่สามารถเกิดสนิมได้ง่าย การเกิดสนิมสามารถป้องกันได้โดยต่อเหล็กเข้ากับสารที่มีปฏิกิริยาสูงกว่าอาทิเช่น สังกะสีหรือแมกนีเซียม ยิ่งสารที่มีปฏิกิริยาเป็นสนิมก็จะเกิดสนิมแทนเหล็ก เรียกว่า สคริฟเฟิลไฮดรอกไซด์ ปกติจะใช้ในการทำรั้วหรือทำห้องเรือดินศิลาแลง เหล็กออกไซด์ การวิเคราะห์ปริมาณ ชนิด และหน้าตัดดิน ผลการศึกษาปริมาณเหล็กออกไซด์ชนิดที่มีผลึกและเหล็กออกไซด์สัณฐานจากตัวอย่างดิน โดยเก็บจากบริเวณบ้านผืน (P1) หนองแก (P2) จังหวัดอุดรธานี บริเวณท่าแร่ (P3) บ้านนาโพธิ์ (P4) และบ้านโนนอุดม (P5) จังหวัดสกลนคร พบว่า ปริมาณเหล็กออกไซด์ในรูปผลึก และสัณฐานของดินศิลาแลงมีค่าอยู่ในพิสัย 0.61 - 11.57 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ (P5) มีปริมาณเหล็กออกไซด์ทั้งในรูปผลึก และสัณฐานรวมกัน > P3 > P2 > P1 > P4 และในทุกหน้าตัดดินเหล็กออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นที่มีการสะสมกรวดศิลาแลงจึงจะมีค่าลดลงในชั้นดินตอนล่างปริมาณเหล็กออกไซด์ในรูปผลึกของดินศิลาแลงมีค่าอยู่ในพิสัย 0.07 - 0.64 เปอร์เซ็นต์ P3 > P4 > P5 > P1 > P2 ปริมาณเหล็กออกไซด์

ในรูปที่มีผลึกมีปริมาณสูงกว่าในรูปเหล็กออกไซด์สัณฐานทั้งในดินศิลาแลง และในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินศิลาแลง จากการศึกษาพบว่าเหล็กออกไซด์สัณฐานส่วนใหญ่มักพบในอนุภาคขนาดดินเหนียวในปริมาณที่สูงกว่าในดินศิลาแลงจากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติของเหล็กในรูปต่าง ๆ พบว่า ค่าสัดส่วนของ Fed/Fete และค่า Fed- Forfeit ของหน้าตัดดิน (P4) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 กับหน้าตัดดิน (P1)(P2) และ (P3) ศิลาแลงเกิดขึ้นได้ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ฝนตกมาก แต่แล้งนานด้วยในฤดูฝน น้ำใต้ดินมีระดับสูงทำให้ท่วมตอนบนของชั้นดิน (ซึ่งต่อไปกลายเป็นศิลาแลง) ระหว่างนั้น น้ำฝนจะละลายเอาสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์เอาไว้เมื่อถึงหน้าแล้งน้ำใต้ดินลดระดับต่ำลง ก็พาเอาสารประกอบอะลูมิเนียมลงไปสู่ที่ต่ำ เวลานานเข้า วัสดุบริเวณด้านบนจึงมีสารประกอบเหล็กออกไซด์มากขึ้น และมักรวมกันเป็นกลุ่มจึงเกิดเป็นโพรงว่างเป็นทางให้น้ำใต้ดินซึมขึ้นลงได้ง่ายขึ้น และชะสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์ออกไปเร็วด้วยทำให้ศิลาแลงมีลักษณะเด่น คือ มีรูพรุนทั่วไป และเนื้อเป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์มากกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ สมบัติต่างๆของเหล็กออกไซด์ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น 5.1 g/cm^3 , ค่าความร้อนจำเพาะ $0.67 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, ค่าตัวนำความร้อนที่ 20°C $2.09 \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ และจุดหลอมเหลวที่ 1.03 Bar อุณหภูมิ $1,565^\circ\text{C}$

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟ

Bra Wall [10] กล่าวไว้ว่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟได้มาจากสินแร่ตามธรรมชาติโดยตรง เช่น ดินแบบต่างๆ (Clay) หินฟันม้า (Feldspar) หินควอทซ์ (Quartz) และทรายทะเลนอกจากนี้วัสดุอย่างได้จากการสกัดจากสินแร่ และนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น อะลูมินา ซึ่งสกัดจากแร่บอกไซต์ (Bauxite) บางอย่างได้จากการสังเคราะห์ เช่น แบเรียมไททาเนต ($\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2$) นอกจากนี้ยังมีพวกเฟอร์ไรท์ (Ferrites) และสารเคมีบางชนิดที่เป็นตัวช่วยในการขึ้นรูป วัตถุดิบที่สำคัญที่นำมาใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ (Refractor Brick) ได้แก่ ดินและหินที่สำคัญมีดังนี้

2.3.1 ดินทนไฟ (Fire Clay) [10]

ดินทนไฟที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ (Refractor Brick) แยกตามสมบัติทางเคมีได้ดังนี้คือ

ก. ดินทนไฟที่ผสมธาตุเดี่ยว (Single Oxide) เป็นดินที่แสดงถึงคุณสมบัติการทนไฟได้มากน้อยเพียงใด ดินชนิดนี้ที่สำคัญและนิยมนำมาใช้กันมากได้แก่ ดินอะลูมินา (Al_2O_3) หรือแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นส่วนประกอบในการผลิตวัสดุทนไฟ

ข. ดินทนไฟผสมออกไซด์ (Mixed Oxide) เป็นดินที่มีออกไซด์ผสมอยู่มาก แต่ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ มุลไลท์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) คอร์ไดไรท์ ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)

ค. ดินทนไฟไม่ผสมออกไซด์ (Non Oxide) ดินประเภทนี้เป็นส่วนประกอบที่ไม่มีออกไซด์ปนอยู่ได้แก่ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Si C) ดินประเภทไม่ค่อยนิยมใช้มากนักเพราะมีราคาแพงดินทนไฟที่มีความเหนียวพบอยู่ทั่วไปบางครั้งพบในรูปดินดำและดินขาวเหนียว หรือถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กออกไซด์ปนอยู่สูง จะมีเหลืองไปจนถึงแดง ดินทนไฟที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่่นำมาจากจังหวัดลำปาง ระนอง สุราษฎร์ธานี ชลบุรี และปราจีนบุรี

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินาและเซอร์โคเนียม [10]

Fine ceramics			Zirconium	
Properties Eigenschaft	Units	Zirconium	Zirconium Alumina (80%ZrO ₂ +20%Al ₂ O ₃)	ESD Zirconium Zr ₃ +Doping
Density Ditches	g/cm ³	6	5.5	6
Cooler Far be	-	Black	White	Anthracite
Flexural Strength Biegefestig kit	MPa	1000	2200	-
Compressive strength Druckfestig kit	MPa	1850	-	-
Hardness Head	HV1	1400	1500	1100
Grain Size Mongoose	μm	<0.5	<0.5	-
Characteristics Eigenschaft	-	-	-	Electrostatic Dissipative 10 cm ²

