บทที่ 2
ทฤษฎี แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุทนไฟเกิดจากการที่มนุษย์เริ่มค้นพบไฟ และพยายามนำความร้อนจากไฟมาใช้ประโยชน์ในการหุงหาอาหารต่างๆ แรกเริ่มมนุษย์สมัยโบราณเริ่มก่อกองไฟบนพื้นดิน ต่อมาเนื่องจากไฟที่ก่อขึ้นบนดินโดนลมพัดดับหรือความร้อนมีการกระจายออก มนุษย์จึงเริ่มทำการขุดหลุมเพื่อทำการก่อไฟในหลุม ซึ่งจะทำให้ความร้อนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากหลุมที่ขุดไว้นี้มนุษย์เริ่มสังเกตว่าผิวดินที่ถูกความร้อนภายในหลุมเป็นเวลานานๆ จะเกิดการแข็งตัวและไม่ซึมน้ำ จึงเริ่มนำดินมาปั้นเป็นภาชนะแล้วเผาไฟเพื่อใช้งานต่อไป จุดนี้ถือเป็นจุดกำเนิดของถ้วยชามเครื่องปั้นดินเผา หรือ เซรามิก (Ceramics)

ในการใช้ประโยชน์จากไฟ มนุษย์เริ่มสังเกตเห็นว่าความร้อนจากไฟมักจะลอยขึ้นสูง ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพและความสะดวกสบายในการหุงต้มอาหาร มนุษย์จึงเริ่มนำดินมาปั้นเป็นขาตั้งเพื่อใช้วางภาชนะในการหุงต้มอาหาร และขาตั้งนี้ยังช่วยป้องกันการกระจายออกของความร้อนในขณะหุงต้มอาหารอีกด้วย ขาตั้งที่ปั้นด้วยดินนี้อาจเรียกได้ว่าเป็นวัสดุทนไฟชิ้นแรกๆ ที่มนุษย์ได้ทำขึ้น เวลาต่อมาเมื่อมีการพัฒนาการทำถ้วยชามหรือหลอมโลหะ ซึ่งต้องใช้ความร้อนสูง มนุษย์จึงเริ่มสร้างเตาโดยก่อก้อนอิฐที่ทำขึ้นจากดินที่นำไปตากแดด ให้เป็นลักษณะคล้ายถ้ำ

ในการหลอมโลหะก็มีการนำดินชนิดต่างๆ จากแหล่งต่างๆ มาทำเป็นเบ้าหลอม ซึ่งเมื่อถึงจุดนี้มนุษย์เริ่มพบว่าดินจากที่ต่างๆ นั้นมีความทนไฟไม่เท่ากัน มีการเลือกชนิดดินและแร่ที่ทนไฟสูงมาทำเป็นอิฐหรือเบ้าหลอมโลหะโดยตั้งชื่อต่างๆ กัน

การพัฒนาของวัสดุทนไฟต่อมาได้ทำควบคู่ไปกับการหลอมชนิดต่างๆ ซึ่งต้องใช้ความร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆ จนเป็นวัสดุทนไฟชนิดต่างๆ ในปัจจุบัน

วิวัฒนาการของเทคโนโลยีการผลิตวัสดุทนไฟ

วัสดุทนไฟช่วยทำให้มนุษย์นำไฟมาทำเครื่องไม้เครื่องมือตั้งแต่ยุคบรอนซ์ (Bronze Age) เมื่อประมาณห้าพันปีที่ผ่านมาแล้ว โดยมนุษย์ในยุคเริ่มต้นใช้ดินและหินมาเป็นเบ้าหลอมโลหะธรรมชาติ (Natural Crucible) เพื่อทำเครื่องไม้เครื่องมือประเภทฆ้อน เครื่องมือการเกษตร ภาชนะในครัวเรือนและอาวุธ แต่ด้วยเบ้าหลอมโลหะที่ทำจากดินและหินธรรมชาติ ยังมีข้อจำกัดในด้านอุณหภูมิอยู่ทำให้มนุษย์ในยุคนั้นยังมีขีดจำกัดในการพัฒนาความเป็นอยู่ ต่อมาเมื่อหลายศตวรรษที่ผ่านมาเทคโนโลยีเกี่ยวกับเตาหลอม (Furnace) ได้ถูกพัฒนาขึ้น วัสดุทนไฟจึงถูกพัฒนา

ตามเพื่อตอบสนองความก้าวหน้าในอุตสาหกรรม และเทคโนโลยีการผลิตที่เกี่ยวเนื่องกับความร้อน วัสดุทนไฟจึงเปรียบเสมือนตัวตอบสนองและคาดการณ์การพัฒนาของเทคโนโลยี อุตสาหกรรม

ในประวัติศาสตร์ของวัสดุทนไฟ ตัวกระตุ้นสำคัญที่ทำให้การผลิตผลิตวัสดุทนไฟเพื่อใช้ก่อผนัง (Lining) ในเตาหลอมก็คือ ความสามารถในการทนอุณหภูมิที่สูงมากพอในการหลอมโลหะ ซึ่งก็คือการคิดค้นเตาหลอมเหล็กจากแร่เหล็กโดยถูกพัฒนาในยุโรป ในศตวรรษที่ 14

ในปี พ.ศ. 1843 หลังจากมนุษย์พยายามนำความร้อนที่อุณหภูมิสูงมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเตาหลอมอีกประเภทได้ถูกสร้างขึ้น เตาหลอมประเภทนี้แม้ว่าจะให้ความร้อนได้สูงแต้ก็ไม่เพียงพอที่จะผลิตเหล็กหลอมที่มีคุณภาพได้ ทำได้เพียงแยกตะกรันที่เกิดจากการหลอมเหล็ก ออกจากน้ำเหล็กที่ได้จากการหลอมเศษเหล็กเท่านั้น

