

การผลิตเหล็กดิบและเหล็กกล้า

(Iron and Steel Production)

ปิยทัต ไทยาภิรมย์

เหล็กนับเป็นโลหะที่ใช้มากที่สุดในโลก ในธรรมชาติเหล็กจะอยู่ในรูปของออกไซด์ (oxide) เป็นส่วนใหญ่ แต่ก็มีอยู่ในรูปของสารประกอบอื่นด้วย เช่น คาร์บอเนต (carbonate), ซัลไฟด์ (sulphide) และ ซิลิเกต (silicate) การที่เหล็กอยู่ในรูปของสารประกอบต่างๆนี้ก็เนื่องจากว่าที่บรรยากาศและอุณหภูมิปกติ เหล็กจะมีเสถียรภาพ (stability) น้อยกว่าสารประกอบของมัน เราเรียกสารประกอบของเหล็กเหล่านี้ว่า แร่เหล็ก(iron ore) การจะนำเหล็กมาใช้ประโยชน์ได้จะต้องนำแร่เหล็กไปถลุง แร่เหล็กที่สำคัญได้แสดงในตารางที่ 1

ชื่อเรียก	สูตรเคมี	สี	ปริมาณเหล็กเจืออยู่
แมกนีไตต์(Magnetite)	Fe_3O_4	เทา , ดำ	45-70 %
เฮมาไตต์(Hematite)	Fe_2O_3	เทา , ดำ , แดง	40-65 %
ลิโมนาइट(Limonite)	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	น้ำตาล , ดำ , แดง	40-60 %
ไซเดอไรต์(Siderite)	$FeCO_3$	เหลือง , น้ำตาล , เทา	25-40 %
ไพไรต์(Pyrite)	FeS_2	เหลือง	60-65 %

1. การเตรียมสินแร่

การเตรียมสินแร่ แบ่งออกเป็นหลายขั้นตอนดังนี้

1.1 บดแร่ (ore crushing) สินแร่ที่นำมาจากเหมืองอาจจะมีขนาดใหญ่ถึง 1 เมตร ก่อนนำไปถลุงจึงต้องบดหลายขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกบดให้มีขนาด 100-300 มม. โดยใช้ Jaw crusher หรือ gyratory crusher ขั้นตอนที่สองบดให้มีขนาด 10-50 มม. ใช้ roll crusher และขั้นตอนที่สาม บดให้มีขนาด 2-20 มม. ใช้ ball mills หรือถ้าจำเป็นอาจจะบดให้ละเอียดถึง 0.05 มม.

1.2 คัดขนาด (sizing) หลังจากผ่านการบดแต่ละขั้นตอน จะต้องร่อนด้วยตะแกรงเพื่อคัดขนาด

1.3 แต่งแร่ (ore dressing) เป็นการกำจัดสารมลทินจากแร่เหล็ก เพื่อให้แร่เหล็ก มีปริมาณเหล็กมากขึ้น การแต่งแร่ขึ้นอยู่กับสภาวะทางกายภาพของสินแร่ มีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การแยกสินแร่ด้วยแม่เหล็ก แร่เหล็กจะเหนียวนำด้วยแม่เหล็กได้ง่าย ถึงแม้จะใช้แม่เหล็กถาวร ที่มีความเข้มข้นแม่เหล็กน้อยก็เป็นการเพียงพอ โดยจะสามารถแยกเหล็กออกมาได้ระหว่าง 10-20 ตัน/ต่อชั่วโมง แร่เหล็กจะต้องมีการบดเปียกให้เป็นเม็ดละเอียดขนาด 0.01-2 มม.มาก่อน หากต้องการแยกเหล็กให้ได้ปริมาณ 100 ตัน/ต่อชั่วโมง จะต้องใช้แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นแม่เหล็กมาก และต้อง