2.3.2 ดินเชื้อ (Grog) [10]

ดินเชื้อเป็นดินประเภทเดียวกับดินทนไฟ นำมาใช้ผสมกับอิฐทนไฟได้ แต่ต้องนำไปเผาให้ร้อนประมาณ 1,000 °C เสียก่อน ทั้งนี้เพื่อไล่น้ำที่อยู่ในดินออก ดินเชื้อจะแข็งตัวเป็นก้อนแล้วนำมาบดให้ละเอียดใช้ผสมกับดินทนไฟ (ดินที่ไม่ได้เผา) เข้าด้วยกัน การที่ต้องผสมเข้าด้วยกันเช่นนี้เพราะการผลิตอิฐทนไฟมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตันจะมีการหดตัวสูง และจะมีการแตกเสียหายเนื่องจากการหดตัว

2.3.3 หินสปู่ (Pyrophyllite) [10]

หินสปู่ใช้ผสมเนื้อดินเพื่อให้ความทนไฟสูงขึ้น ก่อนนำไปใช้ต้องทำการเผาเสียก่อน เพื่อไล่น้ำออก บดให้ละเอียดใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งโดยปกติหากไม่ใช้ดินทนไฟชนิดที่มีคุณภาพดีสามารถทนความร้อนได้สูงแล้ว จะไม่ใช้หินสปู่ผสมด้วยก็ได้ หินสปู่ที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ นำมาจากจังหวัดนครนายก เชียงราย และสระบุรี

2.3.4 แร่โคยาไนท์ (Al₂O₃.SiO₂) [10]

แร่โคยาไนท์ใช้ผสมในเนื้อดินเพื่อผลิตอิฐทนไฟที่ต้องการคุณสมบัติในการทนความร้อนสูงกว่าอิฐทนไฟชนิดธรรมดา แต่โคยาไนท์ก่อนนำมาใช้ต้องทำการเผาเสียก่อน ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 1,350 °C แร่โคยาไนท์จะเปลี่ยนสภาพเป็นมุลไลท์ (Mullet) ซึ่งทนความร้อนได้สูงขึ้น

2.4 ชนิดของอิฐทนไฟ

Clancy and Benson [11] ได้กล่าวไว้ว่าอิฐทนไฟที่ใช้ทั่วไปมีอยู่หลายประเภทแต่สามารถจำแนกประเภทใหญ่ๆได้ 4 ชนิด คือ อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ (Fire Clay Bick) อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Refractory Bick) อิฐทนไฟเชิงด่าง (Basic Refractory Bick) และอิฐทนไฟฉนวน (Insulating Fire Brick)

2.4.1 อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ (Fire Clay Brick) [12]

Par Melee [12] ได้บอกไว้ว่าอิฐทนไฟไฟร์เคลย์ หมายถึง อิฐที่มีปริมาณของอะลูมินาอยู่ไม่เกิน 47.5% สามารถทนความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า 1,430 °C อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ แบ่งได้เป็น 5 ชนิด ประกอบด้วย

- ก. ชนิดอิฐทนไฟสูงพิเศษ (Super Duty) ใช้สัญลักษณ์ SD
- ข. ชนิดอิฐทนไฟสูง (High Duty) ใช้สัญลักษณ์ HD
- ค. ชนิดอิฐทนไฟกึ่งซิลิกา (Semi-Silica) ใช้สัญลักษณ์ SS
- ง. ชนิดอิฐทนไฟปานกลาง (Medium Duty) ใช้สัญลักษณ์ MD
- จ. ชนิดอิฐทนไฟต่ำ (Low Duty) ใช้สัญลักษณ์ LD

วัสดุที่ผสมมีดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาวหรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ เช่น ดิกโคต (Docket) ซิลลิมาไนต์ (Solemnity) โคยานไนต์ (Khanate) บอกไซด์ (Bauxite) มุลไลต์ (Mullet) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน แล้วแต่ความเหมาะสม ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องเสร็จแล้วเอาออกจากแบบ ผึ่งให้แห้งแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

2.4.2 อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Refractory Bick) [11, 12]

Clancy and Pam Lee [11,12] บอกไว้ว่า อิฐทนไฟอะลูมินาสูง ต้องมีอะลูมินาอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 47.5 สามารถทนความร้อนได้ต่ำกว่า 1,763 °C อิฐทนไฟอะลูมินาสูงแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน มอก. 547-2541 ดังนี้

- ก. อ 50 (มีอะลูมินาร้อยละ 50)
- ข. อ 60 (มีอะลูมินาร้อยละ 60)
- ค. อ 70 (มีอะลูมินาร้อยละ 70)
- ง. อ 80 (มีอะลูมินาร้อยละ 80)
- จ. อ 85 (มีอะลูมินาร้อยละ 85)
- ฉ. อ 90 (มีอะลูมินาร้อยละ 90)
- ช. อ 99 (มีอะลูมินาร้อยละ 99)

วัสดุที่ผสมมีดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาวหรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ เช่น ดิกโคต (Docket) ซิลลิมาไนต์ (Similarity) โคยานไนต์ (Khanate) บอกไซด์ (Bauxite) มุลไลต์ (Mullet) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน แล้วแต่ความเหมาะสม ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องแล้วเอาออกจากแบบผึ่งให้แห้ง นำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

2.4.3 อิฐทนไฟเชิงต่าง (Basic Refractory Brick) [13]

Grim [13] อธิบายว่าสามารถแบ่งอิฐทนไฟเชิงต่างได้ 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- ก. อิฐแมกนีไซต์ (Magnetite Bick)

อิฐที่ผลิตจากแมกนีไซต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง เกิดมาแล้วประมาณ 100 ปี เกิดในอุตสาหกรรมถลุงโลหะ เนื่องจากอิฐชนิดนี้มีความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะและซัลฟิวไรด์สูงได้ดี ต้น ค.ศ. 1930 มีการนำอิฐที่ผลิตโดยใช้สารเคมีช่วยในการเกาะยึดมาใช้กันมากขึ้น และปัจจุบันก็ยังใช้กันอยู่ เมื่อเกิดกระบวนการ Line-Dimwits (LD) หรือกระบวนการถลุงโลหะโดยใช้ออกซิเจนในกระบวนการ (Basic Oxygen Furnaces Process) BOFP ได้มีการผลิตและบล็อกแมกนีไซต์ โดยใช้น้ำมันดิน (Tar-Funded) เป็นตัวยึดเกาะนี้สำหรับกรุเตาเหล่านั้ การบดและการคัดขนาดแรกๆทำโดยอาศัยการบดเปียกในแพนมิลล์