ในปี พ.ศ. 1868 ซึ่งถือว่าเป็นยุคกลางของการพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศตะวันตก เตาหลอมเหล็กจากแร่เหล็กได้ถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถหลอมโลหะได้สำเร็จ เตาหลอมประเภทนี้เป็นเตาหลอมที่มีประสิทธิภาพสูง ถือว่าเป็ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในยุคกลางที่ทำให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมของโลกตะวันตก การเพิ่มประสิทธิภาพให้เตาหลอมโลหะมีอุณหภูมิสูงพอที่จะละลายโลหะได้ ผลจากการพัฒนาเตาหลอมโลหะทำให้เกิดการพัฒนาวัสดุทนไฟที่จะใช้ในเตาหลอมตามไปด้วย

ในศตวรรษที่ 17 ชาวยุโรปได้พัฒนาเครื่องไม้เครื่องมือสำหรับการผลิตเหล็กรีด การผลิตอิฐทนไฟชนิดธรรมดาจึงเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น และนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาเมื่อชาวยุโรปในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมได้พัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ไม่ว่าจะในด้านการผลิตโลหะ ปูนซีเมนต์ เซรามิก น้ำตาลและอื่นๆ ที่ต้องใช้ความร้อนสูง การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตวัสดุทนไฟเพื่อตอบสนองความเจริญก้าวหน้าของเทคโนดลยีการผลิตอุตสาหกรรมนั้นๆ จึงเจริญก้าวหน้าตามไปด้วย

ประวัติความเป็นมาของการใช้วัสดุทนไฟและเทคโนโลยีการผลิตในประเทศไทย

นับตั้งแต่ประเทศไทยมีการพัฒนาให้มีความเจริญก้าวหน้าทัดเทียมกับ อารยประเทศ ทำให้ต้องมีการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนและถนนหนทางต่างๆ มากมาย ส่งผลให้ความต้องการใช้วัสดุทนไฟ ซึ่งต้องใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เหล็กเส้นและเหล็กหล่อมีมากขึ้นด้วย ดังนั้นในปี พ.ศ. 2496 บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัดได้ก่อตั้งโรงงานอิฐทนไฟท่าหลวง ขึ้นเป็นโรงงานแรกในประเทศไทย โดยเป็นส่วนหนึ่งของโรงงานปูนซีเมนต์ท่าหลวง ที่จังหวัดสระบุรี

เพื่อผลิตวัสดุทนไฟสำหรับใช้ในโรงงานปูนซีเมนต์และโรงเหล็กในเครือฯ ซึ่งต่อมาได้ขยายกำลังการผลิตและทำการจำหน่ายวัสดุทนไฟให้กับลูกค้าทั่วไปในประเทศด้วย

ต่อมาความต้องการใช้วัสดุทนไฟได้เพิ่มสูงขึ้นมาก เพราะนอกจากจะนำไปใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กแล้ว ยังเป็นวัสดุสำคัญในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกิดขึ้นอีกมากมายในประเทศไทย เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงน้ำตาล โรงงานผลิตแก้ว ในหม้อน้ำโรงงานต่างๆ ในเตาเผาพลอยและในอุตสาหกรรมเซรามิก ซึ่งนอกจากจะใช้อิฐทนไฟแล้วยังใช้วัสดุทนไฟที่ใช้เฉพาะกับโรงงานเซรามิก หรือที่เรียกว่าภาชนะรองเผาสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิก (Kiln Furniture) อีกด้วย

ความหมายของวัสดุทนไฟ

วัสดุทนไฟ หมายถึง วัสดุพวกอโลหะ ซึ่งสามารถนำมาใช้ก่อสร้างโครงสร้างหรือเตาต่างๆที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ โดยไม่เกิดการหลอมเหลวหรือเสียรูปร่างไปขณะใช้งาน[4]

ดังนั้นคุณสมบัติประการแรกของวัสดุทนไฟก็คือความทนไฟ นอกจากนี้แล้ววัสดุทนไฟยังมีคุณสมบัติทั่วไปอื่นๆที่สำคัญ ดังนี้

- สามารถรับน้ำหนักขณะใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้โดยไม่เกิดการยุบตัว
- ทนต่อการขัดสีจากลม ฝุ่น หรือวัสดุต่างๆได้ดีที่อุณหภูมิสูง
- ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี หรือสารประกอบหลอมเหลวต่างๆได้เมื่อใช้งาน
- ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ชนิดของวัสดุทนไฟ

การแบ่งประเภทวัสดุทนไฟที่นิยมใช้กันมากจะมี 2 วิธี โดยวิธีแรกจะแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมี และวิธีที่สองแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ

การแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุทนไฟ

จะแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

- ประเภทกรด (Acid) ได้แก่พวกที่มีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกา (Silica)

---

[4] บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด, **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุทนไฟ,** (2540)

- ประเภทกลาง(Neutral)ได้แก่ พวกที่มีส่วนประกอบหลักเป็นอลูมินา (Alumina)
- ประเภทด่าง (Basic)ได้แก่ พวกที่มีส่วนประกอบของแมกนีเซีย (MgO) หรือ Lime (CaO) เป็นหลัก

ตารางที่ 1 การแบ่งประเภทตามคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุทนไฟ

ประเภท	ชนิดคุณภาพ	ส่วนประกอบหลัก
กรด (Acid)	Silica , Semi-silica	SiO_2
	Pyrophyllite , Chamotte (Fireclay)	$SiO_2 . Al_2O_3$
	Zircon	$ZrO_2 . SiO_2$
	Silicon carbide	Sic
กลาง (Neutral)	High alumina	$Al_2O_3 . SiO_2$
	Chrome	$Cr_2O_3 . Al_2O_3 . MgO . FeO$
	Spinel	$Al_2O_3 . MgO$
	Carbon (Graphite)	C
ด่าง (Basic)	Forsterite	$MgO . SiO_2$
	Chrome-Magnesia	$MgO . Cr_2O_3 . Al_2O_3 . FeO$
	Magnesia	MgO
	Dolomite	$MgO . CaO$

