




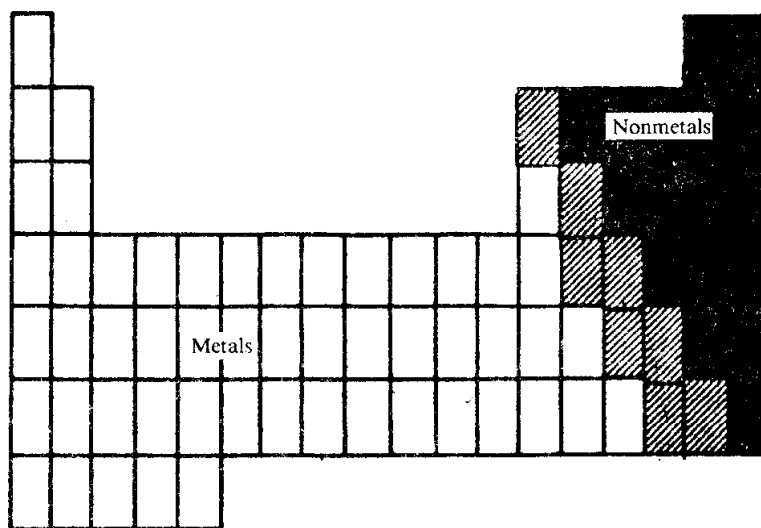
11

โลหะที่สำคัญและประโยชน์

ความจริงของสังคมยุคปัจจุบันนี้เกี่ยวข้องกับเรื่องของโลหะ ทั้งนี้เพราะเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ทำขึ้นจากโลหะต่าง ๆ อาทิเช่น เครื่องกล เครื่องมือทางการแพทย์ เครื่องคอมพิวเตอร์ และอื่น ๆ อีกมากมายหลายชนิดทำด้วยโลหะ ถ้าโลกปราศจากโลหะ สพานแบบใหม่ทุกวันนี้ อุโมงค์ลอดภูเขาหรือแม่น้ำ คอนโดมิเนียม ตึกระฟ้าหลาย ๆ ชั้น เครื่องบินแบบต่าง ๆ รถยนต์ จรวด ท่อส่งน้ำ ความสว่างตามท้องถนนและอื่น ๆ อีกมากมาย จะไม่เกิดขึ้น

จากความรู้เรื่องตารางธาตุทำให้ทราบว่าธาตุที่เป็นโลหะอยู่ในตารางธาตุเป็นส่วนใหญ่ และก็มีธาตุที่นับว่ามีค่าและหายากอยู่จำนวนหนึ่ง บางส่วนก็เป็นธาตุที่มีมากในโลกและใช้ประโยชน์ได้ดี สำหรับบอโลหะมีอยู่เป็นจำนวนน้อยกว่าโลหะ พิจารณารูป 11-1

รูป 11-1 แสดงที่อยู่ของโลหะ อโลหะและเมทัลลอยด์ ในตารางธาตุ  คือเมทัลลอยด์  คืออโลหะ  คืออโลหะ



ในธรรมชาติโลหะสามารถอยู่ในสภาพอิสระ (คือไม่รวมกับธาตุใด) และอยู่ในรูปของสารประกอบหรือสารประกอบซึ่งมีสูตรซับซ้อนกับธาตุอื่นได้ โลหะแต่ละอย่างก็มีสมบัติว่องไวในการทำปฏิกิริยามากน้อยแตกต่างกันออกไป โลหะที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับไฮโดรเจน นับว่ามีน้อย ส่วนโลหะ ทองคำ เงิน ทองคำขาว ทองแดง พรอท บิสมัท พลวงและสารหนู เป็นต้น จัดว่ามีความว่องไวน้อยในการทำปฏิกิริยา

ปริมาณโลหะที่อยู่ตามเปลือกโลกจะมีมากน้อยแตกต่างกันออกไป ดูตาราง 11-1

ตาราง 11-1 ปริมาณของธาตุที่มีอยู่ตาม* เปลือกโลกเรียงตามปริมาณมากไปสู่น้อย

ลำดับที่	ธาตุ	น้ำหนักร้อยละ
1	ออกซิเจน	49.5
2	ซิลิคอน	25.7
3	อลูมิเนียม	7.5
4	เหล็ก	4.7
5	แคลเซียม	3.4
6	โซเดียม	2.6
7	โปแตสเซียม	2.4
8	แมกนีเซียม	1.9
9	ไฮโดรเจน	0.9
10	ดิวเทอเรียม	0.6