(Pan Mill) ปัจจุบันการบดไซการบดแห้ง แล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนและควบคุมการผสมให้ได้คุณภาพสม่ำเสมอ จะใช้ขนาด 3 หรือ 4 ช่วงในการผสมเพื่อให้ได้ตรงตามความประสงค์ เช่น ต้องการบดเค้นหินที่สูงหรือต้องการให้มีความต้านทานต่อการกระทำของความร้อน(Thermal-Shock-Resistance) การบดอาจบดด้วยโคนครัชเซอร์ (Cone Crusher) คัดขนาดเป็น 3 ช่วง ส่วนละเอียดได้จากการใช้บอลล์มิลล์ บดบางส่วนที่ได้จากการบดด้วยโคนครัชเซอร์ วัตถุประสงค์แต่ละขนาดเก็บไว้แยกกันในที่เก็บ ซึ่งต้องออกแบบให้ดีกับการไหลเทไปทางใดทางหนึ่ง (Segregation) ซึ่งส่วนต่างๆผสมกันตามส่วนผสมที่ต้องการให้ได้ตามวัตถุประสงค์เฉพาะที่ต้องการตัวเติมแต่งส่วนผสม (Addition) หลายๆส่วนผสมอาจใช้น้ำเพียงอย่างเดียว แต่มีการเติมซิลไฟต์ โลสท์ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของก้อนอิฐก่อนเผา อิฐที่ผ่านการเผา มักใช้แมกนีเซียมซิลเฟต หรือกรดซัลฟูริกเติมลงไป นอกจากนี้ก็มีการใช้ฟอสเฟตเป็นตัวยึดเกาะเช่นเดียวกันกับการผลิตอิฐทนไฟชนิดมีอะลูมินาสูง บางครั้งมีการเติมออกไซด์เหล็กเพื่อการการซินเตอร์ (Sinter) ซึ่งทำให้อิฐมีความพรุนตัวต่ำ มีการเติมอะลูมินา 6% ทำให้อิฐมีความต้านต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนได้ดี เซาริง (Souring) สมัยแรกๆการผสมส่วนผสมของอิฐกับน้ำแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งเป็นวิธีที่สำคัญมากในการผลิตอิฐชนิดแมกนีไซต์ แต่ปัจจุบันการใช้แมกนีไซต์ที่เผามาอย่างดีและมีโลม และต่างอื่นๆผสมกันอยู่ปริมาณเล็กน้อยบดผสมด้วยปริมาณเล็กน้อยบดผสมกับน้ำประมาณ 5% แล้วนำไปเข้าเครื่องอัดอิฐเป็นวิธีการที่ใช้ได้ดี อย่างไรก็ตามถ้าแมกนีเซียมมีวัสดุที่ผสมอยู่และเมื่อเผาจะให้วัสดุที่อ่อนนุ่ม หรือมีโลมผสมอยู่มาก ตัวอย่างเช่น วัตถุประสงค์ที่มาจากโดโลไมต์ ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) อาจต้องการเซาริงในบางรูปแบบปกติอาจเลือกวิธีการปล่อยให้ส่วนผสมกองทิ้งไว้บนพื้นเย็นๆ หรือพื้นร้อน และอาจจะต้องอบด้วยไอน้ำร้อนแต่การกระทำต้องระมัดระวังไม่ให้รวมตัวกับน้ำมากเกินไป ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ข. อิฐโครม [15, 16]

James ได้กล่าวความหมายของอิฐโครมไว้ว่า คืออิฐทนไฟที่สร้างขึ้นมาจากส่วนผสมของแร่โครมเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ หรือทั้งหมดความพรุนตัวประมาณ 25% ความหนาแน่นรวมประมาณ 2.29 %

Ramming ได้กล่าวถึงว่าเป็นอิฐที่มี Direct-Bonded ว่าหมายถึง อิฐที่มีเนื้อพันธะระหว่าง Periclase-Spinel และ Percales อิฐชนิดนี้มีคุณลักษณะเฉพาะ ได้แก่ มีความแข็งแรงแม้ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ความต้านทานที่ถูกลูบได้ดีและไม่เปลี่ยนแปลงขนาดแม้ใช้งานที่อุณหภูมิ $1,800^{\circ}C$ ส่วนผสมของอิฐควรมีปริมาณ SiO_2 น้อย และการเผาอิฐที่อุณหภูมิสูงจะสามารถทำให้เกิด Direct-Bonded มากขึ้นในปี 1927 ได้ร่วมมือกับบริษัทที่ผลิตอิฐทนไฟ ได้ผลิตวัตถุดิบไฟโดยการหลอมสินแร่หรือออกไซด์ ซึ่งเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบไฟแล้วเทของเหลวลงในแบบ (Electro-Casting) เป็นเทคนิคที่ยาก เพราะว่าต้องใช้ อุณหภูมิสูงมาก อุณหภูมิที่ใช้ระหว่าง $1,800 - 2,500^{\circ}C$ วัตถุดิบไฟชนิดแรกที่ผลิตโดยวิธีนี้ ได้แก่ มูลโลสท์ ซึ่งมีการใช้งานในบางส่วนของผนังเตาหลอมแก้วและต่อมาได้มีการเติม ZrO_2 เพื่อทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลงแต่มีความต้านทานต่อซัลฟูเรตได้ดียิ่งขึ้น ในปี 1952 จึงเกิดผลิตภัณฑ์แมกนีไซต์-โครม ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าแบบที่สร้างขึ้นสำหรับรับรองของเหลวผลิตด้วยวัตถุดิบไฟที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง หรือผลิตด้วยแกรไฟต์หลังจากเทแบบเสร็จในระยะเวลาสั้นๆต้องรีบนำผลผลิตที่ได้ไปชุกไว้ในกองวัสดุฉนวนเพื่อลดแรงกระทำเนื่องจากความร้อนระหว่างการปล่อยให้เย็นตัว โครไมต์เป็นที่มีแร่โครมเป็นส่วนประกอบโดยมีสูตรทั่วไป $(Mg, Fe^{2+})O \cdot (Cr, Al, Fe^{3+})_2O_3 \cdot MgO \cdot Al_2O_3$ เป็นอัญมณีและมีโครงสร้างเป็น สปิเนล ถือเป็นต้นแบบสินแร่โครมเกิดจากการแทนที่บางส่วนของ $MgFe^{2+}$ และการแทนที่ Al ด้วย Cr^{3+} หรือ Fe^{3+} มีการใช้สินแร่โครมในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าในปี ค.ศ 1880 โดยใช้เป็นวัสดุคั่นกลางระหว่างวัตถุดิบไฟชนิดต่างและกรด เช่น คั่นกลางระหว่าง Mg O กับ SiO_2 วัตถุดิบไฟชนิดโครม-แมกนีไซต์ เกิดจากการผสม Mg O ลงไปในโคร

ไมต์โดยที่มีโครมมากกว่า 50% และสำหรับแมกนีไซต์-โครม เป็นวัตถุดิบที่มีโครมน้อยกว่า 50% อัฐชนิดนี้มีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูงและสามารถใช้เป็นหลังคาเตาถลุงโลหะแทนอัฐชนิด SiO₂ ได้ เนื่องจากอัฐชนิดนี้มีความทนไฟสูง และต้านทานซึ่ลู่ได้ดี สามารถใช้ได้กับเตาโอเพน-ฮาท ที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวเผาไหม้ และการจัดคาร์บอน

