

บทที่ 1

ประโยชน์ของเหล็กและโครงสร้างกระบวนการผลิตเหล็ก

1. บทนำ (Introduction)

ในสภาพความเป็นอยู่และการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันนี้ต้องยอมรับว่าเหล็กเป็นปัจจัยสำคัญที่มนุษย์ขาดไม่ได้ ตั้งแต่การใช้เหล็กเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องมือเกษตรกรรม ยวดยานพาหนะ วัสดุก่อสร้าง บ้านเรือน สำนักงาน โครงสร้างสถาปัตยกรรมต่างๆ ตลอดจนเครื่องมือแพทย์ที่ช่วยชีวิตมนุษย์

มนุษย์ทุกท่านเข้าใจและซาบซึ้งในคุณประโยชน์นานัปการของเหล็ก แต่เมื่อพูดถึงที่มาของเหล็ก เรามักตั้งข้อรังเกียจว่าสร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ยิ่งเมื่อพูดถึงอุตสาหกรรมเหล็กต้นน้ำ หรือ อุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า (Iron and steel industry) แล้ว ยิ่งเป็นที่รังเกียจและได้รับการต่อต้านเป็นอย่างมากจากนักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

เตาบลาสท์ที่ใช้ถ่านโค้กเริ่มมีขึ้นครั้งแรกประมาณปี พ.ศ. 2270 - 2280 เทียบกับยุคสมัยของไทยราวสมัยพระเจ้าเสือราชวงศ์บ้านพลูหลวงแห่งกรุงศรีอยุธยา ซึ่งเท่ากับย้อนหลังไปประมาณ 275 ปี และได้มีพัฒนาการมาเป็นลำดับผ่านยุคสมัยปฏิวัติอุตสาหกรรม ราวปี พ.ศ. 2303 - 2457 ซึ่งมนุษย์ได้รับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากมายจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมจนกระทั่งมนุษย์เริ่มเรียนรู้การพัฒนากระบวนการผลิตและเทคโนโลยีต่างๆที่ใช้ในการควบคุมมลภาวะ จนมาถึง ณ ปัจจุบันนี้ อุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าได้รับการพัฒนาการจัดการสิ่งแวดล้อมจนถึงระดับที่เป็นเทคโนโลยีที่สะอาดแล้ว (Clean technology) ได้แก่

- (1) มีการจัดเตรียมวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพ ได้วัตถุดิบที่สะอาด มีมลทินต่ำ (Low impurity)
- (2) มีเทคโนโลยีการควบคุมและบำบัดมลภาวะอากาศและน้ำประสิทธิภาพสูง
- (3) มีระบบการฟื้นฟู (Reclamation) และนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ของเสียและกากอุตสาหกรรม
- (4) มีการพัฒนาการจัดการของเสียไปสู่ Zero waste
- (5) มีระบบการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้การผลิตเหล็กกล้าในปัจจุบัน มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ในระดับต่ำกว่าในอดีตมาก และกำลังมีการวิจัยพัฒนาลดการใช้พลังงานต่อไปอีก
- (6) กากอุตสาหกรรมบางประเภทสามารถใช้ในโครงการอนุรักษ์ระบบนิเวศได้ เช่น การนำสแลก เพื่อสร้าง Marine forest ให้ปลาและสัตว์น้ำต่างๆได้อยู่อาศัย

2. โครงสร้างกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก (ดูรูปที่ 1-1 ประกอบ)

กระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า (Iron and Steel making process) แบ่งตามขั้นตอนการผลิตเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (ดูรูป 2.1 ประกอบ)

- กระบวนการผลิตเหล็กขั้นต้น (Upstream)
- กระบวนการผลิตเหล็กขั้นกลาง (Intermediate)
- กระบวนการผลิตเหล็กขั้นปลาย (Downstream)

เหล็กขั้นต้น
(Upstream)

เหล็กขั้นกลาง
(Intermediate)

เหล็กขั้นปลาย
(Downstream)



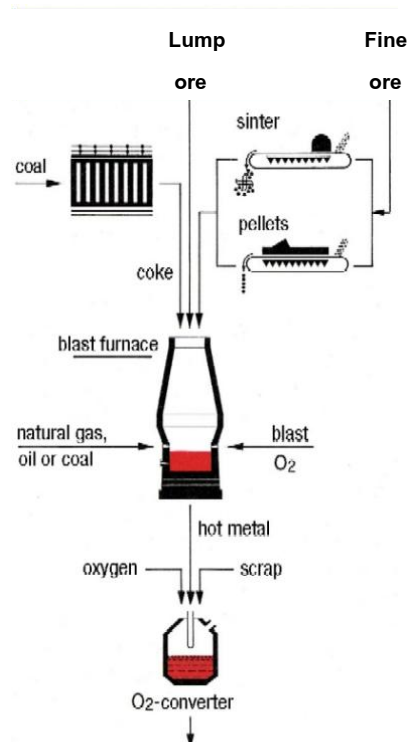
รูปที่ 1-1 โครงสร้างกระบวนการผลิตเหล็ก

2.1 กระบวนการผลิตเหล็กขั้นต้น (Upstream)

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการผลิตเหล็กขั้นต้นแบ่งได้เป็น 3 เทคโนโลยี

2.1.1 เทคโนโลยีการผลิตเหล็กด้วยเตาบลาสท์ (Blast furnace technology) (ดูรูปที่ 1-2 ประกอบ)

เทคโนโลยีเตาบลาสท์เป็นกระบวนการผลิตเหล็กพิก (Pig iron) โดยอาศัยถ่านหิน (Coal) ที่แปรรูปเป็นถ่านโค้ก (Coke) โดยเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke oven) ถ่านโค้กจะทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงและเป็นสารรีดิวซ์ (Reducing agent) เพื่อผลิตเหล็ก (Iron) จากสินแร่เหล็ก (Iron ore) ในการถลุงจะต้องพ่นลมเข้าไปในเตา บลาสท์ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้และใช้หินปูนทำหน้าที่ ฟลักซ์ (Flux) โดยหินปูนจะหลอมละลายแยกชั้นกับน้ำเหล็ก (Melton iron) สารมลทินต่างๆ จะถูกแยกมารวมกับหินปูนหลอมเหลว เรียกว่า สแลก (Slag) น้ำเหล็กที่ได้จากการถลุงเหล็ก เรียกว่า น้ำเหล็กถลุง (Hot metal หรือ Molten iron) ซึ่งจะต้องถูกลำเลียงไปเข้ากระบวนการผลิตเหล็กกล้าต่อไป

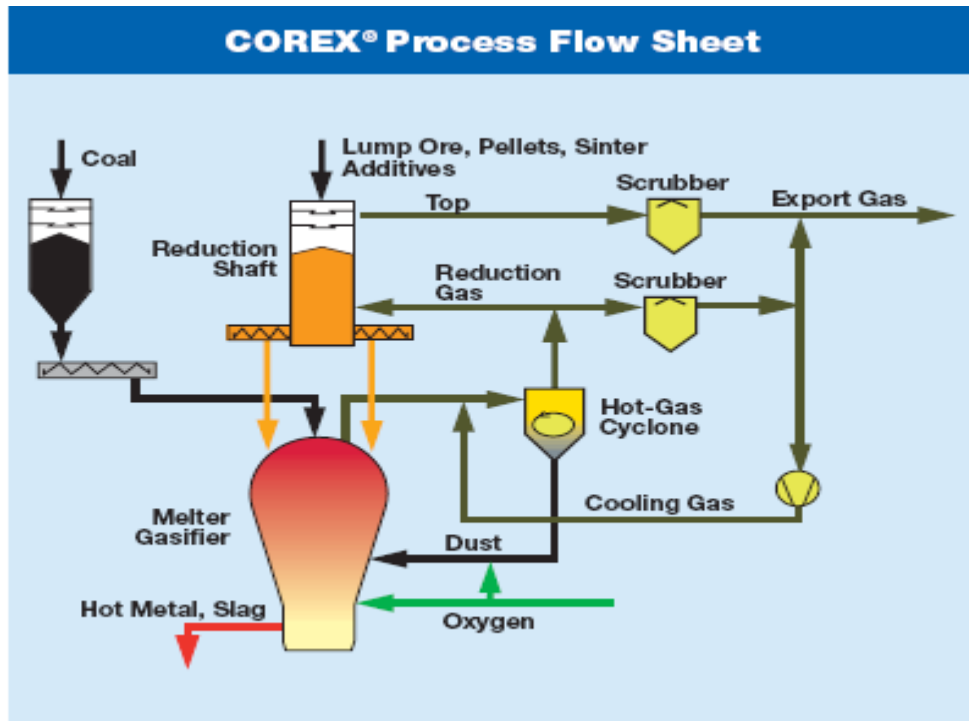


รูปที่ 1-2 กระบวนการถลุงเหล็กขั้นต้นแบบเตาบลาสท์ (Blast Furnace)

2.1.2 เทคโนโลยีการถลุงเหล็กแบบ Smelting reduction (ดูรูปที่ 1-3 ประกอบ)

กระบวนการถลุงเหล็กขั้นต้นอีกวิธีหนึ่ง ได้แก่ กระบวนการ “Smelting reduction” ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรก เรียกว่า “Reduction shaft” สินแร่เหล็กที่เป็นก้อน ซินเตอร์ และ เพลลทจะถูกป้อนจากด้านบนของ “Reduction shaft” โดยมี reducing gas วิ่งสวนทางขึ้น แร่เหล็กดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์กลายเป็น Direct-reduced iron หรือ DRI ระบบลำเลียงวัตถุดิบชนิดสกรู (Screw conveyor) จะส่งต่อ DRI มายัง Melter-Gasifier เพื่อการถลุงเหล็กขั้นสุดท้าย

กระบวนการนี้เป็น กระบวนการถลุงเหล็กที่ค่อนข้างสะอาดเมื่อเทียบกับ กระบวนการถลุงเหล็กโดยใช้เตาบลาสท์ (BF) เพราะไม่ต้องมีเตาผลิตถ่านโค้กเนื่องจากใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและสารรีดิวส์โดยตรง แต่ยังไม่แพร่หลายในเชิงพาณิชย์มากนัก

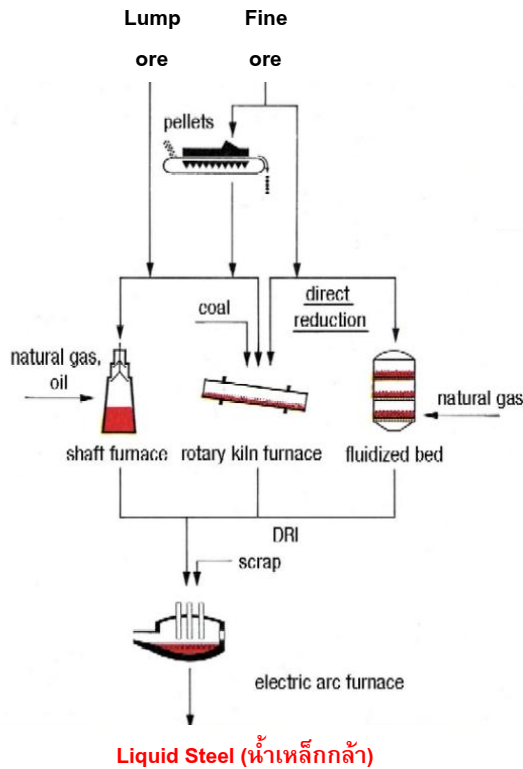


รูปที่ 1-3 กระบวนการถลุงเหล็กแบบ Smelting reduction

2.1.3 เทคโนโลยีการผลิตเหล็กด้วยระบบ Direct reduction (ดูรูปที่ 1-4 ประกอบ)

ได้แก่ กระบวนการแยกเหล็กจากสินแร่เหล็ก โดยผงแร่เหล็ก (Fine ore) หรือแร่เหล็กก้อน (Lump ore) ถูกถลุงที่อุณหภูมิต่ำ กล่าวคือ ประมาณ 1,000 °C โดยใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงและสารรีดิวส์ (Reducing agent) กระบวนการนี้จะได้เหล็กถลุงที่อยู่ในสภาพของแข็ง เรียกว่าเหล็กพรุน (Sponge iron) ซึ่งมีสารปนเปื้อนน้อยกว่าเหล็กพิก ดังนั้นโรงงานถลุงเหล็กชนิดนี้ควรตั้งอยู่ในบริเวณที่มีแก๊สธรรมชาติส่งไปถึง เนื่องจากเป็นเหล็กพรุนที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก (Specific area) ดังนั้นจึงเกิดการออกซิไดส์อีกครั้ง (Re-oxidization) และติดไฟได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อมีการสัมผัสกับอากาศหรือน้ำทะเล ดังนั้นจะต้องแก้ไขโดยทำเหล็กพรุนที่ผลิตได้ใหม่ๆ และยังมีอุณหภูมิสูงมาอัดเป็นก้อนขนาดเล็กเพื่อลดพื้นที่ผิว เรียกเหล็กพรุนที่อัดเป็นก้อนเล็กนี้ว่า Hot briquette iron หรือ HBI โรงงานถลุงเหล็กประเภทนี้เหมาะกับการผลิตขนาดเล็ก เตาที่ใช้ผลิตเหล็กพรุนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มี 3 แบบ ได้แก่

- แบบ Shaft furnace
- แบบ Rotary kiln furnace
- แบบ Fluidized bed



รูปที่ 1-4 กระบวนการผลิตเหล็กพูน (Sponge Iron หรือ DRI)

2.2 กระบวนการผลิตเหล็กขั้นกลาง (Intermediate)

เป็นกระบวนการผลิตเหล็กกล้า (Steel) ซึ่งเตาที่ใช้ผลิตเหล็กกล้า มี 2 แบบด้วยกัน

2.2.1 แบบ Basic Oxygen Furnace (BOF)

เป็นเตาผลิตเหล็กกล้าโดยใช้เหล็กพิกหรือเหล็กพูนป้อนเข้าไปยังเตาเบสิคออกซิเจนและฟลักออกซิเจนเข้าในเตาในขณะที่เหล็กหลอมละลาย เตาชนิดนี้บางทีเรียกว่า "Converter" น้ำเหล็กที่ได้จะมีคาร์บอนต่ำมากและมีความบริสุทธิ์มากกว่าเหล็กถลุง น้ำเหล็กกล้าที่ได้ เรียกว่า Molten steel ซึ่งส่งต่อไปเพื่อหล่อเป็น Billet, Bloom, Slab ต่อไป โดย Billet, bloom, slab นี้บางทีเรียกว่า Semi-finished products

2.2.2 แบบ Electric Arc Furnace (EAF)

เป็นเตาผลิตเหล็กกล้าจากเศษเหล็ก (Scrap) หรือผสมกันระหว่างเศษเหล็กและเหล็กพูน ซึ่งการทำงานใช้ไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดซึ่งทำด้วยแท่งถ่าน น้ำเหล็กที่ได้เป็นน้ำเหล็กที่เกิดจากการหลอมละลายของเศษเหล็กหรือเหล็กพูน คุณภาพน้ำเหล็กกล้าชนิดนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเศษเหล็กและเหล็กพูน ซึ่งบางครั้งไม่สามารถควบคุมให้บริสุทธิ์ได้โดยง่าย น้ำเหล็กกล้าที่ได้จะถูกนำไปหล่อเป็น Billet, Bloom, Slab ได้เช่นกัน

2.3 กระบวนการผลิตเหล็กชั้นปลาย (Downstream)

กระบวนการผลิตเหล็กชั้นปลายเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเหล็กชั้นกลาง ซึ่งได้แก่ Billet, bloom, Slab เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องต่างๆต่อไป การแปรรูปแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การแปรรูปร้อน (Hot working) และการแปรรูปเย็น (Cold working) กรรมวิธีการแปรรูปมีหลายวิธี เช่น

- การรีด (Rolling)
- การตีขึ้นรูป (Forging)
- การอัดขึ้นรูป (Extrusion)
- การดึง (Drawing)
- เป็นต้น

แต่ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้วิธีรีดร้อน (Hot rolling) และรีดเย็น (Cold rolling) เช่น แผ่นเหล็กรีดร้อน แผ่นเหล็กรีดเย็น เหล็กรูปพรรณโครงสร้าง และเหล็กเส้น เป็นต้น

นอกจากการแปรรูป ทั้ง 2 ขั้นตอนดังกล่าวมาแล้ว ผลิตภัณฑ์บางชนิดจะมีขั้นตอนการเคลือบผิว (Coating) และขั้นตอนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆเพิ่มขึ้น เช่น ท่อเหล็ก ภาชนะบรรจุอาหาร (อาหารกระป๋อง) ตะแกรงเหล็ก ลวดหนาม โซ่ และตะปู ฯลฯ ขั้นตอนต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 1-1

อย่างไรก็ตามเราสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นปลายตามลักษณะรูปทรงของเหล็กชั้นกลาง (Billet, Bloom, Slab และ Beam blank) ได้ดังตาราง 2.1

ตารางที่ 1.1 ประเภทของผลิตภัณฑ์และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบบ่อยๆ

ประเภทของผลิตภัณฑ์	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบบ่อย ๆ
1. ผลิตภัณฑ์เหล็กรูปทรงยาว ได้จากการแปรรูปเหล็กแท่งยาว (Billet, Bloom, Beam blank)	เหล็กเส้นกลม เหล็กเส้นข้ออ้อย ลวดเหล็ก ลวดเหล็กทนแรงดึงสูง (Prestressed wire) เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน เหล็กเพลลา น็อต สกรู ลวดหนาม ตะแกรงเหล็ก ฯลฯ
2. ผลิตภัณฑ์เหล็กทรงแบน ได้จากการแปรรูปเหล็กแท่งแบน (Slab)	เหล็กแผ่นรีดร้อน (Hot rolled sheet) เหล็กแผ่นรีดเย็น (Cold rolled sheet) เหล็กแผ่นหนา (Plate) เหล็กแผ่นไร้สนิมชนิดรีดร้อนและรีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบผิว เหล็กแผ่นเคลือบตีบุกและโครเมียม เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี ฯลฯ
3. ผลิตภัณฑ์เหล็กขึ้นรูปต่างๆ ได้จากการแปรรูปเหล็กหล่อเป็นส่วนใหญ่	ชิ้นส่วนเหล็กหล่อ (Steel casting) เหล็กขึ้นรูป (Forging) การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรและเครื่องมือ (Machine parts) ฯลฯ

3. คุณสมบัติและประโยชน์ของเหล็ก

หากมองในเชิงวัสดุก่อสร้างแล้วเหล็กนับว่าเหล็กเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดในการก่อสร้าง กล่าวคือ

- (1) การใช้วัสดุเหล็กสำหรับทำโครงสร้างอาคารต่างๆ จะใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้คอนกรีตและหากพิจารณาค่าก่อสร้างโดยรวมทั้งค่าวัสดุและค่าแรงงานแล้วถูกกว่าโครงสร้างคอนกรีตมาก (Less construction time and cost)

- (2) โครงสร้างบางประเภทที่ต้องการช่วงเสายาว (Span) การใช้โครงสร้างเหล็กกระทำได้ง่ายกว่าเพราะน้ำหนักเบาและก่อสร้างง่าย (Lighter weight and larger spanned constructability)
- (3) กรณีบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยโครงสร้างเหล็กจะมีความยืดหยุ่น ไม่พังง่าย เพราะมีค่าจุดคดลาก (Ductility) ซึ่งเมื่อเหล็กรับแรงถึงจุดนี้แล้วจะไม่พังทันทีเมื่อเทียบกับคอนกรีต (Superior seismic performance)
- (4) ในกรณีที่ต้องการโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมที่สวยงามมากๆ วัสดุเหล็กจะทำได้ง่ายกว่า เพราะสามารถหล่อ ตัด ตัด จากโรงงานเพื่อนำไปประกอบได้โดยสะดวก เช่น สถาปัตยกรรมหอไอเฟล เป็นต้น (Aesthetic value added)
- (5) วัสดุเหล็กเมื่อใช้แล้วและต้องการนำกลับมาใช้ใหม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เกือบ 100% (Complete recyclability)

เหล็กเป็นพื้นฐานของอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด เช่น

- อุตสาหกรรมก่อสร้าง
- อุตสาหกรรมเครื่องมือเกษตร
- อุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์
- อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือน
- อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า
- อุตสาหกรรมรถยนต์
- อุตสาหกรรมคมนาคม เช่น รถไฟ เรือบรรทุกสินค้า เครื่องบิน
- อุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป เช่น กระจัง หรือภาชนะอาหารสำเร็จรูปต่างๆ
- อุตสาหกรรมผลิตอาวุธใช้ป้องกันประเทศ

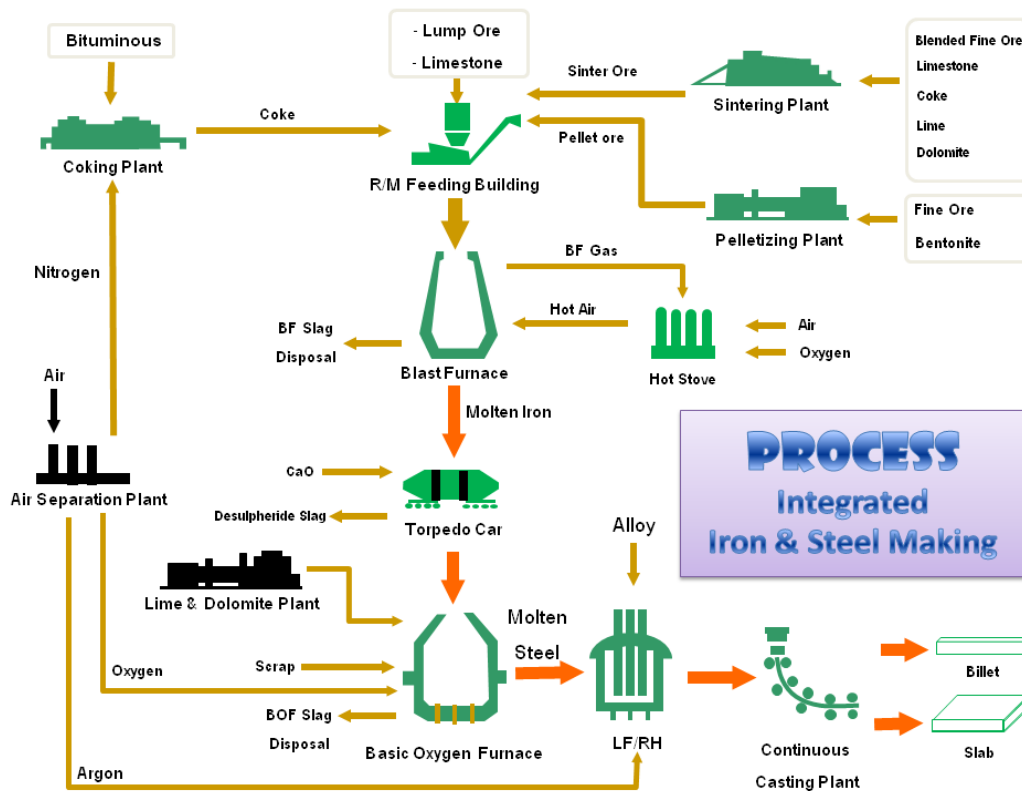
ดังนั้น การพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็กจึงมีความจำเป็นและเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างยิ่ง

บทที่ 2

กระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า (Iron and Steel making process)

1. กระบวนการถลุงเหล็ก และผลิตเหล็กกล้าแบบ บูรณาการ (Integrated iron and steel manufacturing process)

เอกสารฉบับนี้ ะบรรยายเฉพาะ กระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าแบบ บูรณาการเท่านั้น เพราะเป็น กระบวนการที่นิยมใช้กันในโรงถลุงเหล็กขนาดใหญ่และกำลังอยู่ในระหว่างการศึกษาที่จะพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็ก ตันน้ำขึ้นในประเทศไทย



รูปที่ 2-1 องค์ประกอบกระบวนการผลิตเหล็กต้นน้ำแบบบูรณาการ (Integrated iron and steel making plant)

กระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า (Iron-steel making process) จนถึงกระบวนการหล่อเหล็ก (Casting) ดังแสดงในรูปที่ 2-1 สรุปได้ดังนี้ (ซึ่งรวมการผลิตเหล็กขั้นต้นและขั้นกลางเข้าด้วยกัน)

1.1 การขนส่งและกองเก็บวัตถุดิบ (Raw material transportation and stockyard)

กระบวนการผลิตของโครงการเริ่มต้นจากนำวัตถุดิบต่าง ๆ ขนส่งโดยระบบสายพานลำเลียง (Conveyor belt) จากท่าเรือมากองเก็บไว้ที่ลานกองเก็บ (Stockyard) ได้แก่ แร่เหล็ก (Iron ore) ซึ่งอยู่ในรูปของผงเหล็กธรรมชาติ (Fine ore) และผงเหล็กเม็ดเล็ก (Pulverized หรือ Concentrated ore) เหล็กก้อน (Lump ore) ตลอดจนหินปูน (Limestone) ซึ่งถูกบดให้ได้ขนาดตามความต้องการก่อนส่งมากองไว้ที่ ลานกองเก็บนี้ วัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ ถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous coal) และถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) แร่โดโลไมท์ (Dolomite) ตลอดจนเศษเหล็กต่างๆ (Scrap)

เนื่องจากแร่เหล็ก (Iron ore) ที่ถูกขนมาเข้าลานกองเก็บมีคุณภาพต่างกันทั้งในแง่ขององค์ประกอบทางเคมีและลักษณะของเม็ดเหล็ก (Granularity) ดังนั้น ก่อนถูกนำไปใช้งานจะต้องมีระบบการผสมแร่เหล็กให้มีคุณสมบัติที่สม่ำเสมอ (Uniform) สิ่งอำนวยความสะดวกในการผสมแร่เหล็ก (Mixing facilities) อาจใช้ถังผสม (Mixing distribution bins) หรือผสมในลานผสม (Mixing raw material ground)

วัตถุดิบบางชนิดไม่ได้ขนส่งเข้าลานกองวัตถุดิบโดยทางเรือและไม่ผ่านระบบสายพานลำเลียง (Conveyor belt) แต่ขนส่งโดยรถยนต์ ดังนั้น จะต้องมีส่วนอำนวยความสะดวกในการรับวัตถุดิบที่ขนส่งโดยทางรถยนต์ด้วย (Receiving facilities)

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation)

วัตถุดิบต่าง ๆ เมื่อผ่านกระบวนการผสมเพื่อให้มีคุณสมบัติสม่ำเสมอแล้ว จะถูกป้อนเข้ากระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนที่จะป้อนเข้าเตาบลาสท์ (Blast furnace) ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ต้องเตรียม ได้แก่ ซินเตอร์ (Sinter) เพลเลท (Pellet) และถ่านโค้ก (Coke)

กระบวนการผลิตซินเตอร์ (Sintering process) และกระบวนการผลิตเพลเลท (Pelletizing process) เป็นการเตรียมแร่เหล็กที่เป็นผงธรรมชาติ (Fines) และเป็นผงเม็ดเล็ก (Pulverized or concentrated) ให้เป็นก้อนใหญ่ที่มีความแข็งแรงและขนาดเหมาะสมใกล้เคียงกันเพื่อสะดวกในการป้อนเข้าเตาบลาสท์ (Blast furnace; BF) เมื่อป้อนเข้าปากเตาบลาสท์แล้วการเลี้ยวตัวของวัตถุดิบจะมีลักษณะเป็นรูพรุน (Porosity) แก๊สจากกระบวนการหลอมแร่เหล็กที่ส่วนล่างของเตาบลาสท์สามารถผ่านได้ ดังนั้น ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพเหล็กที่หลอมได้ (Molten iron)

กระบวนการผลิต ถ่านโค้ก (Coking process) เป็นการอบถ่านหินในเตาอบ (Coke oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 - 1,300 °C เพื่อให้สิ่งไม่พึงปรารถนาต่าง ๆ เช่น Volatile matters, Tar เป็นต้น ถูกขับออกจากถ่านหิน กลายเป็น ถ่านโค้กที่มีความแข็งแรงและมีรูพรุน สามารถทำปฏิกิริยา (Reduction process) ได้ดีในเตาบลาสท์ ส่วนถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) ซึ่งตามปกติใช้จำนวนไม่มากนักแต่เป็นถ่านหินชนิดคุณภาพสูง กล่าวคือ มีสิ่งเจือปนต่ำ จะถูกบดเป็นผงและป้อนเป็นเชื้อเพลิงเข้าเตาบลาสท์โดยตรง โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมทำให้ลดการใช้ถ่านโค้กลง (Pulverized coal injection, PCI)

นอกจากนี้ ในกระบวนการถลุงเหล็กจะมีการใส่ฟลักซ์ (Flux) ได้แก่ หินปูน ปูนขาว และโดโลไมท์ เพื่อใช้ในการกำจัดสารมลทินและสิ่งเจือปนต่างๆ หินปูน (Limestone) ที่ผ่านกระบวนการบดย่อยให้ได้ขนาดตามความต้องการแล้วจะถูกส่งเข้ากระบวนการผลิตปูนขาว เพื่อนำไปใช้เป็นฟลักซ์ในกระบวนการกำจัดคาร์บอนและสารเจือปนต่างๆ (Decarburization) ในเตาเบสิคออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace; BOF) ต่อไป และหินปูนอีกส่วนจะถูกป้อนเข้ากระบวนการผลิตซินเตอร์และเตาบลาสท์โดยตรงเพื่อใช้เป็นฟลักซ์ในกระบวนการหลอมเหล็ก (Smelting process) สำหรับแร่โดโลไมท์ (Dolomite) ส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้ากระบวนการผลิตซินเตอร์โดยตรง

ขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้า Dolomite plant เพื่อทำให้ร้อนก่อนป้อนเข้าในเตาเบสิคออกซิเจนในรูปของ Light-burn dolomite แร่ Dolomite จะช่วยลดความหนืดของน้ำเหล็ก สะดวกต่อการระบายน้ำเหล็กออกจากเตา บลาสท์

1.3 กระบวนการถลุงแร่เหล็ก (Iron smelting process หรือ Carburization)

เมื่อวัตถุดิบต่างๆ ผ่านกระบวนการเตรียมการ (Pretreatment) เรียบร้อยแล้ว ซินเตอร์ (Sinter ore) เพลเลท (Pellet ore) แร่เหล็กก้อน (Lump ore) ถ่านโค้ก (Coke) และหินปูน (Limestone) จะถูกป้อนเข้าเตาบลาสท์ และถูกหลอมที่อุณหภูมิประมาณ 1,530 °C โดยแร่เหล็กจะถูกรีดิวซ์ด้วยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจากการสันดาป (Combustion) ของถ่านโค้ก ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำเหล็กถลุง (Molten iron หรือ Hot metal)

น้ำเหล็กถลุงซึ่งมีความหนาแน่นมากที่สุดจะตกลงไปก้นเตาบลาสท์ (Hearth) และถูกระบายออกผ่าน Tapping hole ระบายลงสู่รถตอร์ปิโด (Torpedo car) เพื่อส่งต่อไปเข้ากระบวนการผลิตเหล็กกล้าต่อไป ส่วนสแลก (Slag) ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยอยู่ในชั้นบน และถูกระบายออกผ่าน Cinder Notches และ Tapped Holes เพื่อนำไปจัดการตามความเหมาะสมซึ่งจะได้กล่าวต่อไป เนื่องจากเตา บลาสท์ทำงานที่ความดันประมาณ 250 KPa จึงมีการติดตั้ง Top-pressure Recovery Turbine (TRT) เพื่อใช้พลังงานจากแก๊สที่ถูกระบายออกที่แรงดันสูงนี้ (High-pressure exhaust Gas) ผลิตไฟฟ้ากลับมาใช้ได้อีก กระบวนการหลอมละลายแร่เหล็กโดยใช้ การสันดาปของถ่านโค้กนี้ เรียกว่า กระบวนการ Carburization ซึ่งจะทำให้มีคาร์บอนอิมัตวในน้ำเหล็กสูงถึง 4-5% ซึ่งจะต้องลดปริมาณคาร์บอนลง อีกในเตาเบสิคออกซิเจน โดยกระบวนการ Decarburization process ที่เตาเบสิค ออกซิเจน

1.4 กระบวนการผลิตเหล็กกล้า (Steel making process)

เป็นการทำให้น้ำเหล็กถลุง (Molten iron หรือ Hot metal) จากเตาบลาสท์ให้มีความบริสุทธิ์และสามารถนำไปหล่อขึ้นรูปตามการใช้งาน เนื่องจากน้ำเหล็กถลุงที่ได้จากเตาบลาสท์จะยังคงมีสารมลทินเหลืออยู่ เช่น Carbon, Silicon, Phosphorus, Sulfur ดังนั้นจำเป็นต้องกำจัดสารดังกล่าวในขั้นแรกเสียก่อน เรียกว่าเป็นขั้นตอน การเตรียมน้ำเหล็กถลุงก่อนป้อนเข้าเตาเบสิคออกซิเจน (Hot metal pretreatment) ซึ่งได้แก่ การกำจัดซิลิกอน (Desiliconization) การกำจัดฟอสฟอรัส (Dephosphorization) และการกำจัดซัลเฟอร์ (Desulphurization) สารที่ใช้ในกระบวนการเหล่านี้มีหลายชนิดให้เลือกใช้ ได้แก่ Lime, FeO, Na₂CO₃, CaC₂ เป็นต้น โดยเติมลงในน้ำเหล็ก ถลุงในถังที่รับน้ำเหล็กถลุงจากเตาบลาสท์หรือ เรียกว่า Hot metal ladle ซึ่งบรรจุอยู่บนรถตอร์ปิโด (Torpedo car) ปฏิริยาที่เกิดขึ้นจะช่วยให้เกิดสแลกของสารมลทินต่างๆ (Slag) ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกก่อนจะส่งไปเข้า กระบวนการกำจัดคาร์บอนอิมัตว (Decarburization) ในเตาเบสิคออกซิเจน

กระบวนการกำจัดคาร์บอน (Decarburization) ที่เกิดขึ้นในเตาเบสิคออกซิเจนกระทำโดยการพ่นออกซิเจน เข้าไปทางด้านบนด้านเดียวหรือด้านล่างด้านเดียวหรือทั้ง 2 ด้าน เพื่อให้ออกซิเจนทำปฏิริยากับคาร์บอนอิมัตวใน น้ำเหล็กถลุงเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ทำให้คาร์บอนอิมัตวในน้ำเหล็กถลุง ลดลงเหลือประมาณ 0.04% ภายใน 20 นาที อุณหภูมิภายในเตาเบสิค ออกซิเจนจะสูงถึง 1,200 - 1,630 °C การ ใส่เศษเหล็ก (Scrap) เข้าเตาเบสิคออกซิเจนจะช่วยควบคุมอุณหภูมิในเตาเบสิคออกซิเจนไม่ให้สูงเกินไป

น้ำเหล็กกล้าที่ออกจากเตาเบสิคออกซิเจนจะยังคงมีแก๊สออกซิเจนอยู่มากและยังคงมีสารที่ไม่พึงปรารถนา อยู่บ้าง (Inclusions) จึงจำเป็นต้องเข้ากระบวนการทำให้บริสุทธิ์ขั้นที่สอง (Secondary refining process หรือ

Secondary metallurgy) ซึ่งได้แก่ การกำจัด sulfur ขั้นสุดท้าย (Final desulphurization) การกำจัดแก๊ส O₂, N₂, H₂ และอื่นๆ ตลอดจนสารเจือปน (Inclusions) และกำจัดคาร์บอน (Decarburization) ขั้นสุดท้าย เพื่อให้ได้เหล็กกล้ามีคาร์บอนต่ำ (Ultra-low carbon steel) และคุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งดำเนินการโดยการพ่นแก๊สอาร์กอน (แก๊สเฉื่อย) เข้าไปใน Ladle furnace (LF) ซึ่งเป็นสุญญากาศ (Vacuum) เพื่อไล่แก๊สออกซิเจนออกจากน้ำเหล็ก ขณะเดียวกันก็มีการเติมโลหะผสมต่างๆ (Alloy) ลงไปเพื่อให้ได้คุณสมบัติของเหล็กกล้า (Steel) ตามความต้องการ โลหะผสมที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ Manganese, Nickel, Lead, Copper, Chromium, Tungsten เป็นต้น

1.5 การหล่อเหล็ก (Casting Process)

หลังจากที่ได้น้ำเหล็กกล้าที่บริสุทธิ์ (Molten steel) ตามความต้องการแล้ว น้ำเหล็กกล้านี้จะถูกขนไปยังโรงงานหล่อเหล็กกล้าโดยเทลงในภาชนะกลาง (Intermediate vessel หรือ Tundish) และไหลลงไปยังแบบหล่อ (Mould) ซึ่งหล่อเย็นด้วยน้ำ (water cooling) น้ำเหล็กกล้าเมื่อออกจากแบบหล่อทางด้านล่างนั้นขอบของน้ำเหล็กกล้า (Molten steel) เริ่มเย็นลงและขึ้นรูปโดยรอบ (Thin Shell) และไหลลงไปเป็นเหล็กหล่อ (Cast Strand) และถูกตัดเป็นท่อนตามต้องการ ในระหว่างที่เหล็กหล่อไหลลงไปตามโครงสร้างที่รองรับ ซึ่งมี Support Rolls เป็นสำคัญ จะมีการโปรยละอองน้ำ (Water sprays or water mist) ไปพร้อมกันด้วย

ผลิตภัณฑ์ (Products) ที่ได้จากกระบวนการผลิต ได้แก่ แท่งเหล็กกล้าซึ่งหล่อขึ้นรูปต่างๆตามลักษณะการใช้งาน เป็นเหล็กแท่งแบน (Slab) เหล็กแท่งเล็ก (Billet) และเหล็กแท่งใหญ่ (Bloom)

อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งเกิดปัญหากับระบบการผลิตเหล็กกล้า น้ำเหล็กถลุงจากเตาบลาสท์ (Blast furnace) ซึ่งได้แก่ molten iron สามารถนำมาหล่อเป็นเหล็ก พิก (Pig iron) ก่อนได้และเมื่อเตาเบสิคออกซิเจนทำงานได้แล้ว เหล็กพิกที่หล่อจากน้ำเหล็กถลุงนี้ จะใช้เป็นวัตถุดิบผลิตน้ำเหล็กกล้า (Molten steel) ได้ต่อไป