การแบ่งตามลักษณะทางกายภาพของวัสดุทนไฟ

จะแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

- แบบที่มีรูปร่าง (Shaped) จะมีรูปพรรณสัณฐานแน่นอนในที่นี้จะขอเรียกว่าอิฐทนไฟ
- แบบที่ไม่มีรูปร่าง (Unshaped) จะมีลักษณะเป็นผง เช่น ปูนทนไฟ

อุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุทนไฟ

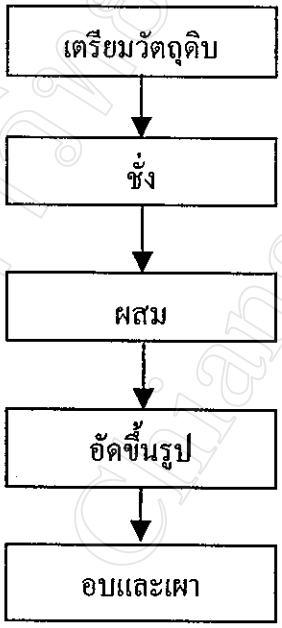
ผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมหลายประเภท ที่มีขั้นตอนของกระบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้วัสดุทนไฟในส่วนดังกล่าว อุตสาหกรรมหลักๆ ที่ใช้วัสดุทนไฟมีดังต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
- อุตสาหกรรมเหล็ก
- อุตสาหกรรมเซรามิก เช่น โรงงานแก้ว โรงงานกระเบื้อง โรงงานผลิตสุขภัณฑ์
- อุตสาหกรรมถลุงโลหะ เช่น ทองแดง ดีบุก สังกะสี อลูมิเนียม
- อุตสาหกรรมกระดาษ
- อุตสาหกรรมปิโตรเคมี
- อุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำ เช่น โรงไฟฟ้า

การผลิตวัสดุทนไฟที่มีรูปร่าง (อิฐทนไฟ)

กระบวนการผลิต

ในส่วนของการผลิตวัสดุทนไฟประเภทที่มีรูปร่าง (Shaped) จะมีกระบวนการผลิตตามลำดับดังนี้ คือ เตรียมวัตถุดิบ ชั่ง ผสม อัดขึ้นรูป อบและเผา โดยแสดงได้ดังภาพประกอบ



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตอิฐทนไฟ

- การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation) เป็นการนำวัตถุดิบมาทำการบดย่อยเพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ แล้วนำเก็บไว้ในยุ้งวัตถุดิบเพื่อรอการใช้งาน

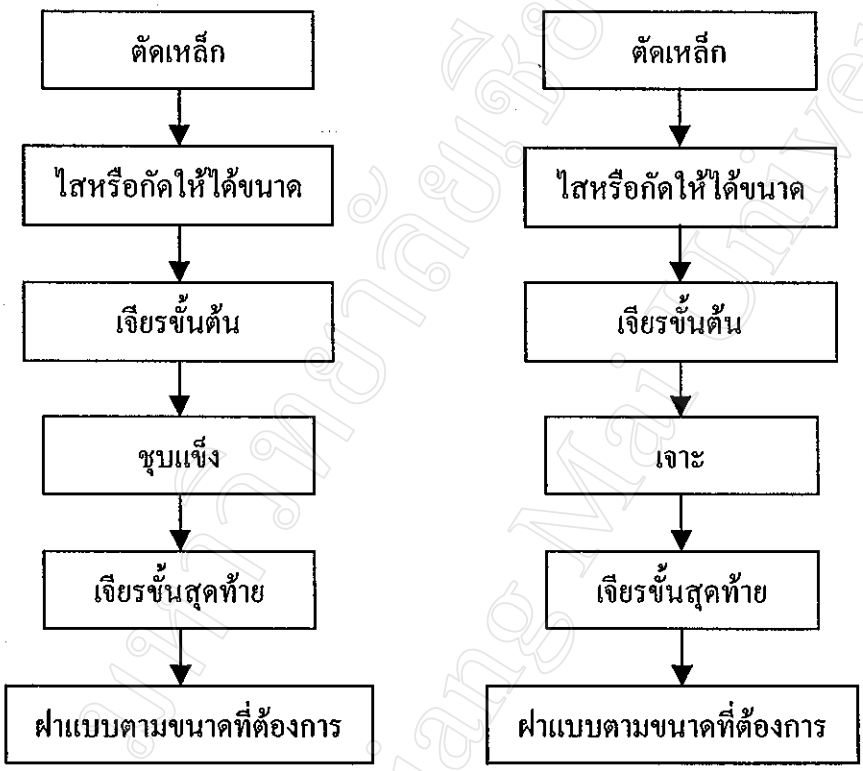
- การชั่ง (Weighing) เป็นการนำวัตถุดิบที่ผ่านการบดย่อยแล้ว มาชั่งตามสัดส่วนของสูตรมาตรฐานการผลิต
- การผสม (Mixing) เพื่อให้วัตถุดิบที่มีหลายขนาดคลุกเคล้ากันอย่างทั่วถึง โดยจะมีการเติมน้ำและสารเคมีช่วยประสานเพื่อให้สามารถยึดเหนี่ยวกันง่ายขึ้น
- การอัดขึ้นรูป (Pressing) นำวัตถุดิบที่ผ่านการผสมส่งไปยังเครื่องอัดอิฐเพื่อทำการขึ้นรูปให้มีขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการ โดยขนาดและรูปร่างจะถูกกำหนดโดยแบบอิฐที่ใช้ในการอัด
- การอบและเผา (Drying and Burning) เพื่อให้อิฐที่อัดขึ้นรูปมีคุณภาพและคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยการอบและเผาจะทำให้เกิดพันธะทางเคมีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการอุณหภูมิของการอบและเผา

โดยในส่วนของการอัดขึ้นรูป(Pressing)จะต้องมีการเตรียมแบบ (Mould) เพื่อทำการขึ้นรูป โดยชิ้นส่วนของแบบ (Mould) จะประกอบไปด้วยฝาแบบด้านข้าง 4 ชิ้น (Side Liner) และฝาแบบบนและล่าง (Press Plate) อย่างละ 1 ชิ้น โดยสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ

ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของแบบ

กระบวนการทำแบบ (Mould)

เริ่มจากตัดเหล็กให้มีขนาดใกล้เคียงกับที่ต้องการเผื่อการยืดหดตัวขณะชุบแข็ง หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปเบื้องต้น (Preliminary machine) โดยใช้เครื่องไส เครื่องกัดและทำการเจียรเบื้องต้น เพื่อให้เหล็กได้รูปร่างตามขนาดที่ต้องการตามรูปร่างของอิฐที่จะอัด หลังจากนั้นทำการชุบแข็ง (Hardening) และทำการขึ้นรูปขั้นสุดท้าย (Finishing machine) โดยการใช้เครื่องเจียรเก็บผิวหน้าของเหล็กให้เรียบจนได้ขนาดที่ต้องการ จึงนำไปประกอบแบบเพื่อทำการอัดขึ้นรูปอิฐดังแสดงในภาพประกอบ



การทำฝาแบบด้านข้าง การทำฝาแบบบนและล่าง

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำฝาแบบด้านข้างและฝาแบบบน-ล่าง

เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูป (Machine)

เครื่องจักรที่ใช้ในการทำฝาแบบด้านข้างและฝาแบบด้านบนและล่างประกอบด้วย

- เครื่องตัดเหล็ก

ใช้สำหรับตัดเหล็กจากชิ้นใหญ่ให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการ

- เครื่องไส

เป็นเครื่องจักรที่มีเครื่องตัดเป็นลักษณะเดียวกับเครื่องกลึงแต่จะมีการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา ซึ่งเป็นผลให้สามารถทำการตัดได้ในแนวเส้นตรง โดยการเคลื่อนที่ของชิ้นงานตัดผ่านทางเดินของเครื่องมือตัดนี้ จะมีผลให้ได้ผิวหน้าราบของชิ้นงาน

- เครื่องกัด

การปาดผิวด้วยการกัด เครื่องมือที่ใช้กัดชิ้นงานจะหมุนเป็นวงกลม โดยต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของชิ้นงานเข้าช่วย รูปร่างของดอกกัดที่ใช้งานจะมีหลายรูปแบบตามลักษณะงาน

- เครื่องเจาะ

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับเจาะและทำเกลียว โดยสามารถแบ่งชนิดของเครื่องเจาะไปตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของดอกสว่านที่เครื่องสามารถจับยึดได้ หรือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานที่ใหญ่ที่สุดซึ่งเครื่องเจาะสามารถจับยึดไว้ได้

- เครื่องเจียรแนวราบ

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการขัดถู ขจัดเนื้อโลหะออกโดยล้อกัดหมุนในลักษณะคล้ายคลึงกับมีดกัด ล้อตัดจะเป็นการยึดติดเข้าด้วยกันของเม็ดเกรนเล็กๆ ที่แต่ละเม็ดจะเป็นเสมือนจุดตัดย่อส่วนขนาดเล็ก โดยในการเจียรนัยผิวราบหรือหน้าระนาบ จะใช้เครื่องเจียรชนิดไสช่วงยาวที่ประกอบกับแท่นวางงานที่มีการเคลื่อนที่กลับไปมาและเครื่องจักรที่แท่นวางงานสามารถหมุนได้ โดยมีทั้งชนิดที่หินเจียรวางตัวในแนวนอนและแนวตั้ง

- เครื่องเจียรแนวโค้ง

หลักการทำงานจะเหมือนกับเครื่องเจียรแนวราบ แต่ต่างกันตรงที่แท่นวางงานสามารถปรับได้ทั้งสามมิติ คือสามารถเคลื่อนที่กลับไปมา เคลื่อนที่ซ้ายขวาและเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ ซึ่งการปรับชิ้นงานเข้าหาหินเจียรแบบสามมิติจะควบคุมโดยคนได้ยาก ดังนั้นส่วนใหญ่จะควบคุมการป้อนชิ้นงานโดยคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการประกอบแบบ

หลังจากทำฝาแบบด้านข้างและฝาแบบด้านบนและล่างเสร็จแล้ว ก็จะนำมาประกอบเป็นชุดเพื่อนำไปใส่ที่เครื่องอัดอิฐ โดยมีขั้นตอนในการประกอบแบบดังภาพประกอบ

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการประกอบแบบ

กรรมวิธีการปรับปรุงโลหะด้วยความร้อน

กรรมวิธีการปรับปรุงโลหะด้วยความร้อน เป็นวิธีการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเนื้อโลหะ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ของโลหะ การปรับปรุงอาจทำได้ต่างๆกัน 4 วิธีคือ การอบอ่อน (Annealing) การอบอ่อนปกติ (Normalizing) การชุบแข็ง (Hardening) และการอบคืนไฟ (Tempering)[5]

ในการทำแบบชิ้นงานฝาแบบด้านข้างต้องการให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เพื่อให้ทนทานต่อการใช้งานที่ต้องมีการเสียดสี ในการเพิ่มความแข็งของชิ้นงาน โดยการชุบแข็ง (Hardening) จะมี 3 วิธีหลักๆ คือ

การชุบแข็ง (Hardening)

คือการอบชุบความร้อนเพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังการอบชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งาน การชุบแข็งเป็นวิธีที่จะได้โครงสร้างของเหล็กสุดท้ายเป็น Martensite หรือ Bainite ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก Austenite ไปเป็น Martensite หรือ Bainite

ซึ่งการที่จะให้ได้เหล็กที่ความแข็งสูงจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ

1) ปริมาณคาร์บอนไม่ควรต่ำกว่า 0.3% ส่วนธาตุผสมในเหล็กอื่นๆ เช่น นิเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) และ โมลิบดินัม (Mo) จะเพียงทำหน้าที่ช่วยในการชุบแข็งได้ผลดีขึ้นเท่านั้น