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอัฐแมกนีไซต์ [13]

Code Type Test procedure	M1 Standard sea-water Magnesia BSI	M2 Low-flux sea-water Magnesia BSI	M3 Standard BSI	M4 Low-boron sea-water Magnesia BSI	M5 Standard BSI
Apparent Porosity. %	14.4	14.5	19.8	17.6	17-21
Bulk density. g/ml	-	-	2.86	2.89	2.8-2.94
lb/ft. ³	-	-	179	180	175-184
kg/m ³	-	-	2,860	2,890	2,800-2,940
Cold-crushing strength, lb/in ²	7,000	6,000	9,000	7,600	8,000
kg/cm ²	492	422	630	530	560
mn/m ³	48.2	41.4	62.1	52.4	55.2

ประเทศที่มีการผลิตสินแร่โครมปริมาณมาก ได้แก่ รัสเซีย แอฟริกาใต้ ฟิลิปปินส์และตุรกี สินแร่โครมไม่จำเป็นต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงก่อนที่จะนำไปใช้ ซึ่งต่างไปจากวัตถุดิบไฟชนิดแมกนีไซต์แต่สำหรับการมุ่งหวังเฉพาะและสำหรับสินแร่เฉพาะเท่านั้นจึงจะมีการเผาก่อนเพื่อให้ผลที่ได้รับการปรับปรุงสมบัติที่ดีขึ้น เพราะการเผาเป็นสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายฉะนั้นจะทำก็ต่อเมื่อเห็นผลประโยชน์ที่ชัดเจน การเผาสินแร่โครมจะทำให้แร่อื่นๆที่ประกอบอยู่เกิดปฏิกิริยาดังเช่นการเผาแร่ที่มีเซอเพนไทน์ 3MgO.2SiO₂+1H₂O ประกอบอยู่



2MgO.SiO₂คือ ฟอสเฟสไรต์ในสินแร่ที่มี Fe O เมื่อมีการเผาออกซิเจน และรีดักชันปฏิกิริยาได้ดังนี้



การเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ไม่ว่าในขณะการผลิตหรือขณะการใช้งาน จะทำให้เกิดผลิตร่วนยุ่ย ปฏิกิริยานี้มักเกิดขึ้นกับสินแร่ที่มีปริมาณเหล็กสูงในสินแร่ โดยเฉพาะที่มีแนวโน้มเกิดการร่วนยุ่ยในบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงเราสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการผสมแมกนีไซต์ลงไปในส่วนผสมโครมแล้วเผาในเตา ชนิด โรตารี หลังจากนั้นนำผลผลิตที่ได้ไปบดและใช้ผสมทำอัฐต่อไป การผลิตอัฐหินไฟชนิดโครมเริ่มแรก ผลิตโดยการบดสินแร่โครมกับน้ำ และอาจใส่ตัวช่วยเกาะยึดเล็กน้อย ขึ้นรูปอัฐ การอบแห้ง

และการเผาอิฐ เริ่มแรกใช้การคั่นกลางระหว่างวัสดุที่มีฤทธิ์เป็นด่างเช่น บริเวณซีเมนต์ ปัจจุบันอิฐที่ผลิตแบบนี้ใช้น้อยมากได้ผสม MgO ลงในส่วนผสมประมาณ 10% เป็นอย่างน้อย เพื่อปรับปรุงความทนไฟของแร่บางตัววิธีการนี้ไม่เพียงแต่ทำให้อิฐมีคุณภาพสูงขึ้นยังลดปัญหาในการเผาได้มาก ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลการวิเคราะห์ของอิฐทนไฟชนิดโครม [16]

Source Chemical analysis,%	Turkish(1)	Turkish(2)	Philippine Concentrates	Russian
SiO ₂	2.71	3.52	4.43 2.96	2.94
TiO ₂	0.14	0.24	0.22 0.26	0.17
Al ₂ O ₃	9.57	22.48	27.16 28.99	8.67
Fe O	13.23	14.62	14.71 14.40	12.96
Cr ₂ O ₃	56.31	40.79	33.4 34.96	57.76
Ca O	0.1	0.39	0.14 0.05	0.82
Mg O	17.3	17.02	1.38 17.99	15.34

ค. อิฐชนิดโครม-แมกนีไซต์และแมกนีไซต์-โครม [17]

Lyman and Rocs กล่าวว่า ส่วนผสมวัตถุดิบไฟชนิดโครม-แมกนีไซต์ ผลิตขึ้นมาใช้ในปี 1930 ทั้งใน America, Germany และ UK ในปี 1937 Lyman and Rocs ได้สรุปว่าอิฐโครม 50-70% เป็นส่วนประกอบจะมีความแข็งแรงดีที่สุด แม้ใช้งานที่อุณหภูมิสูง Austro-American Magnesite Company ได้พบว่า การผสมส่วนผสมโดยใช้ขนาดวัตถุดิบหยาบ 60% ขนาดกลาง 10-20% และส่วนผสมที่เหลือเป็นขนาดละเอียดจะทำให้อิฐที่ได้มีความทนทานต่อการกระทำของความร้อนได้ดี การเลือกใช้สินแร่ต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่าง เป็นต้นว่าหายากหรือง่าย ใช้ประโยชน์ได้ตามต้องการหรือเปล่าและที่สำคัญเรื่องราคามีข้อเสนอแนะให้ใช้ส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยโครมผสมกับ SiO₂ 3-6%, FeO ปริมาณไม่เกิน 18% เพื่อลดข้อยุ่งยากเนื่องจากการรีดิวซ์ภายในเตาปริมาณ CaO ควรน้อยกว่า 1% เพื่อลดปริมาณสารที่จะเป็นตัวลุดจุดหลอมตัวสุดท้ายควรมี Cr₂O₃ ระหว่าง 40-50% ไม่ว่าจะใช้อิฐในสถานะที่ผ่านการเผามาแล้วหรือไม่ อิฐเหล่านี้ควรขึ้นรูปด้วยแรงอัดที่สูงเช่นเดียวกับการอัดขึ้นรูปอิฐแมกนีไซต์ อิฐที่ไม่ผ่านการเผา หรืออิฐที่อาศัยสารเคมีเป็นตัวยึดเกาะโดยใช้ H₂SO₄ หรือ MgSO₄ ซึ่งเป็นตัวทำให้อิฐมีความแข็งแรง หลังจากการอบแห้งอิฐชนิดนี้จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) เหมือนปัญหาที่เกิดในอิฐแมกนีไซต์เนื่องจากปริมาณ MgO ในอิฐชนิดโครม-แมกนีไซต์มีไม่เกิน 30-40% และตัวโครมเป็นวัสดุที่ไม่รวมตัวกับน้ำ

ง. อิฐโดโลไมต์ (Dolomite Brick) [18]

Zoglmeyr, Romei and Breccias อธิบายไว้ว่า สิ่งที่สำคัญในการผลิตอิฐโดโลไมต์ (Dolomite Brick) คือ ต้องเผาให้ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์