บดให้มีเม็ดละเอียด ขนาด 0.02-1 มม.มาก่อนหลังจากแต่งแร่แล้วต้องนำสินแร่ที่ได้ไปผสมกัน (ore blending) เพื่อให้มีปริมาณเหล็กสม่ำเสมอ(แตกต่างกันไม่เกิน $\pm 1\%$) อย่างไรก็ตาม สินแร่ที่ได้จากการแต่งแร่นั้นเป็นเม็ดละเอียดไม่สามารถใช้กับเตาสูงได้ จึงต้องนำไปอัดให้เป็นก้อนขนาดพอเหมาะซึ่งเรียกว่า ซินเตอร์ (Sintering) ซึ่งเป็นการนำเอาแร่ที่บดและแยกมาแล้วมาผสมกับผงถ่าน(ประมาณ 5%) และความชื้นแล้วอบเพื่อให้เป็นของแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 900-1200 องศาเซลเซียส เสร็จแล้วจึงทุบให้ได้ขนาดที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ สำหรับแร่ที่มีความละเอียดมากที่ยากต่อการซินเตอร์ หรือแร่ที่มีความชื้นของเหล็กสูง จะทำให้เป็นเพลเลท (pelletizing) โดยการนำแร่มาผสมกับน้ำและสารเกาะตัว (เช่น เบนโตไนท์)แล้วจึงทำให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-30 มม. อบที่อุณหภูมิ ประมาณ 1000-3000 องศาเซลเซียส เพลเลทที่ได้จะมีขนาดพอเหมาะที่จะทำให้อากาศร้อนผ่านได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับแร่เป็นไปอย่างทั่วถึง

2. การผลิตเหล็กในเตาสูง (blast furnace)

การผลิตเหล็กในเตาสูง หมายถึง การถลุงเหล็กด้วยเตาสูง เพื่อแยกเหล็กออกจากแร่เหล็ก เพื่อให้ได้เหล็กที่มีปริมาณของสารมลทินต่าง ๆ น้อยลง การถลุงเหล็กโดยวิธีนี้ เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป สามารถกระทำได้ที่ละมาก ๆ จึงเหมาะสำหรับการผลิตในสเกลที่ใหญ่ มีการลงทุนสูงจะต้องผลิตปีละเป็นล้านตัน จึงจะคุ้มทุน เหล็กส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะผลิตโดยวิธีนี้ ลักษณะของเตาสูงแสดงในรูปที่ 1

เตาสูงที่ใช้ผลิตเหล็กดิบ (pig iron) ที่ทันสมัยดังรูปที่ 1 จะสามารถผลิตเหล็กดิบได้วันละ 1,000 ตัน มีความสูง 28-32 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-11.5 เมตร ก่อด้วยอิฐทนไฟมีเหล็กแผ่นหุ้มปิดเชื่อมประสานเข้าด้วยกัน ส่วนล่างของเตาจะมีอุณหภูมิสูง ภายในจะบุด้วยหินถ่าน และจะต้องก่อผนังเสริม

หุ้มหนาอีก 1 เมตร ลำตัวเตาจะทำเป็นช่องให้มีน้ำหล่อเย็นได้ ฐานเตาจะมีน้ำมาเลี้ยงจากภายนอกเช่นกัน รอบๆเตาจะมีโครงสร้างเหล็กยึดโดยรอบ และทำหน้าที่ยึดอุปกรณ์อื่นเช่น ท่อลมร้อน ท่อก๊าซเสีย ส่วนล่างบรรจุสินแร่ ข้างบนเตาสูงจะมีคร่อมมาช่วยในงานถอดประกอบ และซ่อมแซมอุปกรณ์ได้

2.1 ไทโรตของเตา (furnace throat) เป็นส่วนบนของเตา จะประกอบไปด้วยท่อก๊าซเสีย ลึ้น ปิด-เปิด สำหรับใส่สินแร่ลงไป

2.2 ลำตัวเตา (stack) เป็นท่อลำตัวเตา มีรูปร่างเรียวยาว ขยายเหยียดลงไปถึงท่อนล่างของเตา เป็นช่วงที่สินแร่และถ่านหินใส่บรรจุสลับกันเป็นชั้นๆในการบรรจุสินแร่และถ่านหิน จะใช้เวลาประมาณ 9 ชั่วโมง

2.3 ท่อนล่างเตา เป็นท่อนที่ต่อจากลำตัวเตา เป็นรูปร่างเรียวคอด เข้าไปถึงส่วนล่างที่เป็นฐานเตา บริเวณส่วนนี้จะมีบางส่วนของสินแร่ที่หลอมละลาย ทำให้ปริมาตรวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปในเตาลดน้อยลง