2) อุณหภูมิก่อนการชุบ คือ อุณหภูมิที่เหล็กจะต้องเปลี่ยนเป็น Austenite เพราะความแข็งจาก Martensite จะต้องมาจาก Austenite เท่านั้น

3) อัตราการเย็นตัวที่จะเปลี่ยนจาก Austenite ไปเป็น Martensite หรือ Bainite จะต้องเป็นอัตราการเย็นตัวที่สูงพอ

ความแข็งที่ได้จากกรรมวิธีทางความร้อน ขึ้นอยู่กับอัตราการชุบ (Quenching rate) ปริมาณคาร์บอนและขนาดของชิ้นงาน ในเหล็กกล้าผสมนั้นชนิดและปริมาณของธาตุผสมจะใช้ในการเพิ่มคุณสมบัติในการชุบแข็งให้ได้ลึกเท่าที่ต้องการของเหล็กกล้าเท่านั้น แต่จะไม่มีผลกระทบถึงความแข็งของมันเว้นแต่ในเหล็กกล้าที่ไม่สามารถชุบแข็งได้หรือชุบแข็งได้เพียงบางส่วน โดยปกติแล้วเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและปานกลางจะให้ชุบในน้ำเพื่อให้มีอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็ว แต่

---

[5] สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และคณะ, **โลหะวิทยา เชิงวิศวกรรม**, (กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2538), หน้า 175.

ในเหล็กกล้าคาร์บอนสูงและเหล็กกล้าโลหะผสมจะชุบแข็งในน้ำมัน เพราะว่าการเย็นตัวจะไม่รวดเร็วเท่าในน้ำ น้ำมันที่ใช้แบ่งออกได้หลายชนิด เช่น น้ำมันแร่ (Mineral Oil) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีความเร็วในการเย็นตัวไม่เท่ากัน[6]

การรวมตัวกับคาร์บอน (Carburizing)

เป็นการชุบแข็งที่ผิวของชิ้นงาน (Surface hardening) โดยส่วนใหญ่วิธีนี้จะใช้ชุบเหล็กที่ไม่สามารถทำการชุบแข็งด้วยวิธีธรรมดา เพราะมีคาร์บอนน้อยกว่า 0.15% หลักในการชุบด้วยวิธีนี้ใช้หลักการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่บริเวณผิวเหล็กซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ ได้สูงประมาณ 0.9 – 1.2%[7] จากนั้นก็จะนำเหล็กไปทำการอบชุบเพื่อให้ได้ความแข็งต่อไป วิธีนี้สามารถชุบแข็งผิวได้ลึก 0.76 ถึง 4.06 มม. แต่โดยทั่วไปแล้ววิธีนี้มักไม่ใช้ในการอบชุบเหล็กกล้าเครื่องมือ เนื่องจากเหล็กพวกนี้มักมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 1%

การไนไตรดิ้ง (Nitriding)

เป็นวิธีการเพิ่มความแข็งที่ผิวของชิ้นงาน ในลักษณะที่ทำให้อิ่มตัวตามบริเวณผิวของแท่งเหล็กด้วยอะตอมของไนโตรเจน มีลักษณะคล้ายการทำ Carburizing แต่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อทำเสร็จแล้วจะได้ความแข็งที่สูงกว่าการทำ Carburizing แต่ความหนาของผิวที่ได้จะน้อยกว่ามาก ความลึกของผิวแข็งที่ได้อยู่ระหว่าง 0.13 ถึง 0.38 มม. เพราะเป็นการทำที่อุณหภูมิต่ำ

การชุบแข็งโดยวิธี Carbirizing กับวิธี Nitriding เป็นการชุบแข็งบริเวณพื้นผิวเท่านั้น ส่วนเนื้อเหล็กภายใต้ผิวแข็งจนถึงใจกลางยังคงเป็นเนื้อเหล็กเดิมซึ่งมีความเหนียวสูง

เหล็กที่ผ่านการชุบแข็งจะไม่เหมาะกับการใช้งาน เนื่องจากมีความเปราะจะต้องอบคืนไฟ (Tempering) เพื่อให้ชิ้นงานมีความเหนียว (Ductile) และความเหนียวแน่น (Tough) มากขึ้น โครงสร้างสุดท้ายที่ได้หลังจากการอบคืนไฟเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งอย่างเต็มที่แล้วเรียกว่า มาร์เทนไซด์อ่อน (Tempered martensite)[8]

---

[6] ทวี เทศเจริญ, กรรมวิธีการผลิต, (กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, (2540), หน้า 130-131.

[7] เรื่องเดียวกัน, หน้า 139.

[8] เรื่องเดียวกัน, หน้า 134.

การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study)

ความหมายของการศึกษาความเป็นไปได้

ความหมายของการศึกษาความเป็นไปได้[9]คือ การศึกษาเพื่อต้องการทราบผลที่จะเกิดขึ้นจากการดำเนินการตามโครงการนั้น โดยพิจารณาจากการศึกษาด้านการตลาด วิศวกรรมและการเงินของโครงการเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจของผู้ที่คิดจะลงทุนในโครงการนั้นๆ ในการศึกษาดังกล่าวจะต้องบอกรายละเอียดและวิเคราะห์สิ่งที่จำเป็นที่เกี่ยวเนื่องกับการผลิต รวมทั้งทางเลือกอื่นๆของการผลิตด้วย นอกจากนี้จะต้องระบุกำลังการผลิตและสถานที่ตั้งของโครงการที่เหมาะสม การใช้เทคโนโลยีในการผลิตแบบใด มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินกิจการเพียงไร ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลตอบแทนการลงทุนให้มากที่สุด