เพราะถ้าไม่เหมาะสมการผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไวต่อปฏิกิริยาและมีความพรุนตัวสูง ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า การเผาต้องเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,700 °C จนความพรุนตัวประมาณ 15% ผลิตภัณฑ์นี้จะเก็บไว้ได้นานหลายสัปดาห์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผากับบัลก์เดนซิตีและความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.8 และการปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเผาบัลก์เดนซิตีกับความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B [18]

	A	B
Silica SiO ₂ %	0.46	3.68
Mixed Oxide R ₂ O ₂ %	0.52	0.81
CaCO ₃ %	54.25	51.21
MgCO ₃ %	44.75	43.39
	99.75	99.09

จ. อิฐทนไฟฉนวน (Insulating Fire Brick) [19] Medvedovski อธิบายไว้ว่า อิฐทนไฟฉนวนคือ อิฐที่การนำความร้อนความจุความร้อนต่ำ ซึ่งมีความหนาแน่นรวมและการเปลี่ยนแปลงโดยการเผาต่ำลง

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ [7] บอกไว้ว่า ในสมัยแรกๆ การผลิตที่ได้มีคุณภาพที่ต่ำ คือ ใช้ได้ในอุณหภูมิต่ำประมาณปี ค.ศ.1930 จึงสามารถพัฒนาใช้กับอุณหภูมิสูงมีส่วนผสมจากดินทนไฟที่มีความพรุนตัวสูง ดินขาวดินที่มีอะลูมินาสูงรูปพรุนผลิต โดยการผสมซีลี้อยลงไปในส่วนผสมหลังจากการเผาอิฐแล้วซีลี้อยจะถูกขจัดออกไปคงเหลือรูปพรุนในอิฐทนไฟ

ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโดโลไมต์ [18]

Code Type	D1 Semi stable	D2 Semi stable	D3 Semi stable	D4 Semi stable
Apparent porosity. %	18-20	23	22	25
Bulk density. g/ml	2.73	2.52	2.58	2.53
lb/ft ³	171	157	161	158
kg/m ³	2,730	2,520	2,580	2,530
Cold-crushing strength lb/in ²	8,500+	3,700	8,000+	5,000
kg/cm ²	600+	260	560+	350
mn/m ²	58.6+	25.5	55.2+	34.5

2.5 การทดสอบสมบัติของอิฐทนไฟ

2.5.1 การทดสอบหาการกระจาย [9]

วิธีการหาปริมาณกากค้างตะแกรง

สำหรับการหาปริมาณกากค้างตะแกรงของวัสดุดิบเซรามิกด้วยตะแกรงร่อนแบบเปียกเครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ประกอบด้วย

ตารางที่ 2.9 การปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ [18]

Original	Loss - free chemical analysis Wt-%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O by difference	Bulk Density/ml.
South Yorkshire	2.5	2.21	1.94	57.05	37.05	3
South Durham	2.35	1.42	1.4	58.2	36.12	2.85
South Walks	2.58	1.3	1.67	56.06.	38.39	3
North Derbyshire	0.88	0.45	1.3	56.8	40.57	3.1
Palletize dolomite	0.83	0.44	1.14	56.7	40.89	3.25
Semistablized dolomite	1.05	1.45	7.04	56.08	34.38	3.2
Germany	1	0.3	1.5	-	36	3.15
Italy	1.05	0.92	0.28	56.1	41.5	3.2
France	0.7	0.45	0.6	57.2	41.05	3.1
Japan	0.6	0.6	3	62.5	33.3	3
U.S.A.	0.5	0.2	0.1	58	41.2	3.3

ก. เครื่องกวนแบบที่มี 3 ใบกวน ขนาดของใบกวน 2 นิ้ว ความเร็วรอบในการกวนประมาณ 1,700 รอบต่อนาที

ข. ตะแกรงร่อน (Sieve) Mesh No. 35 (500 μ m), Mesh No. 40 (425 μ m) Mesh No.50 (300 μ m) และ Mesh No.100 (150 μ m)

ค. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม

ง. ภาชนะความจุอย่างน้อย 2 ลิตร

จ. เตาอบอุณหภูมิ 110 °C

ฉ. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)

วิธีการทดสอบ

ก. ทำการสุ่มตัวอย่างตามวิธีการสุ่มตัวอย่าง

ข. อบตัวอย่างที่เตรียมจากข้อที่ 7) ในเตาที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)

ค. นำตัวอย่างที่อบแล้วจากข้อที่ 2.5.1.8 ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ลงภาชนะแล้วเติมน้ำ 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้เวลานาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้ดินเกิดการแตกตัว ถ้าน้ำดินที่ได้มีความหนืดเกินไปให้เติมน้ำอีก 500 มิลลิลิตร

ถ้าไม่แน่ใจว่าน้ำดินแตกตัวดีหรือไม่ให้ใช้เครื่องกวน กวนน้ำดินเพื่อให้ดินเกิดการแตกตัวมากขึ้น เป็นเวลานาน 30 นาที

ง. นำน้ำดินที่เตรียมจากข้อที่ 2.5.1.9 ที่มีการแตกตัวดีแล้ว เทลงในตะแกรงที่จัดไว้โดยตั้งซ้อนกันเรียงลำดับจาก Mesh No. 35 (500 μm), Mesh No. 40 (425 μm) Mesh No.50 (300 μm) และ Mesh No.100 (150 μm) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ฉีดน้ำเพื่อช่วยให้อนุภาคดินที่ละเอียดผ่านตะแกรงจนหมด โดยสังเกตเห็นน้ำที่ผ่านตะแกรงใส ค่อยๆใช้น้ำไล่สิ่งที่ยังค้างอยู่บนตะแกรงทุกตะแกรง ลงในภาชนะ แล้วนำภาชนะไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 $^{\circ}\text{C}$ จนกากที่ยังค้างบนตะแกรงแห้ง

จ. นำกากที่ยังค้างบนตะแกรงหลังอบแห้งแล้วไปชั่ง (หักลบน้ำหนักภาชนะออก) แล้วจดบันทึกน้ำหนักกากที่ยังค้างอยู่บนตะแกรงของแต่ละตะแกรง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณกากค้างตะแกรงตามสมการที่ 2.1

$$\text{ปริมาณกากค้างตะแกรง (ร้อยละ)} = (A/B) \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ

A = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนทดสอบปริมาณกากค้างตะแกรง

B = น้ำหนักแห้งของสิ่งที่ยังค้างอยู่บนตะแกรง



รูปที่ 2.1 ตะแกรงแบบสั่นสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง [9]

2.5.2 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ [21]

การอัดขึ้นรูปอิฐทนไฟ (Moulding) ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปอิฐโดยวิธีการอัดอยู่ระหว่าง 10,000-20,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะทำให้ได้อิฐที่มีความหนาแน่นมากกว่าอิฐที่ขึ้นรูปด้วยมือ หรือความดันที่น้อยกว่าที่กล่าวมา การใช้ความดันสูงจะช่วยให้การหดตัวของอิฐหลังจากการเผาแห้ง การอบแห้ง (Drying) การแตกของอิฐในช่วงการอบแห้งมีสาเหตุมาจากการใช้วัตถุดิบที่เมื่อเผาจะมีการอ่อนตัวใช้วัตถุดิบที่มีความละเอียดปริมาณมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำในอัตราเร็วที่มากกว่าวัตถุดิบขนาดหยาบ