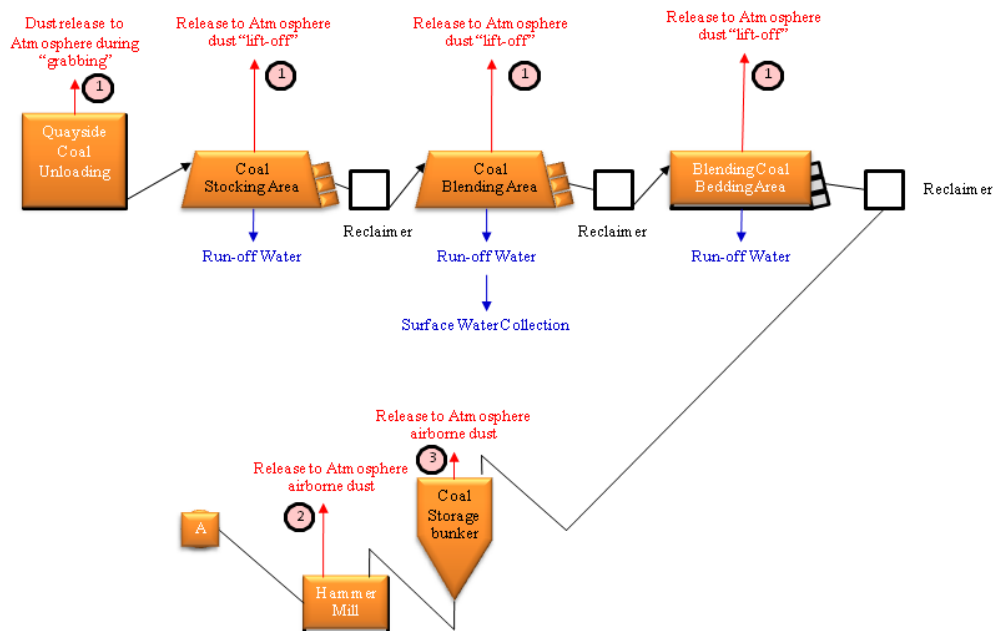
บทที่ 3

กระบวนการผลิตและแหล่งกำเนิดมลภาวะของอุตสาหกรรมผลิตเหล็กบวกร (Iron and Steel manufacturing process and sources of pollution)

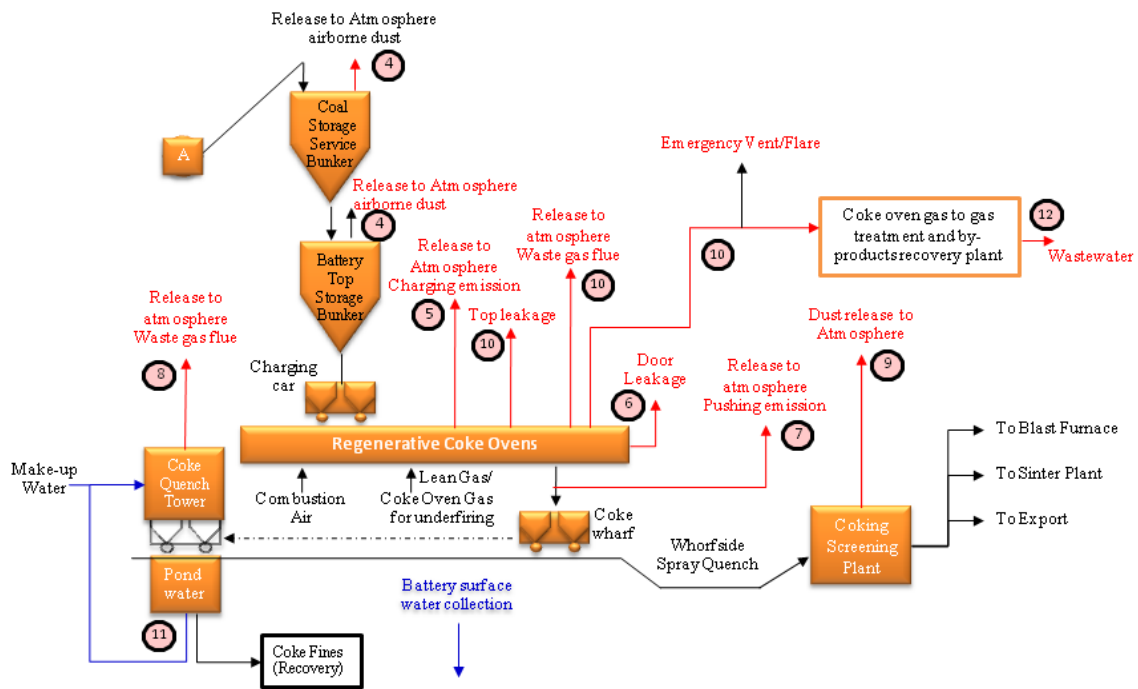
1. โรงผลิตถ่านโค้ก (Coking plant)

ถ่านหินคุณภาพที่ใช้ทำ ถ่านโค้กได้ (Bituminous coal หรือ Coking coal) จะถูกนำมาอบในเตาอบถ่านหิน อุณหภูมิ 1,000 - 1,100 °C เป็นระยะเวลา 14 - 24 ชั่วโมง ในสภาพที่ไร้อากาศ (Pyrolysis) สารระเหยต่างๆ (Volatile matters) ที่อยู่ในถ่านหินจะถูกขับออกเป็นแก๊สเสีย (Crude gas) ซึ่งจะถูกระบายไปฟอกด้วยกระบวนการที่เหมาะสม ความร้อนและระยะเวลาจะทำให้ถ่านหินผ่านสถานะช่วงพลาสติก (Plastic limit) จนแปรสภาพเป็นถ่านโค้ก ซึ่งมีความแข็งมากจนสามารถรับภาระวัตถุดิบที่ทับถมกันลงมาเป็นชั้นๆ สลับกันทำให้ ถ่านโค้กไม่แตกเป็นผง ซึ่งหากแตกเป็นผงจะเป็นผลต่อสภาพรูพรุน (Porosity) ของชั้นวัตถุดิบ ซึ่งมีความสำคัญต่อการระบายแก๊สที่เกิดจากกระบวนการถลุงเหล็ก

จากรูปที่ 3-1 A และ B แสดงกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ประกอบด้วย การนำถ่านหินเกรดต่างๆที่ใช้ทำถ่านโค้ก ลำเลียงเข้ากระบวนการผสมกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการจากนั้นจึงถูกขนเข้าโรงบดย่อยถ่านหิน (Hammer mill) ให้ละเอียดและถูกเก็บไว้ที่หอเก็บถ่านหิน (Coal tower) สำหรับป้อนเข้าเตาผลิตถ่านโค้ก



(A)



(B)

รูปที่ 3-1 A, B กระบวนการผลิตของโรงผลิตถ่านโค้ก

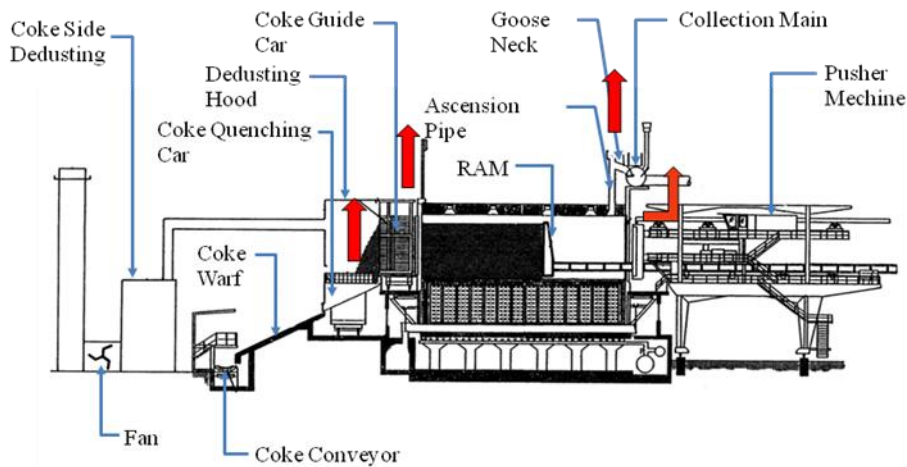
การป้อนถ่านหินเข้าเตาผลิต ถ่านโค้กอาศัยรถป้อนถ่านหิน (Charging car) ที่วิ่งเลื่อนไปตามตำแหน่งของห้องผลิตถ่านโค้กแต่ละห้อง (Coke chamber) ซึ่งมีช่องป้อนถ่านหินประจำอยู่ทุกห้องผลิตถ่านโค้ก ภายหลังจากถ่านหินถูกอบอยู่ในห้องผลิตถ่านโค้ก ประมาณ 14 - 24 ชั่วโมงแล้ว ระบบการผลักหรือดันถ่านโค้กออกจากเตาผลิตถ่านโค้กจะทำงานโดยด้านหนึ่งจะเป็นรถ สำหรับผลักถ่านหินออกจากเตา (Pushing car) ติดตั้งแขนและแป้น (Ram) สำหรับผลักหรือดันถ่านโค้กออกจากเตาผลิตถ่านโค้ก ซึ่งโค้กร้อนจะถูกผลักหรือดันออกอีกด้าน (Coke side) ผ่านประตูเปิด-ปิด และช่องสำหรับควบคุมการไหลของถ่านโค้ก (Coke guide) ระบายลงรถขนถ่านโค้กร้อน (Coke quenching car) เพื่อไปยังหอลดความร้อน (Coke quenching tower) ภายหลังจากถ่านโค้กร้อน (Red or hot coke) ถูกลดความร้อนเรียบร้อยแล้วจะถูกลำเลียงไปคัดขนาดที่โรงคัดขนาดถ่านโค้ก (Coke screening plant) ถ่านโค้กขนาดที่เหมาะสมจะถูกส่งไปยังเตาบลาสที่ขณะที่ถ่านถ่านโค้กขนาดเล็กและผงจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตซินเตอร์ในโรงผลิตซินเตอร์

มลภาวะที่เกิดจากโรงผลิตถ่านโค้ก สรุปได้ดังนี้

- (1) ฝุ่นที่เกิดจากกองวัตถุดิบ (การกอง การผสม การขนไปใช้งาน)
- (2) ฝุ่นจากโรงบดย่อยถ่านหิน (Hammer mill)
- (3) ฝุ่นจากถังเก็บถ่านหินก่อนถูกป้อนเข้าโรงงานบดย่อย (Coal storage bunker)
- (4) ฝุ่นจากระบบลำเลียงถ่านหินขึ้นหอเก็บถ่านหินก่อนป้อนเข้าเตาผลิตถ่านโค้ก
- (5) ฝุ่นและแก๊สจากระบบป้อนถ่านหินเข้าเตาผลิตถ่านโค้ก (Charging)
- (6) ฝุ่นและแก๊สเสียที่เกิดจากการเปิดใช้งานของระบบผลักหรือดันถ่านโค้กออกจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Pushing Doors)

- (7) ฝุ่นและแก๊สเสียจากระบบระบายถ่านโค้กร้อนออกจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke guide and Coke quenching car)
- (8) ฝุ่นและมลพิษอื่นๆจากระบบลดความร้อนถ่านโค้กร้อนด้วยน้ำ (Wet quenching) หรือระบบแห้ง (Dry quenching)
- (9) ฝุ่นจากโรงคัดขนาดถ่านโค้ก (Coke screening plant)
- (10) แก๊สเสีย (Crude gas) จากเตาผลิตถ่านโค้ก ซึ่งถือว่าเป็นมลภาวะที่สกปรกที่สุด
- (11) น้ำเสียจากระบบลดความร้อนถ่านโค้กร้อนด้วยน้ำ
- (12) น้ำเสียจากระบวนการฟอกแก๊สเสีย (Crude gas)

รูปที่ 3-2 แสดงการดันหรือผลักถ่านโค้กร้อน (Carbonized coal) ออกจากเตาผลิตถ่านโค้กลงรถขนถ่านโค้กร้อน (Quenching car) ไปลดความร้อน และลูกศรแสดงจุดที่จะเกิดมลภาวะ



รูปที่ 3-2 การผลักหรือดันถ่านโค้กร้อน (Carbonized coal) ออกจากเตาผลิตถ่านโค้กลงรถขนถ่านโค้กร้อน (Quenching car) ไปลดความร้อน และลูกศรแสดงจุดที่จะเกิดมลภาวะ

2. โรงผลิตซินเตอร์ (Sintering plant)

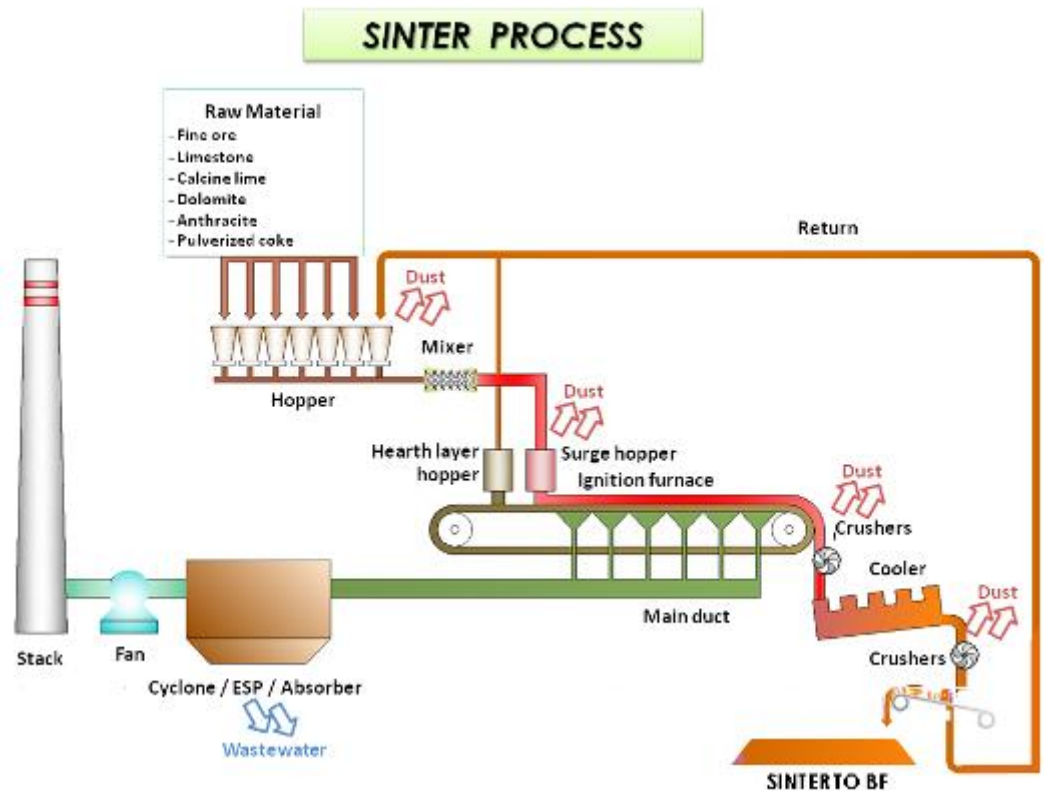


รูปที่ 3-3 รูปถ่าย sinter strand ระบบป้อนวัตถุดิบ และอุปกรณ์ให้ความร้อน (Ignition canopy)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเตาบลาสท์สมัยใหม่ จำเป็นต้องมีการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถมีคุณสมบัติรับน้ำหนักของวัตถุดิบด้วยกันได้ขณะเมื่อป้อนวัตถุดิบ นอกจากนั้นการเรียงตัวของวัตถุดิบต้องเอื้ออำนวยให้แก๊สที่เกิดจากการหลอมละลายผ่านได้สะดวก (Permeability) และต้องมีคุณสมบัติที่เป็นตัวรีดิวซึ่งที่ดี เพื่อให้เกิดน้ำเหล็กถลุงที่สมบูรณ์แบบ ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่มาของการนำวัตถุดิบต่างๆ มาทำเป็นก้อนให้เหมาะสม (Agglomeration) ก่อนป้อนเข้าเตาบลาสท์ วัตถุดิบที่ใช้เป็นแร่เหล็กซินเตอร์ ประกอบด้วยแร่เหล็กที่เป็นผงธรรมชาติ (Fine ores) เศษกากอุตสาหกรรมที่มีส่วนประกอบของเหล็กสูง (iron-bearing recycled materials) เช่น ผุ่น (Coarse dust) ตะกอน (Sludge) จากระบบน้ำเสียที่เกิดจากระบบฟอกแก๊สเสียของเตาบลาสท์ ผงเหล็กจากโรงรีดเหล็ก (Mill scale) เป็นต้น นอกจากนั้น ต้องมีวัตถุดิบอื่นๆ เติมเข้าไปด้วย (Additives) เช่น หินปูน โดโลไมท์ ปูนขาว สำหรับเชื้อเพลิงนั้นจะใช้ผงถ่านโค้ก (Coke breeze) เป็นสำคัญ และอาจมีผงถ่านหิน (Coal) หรือผงแอนทราไซต์ (Anthracite) บางส่วนด้วย

รูปที่ 3-3 แสดงรูปถ่าย sinter strand ระบบป้อนวัตถุดิบ และอุปกรณ์ให้ความร้อน (Ignition canopy)

แร่เหล็ก (Iron ore) เมื่อผ่านกระบวนการทำเหมืองที่เหมาะสมแล้วจะแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามขนาดของแร่เหล็ก ชนิดแรก ได้แก่ แร่เหล็กที่เป็นก้อน (Lump ore) ซึ่งเมื่อคัดขนาดเหมาะสมแล้วสามารถป้อนเข้าเตา บลาสท์ได้โดยตรง อีกประเภทหนึ่งเป็นผงธรรมชาติ (Fine ore) จะต้องนำมาบดเป็นก้อนในโรงผลิตซินเตอร์ (Sintering plant) เรียกว่า ซินเตอร์ (Sinter ore) ส่วนสินแร่ที่เป็นผงเม็ดเล็ก (Pulverized or concentrated) จะถูกบดให้เป็นก้อนในโรงผลิตเพลเลท (Pelletizing plant) โดยใช้เบนโทไนท์เป็นวัสดุยึดเกาะ (Binding material) เรียกว่า เพลเลท (Pellet ore)



รูปที่ 3-4 กระบวนการผลิตของโรงผลิตซินเตอร์

จากรูปที่ 3-4 วัตถุดิบต่างๆตั้งได้กล่าวมาแล้วจะถูกป้อนจากถังเก็บวัตถุดิบ ในสัดส่วนที่เหมาะสมลงบนสายพานลำเลียง ซึ่งส่งต่อไปเข้าถังผสมวัตถุดิบ (Mixer) คลุกเคล้าให้เข้ากัน และถูกระบายต่อไปเข้า ถังป้อนวัตถุดิบ (Surge hopper) ซึ่งจะป้อนวัตถุดิบที่ผสมด้วยกันเป็นอย่างดีแล้วไปบนรางเหล็กที่นิ่งบนตะกรับเคลื่อนที่ (Strand) โดยเฉลี่ยให้มีความหนาประมาณ 40 - 60 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะมีการรีไซเคิลซินเตอร์ที่มีขนาดเล็กกลับมาป้อนลงบนรางเหล็ก เพื่อรองรับชั้นวัตถุดิบ (Health layer) ก่อนที่จะป้อนวัตถุดิบทับลงไป หลังจากนั้นจะพ่นเปลวไฟลงไปในวัตถุดิบ ผงถ่านโค้ก ผงถ่านหิน ผงแอนทราไซต์จะติดไฟในขณะที่วัตถุดิบเคลื่อนตัวไป ความร้อนจะเริ่มจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่เต็มหน้าตัดที่ ความหนา 40 - 60 เซนติเมตร ในระยะแรกที่ได้รับเปลวไฟ และเมื่อเคลื่อนที่ไปเป็นระยะหนึ่ง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นเต็มหน้าตัดวัตถุดิบ ความร้อนประมาณ 1,200 °C จะทำให้วัตถุดิบจับตัวกันเป็นแผ่นแข็ง และเมื่อสิ้นสุดรางเหล็กเคลื่อนที่แผ่นวัตถุดิบที่เกาะกันแข็งนี้จะถูกเครื่องตี (Crusher) ให้เป็นก้อนเรียกว่า ซินเตอร์ พร้อมกับมีระบบการระบายความร้อนจากก้อนซินเตอร์ชนิดเป่าลม (Air cool) หลังจากนั้น ก้อนซินเตอร์ จะถูกขนต่อไปยังตะแกรงคัดขนาด (Vibrating screen) โดยขนาดที่เหมาะสมจะถูกส่งไปเก็บ พร้อมทั้งจะถูกป้อนเข้าเตาบลาสท์ ขณะที่ขนาดที่ไม่เหมาะสม (ขนาดเล็ก) จะถูกลำเลียงกลับเข้าไปในกระบวนการผลิตอีกครั้ง ด้านใต้ของรางเหล็กเคลื่อนที่จะมี กล่องลม (wind box) พร้อมเครื่องดูดฝุ่น เพื่อนำฝุ่นและแก๊สเสียไปกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม

จากรูปที่ 3-4 จะเห็นว่าแหล่งกำเนิดมลภาวะ ประกอบด้วย

- (1) ฝุ่นที่เกิดจากการป้อนวัตถุดิบ
- (2) ฝุ่นและแก๊สเสียจากกล่องลม (Wind box) ซึ่งถือว่าเป็นแก๊สเสียที่สกปรกที่สุดของระบบซินเตอร์

- (3) ฝุ่นจากบริเวณเครื่องตีแผ่นซินเตอร์ให้เป็นก้อน
- (4) ฝุ่นจากระบบตะแกรงคัดขนาด
- (5) น้ำเสียจากระบบกำจัดฝุ่นชนิดเปียก (Wet scrubber)
- (6) น้ำ Blowdown จากระบบระบายความร้อนด้วยน้ำชนิดปิด (Closed cooling system)
- (7) ฝุ่นที่จับได้จากระบบจับฝุ่น (Dedusting plant) ต่าง ๆ
- (8) ตะกอน (Sludge) จากระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากระบบจับฝุ่นแบบเปียก

3. โรงผลิตเพลเลท (Pelletizing plant)

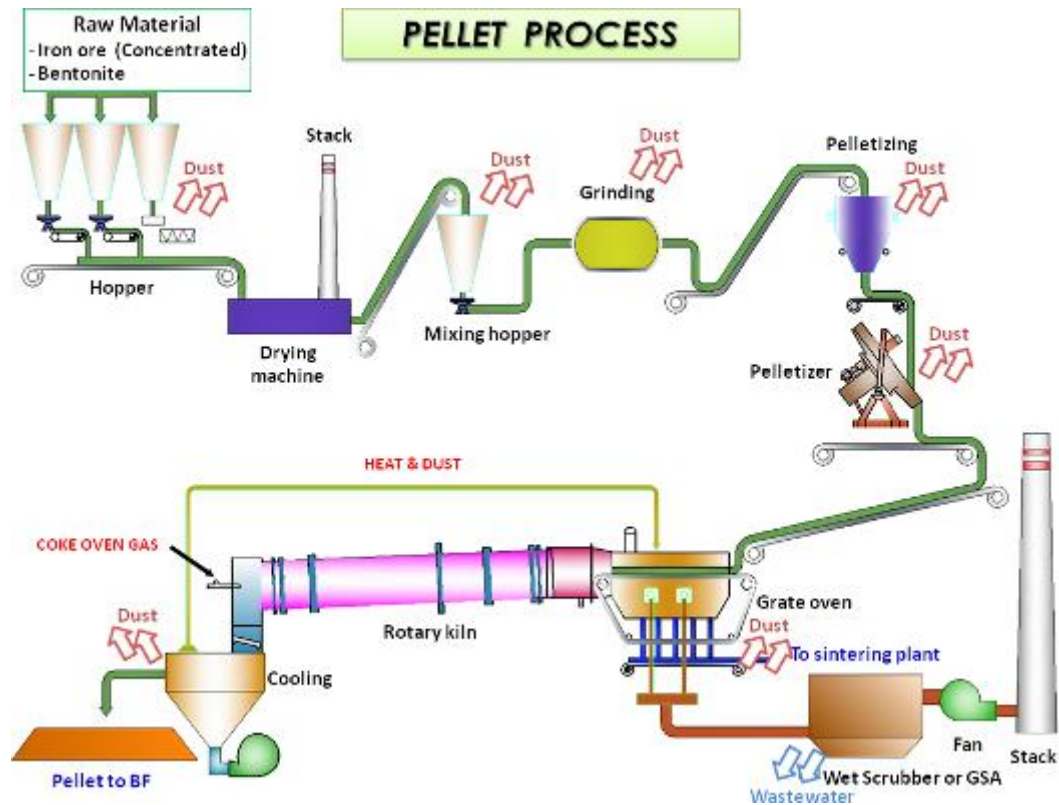
แร่เหล็กที่เป็นผงเม็ดเล็ก (Pulverized หรือ Concentrated ore) ก่อนที่จะถูกป้อนเข้าเตาอบลวสท์ ต้องบดให้เป็นก้อนกลม เรียกว่า เพลเลท (Pellet)

รูปที่ 3-5 แสดงรูปถ่ายโรงผลิตเพลเลท

จากรูป 3-6 วัตถุดิบ ได้แก่ ผงเหล็กเม็ดเล็กและเบนโทไนท์จะถูกป้อนเข้ากระบวนการผลิตตามสัดส่วนที่กำหนด ในขั้นต้นของกระบวนการผลิต วัตถุดิบจะถูกทำให้แห้งก่อน (Drying machine) หลังจากนั้นจึงถูกคลุกเคล้าผสมให้เข้ากันในเครื่องผสมวัตถุดิบ (Mixing hopper) ก่อนที่วัตถุดิบซึ่งเป็นผงเหล็กเม็ดเล็กและเบนโทไนท์จะถูกบดให้เป็นก้อนกลมๆโดยเครื่องบด (Pelletizer) แต่ก่อนที่จะเข้า กระบวนการบดเม็ดวัตถุดิบจะถูกบดให้ละเอียดอีกครั้ง (Grinding) เพื่อให้ง่ายต่อการบดเม็ดเป็นก้อน ภายหลังจากวัตถุดิบผ่าน กระบวนการบดแล้วจะถูกลำเลียงผ่าน ตะแกรงบด (Grate oven) ขนาดที่เล็กกว่ากำหนดจะผ่านตะแกรงบดลงสายพานลำเลียงนำไปรีไซเคิลในโรงผลิตซินเตอร์ต่อไป วัตถุดิบก้อนกลมที่ได้ขนาดจะถูกลำเลียงโดยตะแกรงบดเคลื่อนที่เข้าเตาอบ (Rotary kiln) โดยจะใช้เวลาอยู่ในเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 1,200 °C ประมาณ 30 นาที วัตถุดิบก้อนกลมจะจับกันแข็งตัวเป็นเพลเลทผ่านระบบระบายความร้อนและถูกส่งไปเก็บพร้อมใช้งานต่อไป



รูปที่ 3-5 รูปถ่ายโรงผลิตเพลเลท (Pelletizing plant)



รูปที่ 3-6 กระบวนการผลิตของโรงผลิตเพลเลท (Pelletizing plant)

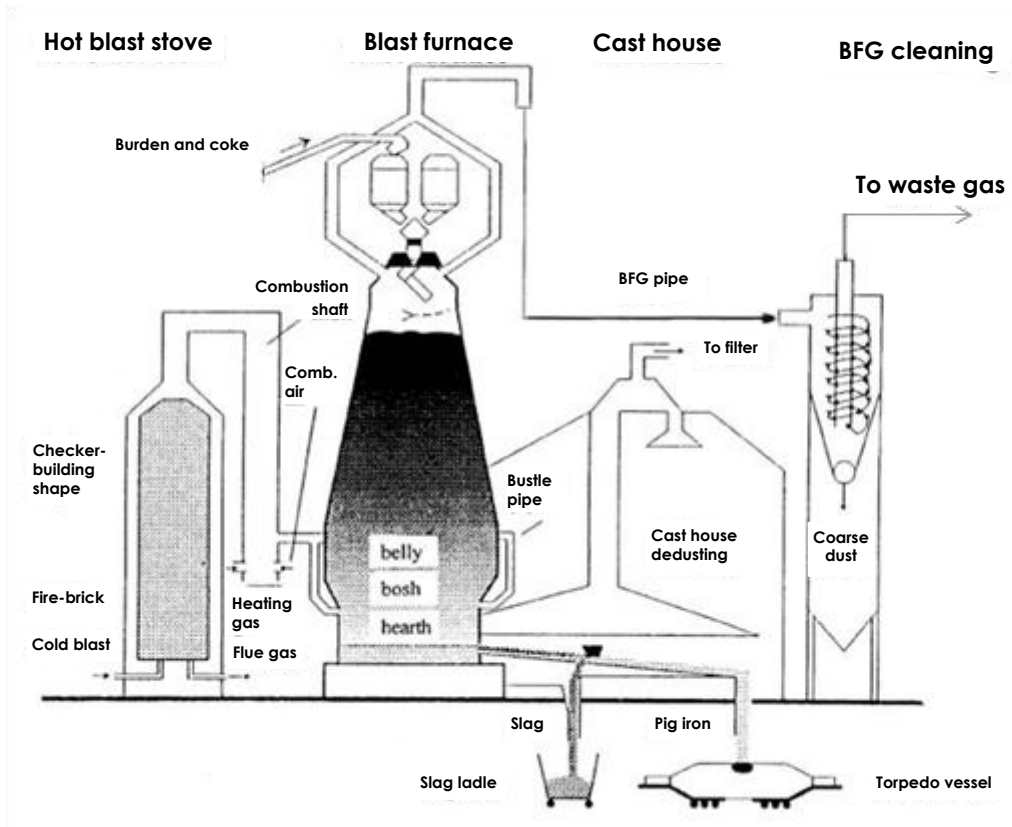
มลภาวะที่เกิดจากกระบวนการผลิตเพลเลท ประกอบด้วย

- (1) ฝุ่นบริเวณป้อนวัตถุดิบ
- (2) ฝุ่นและแก๊สเสียจากเครื่องอบแห้ง (Drying machine)
- (3) ฝุ่นและแก๊สเสียจากระบบบดให้ละเอียด (Grinding)
- (4) ฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการปั้นเม็ดเป็นก้อนกลม (Balling หรือ Pelletizing)
- (5) ฝุ่นและแก๊สเสียที่เกิดจากกระบวนการตะแกรงปิ้ง (Grate oven)
- (6) ฝุ่นที่เกิดจากการขนส่งและการคัดขนาดเพลเลท

4. เตาบลาสท์ (Blast Furnace)

ภายหลังได้มีการเตรียมวัตถุดิบที่สำคัญเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ แร่เหล็กก้อน (Lump ore) ซินเตอร์ (Sinter ore) เพลเลท (Pellet ore) ถ่านโค้ก (Coke) หินปูน (Limestone) และปูนขาว (Calcine lime) จะถูกป้อนเข้ากระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า โดยเริ่มจากเตาบลาสท์ก่อน (Blast furnace)

รูป 3-7 แสดงรูปร่างง่ายของเตาบลาสท์ (Blast furnace)



รูปที่ 3-7 รูปอย่างง่ายของเตาบลาสท์ (Blast furnace)

การทำงานของเตาบลาสท์ที่สำคัญ แบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนด้วยกัน กล่าวคือ ขั้นตอนการป้อนวัตถุดิบ (Charging raw material) ขั้นตอนการเตรียมอากาศป้อนเข้าเตาบลาสท์ (Generation of hot blast) กระบวนการถลุงในเตาบลาสท์ (Blast furnace process) การป้อนสารรีดิวซ์ซึ่งเข้าเตาบลาสท์ เพื่อช่วยใน กระบวนการถลุงเหล็ก (Direct injection of reducing agents) การระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลก (Slag) ออกจากเตาบลาสท์และ กระบวนการจัดการกับสแลก (Slag processing)

4.1 การป้อนวัตถุดิบ (Charging)

วัตถุดิบต่างๆที่ป้อนเข้าเตาบลาสท์ เช่น แร่เหล็กก้อน ชิ้นเตอร์ เฟลเลท และฟลักซ์ ซึ่งได้แก่ หินปูน เรียกรวมกันว่า “น้ำหนักบรรทุก” (Burden) ทั้ง “น้ำหนักบรรทุก” และถ่านโค้กถูกป้อนเข้าเตาโดยอาศัย ย “บุงกี” (Skips) หรืออาศัยระบบสายพานลำเลียง (Mechanical conveyor belts) วัตถุดิบทั้งหมดถูกป้อนเข้าเตาบลาสท์โดยผ่านระบบควบคุมการรั่วของแก๊สจากกระบวนการถลุงเหล็กในเตาบลาสท์ (Seal) ซึ่งแยกแหว่งแก๊สในเตาบลาสท์กับบรรยากาศภายนอก ทั้งนี้เพราะความดันของอากาศในเตาบลาสท์จะสูงกว่าบรรยากาศภายนอกมาก กล่าวคือแรงดันภายในเตาบลาสท์จะสูงถึง ประมาณสูงกว่า 250 KPa ระบบการป้อนวัตถุดิบแบบป้องกันแก๊สรั่วจากเตา (Sealed charging system) แล้วแต่เทคโนโลยีของเตาบลาสท์ แต่ละแบบ แต่โดยทั่วไปมี 2 แบบ แบบปากกระฉิ่ง (Bell charging system) หรือจะเป็นแบบไม่เป็นปากกระฉิ่ง (Bell-less charging system) อย่างไรก็ตามในขณะที่ป้อนวัตถุดิบอาจมีแก๊สจาก กระบวนการหลอมเหล็กในเตาบลาสท์เล็ดลอดออกสู่อากาศภายนอกบ้างแต่ก็เล็กน้อย กระบวนการระบายแก๊สเสียจากเตาบลาสท์ไปจัดการเป็นระบบการจัดการที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งที่จะได้กล่าวต่อไป

4.2 เตาผลิตลมร้อนก่อนป้อนเข้าเตาบลาสท์ (Hot blast stove)

เพื่อให้ปฏิกิริยาการถลุงเหล็กดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือ มีการถ่ายเทความร้อนสู่วัตถุดิบที่ดี เพิ่มประสิทธิภาพปฏิกิริยารีดิวซ์ซึ่งให้เร็วขึ้นทำให้อุณหภูมิการใช้ถ่านโค้กสูง ตลอดจนการใช้ออกซิเจนไปช่วยปฏิกิริยาการเปลี่ยนถ่านโค้กเป็นแก๊สและส่งเสริมการสัมผัสของแก๊สกับวัตถุดิบเพื่อให้เกิดผลดังกล่าว อากาศก่อนที่จะถูกป้อนเข้าเตาบลาสท์โดยผ่านหัวจ่ายอากาศที่เรียกว่า “Tuyere” จะต้องถูกอุ่นให้ร้อนขึ้นก่อนโดยเตา ผลิตลมร้อน (Hot blast stove) เตาผลิตลมร้อนจะทำงานโดยอาศัยหัวเผาและเชื้อเพลิงจากแก๊สเสียที่ฟอกสะอาดแล้วจากเตาบลาสท์เอง (BF gas) เตาผลิตลมร้อนมีลักษณะคล้ายโคมภายในบุด้วยอิฐทนไฟ ซึ่งจะถูกเผาด้วยหัวเผา (Burner) ให้ร้อนขึ้นจนอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 1,100 - 1,500 °C จึงปิดหรือหยุดการทำงานของหัวเผา หลังจากนั้นจึงระบายอากาศ (Blast) ผ่านเตาผลิตลมร้อนทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 900 - 1,350 °C จึงป้อนเข้าเตาบลาสท์โดยผ่าน “Tuyere” เมื่ออุณหภูมิของเตาลดลงถึงจุดหนึ่งจะเริ่มจุดเตาใหม่อีกครั้ง ในระหว่างที่รออุณหภูมิของเตาผลิตลมร้อนลูกหนึ่งสูงขึ้นการอุ่นอากาศจะเกิดขึ้นที่เตาผลิตลมร้อนอีกลูกหนึ่งสลับกันทำงาน โดยทั่วไปเตาบลาสท์จะมีเตาผลิตลมร้อนถึง 4 เตา

4.3 กระบวนการถลุงเหล็ก (Blast furnace process)

วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าที่เตาบลาสท์ ขณะที่น้ำเหล็กถลุง (Hot metal) และสแลก (Slag) ถูกระบายออกที่ก้นเตาบลาสท์ ซินเตอร์ เพลเลทและหินปูนเคลื่อนลงจากปากเตาสู่ก้นเตาสวนทางกับแก๊สที่ใช้ถลุงเหล็ก (Reducing gas) แก๊สที่ใช้ถลุงเหล็กที่ผ่านกระบวนการถลุงเหล็กจะระบายออกที่ปากเตาบลาสท์ ซึ่งยังมีค่าความร้อน (Calorific value) อยู่ในระดับที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จะถูกนำไปฟอกและใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป เช่น นำไปใช้ที่หัวเผาของเตาผลิตลมร้อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเตาบลาสท์จากปากเตาถึงก้นเตา สรุปได้ดังนี้

- The top: ป้อนวัตถุดิบ ระบายแก๊สส่วนเกินจากกระบวนการถลุงเหล็ก
- The shaft: แก๊สถลุง (Reducing gas) สัมผัสวัตถุดิบ อุณหภูมิวัตถุดิบเพิ่มขึ้นประมาณ 950 °C วัตถุดิบถูกถลุง (reduce) บางส่วน
- The belly: ที่ชั้นนี้อุณหภูมิวัตถุดิบสูงขึ้นจาก 950 °C เป็น 1,250 °C ปฏิกิริยาการถลุงวัตถุดิบดำเนินต่อไป ชั้นนี้ถ่านโค้กเริ่มถูกเผาไหม้เป็นแก๊สถลุงเหล็ก (Reducing gas)
- The bosh: การเผาไหม้ของถ่านโค้กดำเนินต่อไป แร่เหล็กเริ่มละลาย สแลกเริ่มเกิดขึ้น
- The Tuyeres: ชั้นนี้เป็นชั้นที่ป้อนอากาศที่ผ่านการอุ่นแล้ว (Hot blast) ที่ชั้นนี้อุณหภูมิสูงเกิน 2,000 °C กระบวนการถลุงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (Oxides are completely reduced)
- The Hearth: เป็นชั้นที่ระบายน้ำเหล็กถลุง (Molten Iron) และน้ำสแลกผ่านช่องระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลก (Tap-holes)

4.4 การป้อนสารเคมีที่ใช้ถลุงเหล็กโดยตรง (Direct injection of reducing agents)

ในระบบเตาบลาสท์จะมีการป้อนสารเคมีที่เหมาะสมที่ใช้ให้เกิดปฏิกิริยาการถลุงเหล็ก (Reducing) ดีขึ้น ทำให้เพิ่มผลผลิตมากขึ้นและลดการใช้ถ่านโค้ก สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ผงถ่านหิน (Powdered coal) น้ำมัน (Oil) แก๊สธรรมชาติ (Natural gas) หรือแม้แต่การพ่นพลาสติกที่มีคาร์บอนสูง จุดที่พ่นสารเคมีที่ช่วยในการถลุงอยู่ที่ระดับเดียวกับ “Tuyere”

ในการระบายน้ำเหล็กถลุง (Hot metal หรือ Molten pig iron) และสแลก (Slag) นั้น น้ำเหล็กถลุงและสแลกจะถูกระบายออกจากเตาบลาสท์เป็นระยะ เมื่อ กระบวนการถลุงเหล็กถึงจุดที่จะต้องระบายน้ำเหล็กถลุงและ