ส่วนธาตุอื่น ๆ ที่อยู่ ณ เปลือกโลกจะมีปริมาณน้อยกว่า ธาตุบางธาตุถึงแม้จะมีปริมาณน้อย แต่ก็ยังนับว่ามีความสำคัญมาก เช่น ยูเรเนียม ทอเรียม จัดว่าเป็นธาตุที่ก่อให้เกิดพลังงานมหาศาล พรอท ตะกั่ว มีประโยชน์ทางเทคโนโลยีอย่างมาก แต่ทว่าจัดว่าเป็นธาตุที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตอาจถึงตายได้แม้ว่าจะเข้าไปในร่างกายเพียงปริมาณน้อยก็ตาม

* เปลือกโลก หมายถึงลึกจากผิวโลกตั้งแต่ 2 ไมล์-50 ไมล์

11-1 แร่และสินแร่ (Minerals and Ores)

สารที่ขุดขึ้นมาจากโลกหรือนำมาจากหินจะเป็นพวกสารเคมีอนินทรีย์ เรียกว่าแร่ (mineral) หรือแร่คือธาตุหรือสารประกอบทางเคมีที่มีเนื้อเดียวกัน มีสูตรที่แน่นอนและเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ แต่ผลึกของสารที่ทำขึ้นในห้องปฏิบัติการมิใช่เป็นแร่ แร่บางชนิดมีผลึกและสีสวยสดงดงามมีรูปร่างเฉพาะตัว แร่มีทั้งอยู่สภาพโลหะและอโลหะ สำหรับอโลหะที่รู้จักกันดีได้แก่ เพชรและกราฟไฟต์ แร่บางประเภทอยู่ในลักษณะเป็นอิสระหรือเป็นธาตุเดี่ยว ๆ (native elements) ชนิดเดียว เช่น ทองคำ เพชร แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบซึ่งประกอบด้วยธาตุสองชนิดขึ้นไป

แร่ที่อยู่ในโลกถ้าประกอบด้วยสารที่เราต้องการอยู่เป็นจำนวนมากและเราต้องนำมาถลุงเพื่อให้ได้สารที่ต้องการเรียกแร่นั้นว่า สินแร่ (ores) สินแร่ อาจจะมีเปอร์เซ็นต์ของสารที่ต้องการสูงหรือบางที่มีเปอร์เซ็นต์ต่ำก็มี

ตาราง 11-2 ประเภทของแร่ (Types of minerals)

ประเภท	ตัวอย่าง
Native elements	Cu, Ag, Au, Bi, Pt, As, Sb, Hg
Silicate	ZrSiO ₄ , Be ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂
Oxides	Fe ₂ O ₃ , MnO ₂ , CaO, ZnO, CuO, Al ₂ O ₃

ยังมีประเภทอื่นอีกมากเท่าที่แสดงเพียงยกตัวอย่างให้พอทราบ

เมื่อขุดสินแร่จากพื้นดินหรือจากหิน ต้องหาวิธีการแยกสารหรือแร่ที่ต้องการออกมา ซึ่งอาจได้แร่ที่ไม่ต้องการหรือมีสิ่งไม่บริสุทธิ์เจือปนออกมาด้วย ขั้นต่อไปต้องหาวิธีการให้สารหรือแร่บริสุทธิ์ออกมาแต่ละตัว กรรมวิธีนี้เรียกว่าการถลุงโลหะ (metallurgy)

11-2 การถลุงโลหะ (Metallurgical Operations)

การถลุงโลหะเพื่อให้ได้ธาตุที่ต้องการนั้น มีหลักเกณฑ์ในการทำงานอย่างคร่าว ๆ สามขั้นตอน คือ