การใช้อุณหภูมิในห้องอบสูงมากเกินไป การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบควรใช้แรงอัดที่เหมาะสมกับวัสดุ โดยทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องทดสอบแรงกด แรงดึง แรงเฉือน เพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เช่นค่าความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะและลักษณะการแตกหักของวัสดุนั้นนับว่าเป็นประโยชน์ในการออกแบบ การเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)

2.5.3 เตาเผา (Firing) [21]

การเผา (Firing) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟโดยที่มีความร้อนเข้ามาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุให้มีสมบัติทางด้านต่างๆเปลี่ยนไป ซึ่งควรใช้อุณหภูมิที่ถูกต้องและการเลือกใช้เตาที่เหมาะสมกับการใช้งาน การเผาอิฐนิยมใช้เตาเผาอุโมงค์ มีการควบคุมอย่างดี และการเผาที่อุณหภูมิสูงเชื้อเพลิงนิยมใช้แก๊สหรือน้ำมัน ใช้เวลาในการเผา 3-5 วัน อุณหภูมิสูงสุดอยู่ระหว่าง 1,550-1,750 °C อิฐที่มีคุณภาพต่ำหน่วยเผาที่อุณหภูมิ 1,600 °C สามารถใช้ได้ดี แต่อิฐที่ต้องการความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงควรเผาที่ไม่ต่ำกว่า 1,750 °C หรือจะให้ดีควรเผาที่ 1,800 °C อิฐที่ต้องการความต้านทานสูงต่อซัลฟูรได้ดีสามารถทำได้ด้วยการทำให้อิฐที่อัดตัวด้วยทาร์หรือ พิตช์ผลิตภัณฑ์แมกนีไซต์ โดยสามารถใช้วิธีการเทแบบการขึ้นรูปด้วยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวกลางความละเอียดของวัตถุดิบ 50% ละเอียดเป็นไมคอนหลังจากการเผาผลิตภัณฑ์ที่ 1,450 °C สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่น 95% แมกนีไซต์ที่มีความหนาแน่นสูง หรือปราศจากความพรุน สามารถผลิตได้โดยวิธีขึ้นรูปร้อน (Hot Pressing) เป็นมินิเอรอลไลเซอร์ (Mineralize) ใช้อุณหภูมิที่ 1,300 °C จะระเหยออกไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติโปร่งแสง เตาที่ใช้ในการเผาอิฐทนไฟ ที่นิยมโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ 1. เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้ (Shuttle Kiln) ใช้สำหรับเผาอิฐทนไฟที่มีขนาดใหญ่มีลักษณะการเรียงตัวของอิฐคล้ายกับเตาอุโมงค์ รถเตา

สามารถหมุนเวียนใช้ได้หัวพันจะอยู่ด้านข้างของเตาและอยู่ในระดับต่ำ ในส่วนกลางของรถเตาจะมีช่องลมร้อน ข้อดีของเตาชนิดนี้ คือ การเรียงและนำชิ้นงานออกจากเตาได้ง่าย 2. เตาอุโมงค์ (Tunnel Kiln) การใช้ในการเผาอิฐทนไฟเป็นที่นิยมมากกว่าการใช้เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้ เพราะจะได้อิฐที่มีคุณภาพและมีต้นทุนต่ำกว่าแต่เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้สามารถเผาอิฐที่มีขนาดใหญ่หรือมีรูปร่างสลับซับซ้อนในกรณีที่ต้องการเผาแตกต่างไปจากมาตรฐาน ในการเผาอิฐทนไฟต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากชนิดและขนาดของอิฐทนไฟซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน นอกจากนี้อิฐทนไฟในแต่ละชนิดยังใช้อุณหภูมิในการเผาที่ต่างกันเพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพตามความต้องการ ดังนั้นการเลือกใช้เตาเผาและการควบคุมการเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.3 เตาเผาชิ้นงาน

2.5.4 การทดสอบทางสมบัติทางกายภาพ [9]

สมบัติทางกายภาพเป็นส่วนหนึ่งในการทดสอบเพื่อดูสภาพของโครงสร้างของวัสดุและสมบัติอื่นๆ เพื่อนำผลการทดสอบไปทำการวิเคราะห์สำหรับการนำผลไปใช้งานให้เหมาะสม โดยมีขั้นตอนวิธีการหาค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) ค่าน้ำหนักอิมตัว (Suspended Weight: S) และค่าน้ำหนักในน้ำ (Saturated Weight: W) นำผลการทดสอบมาคำนวณหา ค่าความเป็นรูพรุน, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, และค่าความหนาแน่น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก. ค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วจำนวน 5 ชิ้น/ตัวอย่าง ไปในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 150°C (Oven Dry) 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในตู้เก็บกักความชื้น แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม ความละเอียดอย่างน้อย 0.1 กรัม ได้ ค่าน้ำหนักแห้ง การหาค่า D อาจจะทำก่อนหรือหลังค่าน้ำหนักในน้ำ ก็ได้แต่ควรที่จะทำการหาค่าน้ำหนักในน้ำ เพราะว่าชิ้นงานตัวอย่างทดสอบถ้าทำหลังจากการหาค่าน้ำหนักในน้ำอาจทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักได้

ข. ค่าน้ำหนักอิมตัว (Suspended Weight: S) นำชิ้นงานทดสอบวางจุ่มลงในน้ำที่ต้มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ระหว่างต้มอย่าให้ชิ้นทดสอบติดพื้นภาชนะที่ใส่ต้มหลังจากต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วควรปล่อยให้เย็นในภาชนะทิ้งไว้ให้เย็น ตามอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปหาค่าน้ำหนักในน้ำ การหาค่า S โดยชั่งชิ้นงานทดสอบในน้ำ ที่ต้มแล้วหลังปล่อยให้เย็น 12 ชั่วโมงโดยใช้อุปกรณ์รองรับชิ้นงาน

ทดสอบนำไปชั่งกับตาชั่งแบบดิจิทัลความละเอียด 0.1 กรัม วัดชั่งน้ำหนักกับตาชั่ง แบบดิจิทัลความละเอียด 0.1 กรัม แล้วอ่านค่าได้ค่าน้ำหนักอิมมิตัว

ค. ค่าน้ำหนักในน้ำ (Saturated Weight: W) หลังจากหาค่า ค่าน้ำหนักในน้ำ แล้วนำชิ้นงานทดสอบที่ชั่งเสร็จแล้วขึ้นมาเช็ดเบาๆ ให้แห้งวางบนผ้าไม่ให้มีน้ำมาติดเกาะแล้วนำไปชั่งหาค่าน้ำหนักในน้ำด้วยตาชั่ง แบบดิจิทัลความละเอียด 0.1 กรัม