สแลก โดยทั่วไปจะระบายผ่านช่องน้ำเหล็กถลุงและสแลก การเปิดช่องระบายจะใช้เครื่องเปิดช่องระบาย (Tap-hole drill) หรือ เหล็กทะลวง (Soaking bar) หรือในบางกรณีจะใช้ท่อออกซิเจน (Oxygen lance) เปิดช่องระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลก ในกรณีเตาปลาสที่รุ่นใหม่ น้ำเหล็กถลุงและสแลกจะถูกระบายออกจากจุดเดียวกัน โดยระบายน้ำเหล็กถลุงก่อนแล้วจึงระบายสแลกและมีการแยกระหว่างน้ำเหล็กถลุงและสแลกโดยอาศัยแผ่นกวาด (Skimmer) แยกสแลกไปอีกทางหนึ่งของรางระบาย (Runners) รางระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลกจะบุผนังรางระบายด้วยวัสดุทนไฟประเภทต่างๆตามแต่ละแห่งจะมีให้ใช้ น้ำเหล็กถลุงที่จะถูกระบายไปตามรางระบายน้ำเหล็กเพื่อไปลงภาชนะใส่ซึ่งบรรจุอยู่บนรถขนน้ำเหล็กถลุง ซึ่งมักเรียกกันว่า รถตอร์ปิโด (Torpedo car) น้ำเหล็กถลุงที่ระบายออกสู่ภายนอกแล้วจะมีอุณหภูมิ ประมาณ 1,440 - 1,500 °C สแลกเมื่อแยกจากน้ำเหล็กถลุงโดยผ่านแผ่นกวาดแล้วจะถูกระบายต่อไปยัง กระบวนการจัดการสแลก ซึ่งอาจเป็นโรงงานสแลกเม็ด (Granulation Plant) หรือบ่อทิ้งสแลก (Slag pit) เมื่อสิ้นสุดการระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลกแล้วช่องระบาย น้ำเหล็กและ สแลกจะถูกปิดโดยใช้วัสดุที่เหมาะสมที่มีคุณสมบัติทนความร้อนสูงได้ โดยใช้เครื่องปิดช่องระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลก เรียกว่า “Mudgun”

4.5 กระบวนการจัดการสแลก (Slag processing)

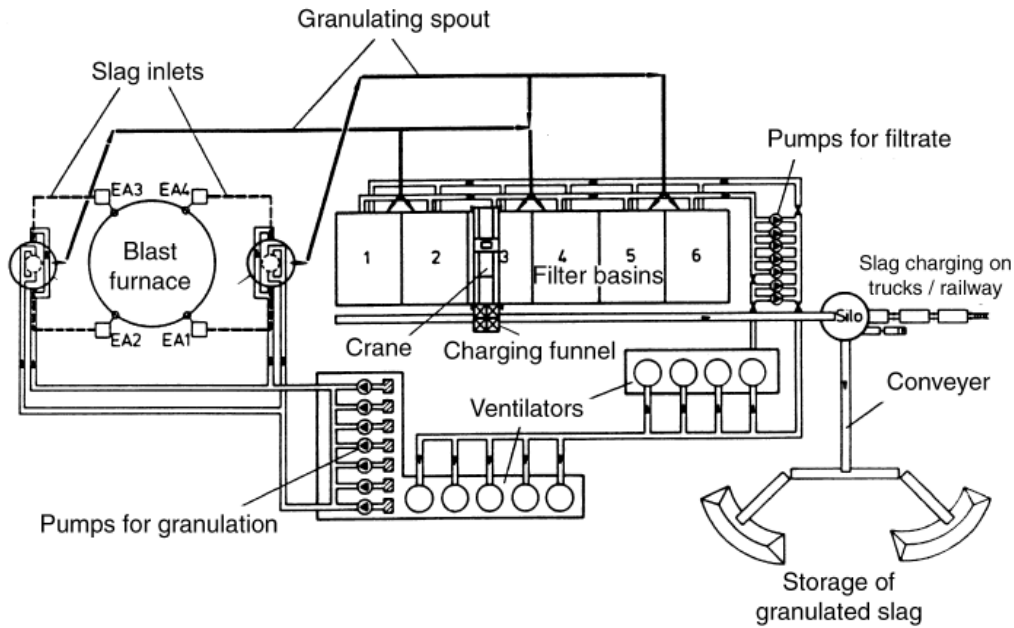
สแลกเกิดจากการหลอมละลายของฟลักซ์ (Flux) หรือหินปูนร่วมกับสารเคมีอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เหล็ก ปริมาณสแลกขึ้นอยู่กับปริมาณแร่เหล็กและหินปูนที่ใช้ใน กระบวนการถลุงเหล็ก สแลกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นานัปการ เช่น ทำปูนซีเมนต์ (Slag cement) ใช้เป็นหินผสมคอนกรีตหรือถนนลาดยาง ใช้ทำเป็นฉนวนกันความร้อน (Mineral wool) ปัจจุบันกระบวนการจัดการสแลกในโรงถลุงเหล็ก แบ่งได้เป็น 3 วิธี

4.5.1 กระบวนการทำสแลกให้เป็นเม็ดเล็ก (Slag granulation process)

เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากที่สุด ทั้งในยุโรปและอเมริกา กระบวนการประกอบด้วย การระบายสแลกร้อนไปผ่านระบบโปรยน้ำภายใต้แรงดันสูง (High-pressure water spray) สแลกจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็ก (Granulated slag) ผสมกับน้ำและถูกระบายไปเข้าระบบกรอง เพื่อแยกสแลกกับน้ำออกจากกัน สแลกจะถูกตัดออกโดยอาศัยเครนและถูกส่งต่อไปยังรถขนสแลก เพื่อไปยังที่กองเก็บสแลก น้ำที่แยกจากสแลกด้วยการกรองจะถูกนำกลับไปใช้อีกครั้ง (ดูรูปที่ 3-8 ประกอบ) การเย็นตัวอย่างทันทีของสแลกจนกลายเป็นสแลกเม็ดจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นปูนซีเมนต์ได้ (Slag cement)

4.5.2 กระบวนการบ่อทิ้งสแลก (Slag pit process)

กระบวนการนี้ได้แก่ การนำสแลกร้อนไปทิ้งในบ่อทิ้งสแลกแล้วปล่อยให้เย็นลงโดยธรรมชาติกลายเป็นก้อนสแลก (Lump slag) และเมื่อนำไปบดย่อยเป็นหินขนาดต่างๆ สามารถใช้ทำซีเมนต์คอนกรีตหรือแอสฟัลท์คอนกรีต ใช้ในงานก่อสร้างต่อไป ในการทำให้สแลกเย็นนิยมใช้การโปรยฝอยน้ำในปริมาณที่เหมาะสมด้วย



รูปที่ 3-8 ตัวอย่างระบบทำสแลกให้เป็นเม็ด (Granulation of slag from blast furnace)

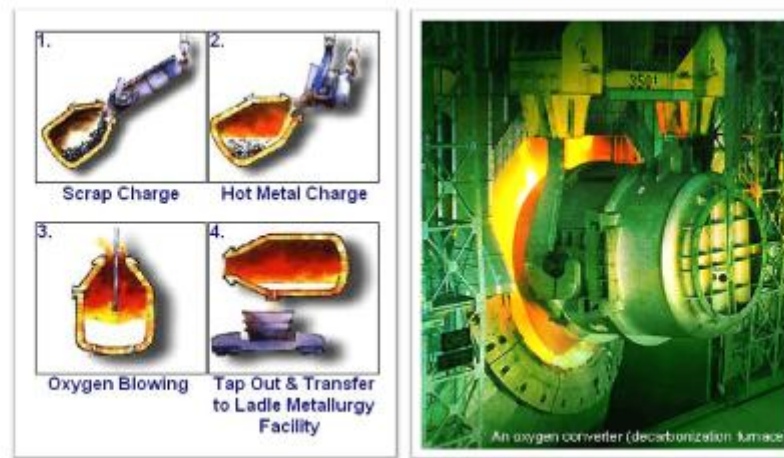
4.5.3 กระบวนการปั้นเม็ดสแลก (Slag pelletizing process)

กระบวนการนี้มีใช้ไม่มากนักในยุโรปและแคนาดา หลักการทำงาน ได้แก่ การระบายสแลกไปบนแผ่นโลหะ ซึ่งใช้เป็นเสมือนดีฟเลกเตอร์ (Deflector) หลังจากนั้นจึงพ่นลำน้ำ (Jet) ไปที่สแลกที่แผ่นโลหะสแลกจะถูกกระจายออกในลักษณะหมุนรอบศูนย์กลาง (Centrifugally) ไปกระทบผนังดรัมที่กำลังหมุน (Rotating drum) สแลกที่ถูกกระจายจากแผ่นโลหะด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางกระทบผนังดรัมเกิดเป็นเม็ดสแลกขนาดต่างๆ ตั้งแต่ขนาดเท่าเม็ดทรายไปถึงขนาดเท่าเม็ดกรวด ระบบนี้ใช้น้ำน้อยกว่าระบบในวิธีที่ 1 และสแลกที่ได้มีการเรียงตัวของขนาดของเม็ดสแลก (Gradation) เหมาะที่จะใช้ในกิจการวัสดุก่อสร้าง

แหล่งกำเนิดมลภาวะสำคัญของระบบเตาบลาสท์ ประกอบด้วย

- (1) กระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนป้อนเข้าเตาบลาสท์
- (2) แก๊สเสียจากปากเตาบลาสท์ (BF gas)
- (3) แก๊สเสียจากหัวเผาเตาผลิตลมร้อน (Hot blast stove)
- (4) ฝุ่นและแก๊สเสียขณะระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลกออกจากเตาบลาสท์ในโรงระบายน้ำเหล็ก (Casting house)
- (5) ฝุ่นและแก๊สเสียจากระบบจัดการกับสแลกตามวิธีต่างๆ
- (6) ฝุ่นและแก๊สเสียจากการเทน้ำเหล็กถลุงลงใส่ภาชนะที่บรรจุบนรถดอร์บีโด

5. เตาเบสิคออกซิเจนและการหล่อเหล็กกล้าด้วยระบบต่อเนื่อง (Basic oxygen furnace and continuous casting plant)



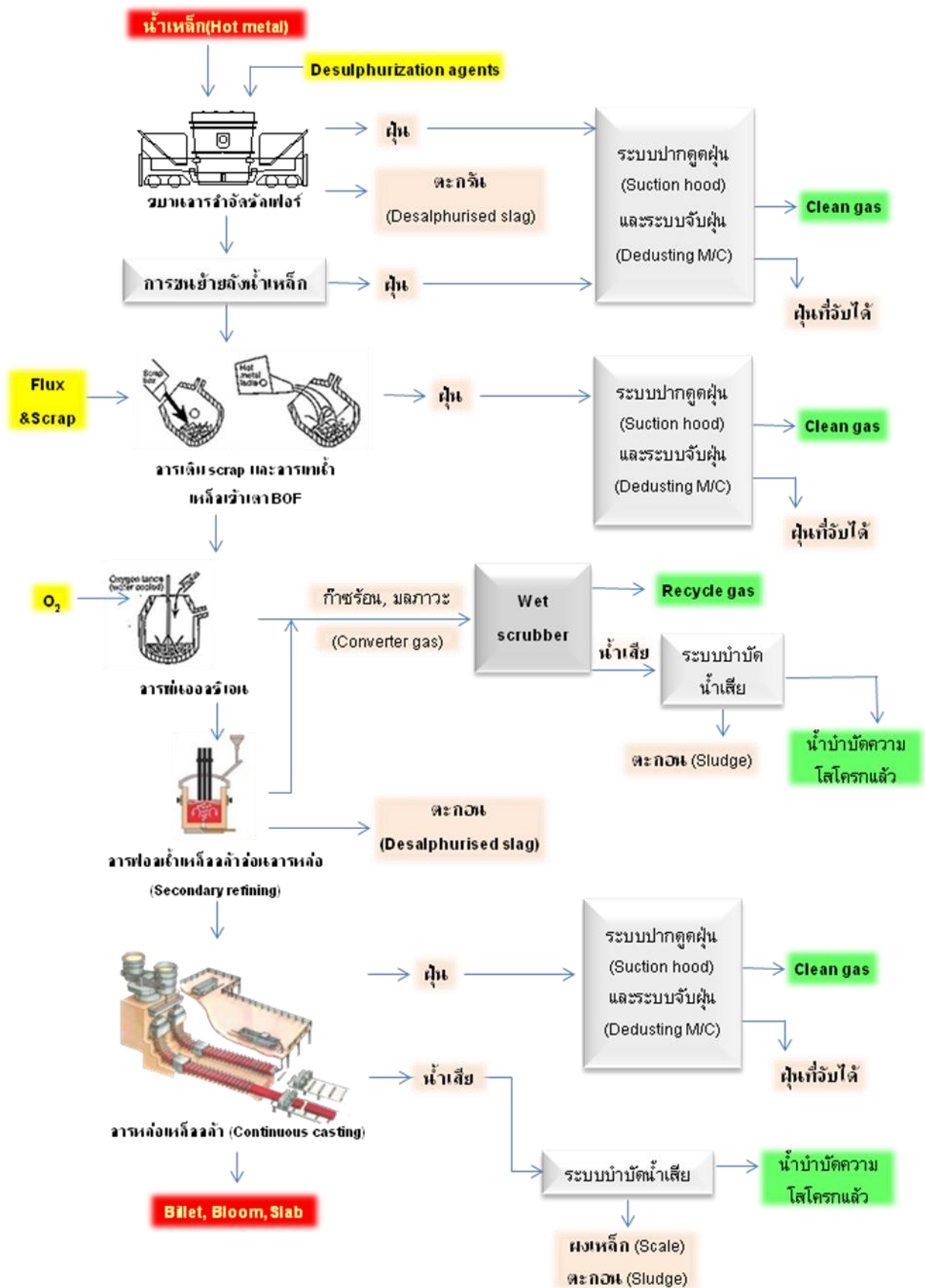
รูปที่ 3-9 เตาเบสิคออกซิเจน

กระบวนการผลิตเหล็กกล้าเป็นขั้นตอนที่นำเหล็กถลุง (Hot metal or molten iron) เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว (Hot metal pretreatment) จะถูกนำมากำจัดมลทินต่อไปอีกโดยการพ่นออกซิเจนลงในน้ำเหล็กถลุงที่กำลังร้อน มลทินต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอน ซัลเฟอร์ ซิลิกอน ฟอสฟอรัส และโลหะหนักอื่นๆที่ไม่ใช่เหล็กจะถูกเผาผลาญเป็นออกไซด์ โดยเฉพาะคาร์บอนที่เกิดจาก กระบวนการถลุง (Carburization) ซึ่งมีค่าสูงถึงประมาณ 4% จะถูกออกซิไดซ์ (Decarburization) เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เหลือคาร์บอนในน้ำเหล็กกล้าไม่เกิน 1% การแยกมลทินต่างๆที่เป็นออกไซด์ยังต้องอาศัยฟลักซ์ (Flux) ซึ่ง ได้แก่ ปูนขาว (Calcine Lime) และได้สแลก (Slag) เป็นกากจากกระบวนการผลิตสแลกจากเตาเบสิคออกซิเจนหรือที่มักเรียกเตาเบสิคออกซิเจนว่า “Convertor” (ดูรูปที่ 3-9 ประกอบ) จะมีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งต้องมี กระบวนการแยกเหล็กนำกลับมาเข้ากระบวนการผลิตอีกครั้ง

ขั้นตอนต่างๆใน กระบวนการผลิตเหล็กกล้าและสภาพมลภาวะที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 3-10 ประกอบ)

5.1 กระบวนการขนส่ง-ขนถ่ายและบรรทุกเหล็กถลุง (Transfer and storage of hot metal)

กระบวนการการขนถ่ายและบรรทุกเหล็กถลุง (Transfer and storage of hot metal) กระบวนการนี้ใช้รถขนน้ำเหล็กถลุงจากเตาบลาสท์ (Blast furnace) เรียกว่ารถตอร์ปิโด (Torpedo carหรือ Torpedo ladles) ซึ่งมีขนาดความจุตั้งแต่ 100 ถึง 300 ตันของน้ำเหล็กถลุง เพื่อไปยังเตาเบสิคออกซิเจน ในบางกรณีที่ต้องการคุณภาพและปริมาณน้ำเหล็กถลุงที่สม่ำเสมอจะใช้ภาชนะผสม (Mixers) ซึ่งมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกแนวนอนหมุนได้ภายในบุด้วยอิฐทนไฟรับน้ำเหล็กถลุงมาผสมและจ่ายต่อไปยังเตาเบสิคออกซิเจนด้วยคุณภาพความร้อนและปริมาณสม่ำเสมอ ขนาดของถังผสมประมาณไม่เกินความจุ 2,000 ตันของน้ำเหล็กถลุง



รูปที่ 3-10 ขั้นตอนการผลิตเหล็กกล้าและหล่อเหล็กกล้า แหล่งมลภาวะและการจัดการ

5.2 การเตรียมน้ำเหล็กถลุงก่อนเข้าเตาเบสิคออกซิเจน (Hot metal pretreatment)

การเตรียมน้ำเหล็กถลุงด้วยการกำจัดสารมลทินสำคัญ ได้แก่ การกำจัดซัลเฟอร์ (Desulphurization) การกำจัดฟอสฟอรัส (Dephosphorization) และการกำจัดซิลิกอน (Desiliconization) ในประเทศยุโรปจะเน้นการกำจัดซัลเฟอร์มากกว่าการกำจัดฟอสฟอรัสและซิลิกอน สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ แคลเซียมคาร์ไบด์ ปูนขาว เป็นต้น โดยมักจะเติมลงไปจนถึงบรรจุน้ำเหล็กถลุงในขณะขนถ่ายจากเตาบลาสที่ไปยังเตาเบสิคออกซิเจน อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ ได้แก่ ท่อจ่ายสารเคมี (Immersion lance) ภาชนะที่สามารถหมุนและสั่นสะเทือน เพื่อผสมสารเคมีกับน้ำเหล็กถลุง (Rotating and oscillating vessels) อุปกรณ์กวนผสม (Agitating equipment) ภายหลังจากกำจัดซัลเฟอร์แล้วค่าซัลเฟอร์ในน้ำเหล็กถลุงไม่ควรเกิน 0.001% และได้ สแลกซัลเฟอร์ (Desulphurised slag) ซึ่งกำจัดออกด้วยระบบการกวาดผิวหน้าของน้ำเหล็กถลุง

5.3 ปฏิกริยาออกซิเดชันในเตาเบสิคออกซิเจน (Oxidation in the BOF)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าวัตถุประสงค์ของการออกซิไดซ์น้ำเหล็กถลุงด้วยออกซิเจน เพื่อกำจัดมลทินต่างๆ ซึ่งจะถูกระบายออกในรูปของแก๊สเสีย (Off-gas) และสแลก (Liquid slag) รูปที่ 3-11 แสดงปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในเตาเบสิคออกซิเจน การทำงานของระบบเตาเบสิคออกซิเจนเป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-continuous) วงจรการทำงานประกอบด้วย การป้อนน้ำเหล็กถลุงและเศษเหล็ก (Molten pig iron and scrap charging) การเป่าออกซิเจนเข้าเตาเบสิคออกซิเจน (Oxygen blowing) การเก็บตัวอย่างและตรวจสอบระดับอุณหภูมิน้ำเหล็กจากเตาเบสิคออกซิเจน (Sampling and temperature recording) และการระบายน้ำเหล็กกล้าที่ได้คุณภาพออกจากเตาเบสิคออกซิเจน (Tapping) ในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าสมัยใหม่ เตาเบสิคออกซิเจนขนาดจุ 300 ตัน จะใช้เวลาครบวงจรการทำงานประมาณ 30-40 นาที

Carbon elimination	$[C] + [O]$ $[CO] + [O]$	$\leftrightarrow CO$ (off-gas) $\leftrightarrow CO_2$ (off-gas)
Oxidation of accompanying and tramp elements		
- Desiliconisation	$[Si] + 2[O] + 2(CaO)$	$\leftrightarrow (2CaO \cdot SiO_2)$
- Manganese reaction	$[Mn] + [O]$	$\leftrightarrow (MnO)$
- Dephosphorisation	$2[P] + 5 [O] + 3 [CaO]$	$\leftrightarrow (3CaO \cdot P_2O_5)$
- Desulphurisation	$[S] + [CaO]$	$\leftrightarrow (CaS) + [O]$
Deoxidation		
Removal of residual oxygen through ferro-silicon	$[Si] + 2[O]$	$\leftrightarrow (SiO_2)$
Aluminium	$2[Al] + 3[O]$	$\leftrightarrow (Al_2O_3)$
Notes:	[] solute in the iron () contained in the slag	

รูปที่ 3-11 ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเตาเบสิคออกซิเจน (Oxidation process)

5.4 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กกล้าก่อน กระบวนการหล่อเหล็กกล้า (Secondary metallurgy)

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพในขั้นตอนนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการตลาดที่ต้องใช้เหล็กกล้าคุณภาพสูงต่างๆ กัน วัตถุประสงค์ของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเหล็กกล้าที่สำคัญ ได้แก่

- (1) ต้องการผสมน้ำเหล็กกล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizing)
- (2) ปรับคุณสมบัติทางเคมีให้อยู่ในมาตรฐาน
- (3) ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับเหมาะสมก่อนกระบวนการหล่อเหล็กกล้า
- (4) กำจัดแก๊สต่างๆ ในน้ำเหล็กกล้า เช่น ไฮโดรเจนและไนโตรเจน
- (5) กำจัดสารโลหะที่มีโซ่เหล็ก

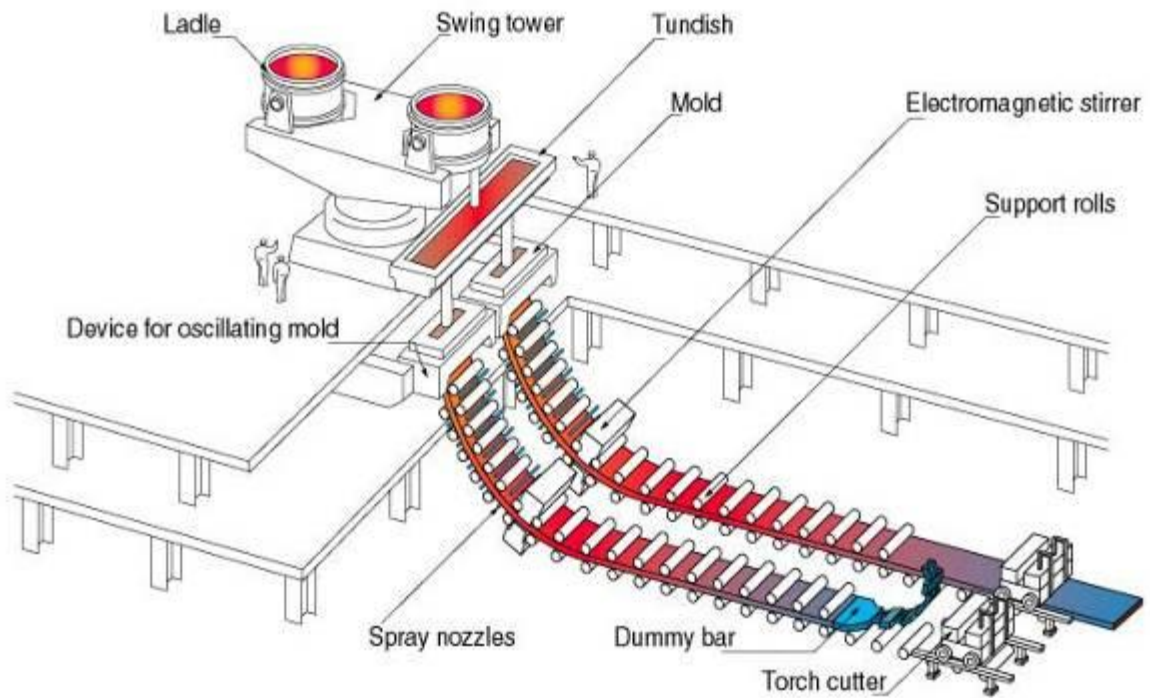
ระบบที่นิยมใช้กันมากในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กกล้า ได้แก่ ระบบ สูญญากาศ (Vacuum-treatment) ระบบนี้ทำงานโดยปรับระดับสูญญากาศจาก 50 Pascal เป็น 10 Mbar ซึ่งเป็นการกำจัดออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน ขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกด้วย (Decarburization) ค่าออกซิเจนและไนโตรเจนจะลดลงต่ำกว่า 0.0002% และ 0.005% ตามลำดับ การรักษาอุณหภูมิของน้ำเหล็กกล้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกระบวนการหล่อก็มีความสำคัญเช่นกัน น้ำเหล็กกล้าที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Purity) มีแก๊สละลายน้อยมาก มีสารผสมอื่นๆ (Alloying) อยู่ในเกณฑ์กำหนด (Tolerances) และมีอุณหภูมิเหมาะสมต่อกระบวนการหล่อเหล็กกล้า

5.5 การหล่อเหล็กกล้า (Casting)

ในโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าร้อนเก่า การหล่อเหล็กกล้าใช้ระบบหล่อเป็นชิ้นๆ (discontinuous process) แท่งเหล็กหล่อที่ได้เรียกว่า อินกอต (Ingot) ปัจจุบันการหล่อเหล็กกล้าได้พัฒนาเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous casting) น้ำเหล็กกล้าเมื่อผ่านการควบคุมคุณภาพและอุณหภูมิแล้วจะถูกเทลงในภาชนะรับน้ำเหล็กกล้า (Tundish) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำเหล็กกล้า หลังจากนั้นน้ำเหล็กกล้าจะไหลลงแบบหล่อทำด้วยทองแดงและมีระบบน้ำหล่อเย็น (Water-cooled copper mould) แบบหล่อนี้ต้องปราศจากการเข้าถึงของอากาศและมีการติดตั้งระบบสันสะเทือน เพื่อป้องกันน้ำเหล็กกล้าเกาะติดแบบหล่อ เมื่อน้ำเหล็กกล้าผ่านแบบหล่อตามรูปแบบที่ต้องการแล้วจะไหลลงไปตามลูกกลิ้งที่รองรับจำนวนมาก (Trudles on Pinch-roll) ผิวหน้าเหล็กกล้าจะแข็งตัวก่อนตามรูปแบบหล่อและไหลลงผ่านส่วนโค้งถึงแนวราบของกระบวนการหล่อและถูกตัดเป็นท่อนตามความยาวมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับประเภทของแบบหล่อ ซึ่งได้แก่ Slabs, blooms, billets

รูปที่ 3-12 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง (Continuous casting plant)

กรณีต้องการนำผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าไปเข้าโรงรีดร้อนต่อทันที (Hot charge) ก็สามารถทำได้และเป็นการประหยัดพลังงานได้อย่างมาก โดยป้อนเหล็กกล้าหล่อที่เพิ่งจะออกจากโรงหล่อเข้าเตาความร้อน (Reheating furnace) ของโรงรีดร้อน



รูปที่ 3-12 กระบวนการหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง (Continuous casting plant)

ผลภาวะจาก กระบวนการผลิตเหล็กกล้าและการหล่อเหล็กกล้าสามารถสรุปได้ดังนี้ (แยกเป็นกลุ่มตามแหล่งกำเนิด)

- (1) กลุ่มแก๊สจากกระบวนการผลิตหลัก (Primary off-gas)
 - จากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กถลุง (Hot metal pretreatment)
 - จากการฟั่นออกซิเจนและเกิดแก๊สเสียระเหยออกจากเตาเบสิคออกซิเจน (Oxygen blowing and BOF gas หรือ Converter gas)
 - จากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กกล้าก่อนส่งต่อไปกระบวนการหล่อเหล็กกล้า
- (2) กลุ่มแก๊สเสียกระบวนการผลิตย่อย (Secondary off-gases form)
 - จากกระบวนการเปลี่ยนถ่ายน้ำเหล็กถลุงและการกำจัดสแลกใน กระบวนการเตรียมน้ำเหล็กถลุง (Hot metal handling)
 - จากการป้อนน้ำเหล็กถลุง (Molten iron) เข้าเตาเบสิคออกซิเจน
 - จากกระบวนการระบายสแลกและน้ำเหล็กกล้าก่อนหล่อเหล็กกล้า
 - จากกระบวนการเติมสารเคมีต่างๆ (Handling of additives)
 - จากกระบวนการหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง (Continuous casting)
- (3) กลุ่มขยะ/กากอุตสาหกรรม/ผลพลอยได้ (Solid wastes/ by products)
 - สแลกจากกระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ (Desulphurised slag)
 - สแลกจากเตาเบสิคออกซิเจน (BOF slag)
 - สแลกจากกระบวนการปรับปรุงน้ำเหล็กกล้าก่อนเข้ากระบวนการหล่อเหล็กกล้า

- ผงฝุ่นที่กระเด็นออกมาจากกระบวนการผลิตต่างๆ ของระบบผลิตและหล่อเหล็กกล้า
 - ตะกอนจากระบบกำจัดฝุ่นชนิดเปียก (Sludge from wet BOF gas treatment)
 - ผงเหล็กจากกระบวนการหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง
 - เศษหินหรือเศษอิฐทนไฟ
- (4) กลุ่มน้ำเสีย (Wastewater emissions)
- น้ำเสียจาก กระบวนการกำจัดฝุ่นและแก๊สเสียที่ออกจากเตาเบสคอกออกซิเจนด้วยระบบ Venturi scrubber (Wet BOF gas treatment)
 - น้ำเสียจากการหล่อเย็นของกระบวนการหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง (Continuous casting)

6. สรุปแหล่งกำเนิดและชนิดของมลภาวะจากอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า

กลุ่มที่ 1 ได้แก่ มลภาวะที่เกิดจากกระบวนการขนส่ง-ขนถ่ายวัตถุดิบจากเรือบรรทุกวัตถุดิบมาเก็บไว้ที่ลานกองเก็บวัตถุดิบ มลภาวะที่เกิดขึ้น ได้แก่

- (1) ฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการขนส่ง-ขนถ่ายและการลำเลียงวัตถุดิบ
- (2) ฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการกองวัตถุดิบ (Stacking) การผสมวัตถุดิบ (Blending) และการตัดวัตถุดิบเพื่อส่งเข้ากระบวนการผลิต (Reclaiming)
- (3) น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากน้ำไหลนอง (Run-off) ของฝนบนลานกองเก็บวัตถุดิบ

กลุ่มที่ 2 เป็นมลภาวะที่เกิดจากการนำวัตถุดิบไปแปรรูป เพื่อเตรียมป้อนเข้ากระบวนการผลิตประเภทต่างๆ เช่น การบดย่อย (Crushing) และการคัดขนาด (Screening) ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ การขนส่งลำเลียงวัตถุดิบเหล่านี้ไปเก็บในถังเก็บวัตถุดิบ (Storage bin) ตลอดจนการป้อนวัตถุดิบเข้ากระบวนการผลิต (Feeding) มลภาวะจากกลุ่มนี้จะยังคงเป็นฝุ่นละอองเป็นส่วนใหญ่

กลุ่มที่ 3 ได้แก่ มลภาวะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งมีแหล่งสำคัญที่สามารถแบ่งได้ ดังนี้

(1) ฝุ่นและแก๊สเสีย

- ฝุ่นและแก๊สเสียจากกระบวนการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตซินเตอร์ องค์กรประกอบสำคัญของมลภาวะ ได้แก่ Dust, Heavy metals, SO_x, NO_x, HCl, HF, CO, Org.C, PAH, PCDD/F, PCB
- ฝุ่นและแก๊สเสียจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Crude gas) ซึ่งมีคุณสมบัติความเป็นมลภาวะสำคัญ ได้แก่ Dust, Org.C, VOC, H₂S, SO_x, NH₃, HCN, CO, Hg, PAH, BTX และ Fugitive emission
- แก๊สร้อนที่ระบายออกจากห้องเผาไหม้ (Firing chamber) ของเตาผลิตถ่านโค้ก ซึ่งใช้รีไซเคิลแก๊สเสียจากห้องผลิตถ่านโค้กภายหลังทำการฟอกเบื้องต้นแล้ว
- ฝุ่นและแก๊สที่ระบายจากกระบวนการผลิตเพลลทินในส่วนที่เป็นกระบวนการ Drying, Hardening และ cooling ซึ่งรวมกัน เรียกว่า Induration process คุณสมบัติของมลภาวะจากกระบวนการผลิตส่วนนี้ ได้แก่ Dust, Org.C, VOC, SO_x, NO_x, CO, F, Heavy metal, PCDD/F, PCB, PAH

- ฝุ่นและแก๊สเสียจากเตาบลาสท์ (Blast furnace) ซึ่งได้แก่ แก๊สเสียที่เกิดจากกระบวนการหลอมเหล็ก โดยใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงและสารรีดิวซิ่ง (Reducing agent) และมีหินปูนเป็นฟลักซ์ (Flux) แก๊สเสียเหล่านี้จะลอยผ่านชั้นต่างๆของกระบวนการถลุงเหล็กจากกันเตาสู่ปากเตาบลาสท์ มีคุณสมบัติ ดังนี้ dust, org.C, VOC, SO_x, NO_x, H₂S, CO, heavy metal, PAH
- แก๊สร้อน (Flue gas) จากเตาผลิตลมร้อน (Hot blast stove) ของกระบวนการเตาบลาสท์
- ฝุ่นและแก๊สเสียจากการระบายน้ำเหล็กถลุง (Molten iron) ไปตามรางระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลก (Slag) ได้แก่ กลุ่มควันสีน้ำตาล (Brown fume) ที่เกิดจากการสัมผัสของน้ำเหล็กถลุงและอากาศทำให้เกิดการออกซิไดซ์ของน้ำเหล็กถลุงหรือกลิ่นเหม็นจากแก๊ส H₂S ของสแลก
- ฝุ่นและแก๊สเสียขณะระบายน้ำเหล็กถลุงลงภาชนะที่บรรจุบนรถขนเหล็กถลุงหรือรถตอร์ปิโด (Torpido car) ก่อนป้อนเข้าเตาเบสิคออกซิเจน
- ฝุ่นและแก๊สเสียขณะปรับปรุงคุณภาพของน้ำเหล็กถลุง (Hot metal pretreatment)
- ฝุ่นและแก๊สเสียขณะเทน้ำเหล็กถลุงใส่เตาเบสิคออกซิเจน
- ฝุ่นและแก๊สเสียขณะพ่นออกซิเจนเข้าเตาเบสิคออกซิเจน
- ฝุ่นและแก๊สเสียขณะปรับปรุงน้ำเหล็กกล้าก่อนป้อนเข้าโรงหล่อเหล็กกล้า
- ฝุ่นที่เกิดจากการหล่อเหล็กกล้า

(2) น้ำเสีย (Water pollution)

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า ประกอบด้วย น้ำเสียจาก 4 แหล่ง ได้แก่

- แหล่งที่ 1 เป็นน้ำเสียจากสำนักงาน โรงอาหาร และพักอาศัย ซึ่งมีคุณลักษณะของน้ำเสียใกล้เคียงกับน้ำเสียจากบ้านเรือนทั่วไป (Domestic waste)
- แหล่งที่ 2 เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกอากาศเสียด้วยระบบใช้น้ำ (Wet scrubbing) ของกระบวนการเตาบลาสท์และกระบวนการผลิตซินเตอร์ร่วมกัน น้ำเสียจากแหล่งที่ 2 นี้ มีคุณสมบัติของสารลอยแขวน (Suspended solid) ค่อนข้างสูงและมีลักษณะเป็นมลภาวะอนินทรีย์ (Inorganic pollution) มลภาวะสำคัญ ได้แก่ TDS, SS, heavy metals, Cyanide, PAH เป็นต้น
- แหล่งที่ 3 เป็นน้ำเสียที่ระบายออกจากกระบวนการฟอกแก๊สเสียด้วยระบบการใช้น้ำ (Wet scrubbing) ของกระบวนการเตาเบสิคออกซิเจน (Converter) กระบวนการฟอกเหล็กกล้าก่อนนำไปหล่อ (Secondary refining process) กระบวนการหล่อเย็นชนิดตรง (Direct cooling) ของโรงหล่อเหล็กกล้า คุณสมบัติของน้ำเสียคล้ายกับน้ำเสียจากแหล่งที่ 2
- แหล่งที่ 4 เป็นน้ำเสียที่ระบายออกจากกระบวนการฟอกแก๊สเสียจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke oven crude gas purification) ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญ ได้แก่ Oil, BOD, COD, NH₃, H₂S, Phenol, HCN, PAH เป็นต้น

(3) กากอุตสาหกรรม (Waste)

กากอุตสาหกรรมที่เกิดจากกระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า สรุปได้ดังนี้

- ฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการจับฝุ่นต่างๆ (Collected dust)
- ตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ (Sludge)
- ตะกอน Tar จากระบบแยก Tar (Tar sludge)
- สแลกจากเตาบลาสท์ (BF slag)
- สแลกจากเตาเบสิคออกซิเจน (BOF slag)
- ผงเหล็กจากกระบวนการผลิต (Mill scale)

(4) ผลพลอยได้ (By-product)

ผลพลอยได้เกิดจากการฟื้นฟู (Recover) ของเสียที่ระบายออกมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งได้แก่ การฟื้นฟูแอมโมเนีย การฟื้นฟูแก๊ส H_2S การฟื้นฟูน้ำมันเบา (Light oil) ได้แก่ Benzene, Toluene, Xylene หรือเรียกย่อๆว่า BTX และอาจมี Naphthalene ปนอยู่ด้วย

ตัวอย่างสารที่ฟื้นฟู ได้แก่

- $(NH_4)_2SO_4$ (ปุ๋ย) จากการฟื้นฟู NH_3
- ก้อนกำมะถัน (Brimestone) จากการฟื้นฟู H_2S
- Benzene จากกระบวนการแยกน้ำมันเบา (light oil) ของแก๊สเสีย ก่อนถูกนำกลับไปใช้อีก (Recycled gas)
- Tar จากระบบแยก Tar กับน้ำแอมโมเนีย (Tar separator)

บทที่ 4

การควบคุมมลภาวะต่าง ๆ จากกระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า (Pollution control of Iron and Steel making process)