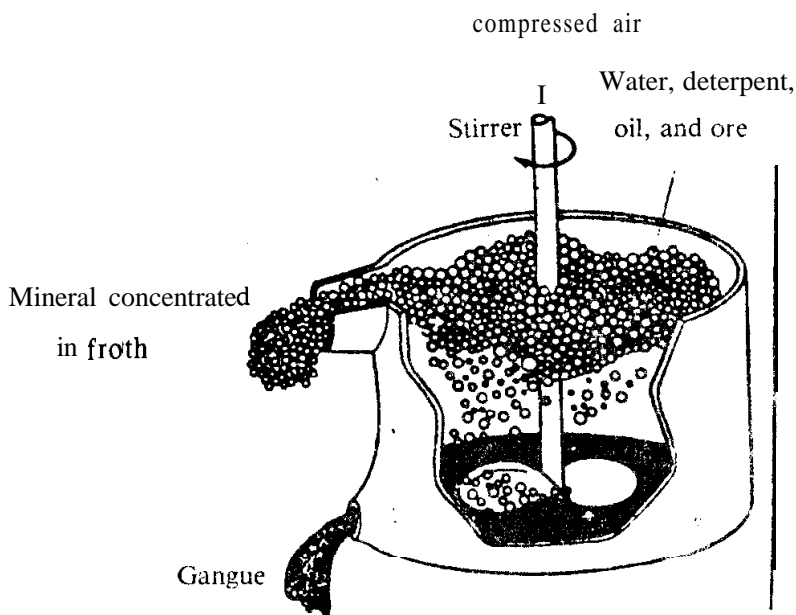
1. เมื่อได้สำรวจแหล่งแร่แล้วให้ใช้เครื่องมือขนาดใหญ่ขุด เอาสินแร่ออกมา ซึ่งแร่นี้อาจจะอยู่รวมกับหิน กรวด ทราย ดิน และแร่อย่างอื่น ๆ ซึ่งอาจจะไม่มีราคา ดังนั้นต้องทำการแยกเอาหิน กรวด ทราย ดิน หรือแร่อย่างอื่นที่ปนอยู่ออกไปเสียให้มากที่สุดที่จะทำได้ ต่อไป

จะต้องทำการแต่งแร่เพื่อให้แร่สะอาดเหมาะแก่การจำหน่ายหรือในการถลุงขั้นต่อไป ในเรื่องของการแต่งแร่นั้นอาจทำได้หลายทาง ตอนแรกจะต้องมีการย่อยแร่และบดแร่เพื่อให้แร่ หิน กรวด ทราย และมลทินอื่น ๆ ที่เกาะติดกันอยู่ให้แตกหลุดออกจากกัน นอกจากนี้เพื่อให้แร่ และสิ่งเจือปนมีขนาดพอเหมาะที่จะเข้าเครื่องแต่งแร่หรือแยกแร่ต่อไป การแต่งแร่หรือแยกแร่ บางทีก็อาศัยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักหรือความถ่วงจำเพาะของแร่และสิ่งเจือปนเป็นหลัก ทั้งนี้เพราะแร่หินและมลทินต่าง ๆ ถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันแต่น้ำหนักก็ย่อมแตกต่างกันออกไป ดังนั้นบางทีเราใช้น้ำหรือใช้สารบางอย่างผสมกับน้ำหรือใช้ลมเป็นสิ่งที่ใช้แยก

บางทีการแยกแร่ โดยอาศัยว่าแร่ที่ต้องการหรือมลทินบางชนิดมีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดได้ เช่นแยกแร่แมกนีไทท์ (magnetite) ออกจากแร่อื่น หรือใช้แม่เหล็กแยกแร่ดีบุกออกจาก วุลแฟรม วุลแฟรมจะติดแม่เหล็ก ส่วนแร่ดีบุกไม่ติดแม่เหล็ก

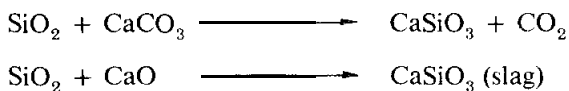
ในบางครั้งแยกแร่โดยใช้วิธีลอยแร่ (froth flotation) ซึ่งประกอบด้วยถังที่ทำให้แร่ ลอยขึ้นมาได้ เรียก flotation tank

รูป 11-2 ถังลอย (Flotation Tank)