ง. วิธีการคำนวณหาสมบัติทางกายภาพ [9] วิธีการคำนวณอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM Designation: C20-97

วิธีคำนวณหาได้จากหน่วย(cm^3) โดยนำค่าของ ค่าน้ำหนักในน้ำ (Saturated Weight: W) ลบด้วย ค่าน้ำหนักอิมมิตัว (Suspended Weight: S) เขียนเป็นสูตรได้

$$V (\text{cm}^3) = W - S \quad (2.2)$$

Exterior Volume: = ปริมาตรของชิ้นงาน

V
(โดยสมมติที่ $1, \text{cm}^3 = 1$ กรัม ที่อุณหภูมิของน้ำตามอุณหภูมิห้อง)

W = ค่าน้ำหนักในน้ำ

S = ค่าน้ำหนักอิมมิตัว

สูตรคำนวณหาสมบัติต่างๆ (Volumes of Open Pore and Impervious Portions) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{Volumes of Open Pore } (\text{cm}^3) = W - D \quad (2.3)$$

$$\text{Volumes of Impervious Portions } (\text{cm}^3) = D - S \quad (2.4)$$

ค่าความความเป็นรูพรุน (Apparent Porosity: P) คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ระหว่าง Volumes of Open Pore ของชิ้นตัวอย่างทดสอบต่อ Exterior Volume: V แล้วคิดเปอร์เซ็นต์จะได้จากสูตร

$$P\% = (W - D) / V * 100 \quad (2.5)$$

P = ค่าความความเป็นรูพรุน

W = ค่าน้ำหนักในน้ำ

D = ค่าน้ำหนักแห้ง

Exterior Volume: V = ปริมาตรของชิ้นงาน

ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption: A) คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่าง Volumes of Open Pore ต่อ ค่าน้ำหนักแห้ง แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้สูตร

$$A\% = (W - D) / D * 100 \quad (2.6)$$

- A = ค่าการดูดซึมน้ำ
- W = ค่าน้ำหนักในน้ำ
- D = ค่าน้ำหนักแห้ง

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Apparent Specific Gravity: T) คำนวณได้จาก ค่าน้ำหนักแห้ง ต่อ Volumes of Impervious Portion ได้จากสูตร

$$T = D / (D - S) \tag{2.7}$$

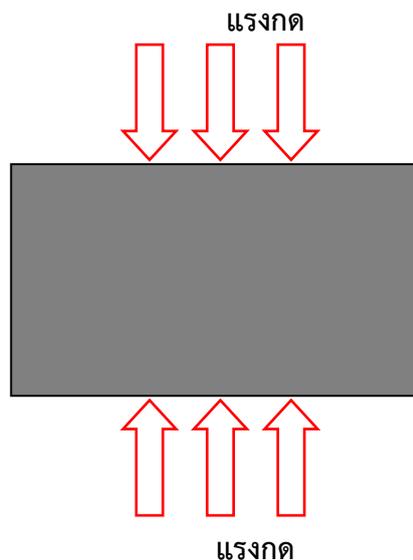
- T = ค่าความถ่วงจำเพาะ
- S = ค่าน้ำหนักอิ่มตัว
- D = ค่าน้ำหนักแห้ง

ค่าความหนาแน่น (Bulk Density: B) คำนวณได้จาก ค่าน้ำหนักแห้ง ต่อ Exterior Volume จะได้สูตร

$$B \text{ g/cm}^3 = D / V \tag{2.8}$$

- B = ค่าความหนาแน่น
- D = ค่าน้ำหนักแห้ง
- Exterior Volume: V = ปริมาตรของชิ้นงาน

2.5.5 การทดสอบสมบัติทางกล



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างรูปแบบของแรงกด [20]

สมบัติทางกลของวัสดุเป็นหนึ่งในคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบโครงสร้างต่างๆ เพื่อนำไปทำการรับแรงในการทำงานจริง สมบัติทางกลของวัสดุกล่าวได้ในภาพรวม คือ ความสามารถของวัสดุที่ต้านทาน

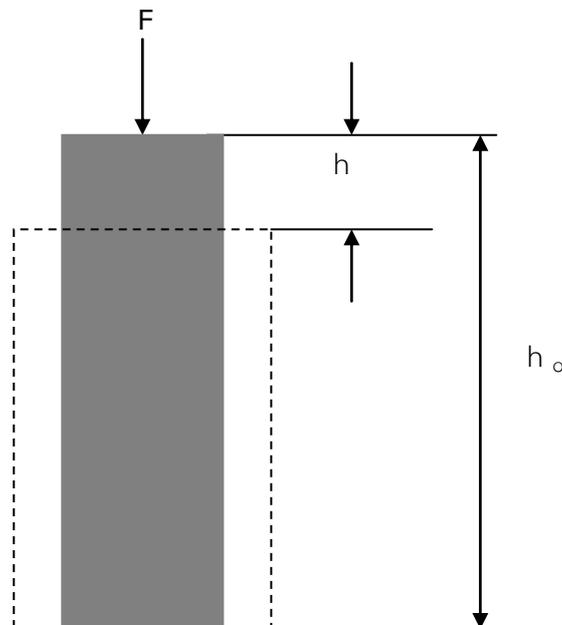
แรงกระทำกับตัวมันเองเพื่อที่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ หากพิจารณาตามรูปแบบของแรงกระทำต่อวัสดุในการกระทำได้ดังนี้

ก. ความเค้นและความเครียดแรงกด เพื่อความเข้าใจให้พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 2.5-2.7 เมื่อชิ้นงานทรงกระบอกถูกแรงกดเข้าไปชิ้นงานจะหดตัวลง วัสดุจะเกิดแรงต้านเล็กๆในเนื้อวัสดุลักษณะนี้เรียกว่าความเค้น (Stress) สามารถหาค่าได้โดยหาอัตราส่วนระหว่างแรงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ตั้งฉากกับแนวแรงดังสมการที่ 2.9 ขณะที่ความเครียด (Strain) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่หดเข้าเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานดังสมการที่ 2.0 ค่าความสัมพันธ์และ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