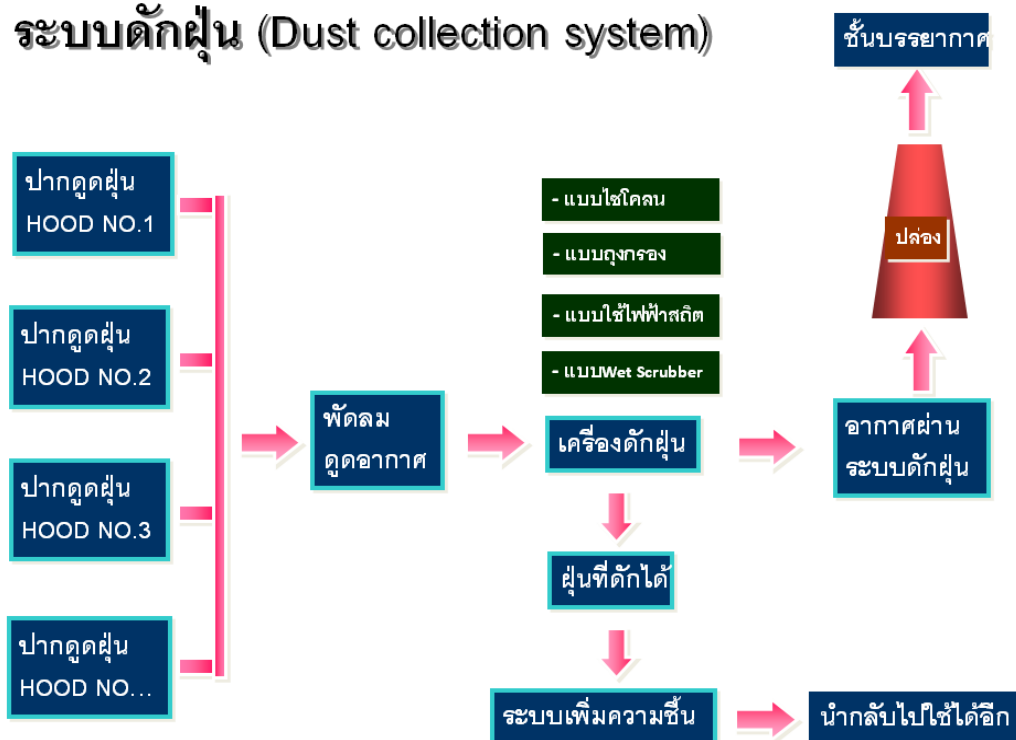
ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 สรุปได้ว่าแต่ละกระบวนการผลิต จะมีแหล่งกำเนิดของมลภาวะอยู่หลายแหล่งจะมีลักษณะคุณสมบัติของมลภาวะต่างๆ กัน ดังนั้นในการจัดการควบคุมมลภาวะจะต้องแบ่งหรือจัดกลุ่มให้เหมาะสม เพื่อสะดวกต่อการเลือกใช้วิธีการหรือเทคโนโลยีที่ตรงกับปัญหา หากพิจารณาจากลักษณะการเกิดของมลภาวะและคุณสมบัติ มลภาวะสามารถจำแนกมลภาวะเป็นกลุ่มๆ ได้ดังนี้

1. การควบคุมอากาศเสีย (Air pollution control)

1.1 เทคโนโลยีการควบคุมมลภาวะทางอากาศ

เทคโนโลยีในการควบคุมอากาศเสียของอุตสาหกรรมเหล็กได้ถูกพัฒนาไปมาก โดยเริ่มจากการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดมลภาวะน้อยที่สุด (Development of process-integrated technique) และการใช้ระบบบำบัดขั้นสุดท้ายก่อนการระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม (End-of-pipe treatment) ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเทคโนโลยีในการบำบัดขั้นสุดท้าย (End-of-pipe technology) ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญมาก เพราะมี บทบาทควบคุมคุณภาพมลภาวะก่อนระบายสู่สิ่งแวดล้อม

ระบบดักฝุ่น (Dust collection system)



รูปที่ 4-1 ใตอะแกมระบบดูดและจับฝุ่น

1.1.1 ระบบดูดและจับฝุ่น (Hood and dedusting system) (ดูรูปที่ 4-1 ประกอบ)

ระบบดูดจับฝุ่นมีความสำคัญเป็นอย่างมากของอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ปากดูดฝุ่น (Hood) พัดลมดูดฝุ่น (Fan) และเครื่องจับฝุ่น (Dedusting equipment) ซึ่งอาจจะเป็นตั้งแต่ระบบไซโคลน (Cyclone) ระบบถุงกรอง (Bag filter) ระบบจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) และระบบจับฝุ่นด้วยน้ำ (Wet scrubber) เป็นต้น

Hood หรือปากดูดฝุ่นจะต้องติดตั้งใกล้แหล่งกำเนิดของมลภาวะให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การออกแบบและติดตั้งอาศัยหลักการที่ว่าความเร็วของอากาศที่ปากดูดฝุ่นจะต้องมากพอที่จะทำให้มลภาวะหรือฝุ่นหรืออากาศเสียถูกระบายออกไปได้ ซึ่งความเร็วของอากาศนี้เรียกว่า “ความเร็วในการนำพา” หรือ Capture velocity ดังนั้นในการออกแบบปากดูดฝุ่นจะต้องทำให้ปากดูดฝุ่นมีขนาดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เพราะถ้ามีขนาดใหญ่จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก แต่ควรออกแบบให้ครอบคลุมแหล่งกำเนิดให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปากดูดฝุ่นมีหลายแบบตามลักษณะการใช้งาน

- แบบปิด (Enclosed hood)
- แบบแขวน (Free-hanging plain openings)
- แบบแขวนและช่องเปิดแคบแบบ Slot (Free hanging, slot opening)
- แบบระบายอากาศเสียด้านข้าง (Lateral ventilation)
- แบบดูดลงข้างล่าง (Down draft)
- แบบแขวนคลุมไว้ด้านบน (Canopy)

ระบบท่อเป็นอุปกรณ์นำอากาศเสียออกไปภายนอกหรือไปสู่ระบบดักจับฝุ่น (Dedusting devices) ซึ่งควรมีแรงต้านทานการไหลของอากาศน้อยที่สุดและมีความเร็วของอากาศที่ท่อเหมาะสมที่จะพามลภาวะต่างๆไปได้

พัดลมต้องมีกำลังเหมาะสมในการสร้าง “ความดันอากาศ” ที่แตกต่างกันอย่างเพียงพอที่จะทำให้มลพิษถูกดึงเข้าและออกจากระบบได้ ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ แบบหอยโข่ง (Centrifugal) และแบบผ่านตรง (Axial)



รูปที่ 4-2 ระบบจับฝุ่นแบบไซโคลน (Cyclone)

1.1.2 ระบบจับฝุ่นแบบไซโคลน (Cyclone) (ดูรูปที่ 4-2 ประกอบ)

ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับดักจับฝุ่นขนาดใหญ่โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสแก๊สหมุนวน (Vortex) โดยอาศัยรูปทรงของไซโคลน การทำงานของไซโคลนโดยผ่านกระแสความเร็วของแก๊สเฉลี่ย ประมาณ 20-30 เมตรต่อวินาที เข้าไปในไซโคลนด้านบนอนุภาคฝุ่นละอองจะถูกเหวี่ยงไปติดผนังของไซโคลน เมื่อกระแสหมุนวนของแก๊สเฉลี่ย (Main vortex) เคลื่อนไปถึงส่วนล่างของไซโคลนจะมีกระแสหมุนวนสวนกลับขึ้นมาด้านบน (Core vortex) ระบายออกสู่ภายนอก ฝุ่นที่ถูกเหวี่ยงไปสัมผัสผนังไซโคลนจะมีแรงเฉื่อยเพิ่มขึ้นและตกลงไปที่ก้นของไซโคลน (Cone apex) และถูกระบายออกไปจัดการต่อไปในรูปของฝุ่นขนาดใหญ่ (Large particles) ไซโคลน มี 2 ชนิด ที่สำคัญ

- 1) ไซโคลนที่แก๊สไหลเข้าตามแนวสัมผัส (Tangential Entry Cyclone)
- 2) ไซโคลนที่แก๊สไหลเข้าตามแนวแกน (Axial Entry Cyclone)



Bag Filter



➔ Inlet
➔ Outlet (Clean air)
➔ Collected Dust

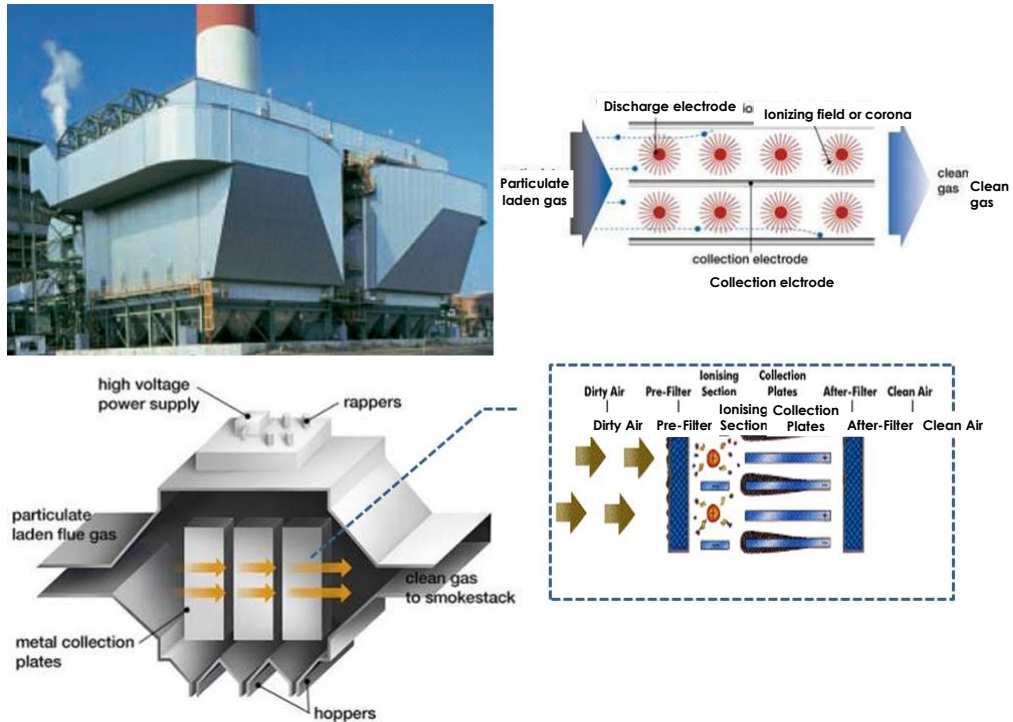
รูปที่ 4-3 ระบบจับฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag Filter)

1.1.3 ระบบจับฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag filter) (ดูรูปที่ 4-3 ประกอบ)

การกรองเป็นวิธีแยกอนุภาคหรือฝุ่นละอองออกจากแก๊สเสียที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยทั่วไปเครื่องกรองคือโครงสร้างที่เป็นรูปทรงแปดเหลี่ยม ประกอบด้วยสารที่เป็นเส้นใยซึ่งจะกักอนุภาคหรือฝุ่นไว้และให้แก๊สไหลผ่านช่องว่างไปได้ สำหรับถุงกรองที่ใช้ปกติทำด้วยผ้าทอ (Woven Fabric) หรือผ้าสักกะหลาด (Felted Fabric) ซึ่งเป็นอุปกรณ์กรองที่แยกฝุ่นออกจากกระแสแก๊สที่มีประสิทธิภาพสูงถึงช่วงขนาด 0.1 ไมครอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดอนุภาค 0.2 ถึง 0.5 ไมครอน ซึ่งดักจับยากขึ้น ด้วยวิธีทั่วไป ฝุ่นที่สะสมอยู่บนผ้ากรองนี้จะช่วยกรองอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องกรองแบบถุงนี้ต้องทำความสะอาดเอาฝุ่นที่จับบนผิวแผ่นกรองออกเป็นครั้งคราวด้วยวิธีการต่างๆ ตามแต่เทคโนโลยีของผู้ผลิตแต่ละราย

ชนิดถุงกรองแบ่งตามลักษณะการทำความสะอาดได้ 3 แบบ

- 1) แบบเขย่าหรือสั่น เพื่อทำความสะอาดถุงกรอง (Vibrating type) เป็นระบบเก่าและไม่ค่อยนิยมนัก เพราะประสิทธิภาพในการทำความสะอาดค่อนข้างต่ำ
- 2) แบบอากาศไหลย้อนกลับ (Reverse Air Fabric Filter)
- 3) แบบพ่นอากาศเป็นพัลส์เจท (Pulse Jet Fabric Filter)



รูปที่ 4-4 ระบบจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator)

1.1.4 ระบบจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) (ดูรูปที่ 4-4 ประกอบ)

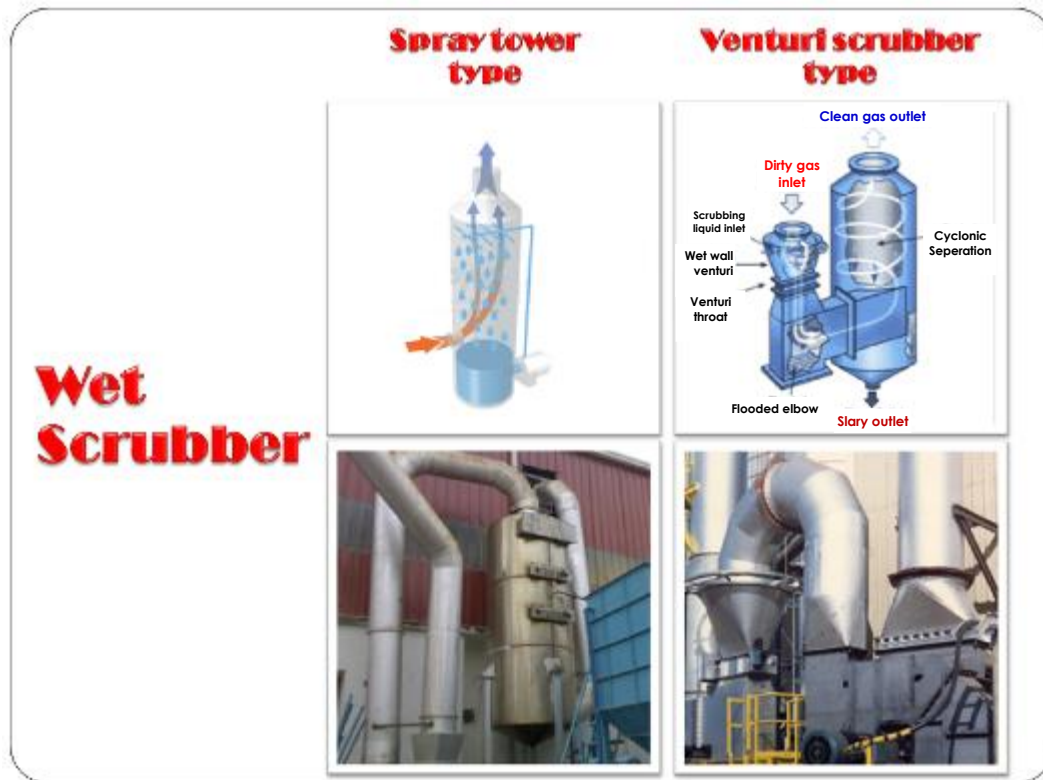
เครื่องจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator; ESP) เป็นเครื่องมือที่ใช้แรงไฟฟ้าในการแยกอนุภาคหรือฝุ่นออกจากกระแสแก๊สโดยอาศัยหลักการคือ ใส่กระแสไฟฟ้าให้อนุภาคแล้วผ่านอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปในสนามไฟฟ้าสถิตย์ อนุภาคเหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้าหาและถูกเก็บบนแผ่นเก็บซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าตรงกันข้ามกับของอนุภาคหรือฝุ่น ESP มีประสิทธิภาพสูงในการเก็บอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพสูงถึง 99.5% หรือสูงกว่า ความดันสูญเสียมีค่าต่ำ สามารถรับแก๊สร้อนได้ในปริมาณมากๆ ปัจจุบันการใช้ ESP มีอย่างแพร่หลายในการควบคุมมลพิษอากาศของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ โรงไฟฟ้า โรงหล่อ หลอมทองแดงตะกั่ว โรงหล่อหลอมเหล็กและเหล็กกล้า โรงปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม โรงงานผลิตสารเคมี เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และอื่นๆ

ESP แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ

- 1) ชนิดเก็บฝุ่นแห้งขั้วโคโรนาลบ (Dry, Negative Corona)
- 2) ชนิดเก็บฝุ่นเปียกขั้วโคโรนาลบ (Wet, Negative Corona)
- 3) ชนิดเก็บฝุ่นเปียกขั้วโคโรนาบวก (Wet, Positive Corona)

ในปัจจุบันชนิดของ ESP ที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเป็น ESP ซึ่งใช้โคโรนาเป็นขั้วลบและเก็บฝุ่นแบบแห้ง ส่วน ESP แบบเปียก (Wet, Negative corona ESP) นั้นใช้น้ำเป็นสารชะฝุ่นที่เก็บได้ เหมาะกับการจับฝุ่นละอองที่มีความชื้นหรือมีละอองไอน้ำของมลภาวะ เช่น ละอองไอน้ำมัน Tar ไอคอร์ต เป็นต้น

* โคโรนา ได้แก่ ขั้วที่ปล่อยประจุ (Discharge electrode) ตามปกติทั่วไปใช้ประจุลบและขั้วเก็บฝุ่น (Collection electrode) ซึ่งปกติต่อดินและมีพื้นผิวกว้างในรูปของแผ่น (Plate) หรือท่อ (Tube)



Wet Scrubber

รูปที่ 4-5 ระบบจับฝุ่นแบบเปียก (Wet scrubber)

1.1.5 ระบบจับฝุ่นแบบเปียก (Wet scrubber) (ดูรูปที่ 4-5 ประกอบ)

เครื่องจับฝุ่นแบบเปียก (Wet collectors หรือ Scrubbers) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ของเหลวดักจับฝุ่นหรืออนุภาคขนาดเล็กอย่างมีประสิทธิภาพและจับแก๊สพิษจากกระแสแก๊สได้ในขณะเดียวกัน หลักการ ได้แก่ การฉีดหรือพ่นของเหลวให้เป็นละอองฝอยสู่กระแสแก๊สหรือให้กระแสแก๊สผ่านฟิล์มของเหลวด้วยความเร็วสูงหรือไหลผ่านชั้นวัสดุ (Media) ที่มีของเหลวเคลือบผิว

ในการดักจับฝุ่นด้วยระบบเปียก มี 3 ขั้นตอน คือ

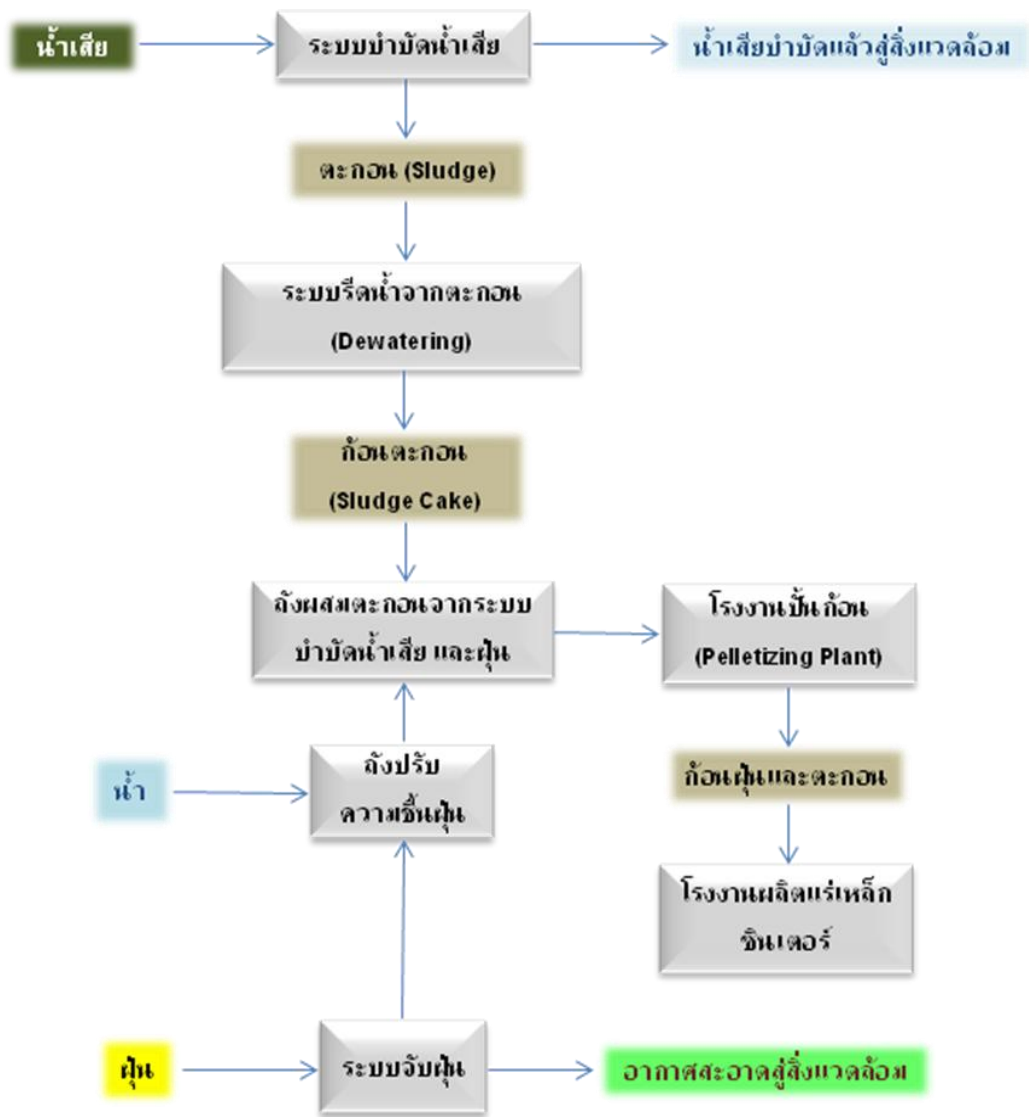
- ขั้นตอนที่ 1 อนุภาคสัมผัสและดักจับด้วยหยดของเหลวหรือฟิล์มของเหลว
- ขั้นตอนที่ 2 แยกของเหลวออกจากกระแสแก๊ส
- ขั้นตอนที่ 3 บำบัดของเหลวที่จับฝุ่นหรือแก๊สพิษ (น้ำเสีย) ก่อนระบายทิ้ง

ในขั้นตอนแรกอนุภาคจะสัมผัสและถูกดักจับในเครื่องสครับเบอร์ที่นิยมกันมาก คือ เวนจูรี สครับเบอร์ (การสร้างฝอยน้ำให้เป็นละอองเล็กด้วยระบบเวนจูรี) สครับเบอร์แบบเพลท หรือ สครับเบอร์แบบสเปรย์ธรรมดา ขั้นตอนที่ 2 ใช้เครื่องดักละออง (Mist eliminator) ที่ติดตั้งบนเครื่องสครับเบอร์ เพื่อแยกหยดน้ำจากกระแสแก๊ส หลังจากนั้นในขั้นตอนที่ 3 ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบต่างๆที่เหมาะสม เช่น ระบบ Physical treatment ได้แก่ การตกตะกอนขั้นต้นและระบบ chemical treatment ได้แก่ การปรับ pH การตกผลึก (Precipitation) การสร้างตะกอนและการ

ตกตะกอน (Coagulation and sedimentation) เป็นต้น เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากระบบสครีเบอร์ ซึ่งจะได้นำไปในการจัดการน้ำเสียของแต่ละกระบวนการ

ฝุ่นที่ได้จากระบบจับฝุ่นประเภทต่างๆที่มีใช้ระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก (Wet scrubber) จะถูกนำมาเพิ่มความชื้นเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายในขณะขนถ่ายและลำเลียง เนื่องจากฝุ่นที่จับได้ด้วยระบบจับฝุ่นประเภทต่างๆ มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประเภทต่างๆ แต่มีขนาดเล็กเป็นฝุ่นละออง การจัดการกระทำโดยการนำฝุ่นเหล่านี้ไปใช้งานได้อีก (Recycle) โดยทั่วไปจะลำเลียงไปเป็นวัตถุดิบของโรงผลิตซีเมนต์ จะมีบ้างที่ฝุ่นจากระบวนการผลิตปูนขาวและโดโลไมท์ (Lime and light-burned dolomite) จะถูกนำกลับไปใช้ที่กระบวนการผลิตโรงงานปูนขาวจะเหมาะสมกว่านำกลับไปใช้ที่โรงผลิตซีเมนต์ เพราะปูนขาวจะมีผลต่อค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ในระบบจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ใช้งานอยู่ในโรงผลิตซีเมนต์

ในการนำฝุ่นที่ถูกจับได้จากระบบจับฝุ่นประเภทต่างๆ กลับไปใช้งานอีกครั้ง (Recycle) นั้น เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของฝุ่น ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้กับโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า ซึ่งไม่ควรทิ้งไปเปล่าๆ และก่อให้เกิดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม นิยมกระทำร่วมกับการจัดการตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater sludge) กล่าวคือ ตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียภายหลังถูกระบายออกมาจากถังตกตะกอนแล้ว (Clarifier) จะถูกนำไปเข้าเครื่องรีดตะกอน เพื่อลดปริมาณน้ำในตะกอนให้เหลือประมาณ 25% เครื่องรีดตะกอนที่นิยมใช้กัน ได้แก่ Filter press, Belt press, Centrifuge เป็นต้น เมื่อได้ตะกอนที่มีความชื้นประมาณ 25% แล้วจะถูกนำไปเข้าโรงงานปั้นเม็ด (Pelletizing plant) โดยนำไปผสมรวมกับฝุ่นที่จับได้จากระบบจับฝุ่นคลุกให้เข้าด้วยกัน และปั้นเป็นก้อนกลมแข็งขนาดประมาณหัวแม่มือ พร้อมทั้งจะป้อนเข้าในกระบวนการถลุงเหล็กอีกครั้งในสภาพเช่นเดียวกับวัตถุดิบ โรงงานที่รับฝุ่นผสมตะกอนดังกล่าว ได้แก่ โรงผลิตซีเมนต์ (ดูรูปที่ 4-6 ประกอบ)



รูปที่ 4-6 การจัดการฝุ่นที่ได้จากระบบจับฝูเน

1.2 การควบคุมฝุ่นจากระบบขนส่ง-ขนถ่ายวัสดุจากเรือบรรทุกวัสดุ

1.2.1 การควบคุมฝุ่นจากการขนส่ง-ขนถ่ายวัสดุ

ได้แก่ การพ่นฝอยน้ำไปบนวัสดุ เพื่อรักษาความชื้นให้มืออยู่เสมอ ซึ่งเริ่มตั้งแต่การตัดวัสดุขึ้นจากเรือไปจนถึงลานกองเก็บวัสดุ การที่สามารถรักษาความชื้นในวัสดุให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมด้วยการพ่นฝอยน้ำเป็นระยะๆ จะช่วยป้องกันการฟุ้งกระจายได้เป็นอย่างมาก

รูปที่ 4-7 แสดงระบบฉีดพรมน้ำวัสดุที่ขึ้นจากเรือ



รูปที่ 4-7 ระบบฉีดพรมน้ำวัสดุที่ขึ้นจากเรือ

1.2.2 ระบบขนส่งวัสดุด้วยระบบสายพานลำเลียง

ตามปกติทั่วไปโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าจะตั้งอยู่ติดกับท่าเรือน้ำลึก ทั้งนี้เพราะการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าต้องมีการขนส่งวัสดุเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะลดต้นทุนได้ต้องอาศัยการขนส่งทางเรือเป็นสำคัญ ดังนั้นจะต้องมีระบบการขนส่งวัสดุจากท่าเรือมายังโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า ซึ่งระบบที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ระบบสายพานลำเลียง (Conveyor belt) ซึ่ง ณ ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการขนส่ง-ขนถ่ายวัสดุ ด้วยสายพานลำเลียงได้พัฒนาไปมาก โดยเฉพาะระบบป้องกันฝุ่นที่จะฟุ้งกระจายในขณะที่ระบบสายพานลำเลียงทำงาน กล่าวคือ

- ออกแบบให้เป็นระบบปิด ตลอดแนวการลำเลียงวัสดุและอาคารเปลี่ยนระดับหรือทิศทางขนถ่าย (Transfer station)
- มีระบบฉีดพ่นฝอยน้ำลงบนวัสดุตามจุดต่างๆที่เหมาะสมของระบบสายพานลำเลียง เพื่อสร้างความชื้นที่เหมาะสมให้วัสดุเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่น
- ติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดผิวสายพาน เพื่อมิให้เศษหรือผงวัสดุที่ติดค้างบนสายพานลำเลียงวัสดุบร่วงหล่นขณะที่สายพานวิ่งกลับ

รูปที่ 4-8 แสดงสายพานลำเลียงชนิดปิด



รูปที่ 4-8 สายพานลำเลียงชนิดปิด

1.3 การควบคุมฝุ่นจากลานกองเก็บวัสดุดิบ

1.3.1 ระบบฉีดฝอยน้ำ (ดูรูปที่ 4-9 ประกอบ)

เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปเพื่อควบคุมและป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากลานกองเก็บวัสดุดิบ



รูปที่ 4-9 ระบบฉีดพรมน้ำวัสดุดิบที่ลานกองเก็บวัสดุดิบ

1.3.2 ระบบแผงกันลม (Wind Shield)

ที่กองเก็บวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าส่วนใหญ่จะมีแผงกันลมเพื่อลดแรงลมที่จะพัดมากระทบกับกองวัตถุดิบและทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นขึ้น

รูปที่ 4-10 แสดงแผงกันลมในโรงงาน



รูปที่ 4-10 แผงกันลมในโรงงาน

1.4 การควบคุมฝุ่นจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ

ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าจะมีส่วนต่างๆที่เป็นกระบวนการผลิตและเป็นแหล่งกำเนิดของฝุ่นต่างๆ เช่น

- กระบวนการบดย่อย (Crushing process)
- กระบวนการป้อนวัตถุดิบ (Feeding process)
- กระบวนการขนถ่ายน้ำเหล็กถลุงและน้ำเหล็กกล้า
- กระบวนการระบายน้ำเหล็กถลุงและสแลก
- กระบวนการคัดขนาด (Screening)
- จุดเปลี่ยนระดับขนส่ง-ขนถ่าย (Transfer station)

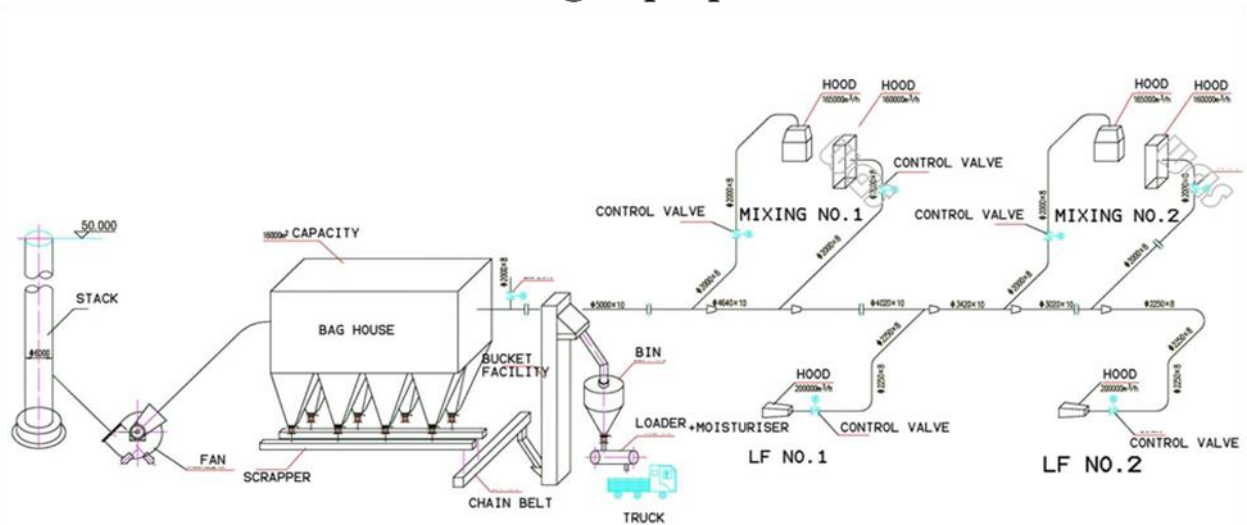
เป็นต้น

จุดต่างๆเหล่านี้จะต้องมีการจัดการฝุ่นที่ดีมีฉะนั้นบรรยากาศภายในโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าจะฟุ้งไปด้วยฝุ่นและจะกระจายออกสู่อากาศในที่สุด การจัดการได้แก่

- (1) การติดตั้งปากดูดฝุ่น (Hoods) ที่เหมาะสมให้เพียงพอแก่แหล่งกำเนิดของฝุ่น
- (2) การออกแบบขนาดปากดูดฝุ่นและท่อลำเลียงฝุ่นให้ถูกต้องตามหลักการด้านวิศวกรรม
- (3) ขนาดของพัดลมดูดฝุ่นต้องเพียงพอและสอดคล้องกับจำนวน ขนาดของปากดูดฝุ่น ตลอดจนต้องรักษาความเร็วของลมในท่อดูดฝุ่นให้เหมาะสมที่จะพัดพาฝุ่นไปสู่ระบบจับฝุ่นที่เหมาะสมได้
- (4) ติดตั้งระบบจับฝุ่นที่เหมาะสมกับประเภทของฝุ่น

รูปที่ 4-11 แสดงตัวอย่างการติดตั้งปากดูดฝุ่น ระบบท่อดูดฝุ่นและเครื่องจับฝุ่นชนิดถุงกรอง (Bag filter) ของกระบวนการผลิตเหล็กกล้า

Hoods and Dedusting equipment Installation



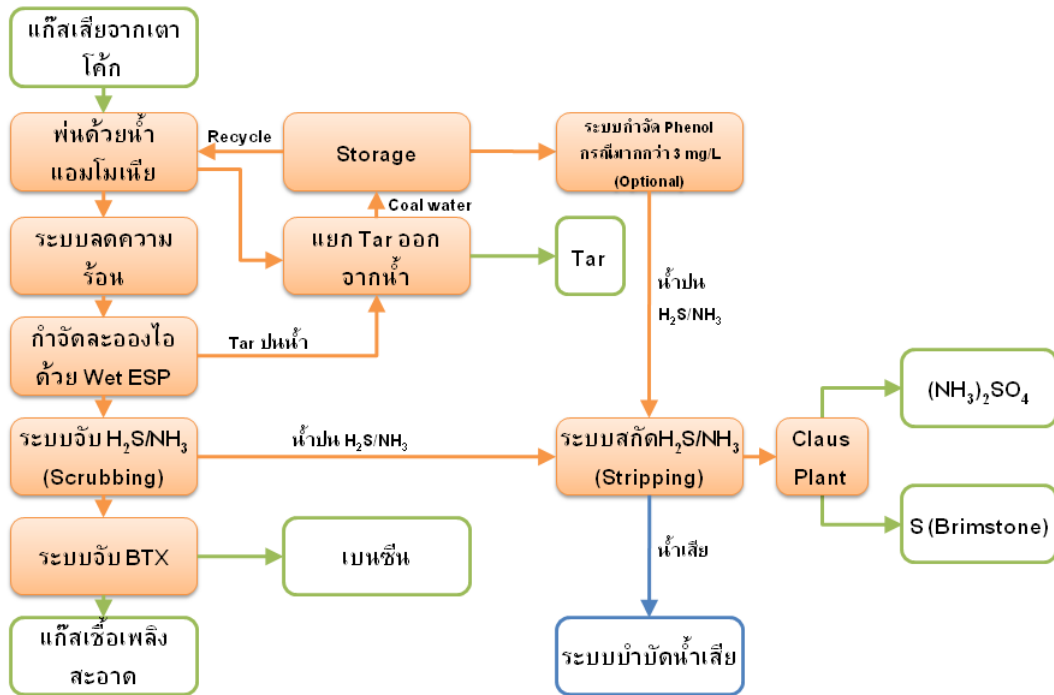
FLOW DIAGRAM OF DEDUSTING SYSTEM FOR STEEL MAKING PLANT

รูปที่ 4-1 1 ตัวอย่างการติดตั้งปากดูดฝุ่น ระบบท่อดูดฝุ่นและเครื่องจับฝุ่นชนิดถุงกรอง (Bag filter) ของกระบวนการผลิตเหล็กกล้า

1.5 การควบคุมแก๊สเสียจากกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (Coke oven gas purification)

1.5.1 แก๊สเสียจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke oven gas)

แก๊สที่ระบายออกจากเตาผลิตถ่านโค้กมีค่าความร้อน (Calorific value) ค่อนข้างสูง (ประมาณ $4,000 \text{ kcal/m}^3$) เพราะมันมีองค์ประกอบของไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนมอนนอกไซด์ และสารไฮโดรคาร์บอนบางชนิดอื่นๆ หนึ่ง แก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กยังมีสารเคมีบางอย่างที่มีมูลค่าเหมาะต่อการฟื้นฟู (Recover) เพื่อนำกลับมาใช้งานได้อีก เช่น ทาร์ (Tar) น้ำมันเบา (Light oil) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย Benzene, toluene, xylene หรือเรียกย่อๆว่า BTX แก๊สไฮโดรซัลไฟด์และแอมโมเนีย



รูปที่ 4-12 ขั้นตอนการฟอกแก๊สเสียจากเตาผลิตถ่านโค้ก

จากรูปที่ 4-12 การฟอกแก๊สเสียจากเตาผลิตถ่านโค้ก เริ่มจากการระบายแก๊สเสียผ่านระบบลดความร้อนด้วยการพ่นน้ำแอมโมเนีย ส่วนที่เป็นน้ำจะถูกระบายไปยังถังแยก Tar กับน้ำแอมโมเนีย น้ำแอมโมเนีย (Ammonium Liquor) จะถูกนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง เพื่อลดความร้อนแก๊สเสียจากเตาผลิตถ่านโค้ก Tar เมื่อถูกแยกแล้วจะถูกนำไปเก็บไว้ในถังที่ปลอดภัยเพื่อรอจำหน่ายให้โรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆที่ใช้ Tar เป็นวัตถุดิบต่อไป

เมื่อแก๊สเสียผ่านระบบลดความร้อนด้วยน้ำแอมโมเนียแล้วความร้อนจะลดลงจากประมาณ 1,100°C เหลือ 80°C จึงถูกระบายไปลดความร้อนต่อไปอีก (Primary cooling) ให้เหลือประมาณ 50°C จึงผ่านเข้าระบบการจับละออง Tar และฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตชนิดเปียก (Wet ESP) Tar ปนน้ำที่ได้จะถูกระบายไปยังถังแยก Tar เมื่อแก๊สเสียผ่านระบบ Wet ESP แล้ว ยังมี H₂S /NH₃ อยู่ในเกณฑ์สูงจึงระบายแก๊สเสียผ่านหอจับ H₂S /NH₃ (Scrubber) ได้น้ำปน H₂S /NH₃ น้ำปน H₂S /NH₃ อีก ส่วนหนึ่งจะมาจากถังเก็บน้ำแอมโมเนีย เรียกว่าน้ำถ่านหิน (Coal water) หากระบายไปเข้าระบบบำบัดน้ำเสียโดยตรงด้วยระบบชีววิทยา H₂S /NH₃ จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นต้องสกัด H₂S /NH₃ ออกก่อนด้วยหอสกัด stripper เมื่อสกัด H₂S /NH₃ แล้วจะได้น้ำเสียที่มี NH₃ ต่ำและถูกระบายไปบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงผลิตถ่านโค้ก (Coking wastewater treatment plant) แก๊สเสียเมื่อผ่านระบบจับ H₂S /NH₃ แล้ว จะถูกระบายไปยังหอแยกน้ำมันเบา (Light oil) ซึ่งประกอบด้วย Benzene, Toluene และ Xylene ปนอยู่แต่เป็น ส่วนใหญ่ มักเรียกอ้อกว่า BTX การแยกใช้หลักการพ่นด้วย Washing oil ที่เหมาะสม แก๊สเสียที่ระบายออกจากระบบกำจัด BTX จะมีความสะอาดเพียงพอที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี เพราะมีค่าความร้อนสูงถึงประมาณ 4,000 kcal/m³