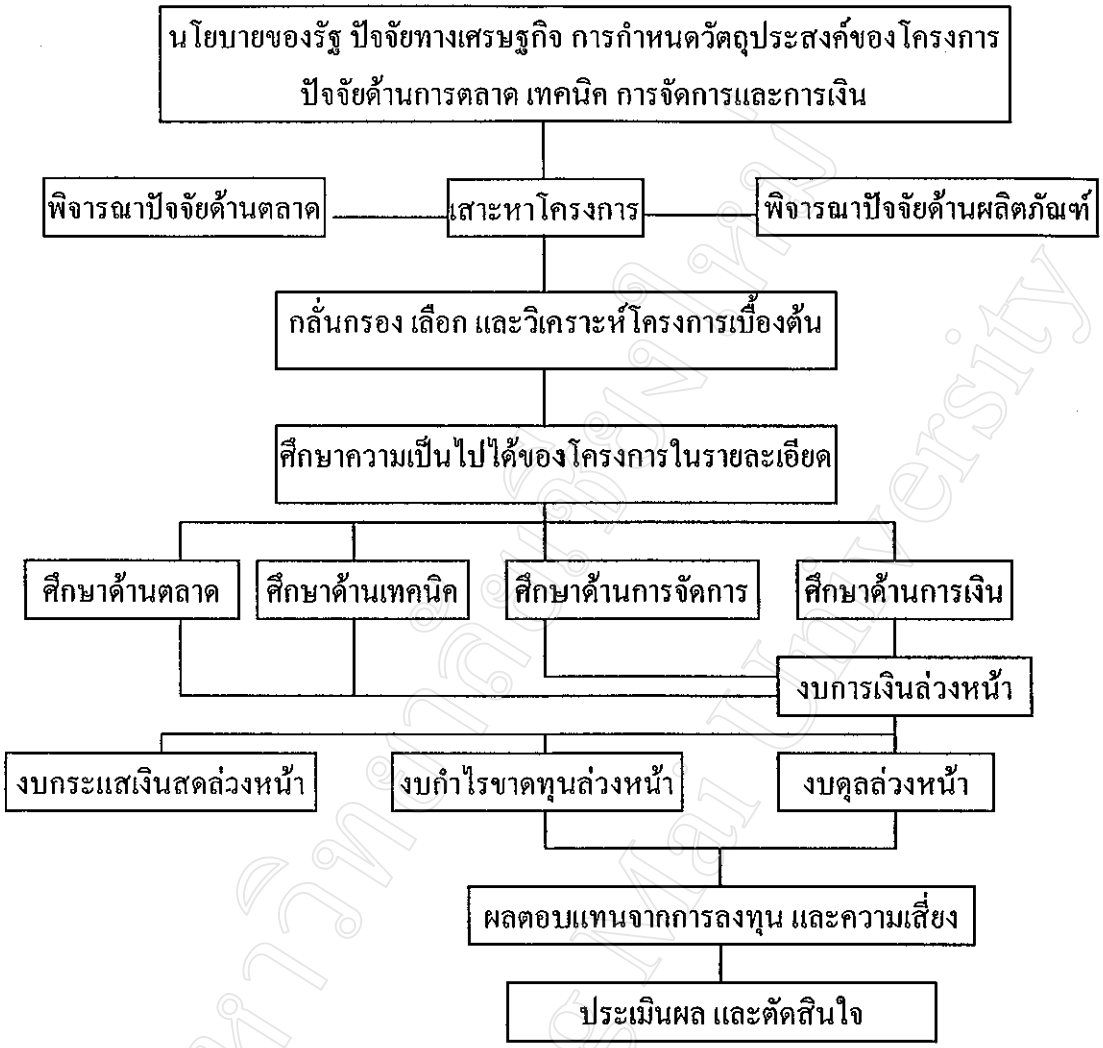
แนวความคิดการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ[10] คือ การศึกษาโครงการในภาพรวมทั้งหมด ทั้งในขอบเขตกว้างที่เรียกว่ามหภาค และในขอบเขตที่มีรายละเอียดลึกลงไปที่เรียกว่าจุลภาค ซึ่งโครงการอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีกิจกรรมหลัก 4 กิจกรรม คือกิจกรรมด้านการตลาด เทคนิค การจัดการและด้านการเงิน ผลของกิจกรรมดังกล่าวจะสรุป หรือสะท้อนออกมาให้เห็นในรูปของงบการเงินล่วงหน้า (Proforma Financial Statement) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่นำมาประเมินผล และตัดสินใจลงทุนในโครงการ โดยพิจารณาที่ผลตอบแทนจากการลงทุน และความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น แนวความคิดการศึกษาความเป็นไปได้แสดงไว้ในภาพประกอบ

---

[9] จันทนา จันทโร และคณะ, **การศึกษาความเป็นไปได้โครงการด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม**, พิมพ์ครั้งที่ 6 (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540), หน้า 2 .

[10] ชัยยศ สันติวงษ์, **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ**, (กรุงเทพฯ : บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2539), หน้า 37.



ภาพที่ 7 แผนผังขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ[11]

วิธีการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

วิธีการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งหน่วยงานทำแบบ ของบริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด ประกอบด้วยการวิเคราะห์ด้านการตลาด ด้านวิศวกรรมและด้านการเงิน ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้คือ

[11] เรื่องเดียวกัน, หน้า 37.