$$\sigma_e = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

$$e = \frac{h - h_o}{h_o} \quad (2.10)$$

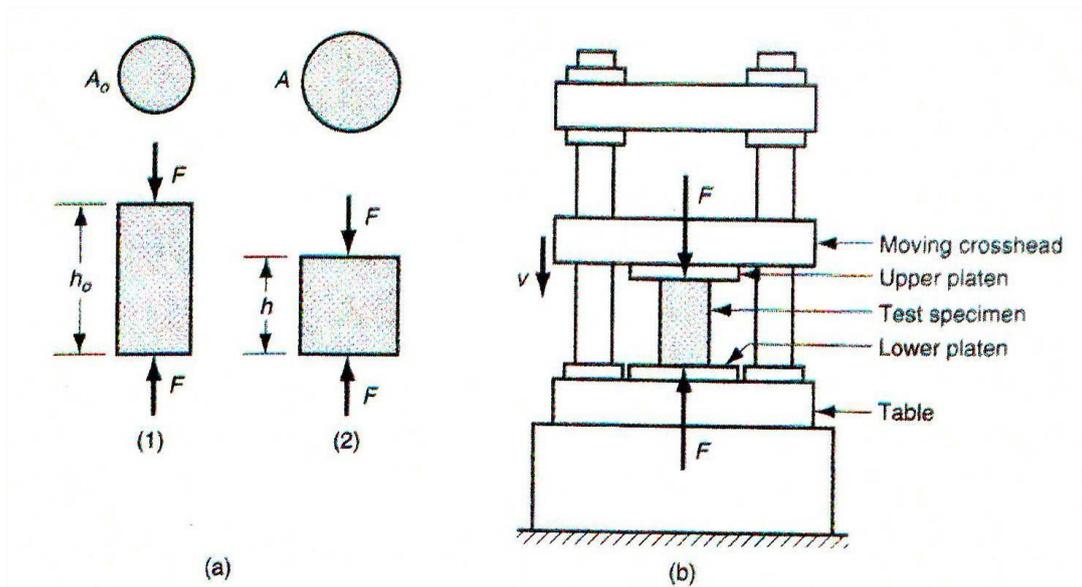
เมื่อ	σ_e	=	ความเค้น
	F	=	แรงกระทำ
	A_0	=	พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น
	e	=	ความเครียด
	h	=	ความยาวสุดท้าย
	h_o	=	ความยาวเริ่มต้น



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด

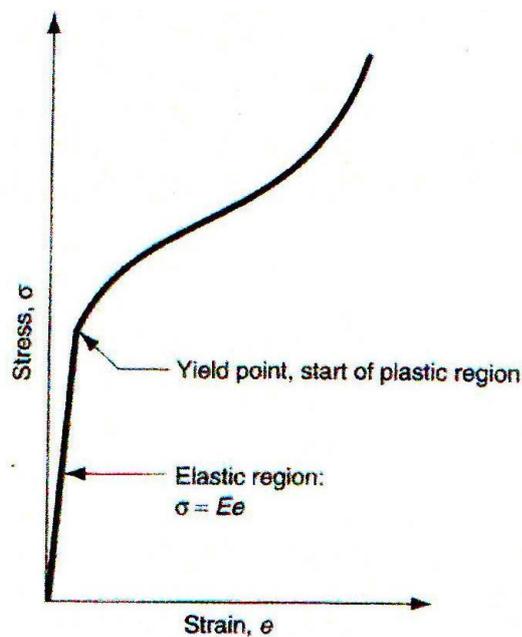
ในกรณีของการทดสอบแรงกดสามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบชิ้นงาน 2 ค่า คือ ค่าเพอร์เซ็นต์การยืดตัว (Yield Point) และเพอร์เซ็นต์การหดตัว (Elastic Region)

รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงกดของวัสดุชนิดหนึ่ง พบส่วนประกอบต่างๆที่มีสำคัญดังนี้



รูปที่ 2.6 การทดสอบแรงกด (a) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (b) เครื่องทดสอบแรงกด [20]

ช่วงยืดหยุ่น (Elastic Region) เกิดจากการเริ่มทำการกดวัสดุ ช่วงนี้เมื่อทำการปล่อยแรงกดออก วัสดุจะยืดออกตำแหน่งเริ่มต้น ค่าความยาวเริ่มต้นและค่าความยาวสุดท้าย เป็นช่วงที่ความเค้นเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเครียดความชันของกราฟคงที่ ณ ช่วงนี้สามารถทราบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งการทดสอบแรงกด [20]

- จุดคราก (Yield Point) คือจุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรเป็นจุดที่เมื่อปล่อยกดออกวัสดุจะไม่ยืดออกไปยังตำแหน่งเริ่มต้น โดยปกติจุดครากจะสังเกตได้ยาก แต่สามารถทำได้โดยวิธีการที่เรียกว่า “0.2 % ความเค้นพิสูจน์ (0.2% Proof Stress)” สามารถทำได้โดยการลากเส้นโดยแบ่งส่วนของด้านความเค้นยืดออกเป็น 100 ส่วน และจากจุดเริ่มต้นที่ระยะประมาณ 0.2 ลากเส้นขนานกับเส้นกราฟทดสอบขึ้นไป โดยมีระยะขนานไปกับเส้นช่วงยืดหยุ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.7

- ช่วงเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Region) เป็นช่วงที่ต่อเนื่องมาจากช่วงยืดหยุ่น หากทำการเพิ่มแรงในการกดวัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวร เมื่อปล่อยแรงกดออกวัสดุไม่ยืดออกกลับไปที่มีความยาวของตำแหน่งเริ่มต้นวัสดุจะแสดงความต้านทานแรงกดสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดๆหนึ่งจะได้ค่าแรงต้านทานแรงกดสูงสุด ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีความแข็งแรงต่างกันออกไป

ตารางที่ 2.10 โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด [20]

โลหะ	โมดูลัสการยืดหยุ่น (MPa)
อะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม	69×10^3
เหล็กหล่อ	138×10^3
ทองแดงและทองแดงผสม	110×10^3
เหล็ก	209×10^3
ตะกั่ว	21×10^3
แมกนีเซียม	48×10^3
นิกเกิล	209×10^3
เหล็กกล้า	209×10^3

ตารางที่ 2.11 ความแข็งแรงครากและ ความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด [20]

โลหะ	ความแข็งแรงคราก (MPa)	ความแข็งแรงสูงสุด (MPa)
อะลูมิเนียมผสม	175	350
เหล็กหล่อ	275	275
ทองแดงผสม	205	410
แมกนีเซียมทองแดง	175	275

ข. ค่าความทนไฟ (Refractoriness) การทดสอบค่าความทนไฟ หมายถึงการนำตัวอย่างชิ้นงานมาทำการทดสอบหาค่าความทนไฟ โดยการเผาตัวอย่างชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบกับไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน (Standard Parametric Cone) หมายถึง โคนพีระมิดฐานสามเหลี่ยมที่มีรูปร่างและขนาดตามที่กำหนดและจะต้องมีการปักโคนที่ฐานรองรับให้ด้านหน้าของโคนที่จะโค้งงอทำมุมกับแนวราบ 82 องศาเซลเซียส ทำจากวัสดุดิบทางเซรามิก เมื่อนำไปเผาภายใต้สภาวะที่กำหนดจะอ่อนตัวและปลายโคนจะงอโค้งลงจากพื้นที่โคนตั้งอยู่เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด ไพโรเมตริกโคนนี้จัดทำขึ้นโดยมีหมายเลขกำกับการเรียงตามลำดับ ซึ่งเป็นเครื่องชี้บอกค่าของอุณหภูมิที่ทำการทดสอบหรือค่าหมายเลขสมมูลไพโรเมตริกโคน (Parametric Cone Equivalent-PCE) ซึ่งเป็นค่าความทนไฟที่ได้จากการทดสอบ