H_2S / NH_3 ที่ถูกสกัดออกโดยระบบ Stripper จะถูกนำไปแยก H_2S และ NH_3 ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ เทคโนโลยี Claus plant จะได้ $(NH_3)_2SO_4$ ซึ่งเป็นปุ๋ยเคมีและ S ซึ่งเป็นเกล็ดกำมะถัน สามารถขายเข้าโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงทำกรดซัลฟูริกได้

1.5.2 แก๊สเสียจากห้องความร้อน (Waste gas from firing chamber)

การให้ความร้อนห้องผลิตถ่านโค้กได้จากเปลวไฟในการจุดหัวเผาแก๊สภายในห้องความร้อน (Heating chamber) ความร้อนจากห้องความร้อนจะถูกถ่ายเทสู่ห้อง ผลิตถ่านโค้กโดยอาศัยการนำความร้อน (Conduction) ผ่านผนังอิฐทนไฟ (Refractory brick) ที่กั้นระหว่างห้อง ผลิตถ่านโค้กและห้องความร้อน ความร้อนยิ่งสูงระยะเวลาในการอบถ่านโค้กยิ่งสั้นมลภาวะสำคัญที่ออกจากห้อง ความร้อนเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งได้แก่ Recycled gas จาก Coke oven องค์ประกอบสำคัญของมลภาวะ ประกอบด้วย NO_x , SO_2 และฝุ่นละออง

ความเข้มข้นของ SO_2 ที่ระบายออกขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟอร์ที่มีอยู่ในแก๊สเชื้อเพลิง ตามปกติแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ ได้แก่ แก๊สจากเตา บลัสท์ที่ปรับปรุงแต่งแล้ว (Enriched blast furnace gas) หรือแก๊สจากห้องผลิตถ่านโค้กที่ฟอกสะอาดแล้ว

กรณีใช้แก๊สจากห้อง ผลิตถ่านโค้กซัลเฟอร์ในแก๊สขึ้นอยู่กับระบบกำจัดซัลเฟอร์ของระบบ ฟอกแก๊ส ค่าซัลเฟอร์ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ของแก๊สจากห้อง ผลิตถ่านโค้กมีค่าประมาณระหว่าง 50 - 100 mg/Nm^3 ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบกำจัดซัลเฟอร์ (Desulphurization)

กรณีถ้าไม่มีระบบกำจัดซัลเฟอร์ของแก๊สจากเตาผลิตถ่านโค้กค่าของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะสูงถึง 8,000 mg/Nm^3 กรณีใช้แก๊สจากเตาบลัสท์ที่ปรับปรุงแต่งค่าความร้อน (Enriched) แล้วค่าซัลเฟอร์ในแก๊สมีค่าไม่สูง นัก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศเสียที่ระบายออกจากห้องความร้อนจะสูงขึ้น หากเกิดการรั่วของแก๊สจากห้องผลิตถ่านโค้กเข้าไปยังห้องความร้อน

กรณีค่า NO_x มีความซับซ้อนมากกว่า SO_2 โดย NO_x ที่เกิดขึ้นในห้องความร้อนส่วนใหญ่เป็น "Thermal NO_x " หรือ NO_x ที่เกิดขึ้นโดยตรงจาก ปฏิกิริยาระหว่าง N_2 และ O_2 ขณะเผาไหม้ ค่า "Thermal NO_x " ขึ้นอยู่กับปริมาณ O_2 ในอากาศที่ป้อนเข้าเตาและระดับอุณหภูมิภายในเตา โดยเฉพาะกรณีที่มีบริเวณใดที่ร้อนขึ้นเป็นพิเศษ (Peak temperature)

นอกจากนั้นแล้วค่า NO_x ที่ออกจากห้องความร้อนยังขึ้นอยู่กับประเภทของแก๊สที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงและประเภทของถ่านหิน (คือค่าของ N_2 ที่อยู่ในเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบ) และปัจจัยอื่นๆ เช่น การป้อนถ่านหิน ระยะเวลาอบถ่านโค้กและขนาดด้านต่างๆของห้องผลิตถ่านโค้ก

วิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการควบคุม NO_x ได้แก่ การลดอุณหภูมิของเปลวไฟในห้องความร้อน ซึ่งก็คือต้องการให้เกิดการเผาไหม้ที่เปลวไฟที่ไม่ร้อนเกินไป ซึ่งประกอบด้วย 3 วิธี กล่าวคือ

- 1) การนำแก๊สเสียที่ระบายจากห้องความร้อนกลับมาหมุนเวียนปนกับเชื้อเพลิงและอากาศที่ป้อนเข้าห้องความร้อน การกระทำอย่างนี้จะช่วยลดค่า O_2 และเพิ่มค่า CO_2 ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดอุณหภูมิของเปลวไฟ อย่างไรก็ตามการหมุนวนแก๊สดังกล่าวจะทำให้เหมือนมีการอุ่นอากาศก่อน ซึ่งเป็น ผลทำให้อุณหภูมิภายในเตา เพิ่มขึ้นและเป็นอุปสรรคต่อการลด NO_x

- 2) การจัดให้มีการเผาไหม้ในห้องความร้อนเป็นขั้นตอน (Staged combustion) จากน้อยไปหามากจะทำให้การเผาไหม้และอุณหภูมิเปลวไฟอยู่ในระดับเหมาะสม (Moderate) สามารถลด NO_x ได้
- 3) การลดอุณหภูมิการทำงานภายในเตาผลิตถ่านโค้กก็สามารถช่วยลด NO_x ในห้องความร้อนได้ (ทำงานที่อุณหภูมิไม่สูง) แต่จะทำให้ระยะเวลาการอบยาวนานขึ้นเป็นผลต่อประสิทธิภาพของผลผลิต ซึ่งต้องวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ให้เหมาะสมด้วย

การลดความหนาของผนังกั้นระหว่างห้องความร้อนและห้อง ผลิต ถ่านโค้ก จะทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น อุณหภูมิในห้องความร้อนสามารถลดลงได้ เนื่องจากไม่ต้องสูญเสียความร้อนขณะที่ผ่านผนังเตา กล่าวคือ ปกติโดยทั่วไปอุณหภูมิห้องความร้อนต้องสูงถึง $1,320^\circ\text{C}$ และเมื่อผ่านผนังเตาเข้าสู่ห้อง ผลิตถ่านโค้กจะทำให้ห้อง ผลิตถ่านโค้กมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น $1,180^\circ\text{C}$ กรณีลดความหนาของผนังเตาลงอุณหภูมิ $1,200^\circ\text{C}$ ก็เพียงพอแล้วสำหรับห้องความร้อน

กรณีโรงผลิตถ่านโค้กที่ไม่มีการลดค่า NO_x ด้วยการปรับปรุงกระบวนการทำงานค่า NO_x ที่ออกมาจากห้องความร้อนจะประมาณระหว่าง $1,300 - 1,900 \text{ g NO}_x/\text{t coke}$ (ความเข้มข้น $600 - 1,500 \text{ mg/Nm}^3$ at $5\% \text{ O}_2$)

ค่าการปล่อยมลภาวะ (Emission Factor) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $700 - 1,800 \text{ g NO}_x/\text{t coke}$ กรณีโรงผลิตถ่านโค้กใหม่ที่ ออกแบบควบคุมความร้อนให้ มีระบบการลด NO_x จะทำให้ค่า NO_x ที่ระบายออกมาจากห้องความร้อนลดลง กล่าวคือ มีค่าอยู่ระหว่าง $450 - 700 \text{ g NO}_x/\text{t coke}$ (ความเข้มข้น $500 - 770 \text{ mg/Nm}^3$ ที่ $5\% \text{ O}_2$)

การควบคุมปริมาณ NO_x ที่ระบายออกจากห้องความร้อน (Heating chamber) นั้น ปกติกระทำโดยใช้เทคนิคใน กระบวนการผลิตเป็นสำคัญ (Process-integrated techniques) อย่างไรก็ตามการลดปริมาณ NO_x ที่ออกจากห้องความร้อนสามารถกระทำได้โดยตรงด้วยเทคโนโลยีของ กระบวนการกำจัด (Treatment) NO_x เช่นกัน

กระบวนการที่ใช้กัน ได้แก่ กระบวนการ SCR (Selective Catalytic Reduction) ซึ่งจะใช้ NH_3 (เป็น Reducing Agent) ทำปฏิกิริยากับ NO_x ได้ N_2 ระบายสู่บรรยากาศได้อย่างปลอดภัย ใน กระบวนการนี้ตัวเร่ง (Catalytic Agent) ที่นิยมใช้ได้แก่ Vanadium Pentoxide (V_2O_5), Tungsten Oxide (WO_3) โดยมี Titanium Oxide (TiO_2) เป็นพาหะ (Carrier) ตัวเร่งอื่นที่ใช้กัน ได้แก่ Iron oxide และ Platinum อุณหภูมิเหมาะสมที่ระบบ SCR ทำงาน ได้แก่ $300 - 400^\circ\text{C}$ การทำงานที่อุณหภูมิสูงนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการฟื้นฟูพลังงาน (Regeneration) ของเตาผลิตถ่านโค้กลดลง (อุณหภูมิเหมาะสมอยู่ระหว่าง $180 - 250^\circ\text{C}$) ดังนั้นกรณีต้องติดตั้งระบบ SCR เพื่อกำจัด NO_x จำเป็นต้องเพิ่มพลังความร้อนให้แก่สเสียที่นำกลับมาใช้งานใหม่ในห้องฟื้นฟูพลังงาน

ในการใช้งานของระบบ SCR จะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในการสะสมของ Ammonium nitrate ซึ่งเป็นสารระเบิดได้ Ammonia ที่หลุดลอดจาก กระบวนการผลิตตลอดจนการเกิดขึ้นของ SO_3 ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต่าง ๆ

โดยทั่วไปประสิทธิภาพในการควบคุม NO_x ของระบบ SCR ได้สูงถึง 90% ในทางปฏิบัติ ยังไม่มีประสบการณ์มากนักในการทำงานที่สม่ำเสมอเป็นระยะเวลายาวนานของระบบ SCR ที่ประยุกต์ใช้กับระบบผลิตถ่านโค้ก

1.6 แก๊สเสียจากโรงผลิตซินเตอร์และการจัดการแก๊สเสีย (Sintering gas)

ที่โรงผลิตซินเตอร์ แก๊สเสียที่เป็นปัญหามากที่สุด ได้แก่ แก๊สเสียที่ออกจาก กล่องลม (Wind box) ที่อยู่ใต้สายพานเหล็กเคลื่อนที่เพราะเป็นแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นแก๊สเสียส่วนนี้จึงมีสารที่เป็นพิษหลายชนิดด้วยกัน โดยเฉพาะสาร Organo-halogen เช่น Dioxin, PAH (Poly cyclic aromatic hydrocarbon), PCB (Poly chlorinated biphenyls) เป็นต้น การจัดการกับแก๊สเสียนี้จึงต้องใช้เทคโนโลยีเป็นพิเศษ

เทคนิคในฟอกอากาศเสียจากเตาผลิตซินเตอร์ที่ระบายออกมาจากกล่องลมด้านใต้เตาผลิตซินเตอร์ (Wind box) มีค่อนข้างหลากหลายขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมแต่ละแห่งและความเข้มงวดของข้อกำหนด

1.6.1 ระบบจับฝุ่น (Waste gas dedusting)

ทางเลือก 1 ระบบ Advanced electrostatic precipitator (ESP) เช่น ระบบ moving electrode ESP, ระบบ ESP pulse, ระบบ high voltage operation of ESP

ทางเลือก 2 ใช้ระบบ ESP ธรรมดาพร้อมกับระบบ Fabric filter

ทางเลือก 3 ใช้ระบบจับฝุ่นก่อนด้วย ESP หรือ Cyclone และตามด้วยระบบ High pressure wet scrubbing ทั้งสามทางเลือกข้างต้น โดยเฉลี่ยมีค่าฝุ่นที่ระบายออกไม่เกิน 50 mg/Nm^3 สำหรับทางเลือกที่ 2 ค่าความเข้มข้นของฝุ่น อาจน้อยลงเหลือเพียง $10\text{-}20 \text{ mg/Nm}^3$ เท่านั้น

1.6.2 การควบคุม PCDD/F emission (Dioxin/Furan) (ดูรูปที่ 4-13 ประกอบ)

ตามปกติจะใช้ระบบการรีไซเคิลแก๊สเสียที่ออกจากเตาผลิตซินเตอร์ (จาก Wind box) ไม่ว่าจะเป็นการรีไซเคิลแก๊สเสียทั้งหมดหรือบางส่วนขึ้นอยู่กับ การควบคุมคุณภาพของซินเตอร์ หลังจากนั้นจะใช้ระบบบำบัดที่เหมาะสม กล่าวคือ

ทางเลือกที่ 1 ใช้ระบบ Fine wet scrubbing system ซึ่งจะทำให้ค่าการระบาย PCDD/F ไม่เกิน $0.4 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$

ทางเลือกที่ 2 ใช้ระบบ Fabric filter ร่วมกับการพ่นผงถ่านลิกไนท์หรือถ่านถ่านโค้กผสมกับแก๊สเสียก่อนเข้าระบบ Fabric filter จะทำให้ค่าการระบาย PCDD/F ไม่เกิน $0.1 - 0.5 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$

1.6.3 การควบคุมโลหะหนัก (Minimization of heavy metal emissions) (ดูรูปที่ 4-14 ประกอบ)

ระบบที่เหมาะสม ได้แก่ Wet scrubbing system เพื่อกำจัด heavy metal chlorides โดยเฉพาะ Lead chlorides หรือระบบ bag filter ก็มีประสิทธิภาพกำจัดได้เช่นกัน กรณีใช้ระบบ Wet scrubbing system จะต้องนำน้ำเสียไปบำบัดโดยเอาโลหะหนักออกด้วยระบบตกตะกอน (Precipitation) และนำตะกอนไปทิ้งใน secure landfill ปัญหาของอากาศเสียที่มีค่าโลหะหนักสูง มักจะเกิดขึ้นที่ห้องท้ายๆ (Last field) ของระบบ ESP ซึ่งมีค่า Metal chloride สูง จึงไม่ควร รีไซเคิลแก๊สเสียส่วนนี้

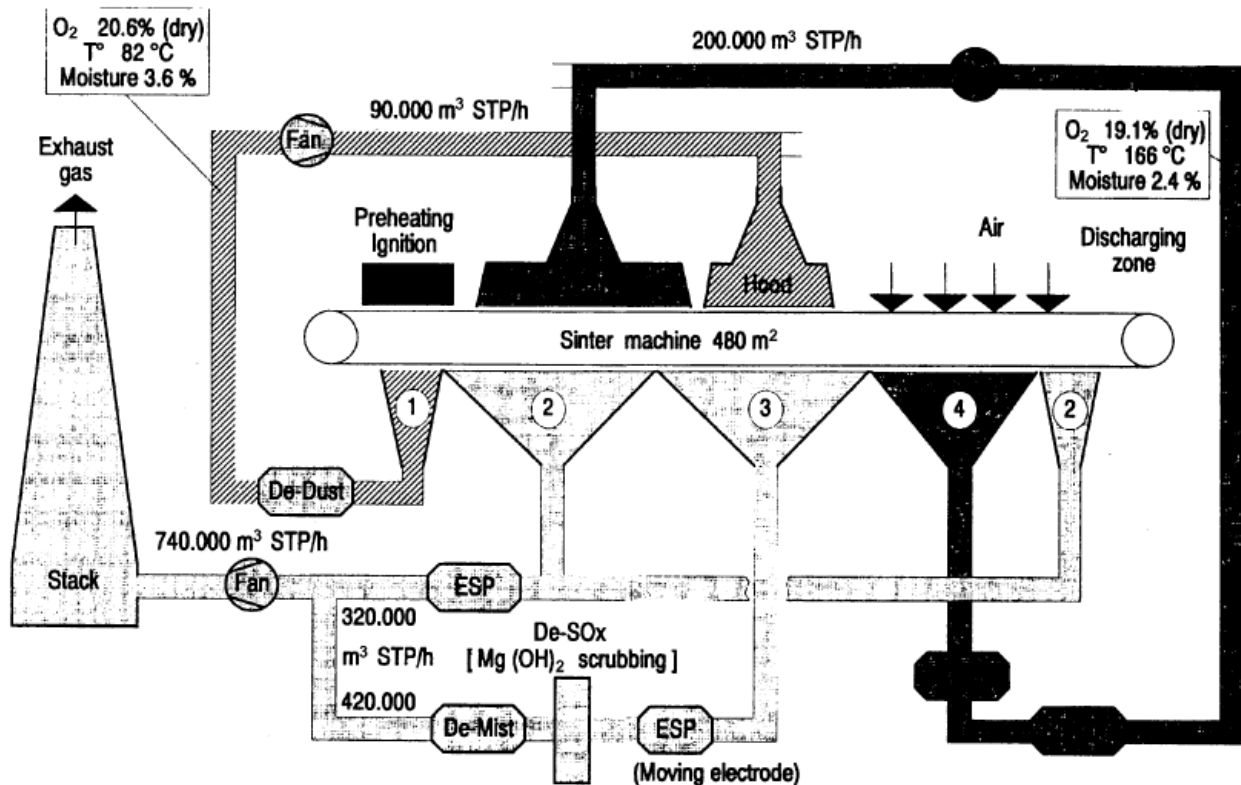
1.6.4 การควบคุม SO₂ (Minimization of SO₂) (ดูรูปที่ 4-15 ประกอบ)

ระบบเหมาะสมที่จะใช้บำบัด SO₂ ได้แก่ ระบบ Wet desulphurization ซึ่งประกอบด้วย หอโปรยสารเคมี (Spray tower) ได้แก่ สารละลาย Calcium หรือ Magnesium ผลพลอยได้จะเป็น Gypsum (CaSO₄) หรือ Magnesium sulphate ด้วยระบบนี้ ประสิทธิภาพในการกำจัด SO₂ สูงถึง 98% ซึ่ง SO₂ ที่ระบายออกภายหลังผ่านระบบนี้แล้วมีค่าไม่เกิน 100 mg/Nm³

1.6.5 การควบคุม NO_x (Minimization of NO_x emission)

วิธีที่ง่ายที่สุด ได้แก่ การรีไซเคิลแก๊สเสียที่ระบายออกจากเตาผลิตแร่ซินเตอร์ แต่หากว่า จะต้องควบคุม NO_x ให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดที่เข้มงวดแล้ว จำเป็นต้องใช้ระบบ waste gas denitrification ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าดำเนินการค่อนข้างสูง ระบบ waste gas denitrification มี 2 แบบ

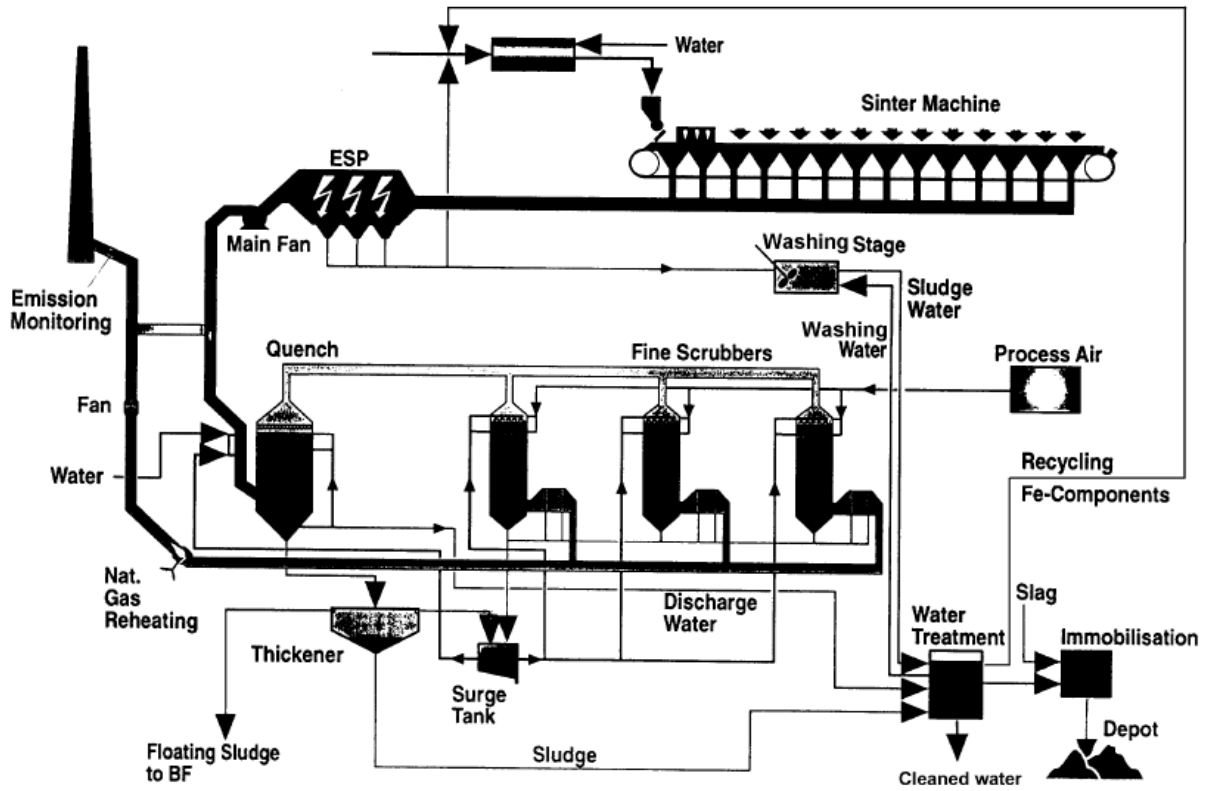
- Regenerative activated carbon process
- Selective catalytic reduction



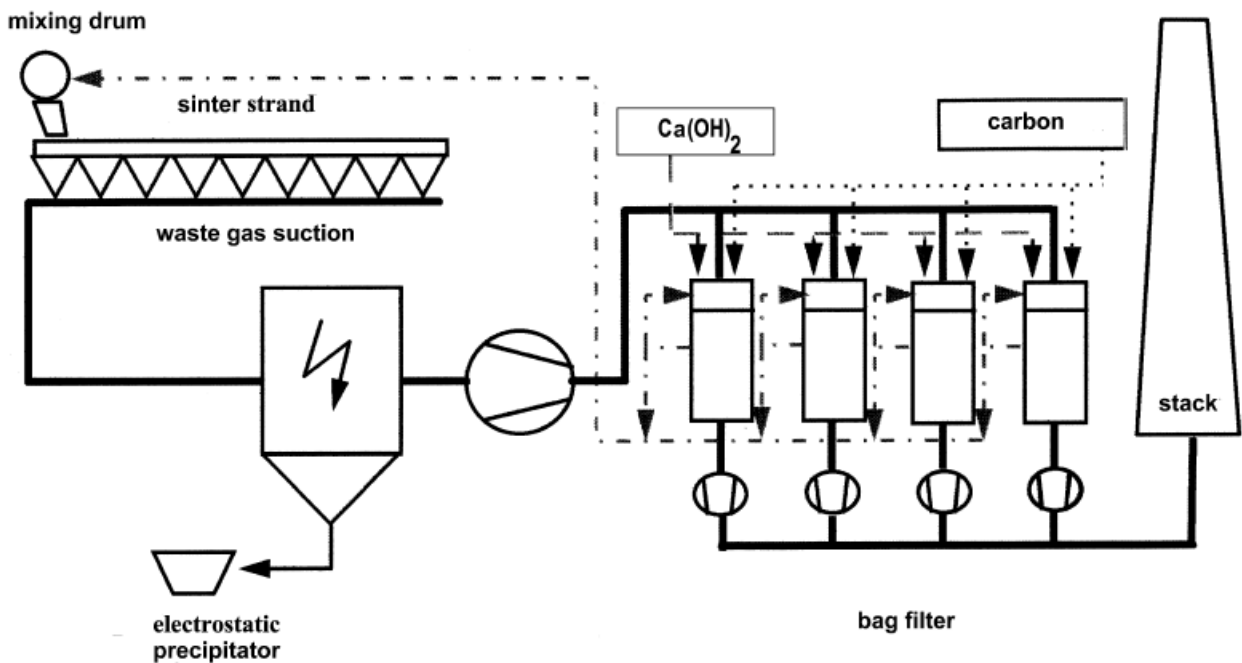
รูปที่ 4-13 การเลือกรีไซเคิลแก๊สเสียที่ระบายออกมาจากเตาผลิตซินเตอร์

(Nippon Steel Corporation; Yawata Works)

- Zone 1 เป็นการรีไซเคิลแก๊สเสียในช่วงเริ่มต้นของรางไปยังกลางรางผลิตแร่ซินเตอร์ (มีมลภาวะสูงควรรีไซเคิลอีกครั้ง)
- Zone 2, 3 โซนที่มี SO₂ ค่อนข้างต่ำจะระบายทิ้งภายหลังผ่านระบบบำบัดที่เหมาะสมแล้ว
- Zone 4 โซนที่มี SO₂ ค่อนข้างสูงจะถูกรีไซเคิลกลับไปที่ต้นทางของรางผลิตแร่ซินเตอร์



รูปที่ 4-14 ระบบฟอกอากาศเสียชนิด Fine wet scrubber system



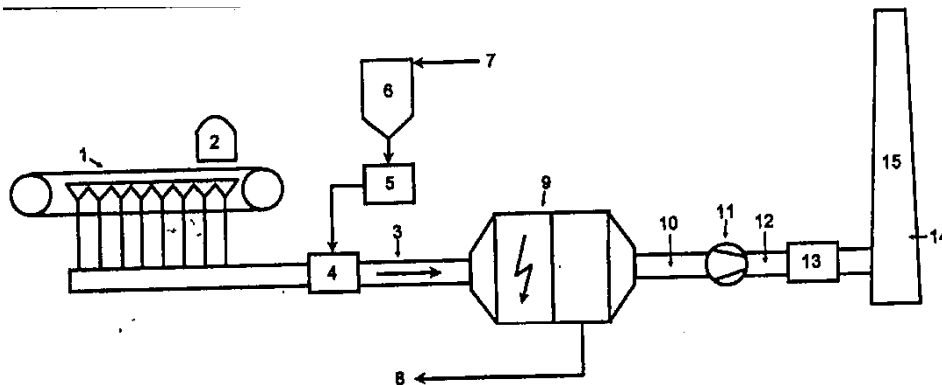
รูปที่ 4-15 ไดอะแกรมการติดตั้งระบบ Bag filter ภายหลังแก๊สเสียผ่านระบบ ESP พร้อมกับการประยุกต์ใช้น้ำปูนขาว ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})$) และผงถ่านโค้กหรือถ่านลิกไนท์ (Carbon) ที่ระบบ Bag filter เพื่อช่วยกำจัด PCDD/F และสารปรอท (Mercury)

1.6.6 การกำจัด PCDD/F ด้วยเทคโนโลยีล่าสุด (Emerging techniques) (ดูรูปที่ 4-16 ประกอบ)

การกำจัด PCDD/F ด้วยวิธีใหม่นี้เป็นระบบที่ใช้เทคนิคการดูดซับ (Adsorption) ระบบนี้เป็นความร่วมมือระหว่างสถาบัน Sidmar N.V., และ Verein Deutscher Eisenhüttenleute เพื่อพัฒนาระบบที่สามารถควบคุม PCDD/F ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความมั่นคงสม่ำเสมอในการควบคุม PCDD/F และไม่ใช้น้ำในกระบวนการกำจัด (ทำให้ไม่ต้องมีระบบบำบัดน้ำเสีย) ซึ่งเหมาะสมสำหรับปรับปรุงระบบเดิมที่มีอยู่แล้ว องค์ประกอบสำคัญของระบบประกอบด้วย

- ขั้นตอนการดูดซับ (Adsorption stage)
- ESP เดิม (Existing)
- ขั้นตอนการเร่งปฏิกิริยา (Subsequent oxidative acting catalyst)

การทำงาน ได้แก่ การพ่นผงลิกไนท์หรือถ่านโค้กไปบนแก๊สเสีย เพื่อให้เกิดการดูดซับ (Adsorption) ระยะที่พ่นผงถ่านลิกไนท์หรือถ่านโค้กอยู่ห่างก่อนเข้า ESP ประมาณ 27 เมตร PCDD/F จะถูกดูดซับด้วยผงลิกไนท์หรือผงถ่านโค้กและถูกจับไว้ที่ ESP และฝุ่นถ่านโค้กเมื่อถูกกำจัดออกจาก ESP แล้วจะถูกนำกลับไปใช้งานได้อีกที่เตาผลิตแร่ซินเตอร์ PCDD/F ที่ยังเหลืออยู่จะถูกทำลายด้วยสารเคมีตัวเร่งบนอุปกรณ์เร่งปฏิกิริยา (Honey combo catalyst) ลดลงเหลือไม่เกิน 0.1 ng I-TEQ



รูปที่ 4-16 ใโดอะแกรมระบบฟอกแก๊สเสียจากเตาผลิตแร่ซินเตอร์ด้วยระบบ Adsorption และ Catalytic converter

1. เตาผลิตแร่ซินเตอร์ (Sinter strand)
2. หัวเผา (Ignition Furnace)
3. ท่อระบายแก๊สเสีย (Waste gas main with reactor)
4. จุดพ่นสารเคมี (Injection pipes)
5. จุดควบคุมการป้อนสารเคมี (Dose station with control equipment)
6. ถังบรรจุสารดูดซับ (Feed tank for adsorbents) ซึ่งโดยทั่วไปใช้ผงถ่านโค้กหรือผงลิกไนท์
7. อุปกรณ์เติมสารดูดซับ (Filling device)
8. การรีไซเคิลฝุ่นที่จับได้จาก ESP
9. ESP
10. จุดตรวจวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่น และ PCDD/F
11. พัดลม (Fan)
12. จุดตรวจวัดองค์ประกอบของแก๊สที่ผ่านการบำบัดด้วย ESP แล้ว
13. อุปกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา Oxidation (Oxidation Catalytic converter)
14. จุดวัดค่า PCDD/F ก่อนระบายทิ้ง
15. ปล่อง

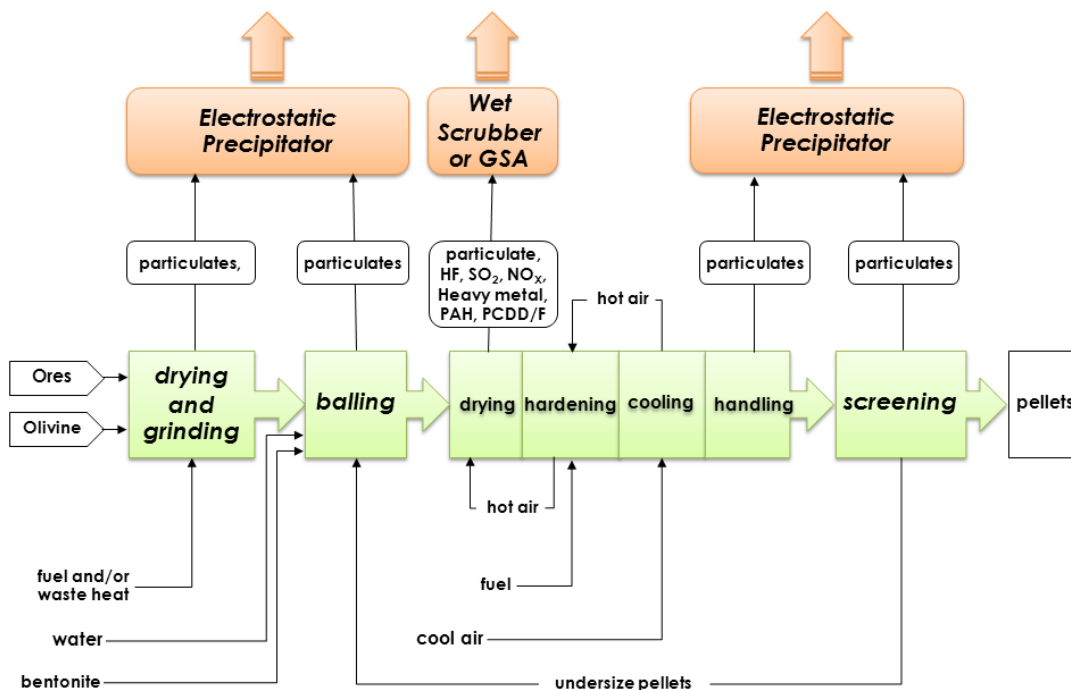
1.7 การควบคุมแก๊สเสียจากโรงผลิตเพลเลท (Pelletizing plant)

จากรูปที่ 4-17 จะเห็นว่า กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมวัตถุดิบ (Drying and grinding, balling) และการจัดการกับผลิตภัณฑ์ (Handling, screening) จะมีมลภาวะประเภท ฝุ่นเป็นมลภาวะสำคัญเท่านั้น การจัดการกระทำได้ง่ายโดยติดตั้งเครื่องจับฝุ่นชนิด Bag filter หรือ ESP ก็ได้ กรณีขั้นตอนการผลิตเกี่ยวกับการอบให้ร้อน ได้แก่ กระบวนการ Drying, hardening และ cooling รวมเรียกว่า Induration ซึ่งมีมลภาวะอื่นๆ เกิดขึ้นมากมาย นอกจากฝุ่น เช่น HF, HCl, SO_x, NO_x, heavy metal, PAH, PCDD/F หรือ Dioxin/Furan การจัดการแก๊สเสียส่วนนี้ระบบที่นิยมใช้ ได้แก่ ระบบ Wet scrubber หรือระบบ Gas Suspension Absorption (GSA)

ระบบ GSA เป็นระบบที่ใช้ปูนขาว (Wet lime slurry) ฟันไปบนตัวกลาง (Fluidized bed reactor) พร้อมกับการระบายแก๊สเสียผ่านตัวกลาง ระบบ GAS สามารถกำจัด HF, HCl, SO_x และ NO_x ได้เป็นอย่างดี หลังจากนั้นแก๊สเสียจะถูกระบายผ่านไซโคลนอีกครั้งแล้วจึงผ่านต่อไปยังเครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นขั้นสุดท้าย

ประสิทธิภาพในการฟอกอากาศจากกระบวนการผลิต ในส่วนที่เรียกว่า Induration โดยอาศัยระบบ Wet scrubber หรือระบบ GSA มีสถิติที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

- การกำจัดฝุ่น (Particulate matter) มีประสิทธิภาพมากกว่า 95% หรือปริมาณค่า emission ไม่เกิน 10 mg/Nm³
- การกำจัด SO₂ มีประสิทธิภาพ มากกว่า 80% หรือปริมาณค่า emission ไม่เกิน 20 mg/Nm³
- การกำจัด HF มีประสิทธิภาพ มากกว่า 95% หรือปริมาณค่า emission ไม่เกิน 1.0 mg HF/Nm³
- การกำจัด HCl มีประสิทธิภาพ มากกว่า 95% หรือปริมาณค่า emission ไม่เกิน 20 mg HCl/Nm³
- การลดลงของ NO_x ต้องดำเนินการด้วยการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีค่า NO_x emission ต่ำที่สุดก่อน เช่น รีไซเคิลความร้อน เป็นต้น การใช้ระบบ selective catalytic reduction (SCR) เป็นทางเลือกสุดท้ายกรณีถูกบังคับด้วยข้อกำหนดที่เข้มงวด ประสิทธิภาพของ SCR โดยทั่วไปไม่ต่ำกว่า 80%



รูปที่ 4-17 กระบวนการผลิตและระบบควบคุมแก๊สเสียของโรงผลิตเพลเลท

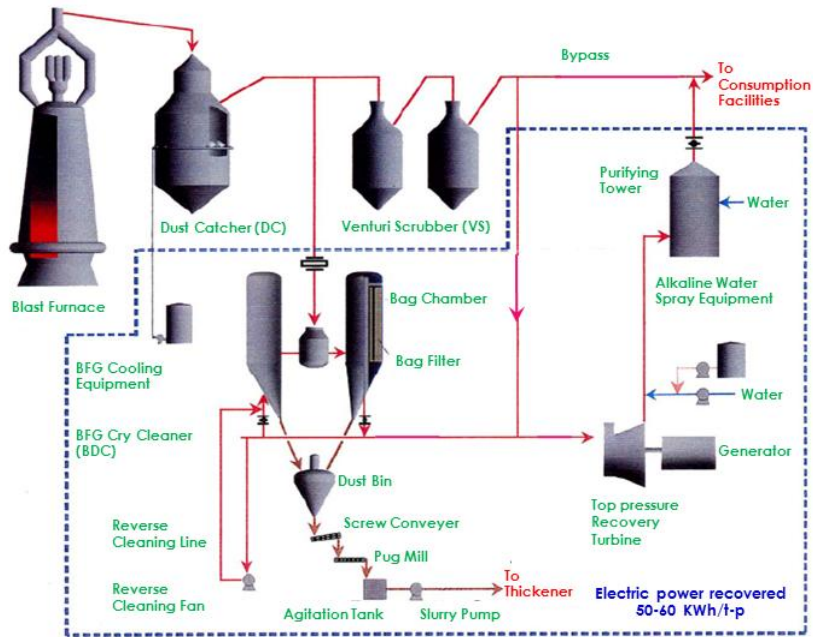
1.8 การควบคุมแก๊สเสียจากเตาบลาสท์ (Waste gas from blast furnace)

แก๊สเสียจากเตาบลาสท์ที่มีมลพิษต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ ฝุ่นละออง (Particulate), คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) มีเทน (CH₄) ไดออกซิน (Dioxin) ฟูราน (Furan) PAH PCB โลหะหนัก (Heavy metal) NH₃ HCN เป็นต้น จะเห็นได้ว่า แก๊สเสียเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ มี CO, CH₄, H₂ ค่าความร้อนของแก๊สเสียที่ระบายออกจากเตาบลาสท์มีค่าประมาณ 900 Kcal/m³ ดังนั้นในการจัดการแก๊สเสียนี้ เมื่อฟอกเอามลพิษที่เป็นอันตรายออกแล้วจะถูกระบายไปเก็บในถังเก็บแก๊สเพื่อนำกลับมาเป็นเชื้อเพลิงได้ต่อไป

การควบคุมแก๊สเสียจากเตาบลาสท์ (BF gas) นั้น เนื่องจากกรณีของแก๊สเสียจากเตาบลาสท์มีแรงดันสูงมาก กล่าวคือประมาณ 250 KPa การจัดการจึงต้องนำแก๊สเสียไปฟอกก่อนและผ่านเทอร์โบความดัน (Pressured turbine) เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ในโรงงานได้ส่วนหนึ่ง มักเรียกย่อๆว่า TRT หรือ Top Recovery Turbine

ระบบการฟอกแก๊สเสียจากเตาบลาสท์ (ดูรูปที่ 4-18 ประกอบ) แบ่งการระบายแก๊สเสียเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเมื่อผ่านระบบการดักฝุ่นเม็ดใหญ่แล้ว เช่น ระบบไซโคลน แก๊สเสียส่วนหนึ่งจะถูกระบายไปเข้าระบบกำจัดฝุ่นแบบจับฝุ่นด้วยฝอยน้ำละเอียดหรือเรียกว่า “ระบบจับฝุ่นแบบเวนจูรี” (Venturi scrubber) แก๊สเสียที่ผ่าน “ระบบจับฝุ่นแบบเวนจูรี” แล้วจะถูกระบายไปเก็บไว้ที่ถังเก็บแก๊ส เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