การศึกษาด้านการตลาด

เป็นการศึกษาและสำรวจ สภาวะและขนาดของตลาด เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการกำหนดกลยุทธ์และแผนการตลาด ตลอดจนการพยากรณ์รายรับ ต้นทุนด้านการตลาดและด้านช่องทางการจัดจำหน่าย การวิเคราะห์ด้านการตลาดประกอบด้วย[12]

- บรรยายภาวะตลาดโดยสรุป รวมถึงขอบเขตของตลาด ศักยภาพของคู่แข่งขัน วิธีการขนส่ง ช่องทางและระบบการจัดจำหน่าย และวิธีปฏิบัติในทางการค้าโดยทั่วไป
- วิเคราะอุปสงค์ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ทั้งในด้านปริมาณและมูลค่า
- วิเคราะห์ช่องทางระบบการจัดจำหน่ายสินค้าทั้งอดีต ปัจจุบันและอนาคต เก็บรวบรวมข่าวสารเกี่ยวกับสถานะการแข่งขันของผลิตภัณฑ์ เช่น ราคาขาย คุณภาพ กลยุทธ์การตลาดของคู่แข่งขัน
- คาดคะเนอุปสงค์ของผลิตภัณฑ์ในอนาคต
- คาดคะเนส่วนแบ่งการตลาดของโครงการนั้น โดยคำนึงถึงอุปสงค์ การจัดจำหน่าย สภาวะการแข่งขัน และกลยุทธ์ทางตลาดของโครงการ

การศึกษาด้านวิศวกรรม

การศึกษาด้านวิศวกรรม เป็นการศึกษาเพื่อพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดทางวิศวกรรมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการทำแบบ ประกอบไปด้วย เครื่องจักรที่ใช้ในการทำแบบ กรรมวิธีการชุบแข็ง การเลือกใช้ชนิดของเหล็ก การออกแบบผังโรงงาน กระบวนการผลิต การบำรุงรักษา โดยศึกษาเพื่อจะคาดคะเนต้นทุนการทำแบบและเงินลงทุนต่างๆ เช่น เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร ค่าใช้จ่ายในการผลิตและค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินการ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้านการเงินต่อไป[13]

---

[12] ชัยยศ สันติวงษ์, **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ**, (กรุงเทพฯ : บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2539), หน้า 10-11.

[13] บรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, **คู่มือการวิเคราะห์โครงการด้านเทคนิค**, (กรุงเทพฯ : บรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรม, 2534), หน้า 1-13.

การศึกษาด้านการเงิน

เป็นการศึกษาข้อมูลทางการเงิน เพื่อประกอบการตัดสินใจลงทุน โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาด้านวิศวกรรม มาประกอบในการศึกษาด้านการเงินโดยใช้หลักการของ Incremental Basis ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่เน้นเฉพาะในส่วนของรายได้ ต้นทุน และยอดขายที่จะมีผลต่อการตัดสินใจ โดยศึกษาว่าการประหยัดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีเทียบกับเงินที่ต้องลงทุนจะคุ้มหรือไม่ ซึ่งประเมินโดยใช้เครื่องมือทางการเงินดังนี้ คือ

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value หรือ NPV)

คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของเงินสดที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินสดจ่ายออกไปภายใต้เวลาที่กำลังพิจารณา ณ อัตราที่กำหนด ในที่นี้คือ อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนต้องการจากการลงทุนในโครงการ[14]

สูตร

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt}{(1+k)^t} - Co$$

โดยที่ Bt = กระแสเงินสดรับสุทธิรายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึงปีที่ n

k = อัตราลดค่า

Co = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ

$\sum_{t=1}^{n}$ = ผลบวกของ ... ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึงปลายปีที่ n

2) อัตราผลตอบแทนลดค่า (Internal rate of return หรือ IRR)

คือ อัตราลดค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิตลอดอายุโครงการ เท่ากับมูลค่าปัจจุบันสุทธิของเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ[15]

สูตร

$$Co = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt}{(1+IRR)^t}$$

โดยที่ Bt = กระแสเงินสดรับสุทธิรายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึงปีที่ n

---

[14] เพชรี ขุมทรัพย์, **หลักการบริหารการเงิน** , (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2536), หน้า 238.

[15] เรื่องเดียวกัน, หน้า 240.

Co = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ

$\sum_{t=1}^{n}$ = ผลบวกของ ... ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึงปลายปีที่ n

3) ระยะเวลาคืนทุน (Payback period หรือ PB)

คือ วิธีที่คิดระยะเวลาคืนทุนโดยหารายรับที่ได้จากโครงการว่าใช้ระยะเวลานานเท่าไร จึงจะคุ้มกับรายจ่ายลงทุนเริ่มแรกพอดี รายรับในที่นี้หมายถึงกำไรสุทธิหลังภาษีรวมกับค่าเสื่อมราคา โครงการนี้จะเป็นที่ยอมรับหรือไม่ขึ้นอยู่กับว่าได้กำหนดระยะเวลาคืนทุนไว้เท่าไร ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของโครงการ หากโครงการมีขนาดใหญ่ ระยะเวลาคืนทุนจะกำหนดไว้ยาวนาน และหากโครงการมีลักษณะไม่แน่นอนหรือมีความเสี่ยงสูง ระยะเวลาคืนทุนก็จะกำหนดไว้สั้น เพื่อให้มีการคืนทุนเร็ว[16]

4) การวิเคราะห์ความไวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ดูว่าปัจจัยแต่ละตัวมีผลต่อความเป็นไปได้ของโครงการมากน้อยเพียงใด ถ้าปัจจัยนั้นๆมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น หรือยอดขายลดลงกว่าที่คาดไว้ การวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นว่าโครงการมีความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ มากน้อยเพียงใด

สมมติฐานในการศึกษา

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนในการจัดตั้งหน่วยงานทำแบบ มีสมมติฐานในการศึกษาดังต่อไปนี้

- อายุของโครงการเท่ากับ 5 ปี
- กู้ยืมเงินจากธนาคารนครหลวงไทย จำกัด(มหาชน) โดยมีอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวสำหรับลูกค้าทั่วไป 10.75% ข้อมูลณ. เดือนมิถุนายน 2544 (MRR 8.75% + spread 2%) กู้ยืมเงินกู้ระยะยาวเป็นจำนวน 8 ล้านบาท ชำระคืนเงินต้นปีละ 1.6 ล้านบาท
- ยอมรับโครงการเมื่อให้ผลตอบแทนการลงทุนมากกว่าร้อยละ 15 ต่อปี ซึ่งเป็นผลรวมของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้บวกอัตราที่ผู้ลงทุนต้องการเพื่อ

---

[16] เรื่องเดียวกัน, หน้า 233.