2.4 ฐานเตา เป็นท่อนที่อยู่ใต้ท่อนล่างเตาลงมา มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก บริเวณนี้เป็นที่รวมของขี้ตะกรันและเหล็ก ตรงบริเวณส่วนบนของฐานเตานี้จะมีช่องท่อลม 22-30 ช่องทำจากทองแดง ท่อเหล่านี้จะหล่อเย็นด้วยน้ำ ท่อลมจะเป่าลมเข้าเตาสูงให้เกิดการเผาไหม้ภายในเตา ต่ำลงจากท่อนี้จะมีรูขี้ตะกรันไหลออก และจะมีน้ำหล่อเย็นเช่นกัน ส่วนรูน้ำเหล็กไหลออกจะอยู่ตรงกันข้ามกับรูขี้ตะกรัน แต่จะอยู่ต่ำสุดในเตาสูง ในแต่ละครั้งที่ให้น้ำเหล็กไหลลงบ้างเพียงพอแล้ว จะมีการใช้สารทนไฟอุดรูน้ำเหล็กไม่ให้ไหลออกมาอีก

3. ส่วนผสมวัตถุดิบ

3.1 สารประสมเพิ่ม (additions) เป็นสารที่ผสมกับสินแร่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดจุดหลอมเหลวของขี้ตะกรันที่อุณหภูมิต่ำได้ และให้มีคุณสมบัติเป็นต่าง ส่วนใหญ่จะใช้สารประสมเพิ่มที่เป็นหินปูน (CaCO_3) หรือ (CaO)

3.2 ถ่านโค้ก (coke) เป็นวัตถุดิบอีกอย่างหนึ่งที่ใส่เข้าไปในเตาสูง หน้าที่สำคัญของถ่านโค้ก คือให้ความร้อนและให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นตัวจำเป็นในการถลุงเหล็ก นอกจากนั้นถ่านโค้กจะต้องแข็งแรงและมีเนื้อแน่นเพื่อรองรับน้ำหนักของแร่อีกด้วย และจะต้องมีขนาดพอเหมาะเพื่อให้มีอากาศร้อนผ่านได้สะดวก

3.3 ลมร้อน ลมร้อนที่เป่าเข้าไปในเตาสูงมีอุณหภูมิระหว่าง 600-1300 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 3-5bar โดยได้จากหม้อทำความร้อน อัดให้ผ่านท่อวงแหวนให้ไปยังช่องท่อลมทองแดงที่เล็กกว่า ปริมาณลมที่เป่าจะสัมพันธ์กันกับปริมาณถ่านโค้ก

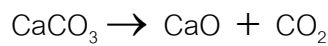
3.4 หม้อทำลมร้อน (ดูรูปที่ 1) ทำจากแผ่นเหล็กรูปทรงกระบอกสูงประมาณ 35 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.5 เมตร ภายในจะมีฉนวนกันความร้อนตรงกลางหม้อจะมีอิฐกลวงทนไฟโดย 1 ลูกบาศก์เมตร ของอิฐกลวงจะมีพื้นที่อิฐประมาณ 30 ตารางเมตร ก๊าซเสียจากการเผาไหม้ในเตาสูง จะผ่านถูกรองฝุ่นผ่านไปยังถังฉีดน้ำกลายเป็นก๊าซเสียที่สะอาด ก๊าซเสียจะดันเข้าไปในหม้อเผาของหม้อทำความร้อน หม้อนี้จะเปิดตำแหน่งให้ไฟก๊าซเผาไหม้ให้ร้อน ก๊าซเสียบางส่วนที่ถูกเผาไหม้ที่ถูกเผาไหม้จะถูกดูด

ออกไปยังปล่องควัน ก๊าซที่เหลือจะมีความร้อนประมาณ 1300 องศาเซลเซียส แล้วจะถูกลมเย็นอัดผสมกับก๊าซกลายเป็นลมร้อนผ่านอิฐกลวง แล้วให้หม้อเปิดลมผ่านท่อส่งไปยังเตาสูง ลมร้อนที่ออกมาตามท่อไปยังเตาสูง จะมีอุณหภูมิ 800-1200 องศาเซลเซียส ปกติเตาสูงจะใช้หม้อทำลมร้อน 2 ตัว ในขณะที่ทำการถลุง และมีหม้อทำลมร้อนอีก 1 ตัว ใช้สำหรับสำรอง