แก๊สเสียจากเตาบลาสท์อีกส่วนหนึ่งเมื่อผ่านระบบไซโคลนแล้วจะถูกระบายเข้าระบบถูกรองโดยตรงเพื่อกำจัดฝุ่นละเอียดต่างๆ ก่อนผ่านไปยังระบบเทอร์โบความดัน เพื่อช่วยขับเคลื่อนเทอร์โบแรงดันผลิตไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่ง การที่แยกแก๊สเสียจากเตาบลาสท์เป็นสองส่วนนี้ มักจะเป็นระบบที่ปรับปรุงจากของเดิมที่ยังไม่ได้มีการติดตั้ง TRT และเมื่อมีการติดตั้ง TRT เพิ่มแล้วการเดินเครื่องต้องพยายาม ปรับให้เกิดแรงดันให้สูงสุดของแก๊สเสีย ขณะเดียวกันก็สามารถควบคุมมลภาวะได้สูงสุดด้วย อย่างไรก็ตามแก๊สเสียที่ผ่านระบบเทอร์โบความดันแล้วยังต้องฟอกให้สะอาดต่อไปอีกด้วย ระบบหอจับฝุ่นด้วยน้ำ (Wet purifying tower) ก่อนที่จะถูกนำไปใช้งานเป็นแก๊สเชื้อเพลิง น้ำเสียที่เกิดจากระบบกำจัดฝุ่นทั้งระบบ “เวนจูรี” และระบบ “หอจับฝุ่นแบบเปียก” จะถูกระบายไปเข้าระบบบำบัดด้วย กระบวน การตกตะกอนด้วยเคมีและน้ำเสียเมื่อผ่าน กระบวน การตกตะกอนด้วยเคมีแล้วจะถูกนำกลับมาใช้ได้อีก (Recycle) ตะกอนที่ได้ซึ่งเป็นตะกอนจากฝุ่นที่จับได้ซึ่งมีฝุ่นหลักปนอยู่ด้วยจะถูกลำเลียงไปเข้าระบบบริดตะกอน (Dewatering machine) กลายเป็นตะกอนแข็ง (Sludge cake) ซึ่งมีความชื้นประมาณ 25% และถูกนำไปปั้นเป็นก้อน (Pelletizing) ร่วมกับฝุ่นที่ถูกจับด้วยระบบแห้ง เช่น จากระบบไซโคลนหรือระบบถูกรอง ทำให้เหลือเป็นก้อนตะกอนความชื้นไม่เกิน 10% ป้อนกลับเข้าไปใช้งานได้อีกที่ระบบผลิตซินเตอร์

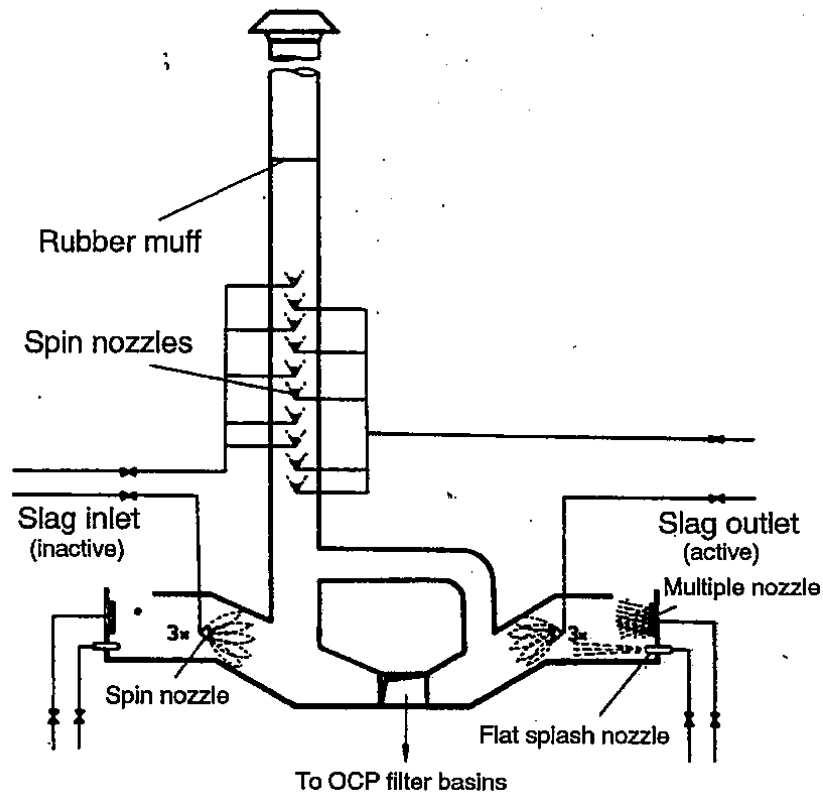


รูปที่ 4-18 ขั้นตอนการฟอกแก๊สเสียจากเตาบลาสท์

แหล่งกำเนิดมลภาวะที่สำคัญอีกแหล่ง ได้แก่ แก๊สร้อนที่ระบายออกมาจากเตาที่หิวเผาโดยใช้เชื้อเพลิงที่เป็นรีไซเคิลแก๊สภายหลังฟอกแล้ว ซึ่งตามปกติมีค่าฝุ่น (Particulate) ไม่เกิน 10 mg/Nm^3 และมีค่า NO_x น้อยกว่า 350 mg/Nm^3 (ที่ 3% O_2) ถ้าต้องการ NO_x emission ให้ต่ำกว่าค่านี้ต้องอาศัยการกำจัด NO_x ด้วยระบบ SCR

ภายในอาคารระบายน้ำเหล็กและสแลก (Cast house) ที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นจากจุดต่างๆ ได้แก่ tap-holes, torpedo car, ladle charging points จะติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นละออง (Dedusting equipment) ซึ่งประกอบด้วย ปากดูดฝุ่นตามตำแหน่งต่างๆและด้วยขนาดที่เหมาะสม เพื่อระบายแก๊สเสียต่างๆไปบำบัดที่ระบบ Fabric filter หรือ electrostatic precipitator อากาศเสียภายหลังผ่านระบบบำบัดฝุ่นดังกล่าวแล้วมีค่าฝุ่น ประมาณ $1-15 \text{ mg/Nm}^3$ และมีค่าฝุ่นที่เล็ดลอดออกมาโดยไม่สามารถควบคุมได้ (Fugitive emission) ประมาณ $5-15 \text{ g dust/t pig iron}$

การควบคุมกลุ่มควันที่เกิดจากการสัมผัสของน้ำเหล็กกับอากาศ (Brown fume) โดยใช้แก๊สเฉื่อย N_2 เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันในยุโรป ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบและความพร้อมของแก๊สเฉื่อย N_2 ที่มีให้ใช้ในการระบายน้ำสแลก (Molten slag) ซึ่งมีสารประกอบของซัลเฟอร์ เช่น CaS , MnS ไปยังโรงงานสแลกเม็ด (Granulation plant) และพ่นน้ำแรงดันสูงไปบนสแลกร้อนจะได้ไอน้ำและ H_2S , SO_2 ระบายออกมาจากสแลก ซึ่งจะมีกลิ่นเหม็นมาก การจัดการกับกลิ่นเหม็นเหล่านี้ที่โรงงานสแลกเม็ดจะติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม H_2S และ SO_2 โดยควบแน่นไอน้ำให้เป็นหยดน้ำ (Fume condensation) และไปรวมกับน้ำที่แยกจากสแลกเม็ดผ่านระบบหอระเหยความร้อนแล้วนำกลับมาใช้อีกครั้ง (ดูรูปที่ 4-19 ประกอบ)



รูปที่ 4-19 การติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำและ H_2S , SO_2 ที่โรงงานสแลกเม็ด (Granulation of blast furnace with fume consideration)

1.9 การควบคุมแก๊สเสียจากกระบวนการผลิตเหล็กกล้า (Steel making process)

ในการควบคุมแก๊สเสียที่ระบายออกจากกระบวนการผลิตเหล็กกล้า แบ่งได้เป็น 5 ส่วนด้วยกัน (ดูรูปที่ 4-20 ประกอบ)

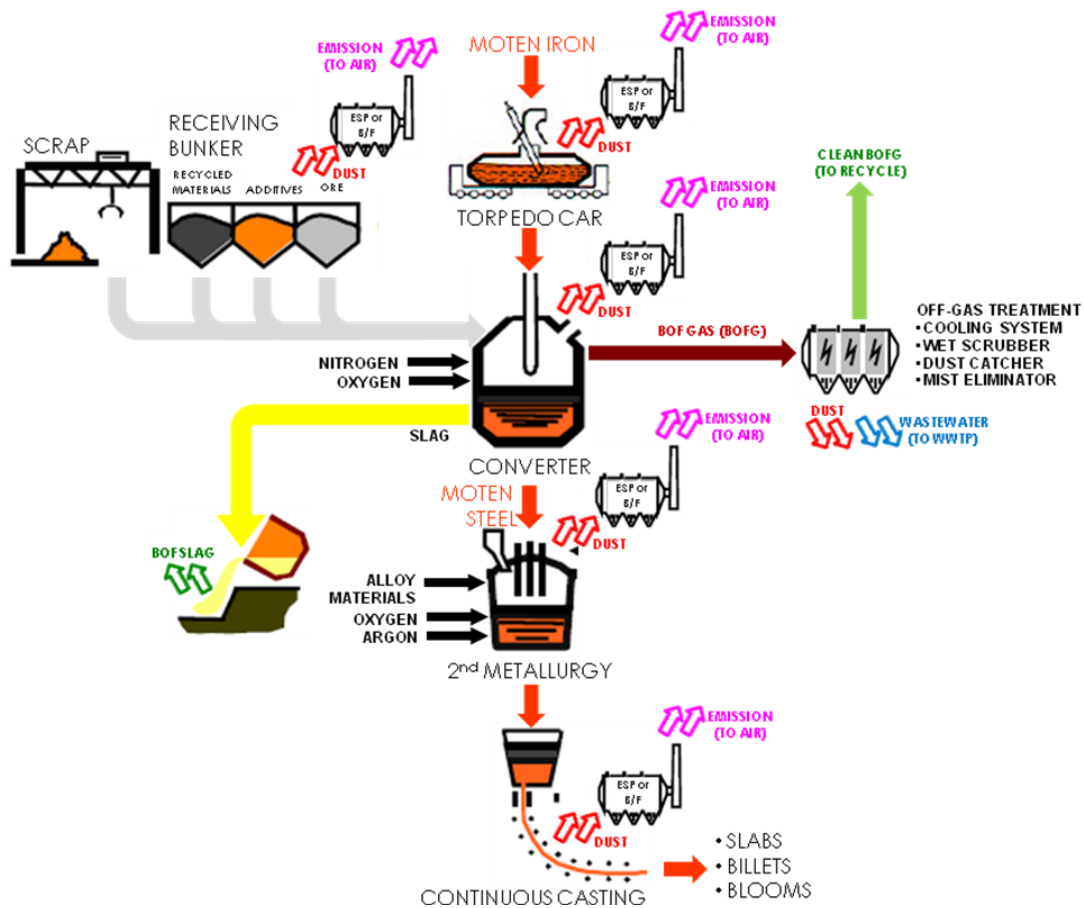
ส่วนที่ 1 ฝุ่นจากการป้อนวัตถุดิบและสารเคมี สารรีไซเคิลต่างๆ

ส่วนที่ 2 ฝุ่นจากกระบวนการ Desulphurization

ส่วนที่ 3 ฝุ่นและแก๊สเสียจากเตาเบสออกซิเจน (BOF)

ส่วนที่ 4 ฝุ่นและแก๊สเสียจากกระบวนการปรับปรุงน้ำเหล็กก่อนป้อนเข้าโรงหล่อเหล็ก (Secondary metallurgy)

ส่วนที่ 5 ฝุ่นและแก๊สเสียจากกระบวนการหล่อเหล็กกล้าเป็น Slab, billet, bloom



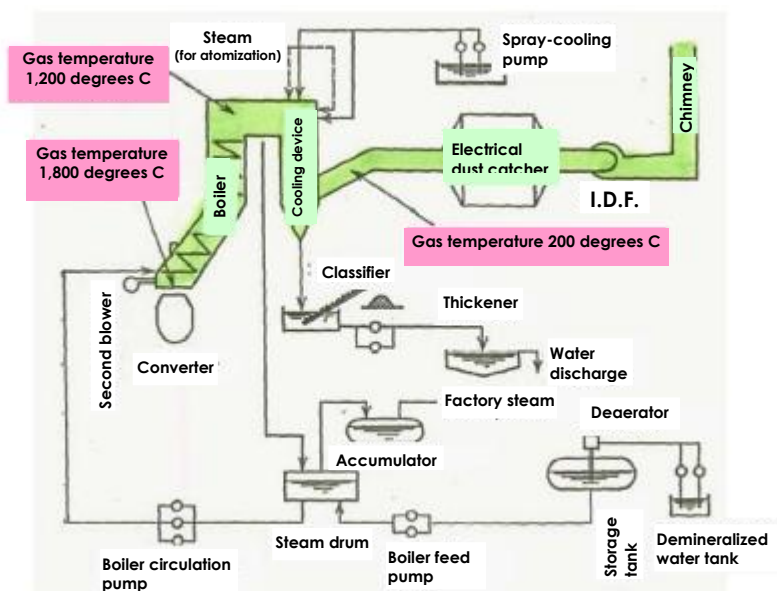
รูปที่ 4-20 กระบวนการควบคุมแก๊สเสียจากกระบวนการผลิตเหล็กกล้า

จากรูปที่ 4- 20 จะเห็นได้ว่าแก๊สเสียที่เกิดจากกระบวนการป้อนวัตถุดิบและสารเคมีรวมทั้งวัสดุรีไซเคิลต่างๆ กระบวนการ Desulphurization และกระบวนการพองน้ำเหล็กกล้าก่อนเข้าโรงหล่อเหล็กกล้า ทั้งหมดนี้จะอาศัยการติดตั้งปากดูดฝุ่นที่เหมาะสมแล้วระบายแก๊สเสีย (Evacuation) ไปยังระบบจับฝุ่น ซึ่งได้แก่ ระบบ ESP เพราะเป็นแก๊สเสียที่มีความร้อนสูง ระบบ Fabric filter จะไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

การควบคุมแก๊สเสียที่น่าสนใจ ได้แก่ แก๊สเสียที่เกิดจากกระบวนการเตาเบสคอกซิเจน ซึ่งมีสองขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นตอนแรกเป็นฝุ่นที่เกิดขึ้นขณะที่เทน้ำเหล็กถลุง (Molten iron) ภายหลังจากกระบวนการ Desulphurization แล้วลงในเตาเบสคอกซิเจน (BOF) ซึ่งที่เตาเบสคอกซิเจนจะมีกระโปรงครอบที่ปากเตา (Skirt) พร้อมติดตั้งท่อระบายแก๊สเสียขณะเทน้ำเหล็กเข้าเตาเบสคอกซิเจนไปยังระบบจับฝุ่น ซึ่งได้แก่ ระบบ ESP

ขั้นตอนที่สอง ได้แก่ กระบวนการขณะเป่าออกซิเจนเข้าเตาเบสคอกซิเจน แก๊สเสียที่ระบายออกขณะเป่าออกซิเจนเข้าเตาเบสคอกซิเจน ประกอบด้วย CO, Dust (metal oxides และ heavy metals), SO_x, NO_x, PCDD/F และ PAH

เตาเบสิคออกซิเจนพิจารณาจากระบบการระบายอากาศร้อน (Flue gas) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรก (ดูรูปที่ 4-21 ประกอบ) ได้แก่ ชนิดที่ปล่อยให้อากาศภายนอกเข้าผสมกับแก๊สร้อนขณะ กระบวนการเติมออกซิเจน เพื่อให้เกิดการสันดาปกับแก๊สร้อน (Combustion หรือ Non-compression type) ระบบนี้แก๊สร้อนจะทำปฏิกิริยา สันดาปกับอากาศทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1,800 °C จึงมีการติดตั้งระบบลดความร้อนแบบชนิดปิด (closed spiral cooling) เพื่อเปลี่ยนน้ำระบายความร้อน เป็นไอน้ำนำไปใช้งานได้ หลังจากนั้นอุณหภูมิของแก๊สร้อนจะลดลงจาก อุณหภูมิ 1,800 °C เหลือ 1,200 °C จึงลดความร้อนต่อไปอีกด้วยระบบพ่นฝอยน้ำ (water spray cooling) พร้อมๆ กับการจับฝุ่นด้วยละอองน้ำไปด้วย แก๊สเสียเมื่อผ่านระบบพ่นฝอยน้ำแล้วจะถูกระบายไปเข้าระบบกำจัดฝุ่นด้วย ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrical dust catcher) อีกครั้งก่อนระบายทิ้งสู่บรรยากาศภายนอก ระบบการฟอกแก๊สชนิดนี้ โดยทั่วไปจะไม่มีให้นำแก๊สกลับไปใช้อีก เพราะมันถูกเผาไหม้ไปแล้วโดยการผ่านอากาศ เข้าที่ปากเตาเบสิคออกซิเจนตั้งได้กล่าวมาแล้ว ค่าความร้อน (Heating value) ที่เหลือจะต่ำมากไม่คุ้มกับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง น้ำเสีย ที่ออกจากระบบพ่นฝอยน้ำจะถูกระบายไปบำบัดก่อนนำกลับมาใช้งานอีกครั้งหนึ่ง (Recycle) เช่นเดียวกับระบบ ฟอกแก๊สเสียของเตาบลาสท์



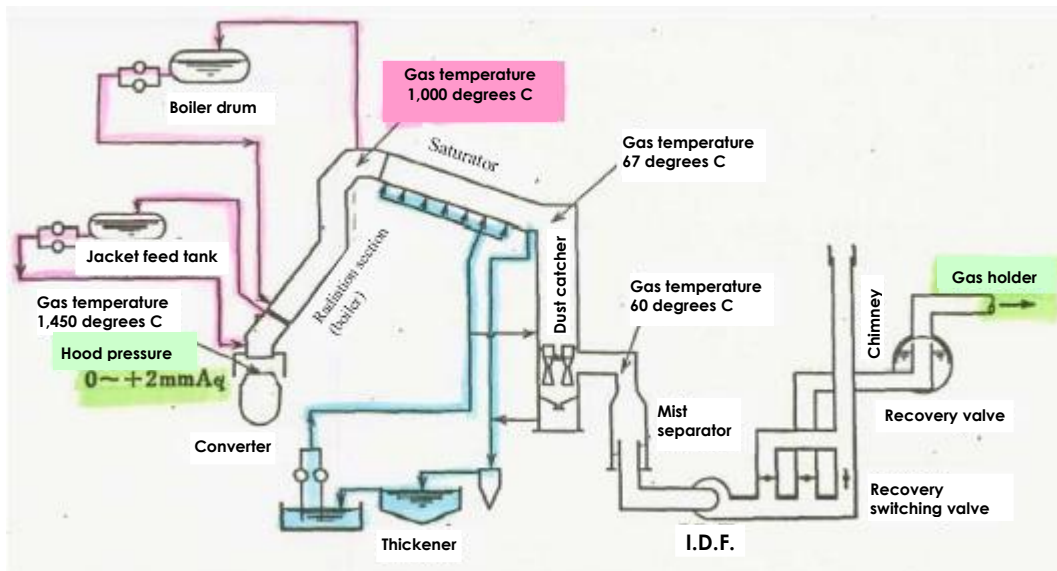
รูปที่ 4-21 ขั้นตอนการฟอกแก๊สเสียจากเตาเบสิคออกซิเจน แบบ Combustion

การระบายแก๊สเสียจากเตาเบสิค ออกซิเจนอีกแบบหนึ่ง (ดูรูปที่ 4-22 ประกอบ) ได้แก่ การปิดมิให้อากาศ ภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาสันดาปกับแก๊สเสีย (Non-combustion หรือ Suppression converter) ระบบนี้แก๊สเสียที่ ระบายออกในขณะที่บ่อนอกซิเจนเข้าเตาเบสิคออกซิเจนจะมีอุณหภูมิประมาณ 1,400 - 1,500 °C การจัดการแก๊ส เสียที่ระบายออกจากเตาเบสิคออกซิเจนกระทำโดยติดตั้งระบบลดความร้อนแบบปิด (Closed spiral cooling) เช่นเดียวกับระบบ Combustion โดยทั่วไปจะติดตั้งหอระบายความร้อน (Cooling tower) เพื่อควบแน่นไอน้ำเก็บไว้ ในถังเก็บน้ำควบแน่น (Boiler drum) และหมุนวนกลับมาใช้ได้

แก๊สเสียเมื่อผ่านระบบลดความร้อนแบบปิดดังกล่าวข้างต้นจะทำให้อุณหภูมิลดลงจากประมาณ 1,450 - 1,500 °C เหลือ 1,000 °C ณ จุดนี้จะมีการพ่นฝอยน้ำเพื่อลดความร้อนและจับฝุ่นที่ติดมากับแก๊สเสียพร้อมปล่อย ให้ความชื้นที่ระบบควบแน่น (Saturator) น้ำที่ควบแน่นซึ่งมีฝุ่นจากการจับฝุ่นด้วยไอน้ำจะถูกระบายไปเข้าระบบ บำบัดน้ำเสียด้วยการตกตะกอนโดยสารเคมีและเมื่อผ่านระบบตกตะกอนด้วยเคมีแล้ว น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

นั้นจะถูกนำกลับเข้าไปใช้อีกครั้งในระบบควบแน่น แก๊สเสียเมื่อผ่านระบบดังกล่าวแล้วจะมีฝุ่นละอองน้อยลงมาก อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 60 – 70 °C และจะถูกระบายผ่านระบบกำจัดฝุ่น (Dust catcher) อีกครั้งก่อนผ่านต่อไปยังระบบกำจัดละอองน้ำ (Mist separator) และท้ายที่สุดจะถูกนำไปเก็บไว้ที่ถังเก็บ (Gas holder) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไปค่าความร้อนของแก๊สนี้ประมาณ 2,000 kcal/m³

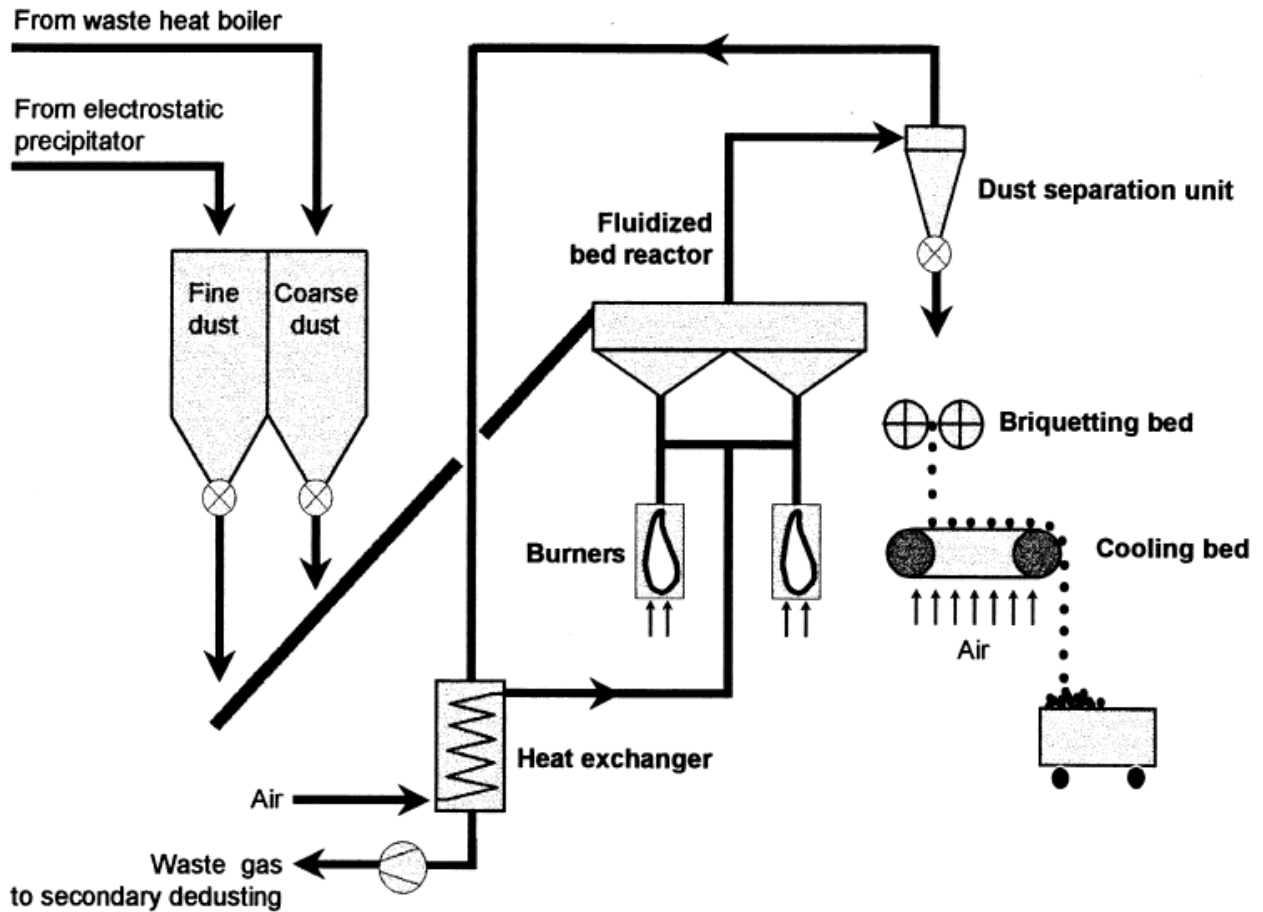
ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะถูกนำไปเข้าเครื่องรีดตะกอน (Dewatering machine) และถูกนำกลับมาใช้อีกครั้ง (Recycle)



รูปที่ 4-22 ขั้นตอนการฟอกแก๊สเสียจากเตาเบสคอกซีเจน แบบ Non-combustion

ฝุ่นที่จับได้ในขณะป้อนออกซิเจนเข้าเตาเบสคอกซีเจนที่เป็นระบบเปียก (Venturi wet scrubber) จะมีลักษณะเป็นฝุ่นหยาบ (Coarse dust) มีเนื้อเหล็กสูงถึง 70% (Metallic iron) ขณะที่ฝุ่นละเอียด (Fine dust) ที่จับได้จากแก๊สเสียเพื่อผ่านระบบ Dust catcher แล้ว มีเนื้อเหล็กเพียงประมาณ 7% เท่านั้น ในกรณีที่ฝุ่นมีเนื้อเหล็กแตกต่างกันมากดังกล่าว ฝุ่นหยาบจะถูกป้อนเข้ากระบวนการอัดก้อน (Briquetting process) และถูกป้อนกลับไปที่เตาเบสคอกซีเจนแทนเศษเหล็กได้ (Scrap) ขณะที่ฝุ่นละเอียดเมื่อผ่านกระบวนการอัดก้อนแล้วจะถูกนำกลับไปป้อนเข้าเตาบลาสท์หรือโรงผลิตซินเตอร์ต่อไปได้

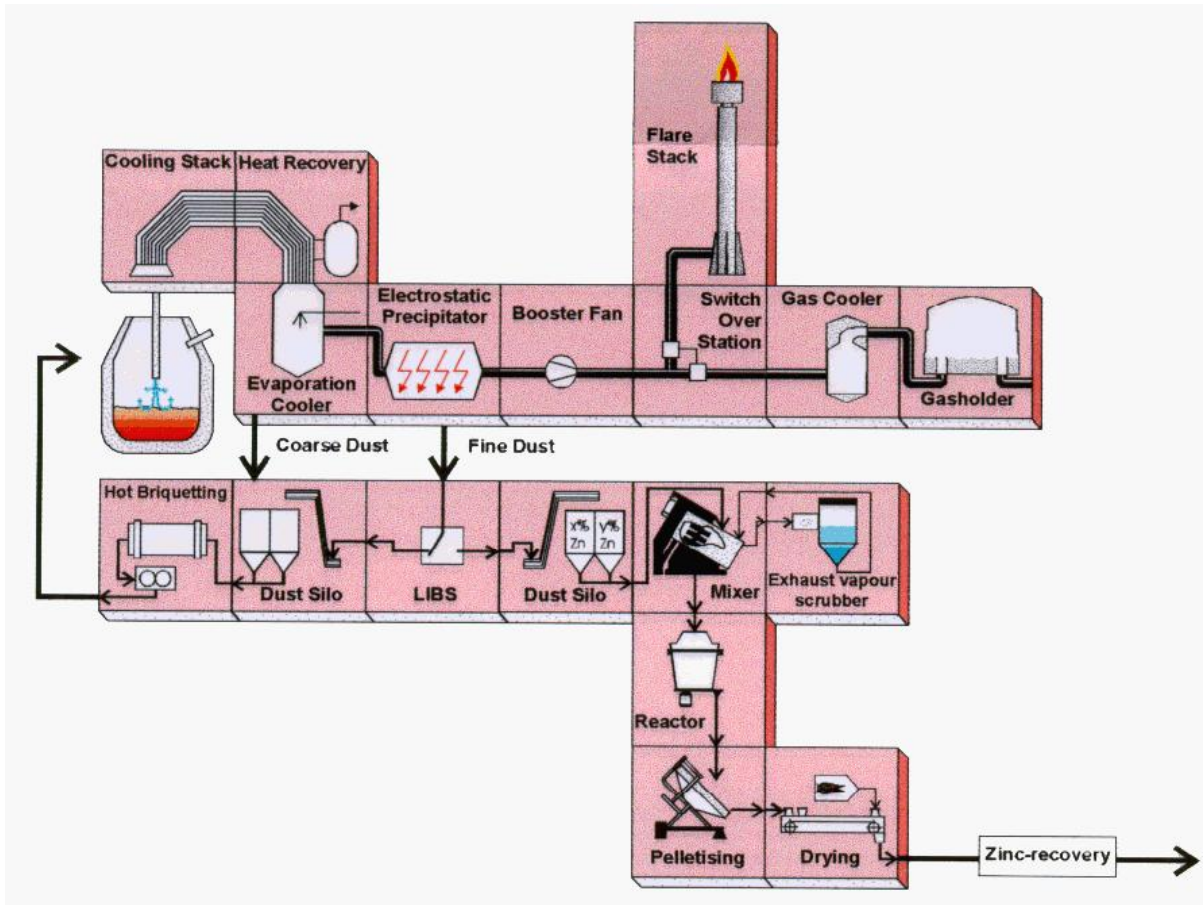
รูปที่ 4-23 แสดงการนำฝุ่นหยาบและฝุ่นละเอียดมาเข้ากระบวนการอัดก้อน (Briquetting process) ก่อนนำไปรีไซเคิล



รูปที่ 4-23 การนำฝุ่นหยาบและฝุ่นละเอียดมาเข้ากระบวนการอัดก้อน (Briquetting process) ก่อนนำไปรีไซเคิล

ในการรีไซเคิลฝุ่นจากเตาเบสไดออกซิเจนนั้นมีข้อจำกัดอยู่ที่ปริมาณสังกะสี (Zn) ในฝุ่น การรีไซเคิลฝุ่นอยู่ตลอดเวลาจะทำให้ปริมาณสังกะสีในฝุ่นเพิ่มขึ้น โดยทางปฏิบัติกรณีปริมาณสังกะสีในฝุ่นอัดก้อน (Dust brequettes) มีค่าเกิน 17% ก็มักจะนำฝุ่นอัดก้อนเข้าไปในโรงงานฟืนฟูลสังกะสีเพื่อนำสังกะสีกลับมาใช้ได้อีก ดังนั้นในกระบวนการจัดการกับฝุ่นหยาบหรือฝุ่นละเอียดจะต้องมีระบบตรวจสอบปริมาณสังกะสีในฝุ่นด้วยระบบแสงเลเซอร์ (Laser-induced breakdown spectroscopy; LIBS) เมื่อพบว่าเกิน 17% ก็จะสามารถนำฝุ่นดังกล่าวไปเตรียมการปั้นเป็นก้อน (Pelletizing) เพื่อส่งเข้ากระบวนการฟืนฟูลสังกะสีต่อไป

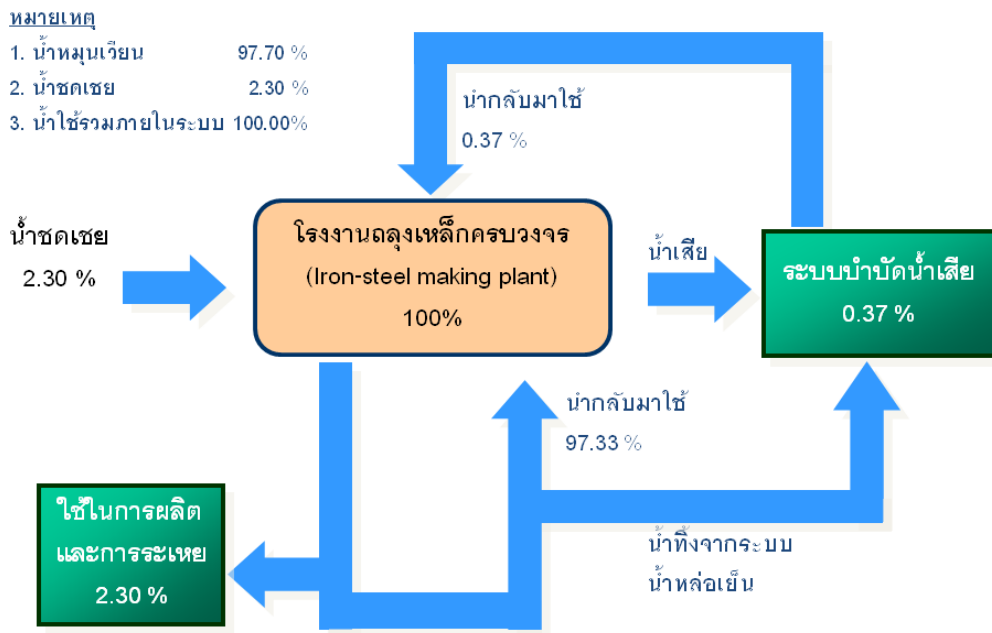
รูปที่ 4-24 แสดงกระบวนการตรวจสอบปริมาณฝุ่นที่ได้จากระบบจับฝุ่นของระบบเตาเบสไดออกซิเจนด้วยระบบ LIBS และกระบวนการปั้นก้อนฝุ่นก่อนนำไปฟืนฟูลสังกะสี



รูปที่ 4-24 กระบวนการตรวจสอบปริมาณฝุ่นที่ได้จากระบบจับฝุ่นของระบบเตาเบสิคออกซิเจนด้วยระบบ LIBS และกระบวนการบั่นก้อนฝุ่นก่อนนำไปฟื้นฟูสังกะสี

2. การจัดการน้ำเสีย (Wastewater management)

ในการจัดการน้ำเสีย (Wastewater) ที่ระบายออกจากโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า ต้องเริ่มจากการบริหารการใช้น้ำใน กระบวนการผลิตก่อนในหลักการก็คือ พยายามที่จะให้มีน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย (Zero discharge) ปัจจุบันเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้มีการพัฒนาไปมากแล้วจนกระทั่งสามารถนำน้ำเสียจาก กระบวนการผลิตมาฟอกให้สะอาดด้วยระบบขั้นต้น เช่น การตกตะกอนเอาปฏิจุลขนาดใหญ่ออกก่อน (Primary treatment) และหลังจากนั้นจึงกำจัดโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary treatment) เช่น ระบบโคแอกกูเลชัน (Coagulation) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated sludge; AS) ตามปกติเมื่อผ่านขั้นตอนของการบำบัดขั้นสองแล้วจะสามารถระบายสู่สิ่งแวดล้อมได้แล้ว หากยึดถือมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นเกณฑ์ อย่างไรก็ตามสามารถฟอกน้ำเสียต่อไปอีกด้วยระบบฟอกน้ำเสียขั้นสูง (Advanced treatment) เช่น ระบบกรอง (Filtration) ระบบดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) น้ำเสียที่ได้จะสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้ง



รูปที่ 4-25 การบริหารจัดการระบบน้ำใช้สำหรับโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าแบบบูรณาการ

รูปที่ 4-25 เป็นตัวเลขการบริหารจัดการระบบน้ำใช้สำหรับโรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าแบบ บูรณาการโดยสามารถนำน้ำเสียกลับมาใช้ทั้งหมด โดยไม่มีกระบวนการระบายน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อม (Zero discharge) จะเห็นว่าสามารถหมุนเวียนน้ำได้ถึง 97.70% น้ำชดเชยเป็นเพียงน้ำสำหรับส่วนที่ระเหยใน กระบวนการระบายความร้อน (Cooling tower) เป็นสำคัญ

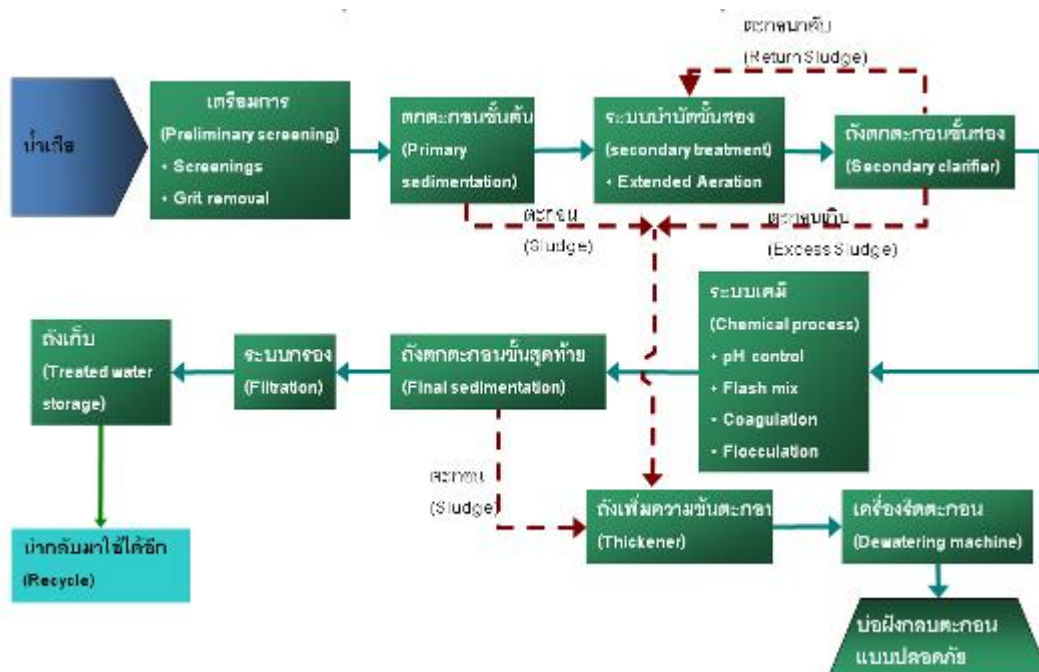
โรงถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้าปัจจุบัน นั้น แหล่ง กำเนิดของเสียแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันตามลักษณะกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของน้ำเสีย

2.1 น้ำเสียจากการอุปโภคบริโภค (สำนักงาน ที่พักอาศัย โรงอาหาร เป็นต้น)