ชดเชยความเสี่ยง (Risk premium) มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่อัตราลดค่า 15% มากกว่าศูนย์และระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 5 ปี

- ใช้หลักการของต้นทุนส่วนเพิ่ม(Incremental Basis) เปรียบเทียบต้นทุนการทำแบบโดยวิธีจ้างทำของ (ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้) กับต้นทุนการทำแบบโดยวิธีใหม่ โดยต้นทุนทั้งสองวิธีจะมีอัตราการเพิ่มของค่าใช้จ่ายในแต่ละปีสัมพันธ์กับยอดขายวัสดุทนไฟ ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของยอดขาย 6.9% ต่อปีโดยเฉลี่ยในช่วงปี 2544 ถึงปี 2548
- พื้นที่ในการก่อสร้างและตัวอาคารมีของเดิมอยู่แล้ว แต่จะปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นสัดส่วนเหมาะกับการทำแบบ

ทบทวนวรรณกรรม

ณัฐพล ปุสสเทวะ (2539) ทำการศึกษาลู่ทางการลงทุนในการตั้งโรงงานผลิตก๊าซออกซิเจนบรรจุถังในจังหวัดเชียงใหม่ โดยศึกษาปริมาณความต้องการใช้ก๊าซออกซิเจนบรรจุถังในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ผลการศึกษาด้านการตลาดพบว่าผลิตภัณฑ์ก๊าซออกซิเจนบรรจุถังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามประโยชน์ใช้งานคือ ทางการแพทย์และทางด้านอุตสาหกรรม โดยพบว่าขณะนั้นอุปสงค์มากกว่าอุปทานจึงมีความเป็นไปได้ทางการตลาด ส่วนการศึกษาในด้านเทคนิคและการจัดการพบว่ากระบวนการผลิตและโครงสร้างองค์กรไม่ซับซ้อน และการศึกษาทางด้านการเงินจะต้องลงทุน 18 ล้านบาท และมีผลตอบแทนการลงทุน 17% และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 5 ปี 1 เดือน

ปัทมา ปาเต็ล (2544) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนในโรงงานผลิตใบเลื่อย ในอำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง โดยผลการศึกษาด้านการตลาดพบว่าความต้องการใช้ใบเลื่อยในการเลื่อยไม้และตัดแต่งกิ่งไม้ มีความต้องการใช้ใบเลื่อยที่ผลิตในประเทศมากขึ้นเนื่องจากค่าเงินอ่อนตัวส่งผลให้สินค้านำเข้ามีราคาสูงขึ้น โดยมีอัตราการขยายตัวของตลาดปีละประมาณ 5-7% ผลการศึกษาด้านเทคนิคพบว่าเครื่องจักรอุปกรณ์หลักของโครงการคือ เครื่องตะไบฟันเลื่อย มีกำลังการผลิตรวม 384,000 หน่วยต่อปี ใช้พนักงานผลิต 22 คน เหล็กกล้าที่ใช้เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนผลการศึกษาด้านการเงินพบว่าใช้เงินลงทุน 15,000,000 บาท เป็นส่วนของเจ้าของร้อยละ 33 ที่เหลือกู้ยืมจากสถาบันการเงิน มีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 8 เดือน 13 วัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ณ อัตราคิดลดร้อยละ 15 เท่ากับ 858,000 บาท และมีอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน 27.03%

นิยามศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุทนไฟ หมายถึง วัสดุพวกอโลหะ ซึ่งสามารถนำมาใช้ก่อสร้างโครงสร้างหรือเตาต่างๆที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ โดยไม่เกิดการหลอมเหลวหรือเสียรูปร่างไปขณะใช้งาน

ความเป็นไปได้ทางการตลาด หมายถึง การศึกษาข้อมูลสภาพเศรษฐกิจ ข้อมูลลูกค้า เพื่อนำมาพยากรณ์ยอดขายวัสดุทนไฟในอนาคต

ความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม หมายถึง การศึกษาเพื่อให้ทราบกระบวนการทำแบบที่เหมาะสม การวางผังโรงงาน การลงทุนในสินทรัพย์และต้นทุนในการทำแบบ

ความเป็นไปได้ทางการเงิน หมายถึง การจัดทำงบการเงินล่วงหน้าของโครงการ และศึกษาวิเคราะห์ประเมินผลโครงการ โดยประเมินจากเครื่องมือทางการเงิน เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return หรือ IRR) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period หรือ PB)

แบบ (Mould) หมายถึง ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กแล้วนำมาประกอบกัน เพื่อให้อัดอิฐออกมาแล้วมีขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการ ประกอบด้วยฝาแบบด้านข้างโดยรอบ 4 ชิ้น (Side Liner) และฝาแบบบนและล่าง (Press Plate) อย่างละ 1 ชิ้น

การชุบแข็ง (Hardening) หมายถึง การอบชุบความร้อนเพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังการอบชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีขณะใช้งาน

การอบคืนไฟ (Tempering) หมายถึง การเพิ่มความเหนียวของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็ง โดยใช้ความร้อน

อิฐไฟร์เคลย์ (Fireclay Brick) หมายถึง อิฐทนไฟเชิงด่างที่มีส่วนประกอบของอลูมินา 30-45 %

อิฐไฮอลูมินา (Hi-Alumina Brick) หมายถึง อิฐทนไฟเชิงกลางที่มีส่วนประกอบของอลูมินา มากกว่า 45 % ขึ้นไป

อิฐเบสิค (Basic Brick) หมายถึง อิฐทนไฟเชิงด่างที่มีส่วนประกอบเป็น Magnesite หรือ Chrome หรือทั้งสองอย่าง สามารถทนความร้อนได้สูงกว่าอิฐที่มีส่วนประกอบเป็นอลูมินาและทนต่อปฏิกิริยาเคมีที่มีฤทธิ์เชิงด่าง

คลิน เฟอร์นิเจอร์ (Kiln Furniture) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในเตาเผาเซรามิก ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่อย