4. กระบวนการทางเคมีในเตาสูง

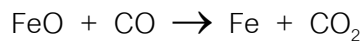
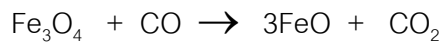
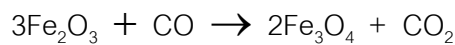
นอกจากจะเกิดก๊าซ CO₂ การเป่าลมร้อนให้เผาไหม้ถ่านโค้กแล้ว ยังจะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทำหน้าที่ช่วยลดสารออกซิเจนที่สำคัญอีกด้วย

4.1 ช่วงอุ่นสินแร่ (pre-heating zone) ในส่วนบนของเตาจะเกิดไอน้ำระเหยออกจากสินแร่ เนื่องจากความร้อนภายในเตา ในระดับที่ต่ำกว่าส่วนบนลงมาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น คาร์บอนเตาจะเกิดการแตกตัวดังสมการเคมี

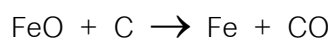
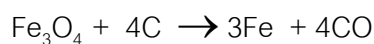


ปฏิกิริยาทางเคมีเช่นนี้ ต้องใช้ความร้อนจากถ่านโค้ก และลมร้อนเข้าช่วย

4.2 ช่วงการรีดักชัน (reduction zone) ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส จะเกิดการลดออกซิเจนโดยทางอ้อม (indirect reduction) ทำให้ออกซิเจนในสินแร่ลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ ถึงอุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส คล้ายเหล็กจะมีสภาพก้อนโคลน ขั้นตอนนี้จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้



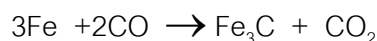
ที่อุณหภูมิสูงกว่า 750 องศาเซลเซียส เหล็กออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ร้อนเรียกว่า การลดออกซิเจนโดยตรง (direct reduction) ดังสมการเคมี



ปฏิกิริยาเช่นนี้จะต้องใช้การเผาไหม้ของถ่านโค้กเข้ามาช่วยเสมอ

4.3 ช่วงการอบคาร์บอน (carburization zone)

เป็นช่วงที่เกิดเหล็กคาร์ไบด์ (Fe₃C) ในสภาพแข็ง อุณหภูมิตั้งแต่ 900-1000 องศาเซลเซียส ดังสมการเคมี



และในเวลาต่อมาจะเกิดปฏิกิริยาการอบคาร์บอนระหว่างถ่านโค้กร้อนกับเหล็ก



เหล็กที่ได้นี้จะดูดกลืนคาร์บอนและธาตุมลทินอื่นๆ เช่น ซิลิกอน กำมะถัน เข้าไปจำนวนหนึ่ง ซึ่งทำให้จุดหลอมเหลวของเหล็กต่ำลงกลายเป็นเหล็กเหลวได้ง่าย เมื่อกลายเป็นของเหลวแล้วจะแยกตัวออกจาก

ออกไซด์ของธาตุอื่นที่ผสมอยู่ในแร่เหล็กออกไซด์ของธาตุเหล่านี้ จะไปรวมตัวกันอยู่ส่วนบนของโลหะเหลว กลายเป็นสแลกวมทั้ง CaO ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของหินปูน (CaCO_3)

5. การผลิตเหล็กกล้า (steel production)

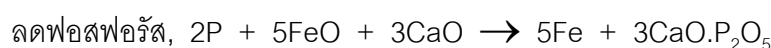
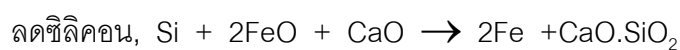
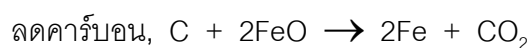
เหล็กดิบที่ได้จากเตาถลุงนั้นจะมีปริมาณของธาตุมลทินอยู่เป็นจำนวนมาก เหล็กดิบที่ได้จะเปราะ และไม่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้ จะต้องนำมาผ่านกระบวนการที่สำคัญอีกครั้งหนึ่ง เพื่อที่จะลดปริมาณของธาตุมลทิน และเพื่อให้ได้ส่วนผสมตามต้องการ กระบวนการนี้เราเรียกว่า การรีไฟน์ (refining) ซึ่งการรีไฟน์เหล็กก็คือ การผลิตเหล็กกล้านั่นเอง