น้ำเสียชนิดนี้มีลักษณะหรือคุณสมบัติเหมือนน้ำเสียจากบ้านเรือนทั่วไป (Domestic wastewater) การบำบัดน้ำเสียกระทำโดยใช้ระบบชีววิทยา (Biological treatment) ที่นิยมกันมาก ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบเอเอสชนิดยืดเวลา (Extended activated sludge) ซึ่งประกอบด้วย (ดูรูปที่ 4-26 ประกอบ)

- ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นเตรียมการ (Preliminary treatment) ได้แก่ การกำจัดปฏิภาณใหญ่ๆ ออกก่อน เช่น ไขมัน ขยะ ดิน ทรา ย เป็นต้น (Screenings, Grit removal)
- ระบบตกตะกอนขั้นต้น (Primary sedimentation) เป็นระบบตกตะกอนปฏิภาณที่ยังสามารถตกตะกอนได้อีก เพื่อลดความสกปรกของได้อีกด้วยวิธีการง่ายๆและใช้พลังงาน ไม่มากนัก น้ำเสียที่ผ่านระบบนี้แล้วจะมีปฏิภาณในรูปสารอินทรีย์หรือที่เรียกว่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ลดลงได้ถึง 25-30%

- ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสอง (Secondary treatment) โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสชนิดยืดเวลา (Extended activated sludge system) ซึ่งประกอบด้วย ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน ระบบนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมกับการดูดซับปฏิจุลต่างที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้สูงถึง 98% ในรูปของการลดบีโอดี
- ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced treatment) เป็นระบบที่เพิ่มเติม เพื่อต้องการนำน้ำเสียที่บำบัดขั้นที่สองกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องการคุณภาพน้ำที่มีความสะอาดสูง เพราะตามปกติน้ำเสียเมื่อผ่านระบบบำบัดขั้นที่สองแล้วสามารถระบายสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบนิเวศวิทยาอยู่แล้ว ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูงนี้โดยทั่วไปจะใช้ระบบสารเคมีเพื่อรวบรวมปฏิจุลที่เล็กมากๆ เช่น คอลลอยด์ เป็นตะกอนใหญ่ขึ้นเพื่อสะดวกในการตกตะกอน (Coagulation and flocculation) และเมื่อผ่านกระบวนการตกตะกอนแล้วน้ำเสียจะถูกนำไปผ่านการกรองอีกครั้ง ซึ่งจะเป็นการกรองแบบทั่วไปโดยใช้ทรายกรองที่เหมาะสม (Sand filtration) หรือจะมีผ่งถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เพื่อดูดซับกลิ่นและสีด้วยก็ได้ตามแต่วัตถุประสงค์ในการใช้คุณภาพน้ำที่ต้องการรีไซเคิล



รูปที่ 4-26 บล็อกไดอะแกรมระบบบำบัดน้ำเสียจากการอุปโภคบริโภค

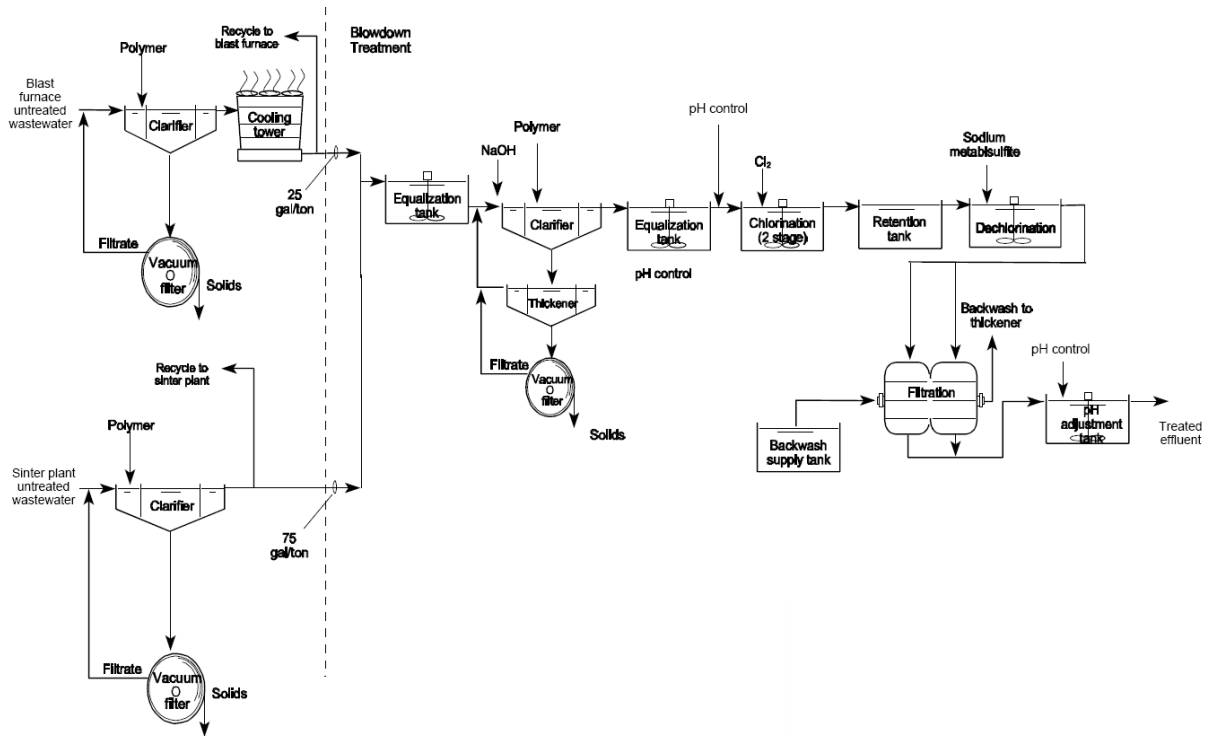
2.2 น้ำเสียจากเตาบลาสท์ (Blast furnace) และจากโรงผลิตซินเตอร์ (Sintering plant)

ตามปกติน้ำเสียจากเตาบลาสท์และโรงผลิตซินเตอร์จะถูกรวมและบำบัดในระบบร่วมกัน แหล่งกำเนิดของน้ำเสียสำคัญ ได้แก่ น้ำเสียจากระบบฟอกอากาศเสียด้วยระบบเปียก (Wet scrubber) น้ำเสียจากกระบวนการหล่อเย็น (Cooling water) และน้ำเสียจากการชะล้างใน กระบวนการผลิตต่างๆ คุณสมบัติของน้ำเสียจะมีปฏิภูลในรูปของสารอนินทรีย์สูงมาก (Inorganic pollution) การบำบัดจะใช้ระบบทางเคมีและฟิสิกส์เป็นหลัก (Physical and chemical treatment)

โรงผลิตซินเตอร์ที่ระบบการฟอกอากาศเสียเป็นชนิดระบบแห้ง เช่น ระบบจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตชนิดแห้ง (Dry electrostatic precipitator) น้ำเสียจากโรงผลิตซินเตอร์จะเป็นเพียงน้ำล้างทั่วไปซึ่งมีน้อยมากและไม่จำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำขั้นต้น (High-rate recycle system) เพื่อนำน้ำเสียกลับไปใช้ใน กระบวนการฟอกแก๊สเสีย เพราะเป็นระบบฟอกแก๊สเสียชนิดไม่ใช้น้ำ (Dry process)

คุณสมบัติน้ำเสียจากเตาบลาสท์และโรงผลิตซินเตอร์ที่ใช้ระบบฟอกแก๊สเสียด้วยระบบเปียก มีองค์ประกอบสรุปโดยสังเขป ดังนี้

- Total suspended solids (TSS)
- Ammonia
- Cyanides
- Phenolic compounds
- Heavy metal
- Oil and grease
- Dioxins and Furans



รูปที่ 4-27 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากเตาบลาสท์ (Blast furnace) และโรงผลิตซินเตอร์ (Sintering plant)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากเตาบลาสท์และโรงผลิตซินเตอร์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน (ดูรูปที่ 4-27 ประกอบ)
ขั้นตอนที่ 1

ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียอย่างรวดเร็วและใช้ระบบที่เป็นขั้นต้นของการบำบัดน้ำเสียเท่านั้น เพื่อนำน้ำเสียกลับไปใช้งานได้อย่างทันที (High-rate recycle wastewater treatment plant) ระบบในขั้นตอนที่ 1 ประกอบด้วย

- ถังตกตะกอน (Clarifier) ด้วยระบบสารเคมีช่วยตกตะกอน (Polymer)
- ตะกอนที่ได้ (จากกันถังตกตะกอน) จะถูกระบายไปรีดน้ำออก (Dewatering) ด้วยระบบรีดตะกอน ซึ่งในยุโรปนิยมใช้ระบบรีดชนิดสูญญากาศ (Vacuum filter)
- กรณีน้ำเสียจากเตาบลาสท์ เมื่อผ่านการตกตะกอนด้วยสารช่วยตกตะกอนแล้วจะต้องระบายไปเข้าระบบหล่อเย็นอีกครั้ง เพราะน้ำเสียจากเตาบลาสท์มีความร้อนค่อนข้างสูง หลังจากนั้นจึงถูกระบายกลับไปใช้ในกระบวนการของเตาบลาสท์อีกครั้ง
- กรณีน้ำเสียจากโรงผลิตซินเตอร์ซึ่งมีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก เมื่อผ่านการตกตะกอนโดยใช้สารช่วยตกตะกอนแล้ว สามารถระบายกลับเข้าไปใช้งานในโรงผลิตซินเตอร์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีระบบหล่อเย็นเหมือนกับน้ำเสียจากเตาบลาสท์

ขั้นตอนที่ 2

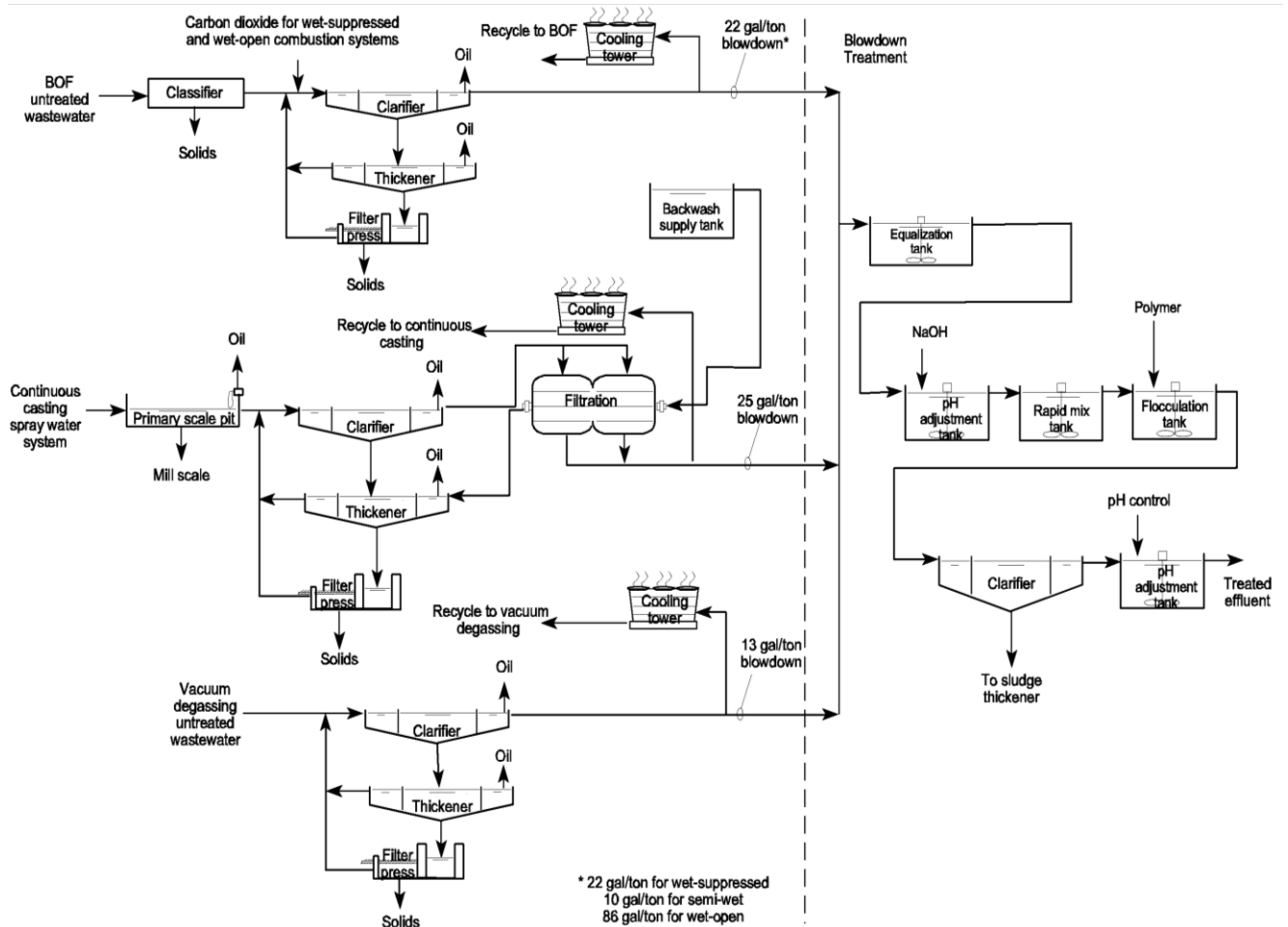
ขั้นตอนนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียในส่วนที่ต้องระบายทิ้งจากระบบในขั้นตอนที่ 1 (Blow-down treatment) กล่าวคือ น้ำที่ต้องระบายทิ้ง ที่แยกจากน้ำรีไซเคิล ของเตาบลาสท์และโรงผลิตซินเตอร์จะ ถูกระบายมารวมกันที่ถังรวบรวมน้ำเสีย เพื่อจะได้ป้อนน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ในปริมาณเท่าๆกัน ตลอดเวลาเพื่อรักษาระดับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้คงที่อยู่ตลอดเวลา เรียกกัง รวบรวมน้ำเสียชนิดนี้ว่า Equalization tank หลังจากนั้นจะเข้า กระบวนการบำบัดหรือฟอกน้ำเสียให้สะอาด โดยดำเนินการเป็นขั้นๆ ดังนี้

- ขั้นตอนตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (NaOH) และสารช่วยตกตะกอน (Polymer)
- ขั้นตอนการกำจัดไซยาไนด์ด้วยคลอรีน
- ขั้นตอนการกำจัดคลอรีนส่วนที่เหลือจากการกำจัดไซยาไนด์
- ระบบการกรองน้ำเสีย (Filtration)
- ปรับค่าความเป็นกรดและด่างให้เหมาะสมก่อนระบายสู่สิ่งแวดล้อม
- การจัดการตะกอนต่างๆด้วยวิธีการที่เหมาะสม เช่น ระบบอัดรีด (Filter press) ระบบสายพานรีด (Belt-press) ระบบรีดแบบสุญญากาศ (Vacuum filter) เป็นต้น

2.3 น้ำเสียจากเตา เบสคอกซิเจน (BOF) และโรงงานหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง (Continuous casting plant)

แหล่งกำเนิดของเสียแบ่งได้เป็น 3 แหล่งกำเนิด กล่าวคือ

- (1) น้ำเสียที่ระบายมาจากเตาเบสคอกซิเจน (BOF wastewater) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียจากกระบวนการฟอกแก๊สเสียที่เกิดจากเตาเบสคอกซิเจนด้วยระบบเปียก (Wet scrubber)
- (2) น้ำเสียจากกระบวนการหล่อเหล็กกล้าชนิดต่อเนื่อง (Continuous casting plant) เป็นน้ำเสียของกระบวนการหล่อเย็นชนิดฉีดน้ำล้างไปบนกระบวนการผลิตโดยตรง (Direct cooling system)
- (3) น้ำเสียจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็กกล้า (Molten steel) ด้วยระบบการกำจัดฟองอากาศในน้ำเหล็กกล้า (Vacuum degreasing system)



รูปที่ 4-28 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งกำเนิด 3 แหล่ง ได้แก่ จากเตาเบสออกซิเจน (BOF system) โรงหล่อเหล็กกล้าชนิดต่อเนื่อง (Continuous casting spray waste system) และระบบไล่อากาศในน้ำเหล็กกล้า (Vacuum degassing system)

หลักการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งที่มา ทั้ง 3 มีลักษณะใกล้เคียงกับการบำบัดน้ำเสียจากเตาเบสลาสต์ (BF) และโรงผลิตซินเตอร์ (Sintering plant) กล่าวคือ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน (ดูรูปที่ 4-28 ประกอบ)

ขั้นตอนที่ 1

เป็นการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณสมบัติในระดับที่สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องการคุณภาพน้ำที่มีความสะอาดสูงมาก (High-rate recycles)

1) การบำบัดน้ำเสียของระบบ BOF

ใช้ระบบตกตะกอนขั้นต้นก่อน เพื่อกำจัดปฏิกูลขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย (Primary solid removal) และตามด้วยระบบตกตะกอนคุณภาพสูง (High efficiency clarifier) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถกำจัดน้ำมันได้ด้วย ก่อนน้ำเสียจะเข้าระบบตกตะกอนขั้นสูงจะมีการฉีดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เข้าไปในน้ำเสียเพื่อรักษาค่า pH ในระดับที่ไม่ทำให้เกิดสเกล (Scale forming ions) หลังจากนั้นน้ำเสียส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับไปใช้งานอีกครั้งโดยผ่านหอระบายความร้อน (Cooling tower) อีกส่วนหนึ่งจะถูกระบายไปบำบัดขั้นสูง (ขั้นตอนที่ 2)

- ก่อนระบายทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างปลอดภัย (Blow-down treatment) ตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียขั้นนี้จะถูกนำไปจัดการด้วยระบบรีดตะกอน (Dewatering) ต่อไป
- 2) การบำบัดน้ำเสียที่ระบบ Vacuum degreasing
- เป็นการจัดการน้ำเสียด้วยระบบการตกตะกอนคุณภาพสูง (High efficiency clarifier) ระบบหอระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็น (Cooling tower) ระบบรีดตะกอน (Sludge dewatering) น้ำเสียที่บำบัดในขั้นตอนนี้แล้วส่วนหนึ่งถูกนำไปรีไซเคิล อีกส่วนหนึ่งนำไปบำบัดขั้นสูง (ขั้นตอนที่ 2) ก่อนระบายสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างปลอดภัย (Blow-down treatment)
- 3) การบำบัดน้ำเสียที่ระบบ Continuous casting
- เป็นกระบวนการเตรียมน้ำเสียก่อนรีไซเคิลด้วยระบบบ่อกำจัดสนิมเหล็กและน้ำมัน (Primary scale pit) สิ่งที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย ด้วยบ่อกำจัดสนิมเหล็กและน้ำมัน ได้แก่ เม็ดสนิมเหล็ก (Mill scale) และน้ำมันต่างๆ (Oil and grease) และตามด้วยระบบตกตะกอนขั้นต้น (Primary clarifier) เพื่อตกตะกอนปฏิกูลหยาบออก (Coarse solid) หลังจากนั้นน้ำเสียจะถูกระบายเข้าระบบกรองด้วย การกรองเป็นชั้นๆ หลายประเภท (Multi-media filter) เมื่อน้ำเสียผ่านระบบกรองแล้ว ส่วนหนึ่งจะถูกสูบไปเข้าระบบหล่อเย็น (Cooling tower) ก่อนถูกรีไซเคิลเข้าระบบหล่อเหล็กกล้า อีกส่วนหนึ่งจะระบาย ไปบำบัดขั้นสูง (ขั้นตอนที่ 2) น้ำล้างกรอง (backwashing water) จะถูกระบายเข้าถังลด ปริมาตรตะกอน (Thickener) ตะกอนเมื่อถูกลดปริมาตรลงแล้วจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นจะถูกนำไปรีดน้ำออก (Dewatering) ด้วยระบบ Filter press หรือระบบอื่นๆ ตามความเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2

- เป็นขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากน้ำทิ้งจากการบำบัดในขั้นตอนที่ 1 ระบบที่ใช้บำบัด ได้แก่
- ถึงรวบรวมน้ำเสียเพื่อระบายน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียอย่างสม่ำเสมอ (Equalization tank)
 - ถึงปรับ pH ให้เหมาะสมกับการตกตะกอน สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ NaOH เป็นต้น
 - ถึงกวนเร็วผสมสารเคมีกับน้ำเสีย (Rapid mixing tank)
 - ถึงสร้างตะกอน (ถึงกวนช้า) โดยใช้สารช่วยตกตะกอน (Flocculation tank with polymer)
 - ถึงตกตะกอนปฏิกูลต่างๆ โดยเฉพาะโลหะหนัก (Clarifier)
 - ถึงปรับค่า pH ก่อนระบายน้ำบำบัดความใสโครกแล้วสู่สิ่งแวดล้อม (pH adjustment tank)
 - ตะกอนจากถึงตกตะกอนนำไปเข้าถังลดปริมาตรตะกอนและระบบรีดตะกอน เช่นเดียวกับกระบวนการในขั้นตอนที่ 1

2.4 การจัดการน้ำเสียจากโรงผลิตถ่านโค้ก (Wastewater from Coking plant)

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เกี่ยวกับ กระบวนการผลิตของระบบผลิตถ่านโค้กและแหล่งกำเนิดของเสีย โดยเฉพาะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตถ่านโค้ก ซึ่งแบ่งได้เป็น 7 แหล่งกำเนิด

- (1) น้ำเสียจากระบบจับฝุ่นแบบเปียก (Scrubber) ในกระบวนการให้ความร้อนถ่านหินก่อนป้อนเข้าเตาผลิตถ่านโค้กและกระบวนการป้อนถ่านหิน (Preheat and charging)
- (2) น้ำเสียจากแหล่งปลักย่อยในกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (Miscellaneous process waste)
- (3) น้ำเสียจากกระบวนการแยกน้ำแอมโมเนียออกจาก Tar (Waste ammonia liquor)
- (4) น้ำเสียจากกระบวนการแยกเบนซีน (Benzene plant waste)
- (5) น้ำเสียจากกระบวนการลดความร้อนแก๊สเสีย ขั้นสุดท้ายของเตาผลิตถ่านโค้ก (Final cooler blow-down)
- (6) น้ำเสียจากกระบวนการกำจัดแอมโมเนียและได้ผลพลอยได้เป็นแอมโมเนียซัลเฟต (Ammonia sulfate crystallizer blow-down)
- (7) น้ำเสียจากระบบป้องกันการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน (Ground water remediation)

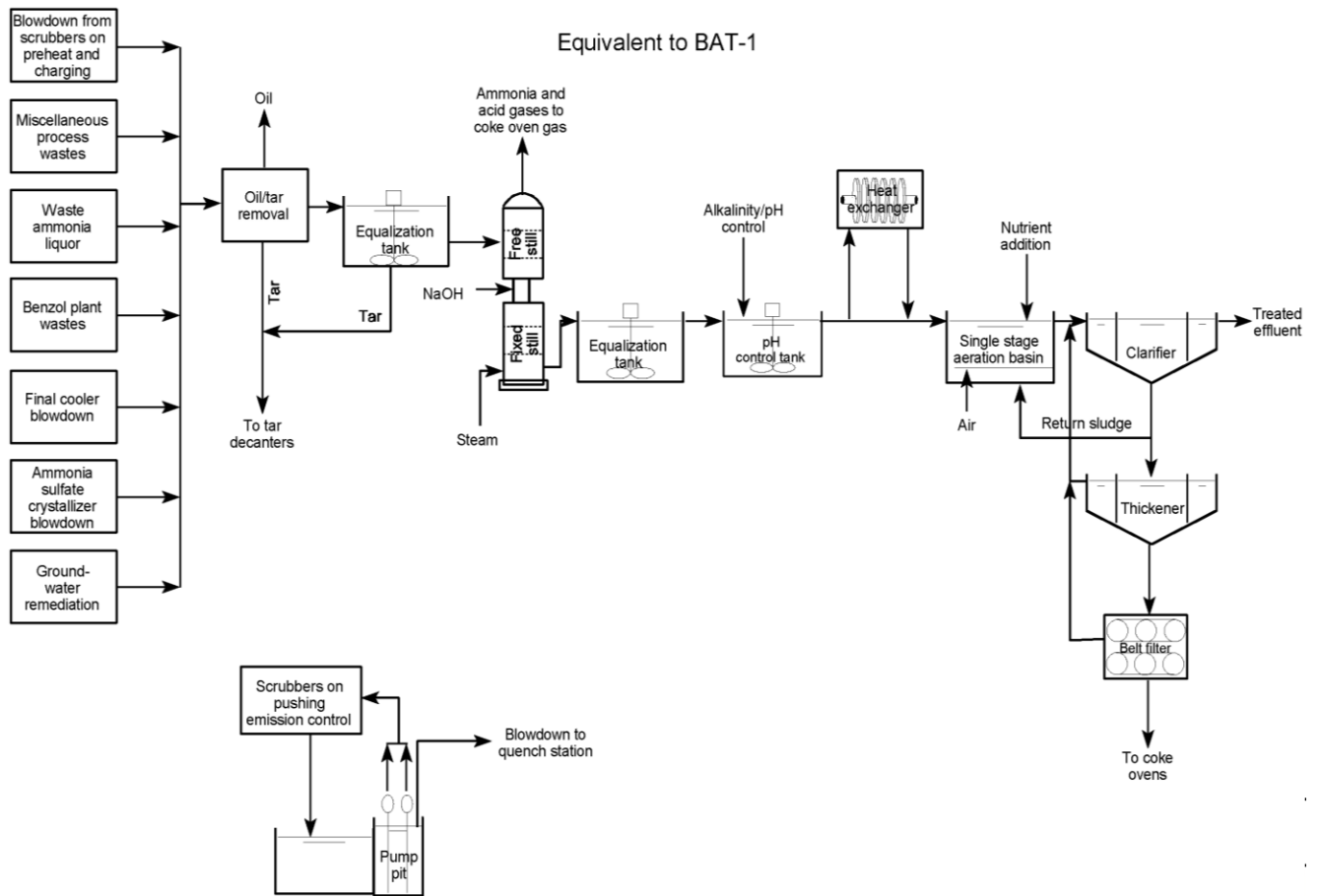
ในการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน กล่าวคือ

ขั้นตอนที่ 1 (ดูรูปที่ 4-29 ประกอบ)

เป็นขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบชีววิทยา (Biological treatment) ซึ่งระบบชีววิทยาที่ใช้และประสบความสำเร็จ ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบเอเอส ชนิดยืดเวลา (Extended activated sludge process) ซึ่งต้องการให้ปฏิกิริยาการบำบัดแอมโมเนียมีความสัมฤทธิ์ผลมากที่สุด (Nitrification) อย่างไรก็ตามในการใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบเอเอส ชนิดยืดเวลานี้จะต้องมีการเตรียมน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งกระทำดังต่อไปนี้

- ต้องติดตั้งระบบกำจัดน้ำมันประเภทต่างๆ ออกจากน้ำเสียก่อน (Oil / tar removal)
- น้ำเสียที่ระบายออกจากโรงผลิตถ่านโค้กจะมีแอมโมเนียอยู่ในเกณฑ์สูงมาก ซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ชีพในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบเอเอส ชนิดยืดเวลา ดังนั้นน้ำเสียจะต้องผ่านระบบสกัดแอมโมเนียออก โดยใช้หอสกัดแอมโมเนีย (Fixed and free still stripper) ซึ่งกระตุ้นหรือเร่งการระเหยออกของแก๊สแอมโมเนียในระบบสกัดแอมโมเนียด้วย NaOH และไอน้ำ (Steam)
- ปรับค่า pH ให้เหมาะสมและเติมสารอาหาร (Nutrient) ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คุณสมบัติของน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับระบบเลี้ยงตะกอนแบบยืดเวลา (BOD:N:P)

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนนี้ ได้แก่ การกำจัดแอมโมเนียอิสระและแอมโมเนียที่ไม่อิสระ (Free and fixed ammonia) ร่วมๆกับการกำจัดไซยาไนด์ที่หอสกัดแอมโมเนีย (Ammonia distillation or stripping) นอกจากนั้นสารระเหย (Volatile) และสารกึ่งระเหย (Semi-volatile) เช่น naphthalene, PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon) ก็ถูกกำจัดที่ขั้นตอนนี้ด้วย



รูปที่ 4-29 แหล่งที่มาของน้ำเสียจากระบบผลิตถ่านโค้ก การเตรียมการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสชนิดยืดเวลา

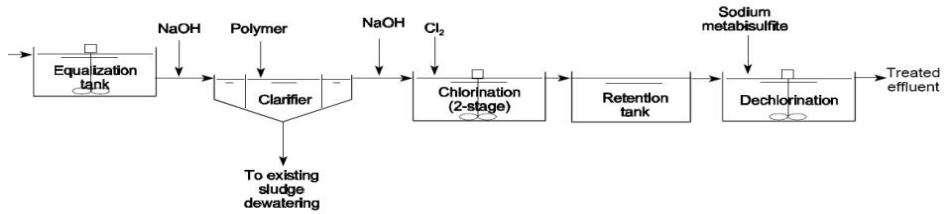
ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยาแบบเอเอสชนิดยืดเวลา (Extended activated sludge) สามารถกำจัดแอมโมเนีย ไซยาไนต์ ฟีนอล และสารอินทรีย์บางชนิด เช่น benzene (a) pyrene และ naphthalene ได้เพิ่มขึ้นอีก นอกเหนือจากระบบสกัดแอมโมเนีย (Stripper) ที่ได้กล่าวมาแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 (ดูรูปที่ 4-30 ประกอบ)

เป็นระบบที่เพิ่มเติมขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง เพื่อให้เกิดความมั่นใจมากขึ้นในการกำจัดแอมโมเนีย ไซยาไนต์ โดยการเติมคลอรีนไม่ว่าจะเป็นในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) หรือแก๊สคลอรีน (Cl₂) ให้มากพอจนผ่านจุดสมบูรณทางปฏิกิริยาเคมี (Breaking point)

- แอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนและกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และน้ำ
- ไซยาไนต์ถูกเปลี่ยนเป็นไบคาร์บอเนตและแก๊สไนโตรเจน ซึ่งทำให้หมดสภาพความเป็นพิษ

Alkaline Chlorination

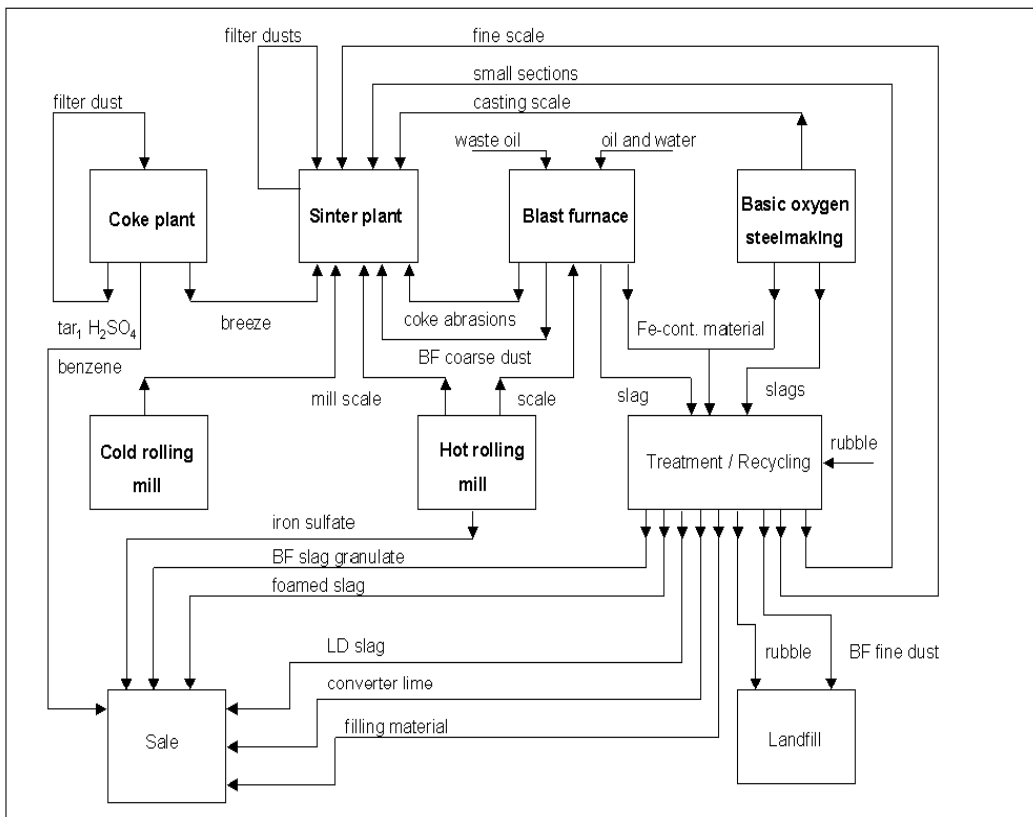


รูปที่ 4-30 กระบวนการกำจัดไซยาไนด์ ฟีนอล ด้วยระบบการเติมคลอรีน ที่มากเกินพอ (Chlorine breaking point) และการปรับ pH ให้เหมาะสมด้วย NaOH

3. การจัดการกากอุตสาหกรรมและผลพลอยได้ (Solid residues และ by-products)

ในการจัดการกากอุตสาหกรรมของกระบวนการอุตสาหกรรมเหล็กแบบบูรณาการ (Integrated steelwork) อยู่ที่เทคนิคขั้นสูงในการสกัดสารมีค่าจากสแลกและการรีไซเคิลกากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ฝุ่น (Dust) ตะกอน (Sludge) ผงสนิมเหล็กจากโรงงานต่างๆ (Mill scale)

รูปที่ 4-31 แสดงการบริหารจัดการกากอุตสาหกรรมและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเหล็กแบบบูรณาการ



รูปที่ 4-31 การบริหารจัดการกากอุตสาหกรรมและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเหล็กแบบบูรณาการ

นอกจากการพยายามรีไซเคิลสารและกากอุตสาหกรรมใน กระบวนการผลิตแล้ว กากอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น Alkali chlorides และ heavy metal chlorides จากห้องจับฝุ่นท้ายๆของระบบจับฝุ่นละอองด้วยไฟฟ้าสถิต (The last field of electrostatic precipitators) จะถูกนำไปฝังกลบให้ถูกวิธี เพราะสารเหล่านี้จะเป็นปัญหากับการทำงานของ ESP และการรีไซเคิลเป็นเวลานานจะเป็นผลต่อคุณภาพของเหล็กได้

ตารางที่ 4-1 แสดงการจัดการกากอุตสาหกรรมและผลพลอยได้

ตารางที่ 4-1 การจัดการกากอุตสาหกรรมและผลพลอยได้

กระบวนการผลิต	ชนิดของกาก / ผลพลอยได้	การจัดการ
โรงผลิตถ่านโค้ก (Coke plant)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ฝุ่นจากระบบจับฝุ่น (filter dust) 2. เม็ดถ่านโค้กขนาดเล็ก (Coke breeze) 3. Tar, H₂SO₄ หรือ S (brimstone) 4. Benzene 5. (NH₄)₂SO₄ 	<p>รีไซเคิลภายในโรงผลิตถ่านโค้ก</p> <p>รีไซเคิลไปที่โรงผลิตซินเตอร์</p> <p>ขาย</p> <p>ขาย</p> <p>ขาย</p>
โรงผลิตซินเตอร์ (Sinter plant)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ฝุ่นจากระบบจับฝุ่น (filter dust) 	รีไซเคิลภายในโรงผลิตซินเตอร์
เตาบลาสท์ (Blast Furnace)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ฝุ่นที่เกิดจากการเสียดสีของถ่านโค้กขณะขนส่ง-ขนถ่าย (Coke abrasions) 	รีไซเคิลไปยังโรงผลิตซินเตอร์
	<ol style="list-style-type: none"> 2. ฝุ่นจากระบบจับฝุ่นหยาบ (BF Coarse dust) 	รีไซเคิลไปยังโรงผลิตซินเตอร์
	<ol style="list-style-type: none"> 3. เศษเหล็กถลุงจาก กระบวนการผลิต(Fe-Cont. material) 4. สแลกเตาบลาสท์ (BF slag) 	รีไซเคิลไปยังโรงงานปรับปรุงคุณภาพกากอุตสาหกรรมและรีไซเคิล ไปยังโรงผลิตซินเตอร์ (Treatment / recycle)
เตา เบสิคออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace)	<ol style="list-style-type: none"> 1. สแลกจากเตา เบสิคออกซิเจน (BOF slag) 2. เศษเหล็กกล้าจากเตาเบสิคออกซิเจน (Fe-Cont. material) 	รีไซเคิลไปยังโรงงานปรับปรุงคุณภาพกากอุตสาหกรรมและรีไซเคิล ไปยังโรงผลิตซินเตอร์ (Treatment / recycle)
	<ol style="list-style-type: none"> 3. ผงเหล็กจาก กระบวนการหล่อเหล็กกล้าแบบต่อเนื่อง (Casting scale) 	รีไซเคิลไปยังโรงผลิตซินเตอร์

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

กระบวนการผลิต	ชนิดของกาก / ผลพลอยได้	การจัดการ
โรงงานปรับปรุงคุณภาพกากอุตสาหกรรมและรีไซเคิล (Treatment / recycle)	<ol style="list-style-type: none"> 1. สแลกเม็ดจากเตาบลาสท์ (BF Slag Granulate) 2. สแลกจากเตาบลาสท์ที่มีลักษณะเป็น foamed slag 3. สแลกจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเหล็ก (LD slag) 4. ปูนขาวที่เหลือใช้ในกระบวนการเตาเบสิคออกซิเจน (Converter Lime) 5. เศษวัสดุต่างๆที่ปะปนกันและสามารถใช้เป็นวัสดุถม ที่ได้ (Filling material) 	ขาย
	<ol style="list-style-type: none"> 6. เศษวัสดุที่เกิดจากการล่องหล่นหรือผุกร่อน (Rubble) เช่น เศษปูนขาวที่ล่องหล่น เศษอิฐ เป็นต้น 7. ฝุ่นที่ละเอียดมากจากเตาบลาสท์ (BF fine dust) 	ฝังกลบ

หมายเหตุ กากอุตสาหกรรมที่ไม่สามารถ Recycle ได้ จะต้องถูกระบายไปทั้งยัง Secure landfill