เหล็กกล้าคือเหล็กเจือคาร์บอนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 1.7 สามารถทุบขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 800 - 1000 องศาเซลเซียส โดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีอื่นใดอีก เป้าหมายในการผลิตเหล็กกล้าคือ

1. ลดปริมาณคาร์บอนให้ได้ค่าตามต้องการ
2. ขับหรือแยกธาตุฟอสฟอรัส และกำมะถันให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่กระทำได้
3. ลดออกซิเจนในเหล็กออกให้หมด เพราะออกซิเจนทำให้เหล็กแตกได้ในขณะร้อน และทำให้เหล็กเปราะในขณะใช้งาน

หลักการของการผลิตเหล็กกล้า คือ เมื่อทำออกซิเดชัน (oxidation) ธาตุคาร์บอน ซิลิกา แมงกานีสและบางส่วนของฟอสฟอรัส จะรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นออกไซด์ ส่วนกำมะถันและฟอสฟอรัสที่เหลือบางส่วนจะแยกตัวไปอยู่ที่สแลก ผลที่ได้คือเหล็กที่มีปริมาณของธาตุมลทินต่าง ๆ ค่อนข้างต่ำ มีความแข็งแรงและความเหนียวสูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ปฏิกิริยาทางเคมีในขณะหลอมเหล็กเมื่อใส่ปูนขาวลงไป



สาร $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, MnO , $\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$, และ CaS นี้จะเป็นขี้ตะก้น

6.. การใช้ประโยชน์ของเหล็กดิบและเหล็กกล้า

แหล่งกำเนิดวัสดุมีสองแหล่งใหญ่ๆ คือ แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (conventional resource) และ แหล่งทรัพยากรหมุนเวียน (scrap recycle) กรรมวิธีการแปรสภาพทรัพยากรทั้งสองแหล่งอาจจะเหมือนกันหรือแตกต่างกัน การสำรวจแหล่งทรัพยากรสมัยใหม่จะเริ่มต้นด้วยการสำรวจธรณีวิทยา จากภาพถ่ายดาวเทียม และ ภาพถ่ายทางอากาศ เมื่อพบว่าบริเวณใดมีแนวโน้มจะมีแร่ธาตุสำคัญ ปริมาณมากพอในเชิงพาณิชย์ได้ ก็จะทำให้การสำรวจทางภาคสนามเพิ่มเติม โดยใช้เทคนิคทางธรณีเคมี ธรณี

ฟิสิกส์ และการเจาะสำรวจเมื่อได้ข้อมูลมากพอ และวิเคราะห์แล้วว่าคุ้มการลงทุน ก็จะเริ่มดำเนินการเลือกวิธีการทำเหมืองต่อไป

โลหะที่ผ่านการหล่อเป็นแท่ง หรือหล่อที่ต่อเนื่องมาแล้ว จะเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตภาคแปรรูป เมื่อทำเป็นวัสดุใช้งานต่อไป ทั้งนี้แล้วแต่วัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน งานสำคัญๆในขั้นตอนนี้ ได้แก่

1. งานหล่อโลหะรูปพรรณ (metal casting)
2. งานขึ้นรูป (metal working)
3. งานเครื่องมือกล (machining)
4. งานอบชุบ (heat treating)
5. งานแต่งผิว (surface finishing)

ในบรรดากลุ่มโลหะทั้งหมด เหล็กเป็นกลุ่มโลหะที่มีบทบาทในงานวิศวกรรมมากที่สุด แม้ว่าจะมีวัสดุทดแทนโลหะกลุ่มเหล็กเพิ่มขึ้น โลหะกลุ่มเหล็กก็ยังคงความสำคัญในงานวิศวกรรมอยู่อีกมาก ทั้งนี้เพราะเหล็กก็ยังคงเป็นวัสดุที่มีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น

เอกสารอ้างอิง

Guy, Albert G. *Physical metallurgy for engineers*. London : Addison-Wesley, 1962.

Linchevsky, B., Sobolevsky, A, and kalmenev, A. *Iron & steel making*. Moscow : Mir Publishing, 1983.

บัณฑิต ใจชื่น. *โลหะวิทยากายภาพ (Physical Metallurgy)* กรุงเทพมหานคร : [ม.ป.ท.,ม.ป.ป.]

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. *วัสดุวิศวกรรม*. กรุงเทพมหานคร : ดวงกลมสมัย, 2538. 347 หน้า.