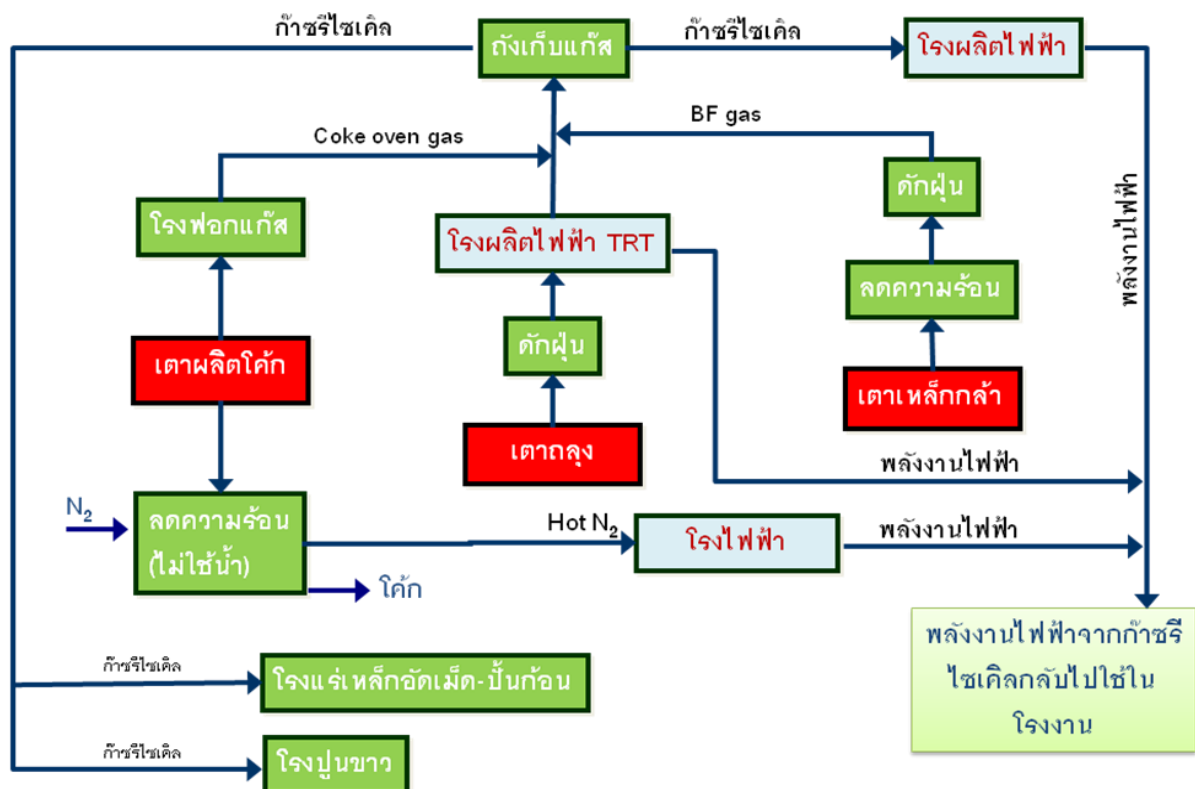
บทที่ 5

การอนุรักษ์พลังงานและการส่งเสริมระบบนิเวศวิทยา ของอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า (Energy and ecological conservation)

เนื่องจากอุตสาหกรรมเหล็กต้องใช้พลังงานเป็นอย่างมากในกระบวนการถลุงเหล็ก กระบวนการผลิตเหล็กกล้า กระบวนการหล่อเหล็กกล้า กระบวนการรีดร้อน กระบวนการรีดเย็น เป็นต้น ดังนั้นในการวางแผนอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กจึงมีความสำคัญมากเพราะจะเป็นการส่งเสริมการลดปัญหาโลกร้อน (Global warming) ซึ่งกำลังเป็นภัยคุกคามต่อมนุษยชาติและเป็นสิ่งที่ทุกฝ่ายกำลังช่วยกันบรรเทา

1. การนำแก๊สเสียจากกระบวนการผลิตมารีไซเคิล

แก๊สเสียที่ระบายออกจากกระบวนการผลิตต่างๆ ได้แก่ จากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke oven gas) เตาบลาสท์ (BF gas) เตาเบสิคออกซิเจน (BOF gas) แก๊สเสียเหล่านี้มีค่าความร้อน (Heating value) ค่อนข้างสูง เพราะมี H_2 , CO , CH_4 และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นภายหลังจากการฟอกให้สะอาดแล้วแก๊สเหล่านี้จะถูกนำกลับมาใช้งานเป็นเชื้อเพลิงได้อีก



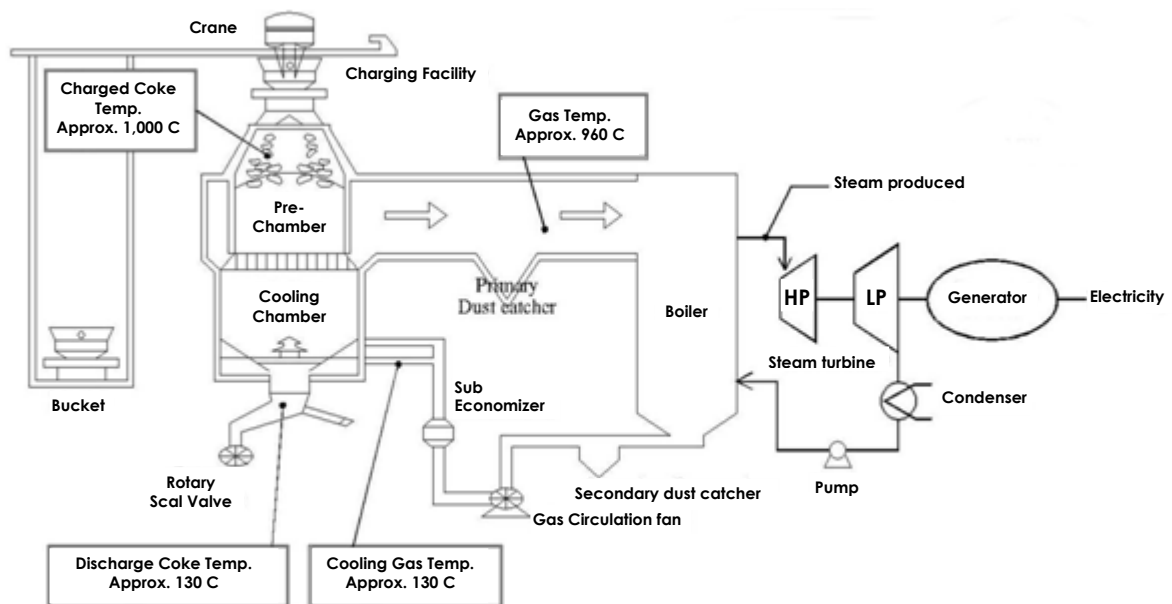
รูปที่ 5-1 การรีไซเคิลแก๊ส เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง การนำความร้อนส่วนเกินกลับมาใช้ การใช้แรงดันส่วนเกินกลับมาใช้

จากรูปที่ 5-1 จะเห็นว่าแก๊สร้อนที่ระบายออกจากเตาผลิตถ่านโค้ก เตาบลาสท์ และเตาเบสิคออกซิเจน ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 4,000 kcal/m³ 900 kcal/m³ และ 2,000 kcal/m³ ตามลำดับ ภายหลังจากผ่านกระบวนการฟอกเพื่อกำจัดมลภาวะต่างๆแล้วจะถูกนำกลับไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อีก ทั้งการใช้โดยตรงกับหัวเผาในกระบวนการผลิตหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงต้มน้ำ (Boiler) ผลิตไอน้ำไปหมุนเทอร์ไบน์เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

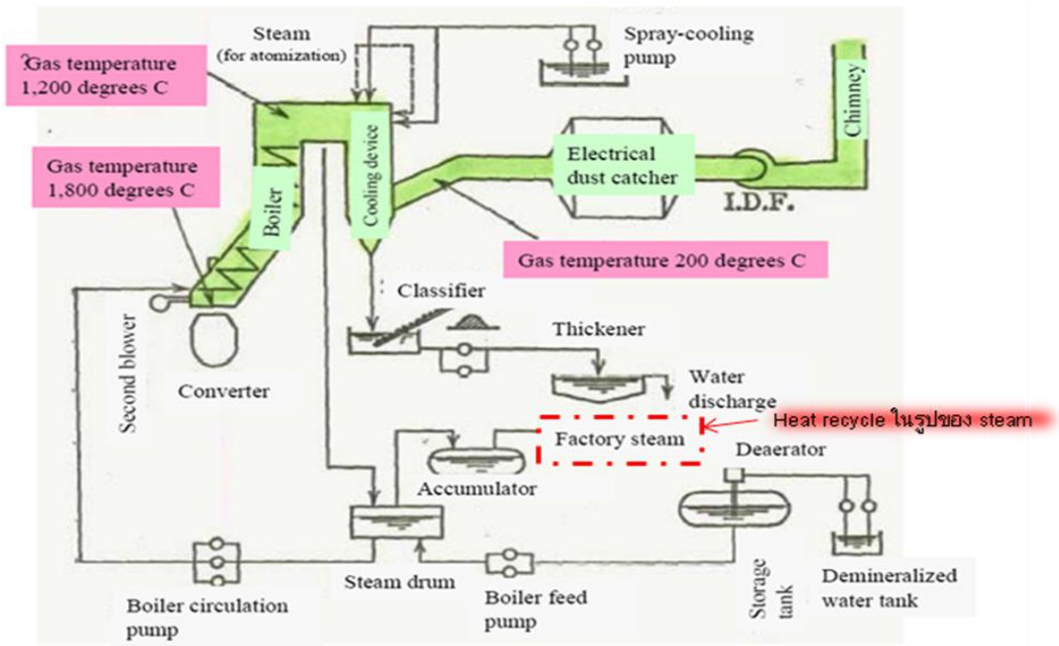
2. การนำความร้อนส่วนเกินกลับมาใช้งาน (Waste heat recycle)

พลังงานความร้อนส่วนเกินจาก กระบวนการผลิตเหล็กต่างๆได้ถูกนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง เพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า

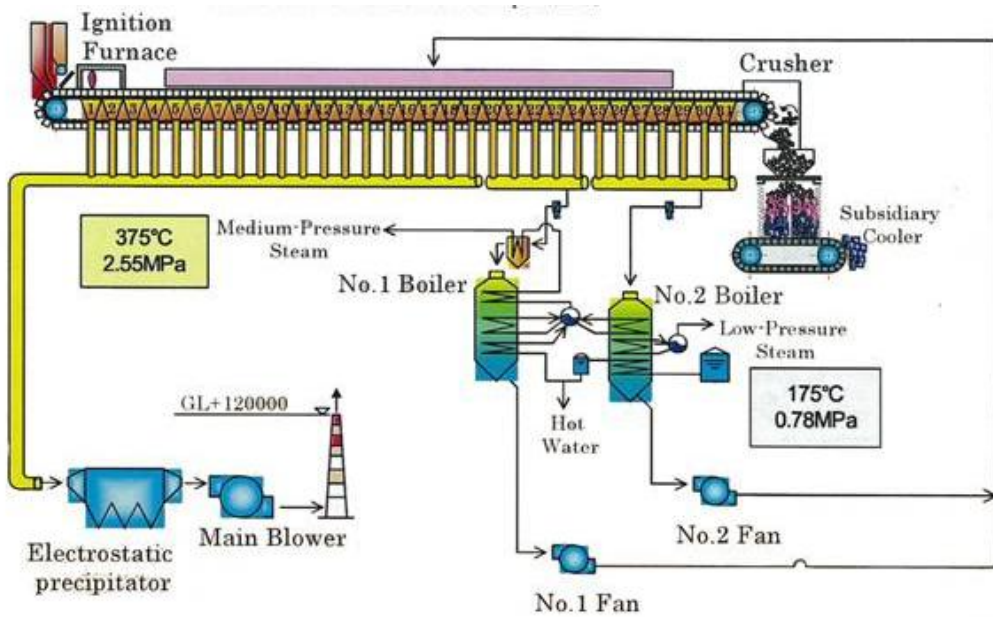
- (1) ความร้อนจากถ่านโค้กที่ร้อนที่ถูกนำไปใช้ผลิตไฟฟ้า (ดูรูปที่ 5-2 ประกอบ)
- (2) ความร้อนจากแก๊สร้อนที่ระบายออกจากเตาเบสิคออกซิเจนถูกนำไปผลิตไอน้ำ (Stream) ใช้ในกระบวนการผลิต (ดูรูปที่ 5-3 ประกอบ)
- (3) ความร้อนจากกระบวนการลดความร้อนของซินเตอร์ที่ออกมาจากเตาผลิตซินเตอร์ ซึ่งนำไปใช้ผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิต (ดูรูปที่ 5-4 ประกอบ)



รูปที่ 5-2 การรีไซเคิลความร้อนจากถ่านโค้กที่ร้อนที่ทำให้เย็นด้วยระบบลดความร้อนแบบแห้ง (Dry quenching process)



รูปที่ 5-3 การรีไซเคิลความร้อนจากเตาเบสิคออกซิเจนผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 5-4 การรีไซเคิลความร้อนจาก กระบวนการลดความร้อนของแร่ซินเตอร์ ขณะออกจากรางผลิตแร่ซินเตอร์ใหม่ ๆ เพื่อผลิตไอน้ำ (Steam 175°C) ใช้ในกระบวนการผลิต

3. การใช้แรงดันส่วนเกินของแก๊สร้อนที่ระบายออกจากเตาบลาสท์ (BF gas)

แรงดันสูงที่ปากเตาบลาสท์ ประมาณ 250 KPa ก็สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก โดยผ่านเทอร์โบแรงดัน (Pressured turbine) เพื่อหมุนขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (มักนิยมเรียกกันว่า Top Recovery Turbine หรือ TRT) (ดูรูปที่ 5-5 ประกอบ)



รูปที่ 5-5 การติดตั้ง Top Recovery Turbine เพื่อการใช้ประโยชน์แรงดันส่วนเกินที่เกิดจากการระบาย แก๊สจากปากเตาบลาสท์มาผลิตไฟฟ้าใช้ในกระบวนการผลิต

4. การจัดการสแลก (Slag) และการผลิตปูนซีเมนต์จากสแลกช่วยลด CO₂ ได้ถึง 40% ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปกติ

สแลกที่เกิดจากกระบวนการถลุงเหล็กและผลิตเหล็กกล้า แบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามแหล่งที่มา

(1) สแลกจากเตาบลาสท์ (BF Slag)

เกิดจากกระบวนการหลอมสินแร่เหล็ก พร้อมกับการดึงออกซิเจนและมลทินต่างๆออกจากสินแร่เหล็ก โดยใช้ถ่านโค้กและหินปูนที่เรียกว่ากระบวนการ Carburization ในกระบวนการนี้จะได้สแลกที่มีองค์ประกอบของฟลักซ์ที่หลอมเหลว ได้แก่ CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ เป็นสำคัญ

ตารางที่ 5-1 แสดงองค์ประกอบของ BF slag (Typical chemical composition)

ตารางที่ 5-1 องค์ประกอบทางเคมีของ BF Slag

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
1. CaO	35-48
2. MgO	3-14
3. SiO	28-42
4. Al ₂ O ₃	6-22
5. FeO	0-2
6. TiO ₂	0.5-2.0
7. MnO	0-1.5
8. S	0.1-1.3

(2) สแลกจากเตาเบสคอกออกซิเจน (BOF slag)

เกิดจากการเติมออกซิเจนไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการถลุงเหล็ก (Carburization) โดยใช้ปูนขาวเป็นฟลักซ์ในปฏิกิริยานี้ นอกจากคาร์บอนที่ลดลงจากปริมาณ 4-5% เหลือไม่ถึง 1% แล้ว ยังเกิดออกไซด์ของสารต่างๆ ซึ่งรวมทั้งออกไซด์ของเหล็กในปริมาณที่เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 5-2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ BOF slag ซึ่งเป็นที่สังเกตได้ว่าค่า FeO และ Fe₂O₃ มีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 5-2 องค์ประกอบทางเคมีของ BOF Slag

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
1. CaO	43-58
2. SiO ₂	12-16
3. Al ₂ O ₃	2-3.8
4. FeO	7.9-19
5. Fe ₂ O ₃	3-11
6. MgO	2.3-13
7. MnO	0.9-4.0
8. P ₂ O ₅	0.5-4.7

การจัดการกับสแลกจากเตาบลาสท์และสแลกจากเตาเบสคอกออกซิเจน โดยทั่วไปกระทำตามรูปที่ 5-6 กล่าวคือ

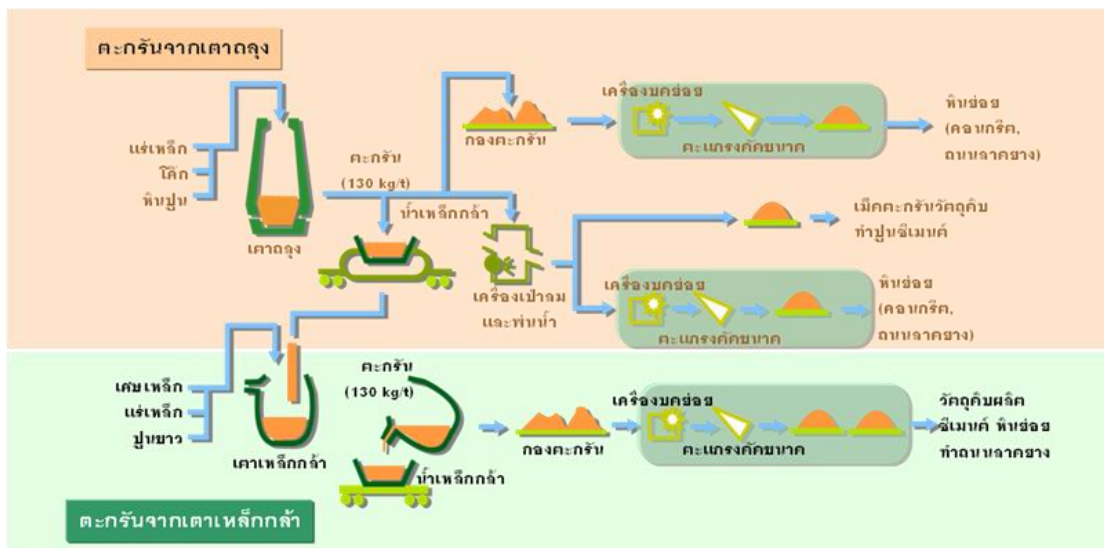
4.1 การจัดการ BF Slag

กรณีนำสแลกไปปล่อยให้เย็นลงในบ่อทิ้งสแลก (Cooling yard or coking pit) โดยวิธีธรรมชาติ (Air cooling) สแลกประเภทนี้จะเป็นก้อนใหญ่และต้องนำไปบดก้อนเล็ก (Crushing) และคัดขนาดต่างๆไว้ เพื่อนำไปใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เป็นคอนกรีต ในกรณีที่ระบายสแลกร้อนเข้าไปโรงงานสแลกเม็ด (Granulation plant) จะได้

สแลกเป็นเม็ดเล็ก นอกจากจะสามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้แล้วยังสามารถนำไปบดเป็นปูนซีเมนต์ได้ด้วย (Slag cement)

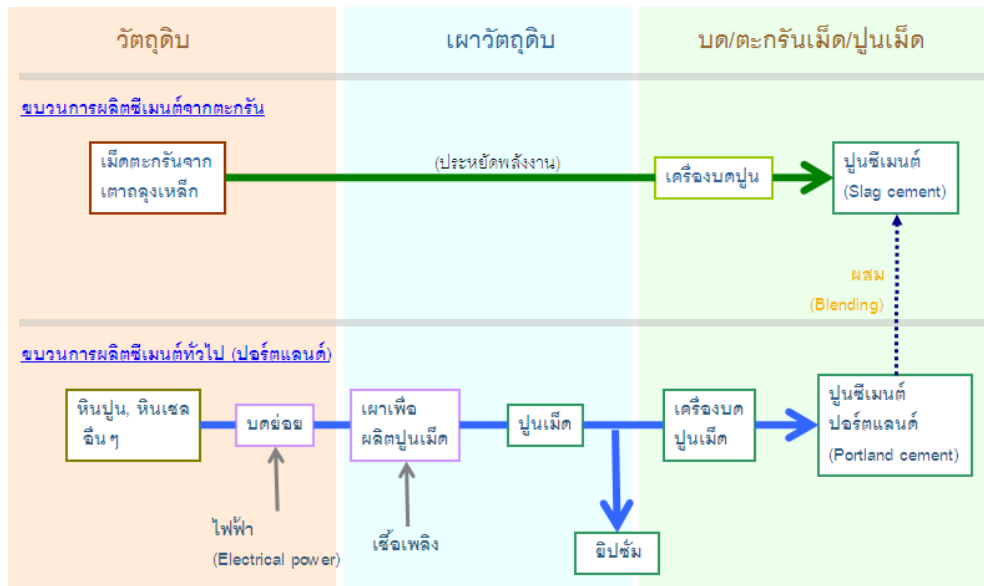
4.2 การจัดการ BOF Slag

สแลกประเภทนี้ตามปกติจะถูกระบายไปลงบ่อทิ้งสแลก (Slag pit) และปล่อยให้เย็น โดยอาศัยอากาศ (Air cool) และน้ำ หากองค์ประกอบมี FeO , Fe_2O_3 , ค่อนข้างสูง มักนิยมนำไปแยกส่วนที่เป็น FeO และ Fe_2O_3 ออกด้วยระบบแยกเหล็ก (Metallic recovery plant) และนำส่วนนี้ไปรีไซเคิลในเตาเบสิค ออกซิเจน (BOF) ส่วนที่มี FeO และ Fe_2O_3 ต่ำจะถูกนำไปบดย่อยเป็นหินเกรดต่างๆ ใช้ผสมยางมะตอยทำถนนลาดยางหรือใช้เป็นวัสดุรองรับถนนลาดยางได้ สิ่งที่ต้องระมัดระวังก็คือ สแลกจากเตาเบสิคออกซิเจนจะมีส่วนที่เป็นปูนขาว (CaO) สูงมากและยังเป็นสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้อีก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำสแลกประเภทนี้ไปผสมปูนซีเมนต์ เพื่อผลิตคอนกรีต



รูปที่ 5-6 การจัดการ BF Slag และ BOF Slag

การจัดการสแลกที่น่าสนใจ ได้แก่ การนำสแลกเม็ด (Granulated Slag) จากเตาบลาสที่ไปบดย่อยเป็นปูนซีเมนต์ เรียกว่า Slag cement ซึ่งถ้าพิจารณาจากรูปที่ 5-7 แล้วจะเห็นว่าสามารถผลิตปูนซีเมนต์จาก สแลก โดยลดการปล่อย CO_2 ได้ถึง 40% เมื่อเทียบกับการผสมปูนซีเมนต์แบบปกติ

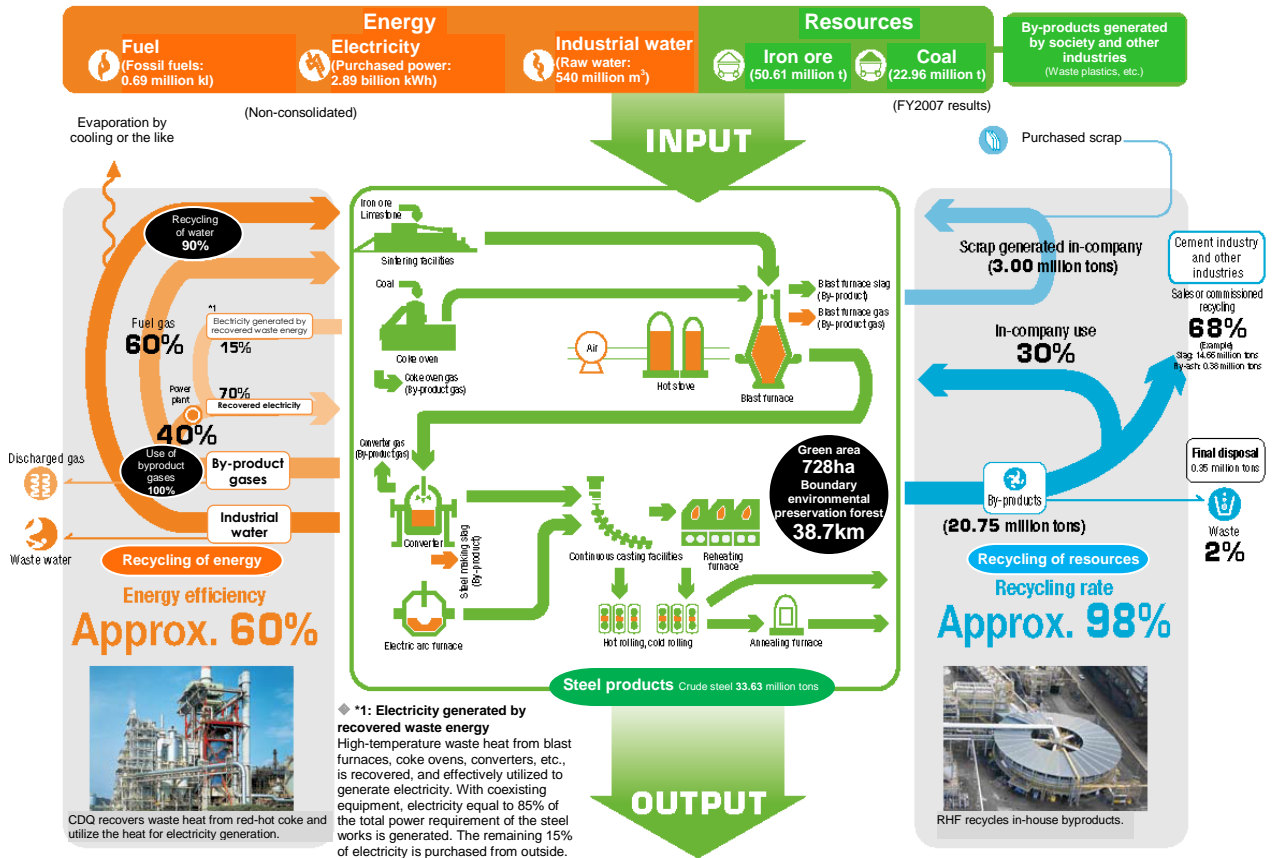


รูปที่ 5-7 การผลิตปูนซีเมนต์จาก BF Slag ซึ่งสามารถลดการปล่อย CO₂ ได้ถึง 40% ของการผลิตตามปกติ

5. การบริหารจัดการด้านพลังงานและทรัพยากรต่าง ๆ ภายในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กครบวงจร (Energy and Resources management)

การบริหารจัดการด้านพลังงานและการจัดการทรัพยากรต่าง ๆ ในรูปอุตสาหกรรมเหล็กครบวงจรขนาดใหญ่ได้ถูกพัฒนาไปมากและสามารถอยู่ร่วมกับชุมชนพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันได้เป็นอย่างดีหรือที่เรามักเรียกกันว่าเป็นอุตสาหกรรมเชิงนิเวศน์ หรือ Eco-industrial complex

รูปที่ 5-8 เป็นตัวอย่าง แสดงการบริหารจัดการด้านพลังงานและทรัพยากรต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก Nippon steel ในประเทศญี่ปุ่นที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างยิ่ง โรงงาน Nippon steel มีขนาดกำลังการผลิตอยู่ในอันดับ 1 ใน 10 ของโลกและสามารถอยู่ร่วมกับชุมชนได้ องค์ประกอบของโรงงานมีทั้งอุตสาหกรรมเหล็กต้นน้ำ (Upstream) และปลายน้ำ (Downstream) เช่น โรงผลิตถ่านโค้ก (Coking plant) โรงผลิตซินเตอร์ (Sintering plant) เตาบลาสท์ (Blast furnace) เตาเบสิคออกซิเจน (Converter) โรงหล่อเหล็กกล้าชนิดต่อเนื่อง (Continuous casting plant) โรงหล่อเหล็กกล้าชนิดใช้เตาอิเล็กทรอนิกส์อาร์ค (EAF) โรงรีดร้อน (Hot rolling plant) โรงรีดเย็น (Cold rolling plant) เป็นต้น โรงงานดังกล่าวมีกำลังผลิตเหล็กกล้า (Crude steel) ได้ 31.67 ล้านตันต่อปี



รูปที่ 5-8 ตัวอย่างการบริหารจัดการด้านพลังงาน การบริหารจัดการทรัพยากร/กากและของเสียต่างๆของอุตสาหกรรมเหล็ก Nippon steel

5.1 การบริหารจัดการด้านพลังงาน

การบริหารจัดการด้านพลังงาน (Energy management) ได้มีการนำแก๊สเสียมาฟอกให้สะอาดและนำกลับมาใช้งานโดยส่วนหนึ่ง (60%) นำกลับไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิต อีกส่วนหนึ่ง (40%) นำไปผลิตไฟฟ้าใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

จะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (100%) 70% ผลิตจากแก๊สที่รีไซเคิล 15% ผลิตจากความร้อนส่วนเกิน เช่น จากเตาอบพลาสติก เตาผลิตถ่านโค้ก เตาเบสคอกออกซิเจน ซึ่งรวมกันแล้วสามารถผลิตไฟฟ้าใช้ตัวเอง สูงถึง 85% ด้วย โดยการรีไซเคิลแก๊สเสียและความร้อนส่วนเกินที่เหลืออีก 15% ซื้อจากระบบผลิตไฟฟ้าภายนอก (Outsource)

5.2 การบริหารจัดการด้านน้ำดิบ (Raw water)

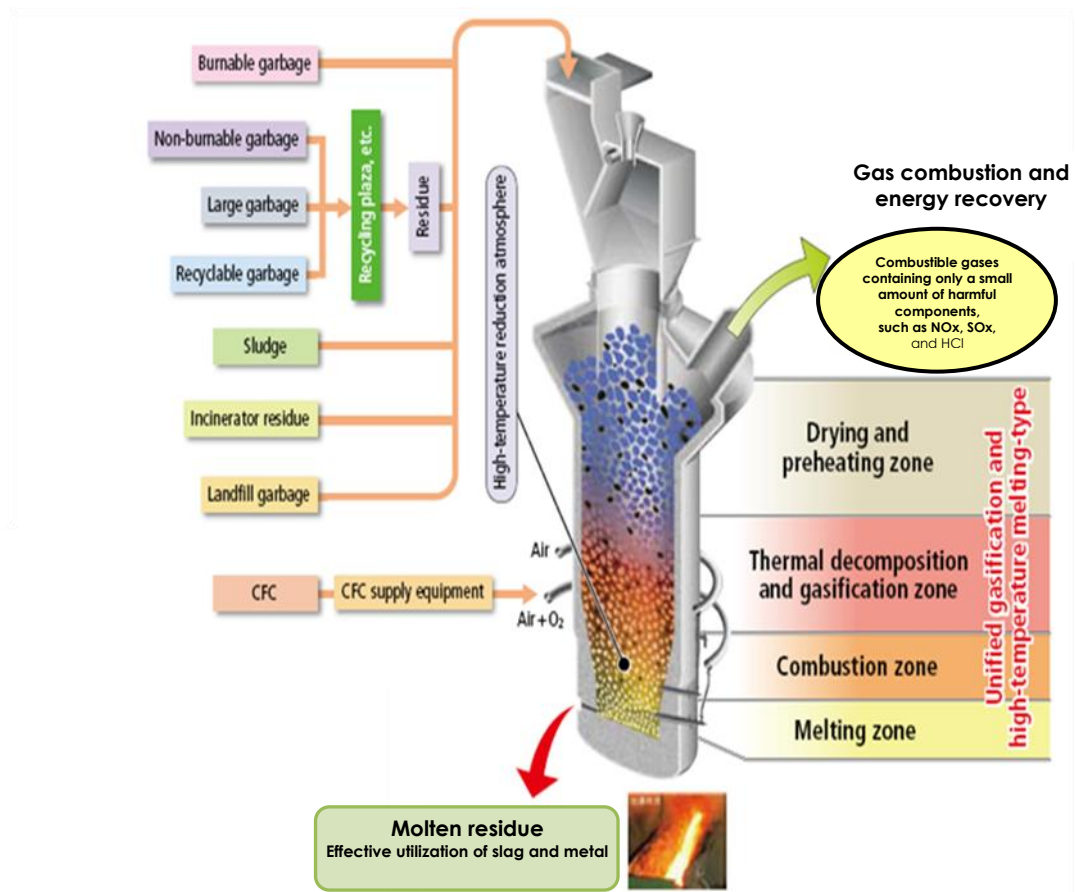
การบริหารจัดการเรื่องน้ำ (Water resources and water supply management) จากกำลังการผลิต (Crude steel) 31.76 ล้านตันต่อปี ซึ่งองค์ประกอบของโรงงาน มีทั้งอุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream) และ อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream) ดังได้กล่าวมาแล้ว ใช้น้ำดิบทั้งสิ้น 540 ล้านลบ.ม.ต่อปี หรือเฉลี่ยประมาณ 17.05 ลบ.ม.ต่อตันเหล็กกล้าที่ผลิตได้ โดยมีการหมุนเวียนน้ำ สูงในระดับ 90% ในกรณีที่โรงงานตั้งอยู่ในพื้นที่มีข้อจำกัดด้านแหล่งน้ำจะ สามารถ หมุนเวียนน้ำให้ได้มากขึ้นโดยมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advance

treatment) เช่น ในประเทศยุโรปจะสามารถลดการใช้น้ำได้ลงอีก กล่าวคือ บางแห่งลดลงได้ถึงไม่เกิน 5 ลบ.ม.ต่อกำลังการผลิตเหล็กกล้า 1 ตัน

5.3 การบริหารจัดการด้านกากอุตสาหกรรม

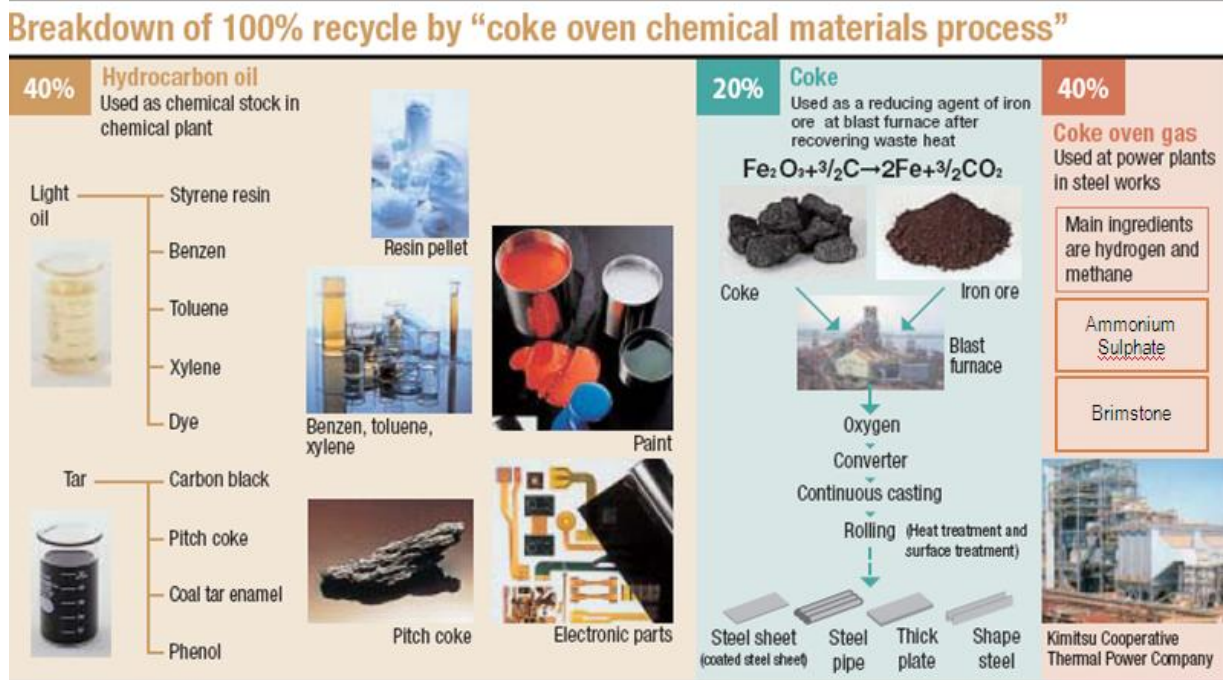
โรงงานนี้รับของเสียจากชุมชนมาจัดการได้อีก โดยเฉพาะพลาสติกและยางรถยนต์ เป็นต้น เพราะของเสียดังกล่าวสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าโรงผลิตถ่านโค้กหรือเตาหลอมเหล็กก็ได้

กากอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นประมาณ 600 กิโลกรัมต่อการผลิตเหล็กกล้า 1 ตัน ได้แก่ สแลก (Slag) ฝุ่น (Dust) ตะกอนต่างๆ (Sludge) กากอุตสาหกรรมเหล่านี้ใช้หมุนเวียนภายในโรงงาน (Recycle) ในสภาพวัตถุดิบหรือใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตปูนซีเมนต์หรือใช้เป็นวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะงานฐานรากถนน เป็นต้น การหมุนเวียนกากอุตสาหกรรมต่างๆ ประกอบด้วย การใช้งานภายในโรงงานเอง (In-company use) 30% และส่งไปขายหรือใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตนอกโรงงาน 68% รวมแล้วการรีไซเคิลกากอุตสาหกรรมมีสูงถึง 98% เหลืออีก 2% ระบายไปที่ในระบบที่ปลอดภัย เช่น การฝังกลบชนิดพิเศษ (Secure landfill) หรือบางแห่งนำกลับไปเข้าเตาหลอมกากอุตสาหกรรม (Smelting Furnace) ได้เป็นวัสดุก่อสร้าง (ดูรูปที่ 5-9 ประกอบ)



รูปที่ 5-9 เตาหลอมกากอุตสาหกรรม (Smelting furnace) ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับการจัดการขยะจากชุมชนโดยมุ่งหวังให้เกิด Zero waste

5.4 การใช้ประโยชน์จากกระบวนการผลิตถ่านโค้ก (รูปที่ 5-10 ประกอบ)



รูปที่ 5-10 การใช้ประโยชน์จากกระบวนการผลิตถ่านโค้ก

ในกระบวนการผลิตถ่านโค้กจะได้สารเคมีต่างๆ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการรีไซเคิล

5.4.1 น้ำมันไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon oils)

ส่วนนี้มีประมาณ 40% ของปริมาณถ่านหินที่ใช้ซึ่งเกิดจากการระเหยของสารระเหยต่างๆที่อยู่ในถ่านหิน น้ำมันไฮโดรคาร์บอน ซึ่งแบ่งออกเป็น น้ำมันเบา (Light-oils) และ Tars สารเหล่านี้สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กลั่นเป็นน้ำมัน BTX (Benzene, Toluene, Xylene) เป็นวัตถุดิบผลิตสีน้ำมัน (Paints) เป็นวัตถุดิบผลิตแผ่นฉนวนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic materials) เป็นต้น

5.4.2 ถ่านโค้ก (Coke)

เป็นส่วนของแข็งที่เหลือจาก กระบวนการของเตาผลิตถ่านโค้ก ประมาณ 20% ของปริมาณถ่านหินที่ใช้ ซึ่งจะใช้อ้อนเข้าเตาบลาสท์ (Blast furnace) เพื่อการเผาไหม้และเกิดปฏิกิริยารีดิวซ์ซึ่ง (Reducing) ได้น้ำเหล็กถลุง (Molten iron หรือ hot metal)

5.4.3 แก๊สเสียที่ระบายจากเตาผลิตถ่านโค้ก (Coke oven gas)

มีปริมาณ ประมาณ 40% ของปริมาณถ่านหินที่ใช้ มีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ H_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 และอื่นๆ ซึ่งปกติจะผ่านกระบวนการฟอกให้สะอาด (Purification process) และนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ากระบวนการผลิตต่างๆ