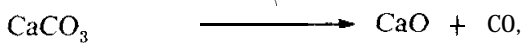
เครื่องมือนี้อาศัยหลักที่ว่าแร่บางชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับสารเคมี ได้แก่ พวกน้ำมัน เฉพาะเช่นน้ำมันคลีโอโซท น้ำมันจะเคลือบแร่ให้มีลักษณะไม่เปียกน้ำ เครื่องมือนี้ต้องใส่น้ำ เพราะแร่และมลทินอย่างอื่นจะจมน้ำ ขณะที่เครื่องมือนี้ทำงานได้ฟองอากาศ (พิจารณารูป 11-2) ลงไปให้สัมผัสกับแร่ อีกทั้งใส่สารฟรอตติ้ง (frothing agent) เช่นน้ำมันสนขณะเดียวกัน ก็คนด้วยเครื่องคน (stirrer) ทำให้แร่เกาะฟองอากาศลอยอยู่บนผิวน้ำและมีเปอร์เซ็นต์ของแร่สูง ในตอนนี่แร่ที่ได้เรียกหัวแร่ (mineral concentrated) ในเรื่องของกรดสูงจะมีสิ่งที่เราเรียกว่า เพื่อนแร่ (gangue) ซึ่งหมายถึงแร่ไม่มีค่ากินรวมอยู่ในสินแร่ บางทีเรียกหางแร่ ซึ่งจะตกลงมา ตอนล่างของถังลอยและไหลออกมา วิธีนี้จึงสามารถแยกแร่บางอย่างออกได้ บางกรณีมีแร่สำคัญๆ หลายชนิดอยู่ด้วยกัน อาจใช้วิธีนี้แยกแร่แต่ละชนิดออกมาได้ โดยใส่สารฟรอตติ้งหรือสารเคมี แตกต่างกันไป และสารเคมีที่ใช้ต้องมีปริมาณไม่มาก ในการแยกแร่ดีบุกออกไซด์ออกจาก แร่ไพไรต์ ก็ใช้วิธีนี้ แร่ดีบุกจะจมอยู่ในน้ำ แร่ไพไรต์จะลอยอยู่ข้างบน เป็นต้น

2. ทำรีดักชัน (reduction) เพื่อแยกโลหะออกจากแร่ ถ้าแร่ที่ต้องการเป็นธาตุเดี่ยวก็ไม่จำเป็นต้องทำรีดักชัน แต่ถ้าเป็นสารประกอบก็ต้องทำขั้นนี้ โดยมีการใส่สารเคมีเรียกฟลักซ์ (flux) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับบอโลหะที่เป็นเพื่อนแร่ ให้กลายเป็นสารที่มีจุดหลอมเหลวต่ำเรียก ชีแร่ (slag) เช่นเพื่อนแร่เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ใช้ฟลักซ์ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ใส่เพื่อให้เกิดชีแร่ ดังนี้



ปฏิกิริยานี้ดำเนินไป ณ อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้ชีแร่เกิดขึ้นหลอมเพื่อดำเนินการแยก ชีแร่ออกจากแร่ เนื่องจากชีแร่มีคุณสมบัติไม่ละลายในแร่ที่หลอมเหลว ฉะนั้น จึงแยกแร่ออกมาได้ ไม่ยาก

เมื่อวัตถุที่เป็นของเสียถูกขจัดออกแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็ต้องแยกโลหะออกมาจากสารประกอบ ซึ่งจะมีวิธีทำได้หลายอย่างทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของสารประกอบ และพันธะที่ยึดเหนี่ยวว่ามีความเหนียวแน่นเพียงใดในโมเลกุล โดยปกติแล้วถ้าแร่เป็นสารประกอบที่มีไซออกไซด์ มักจะถูกเปลี่ยนให้เป็นออกไซด์หลังจากนั้นทำรีดักชัน เช่น



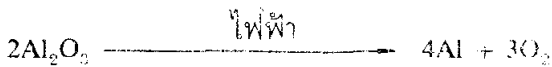
แต่ถ้าแร่เป็นสารประกอบซัลไฟด์ต้องนำไปเผาในอากาศ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นออกไซด์ ดังนี้



ต่อไปนำเอาสารพวกออกไซด์ไปเผากับคาร์บอน หรือ ฮาโรเจน หรือไฮโดรเจน เพื่อได้โลหะ



แต่แร่ซึ่งเป็นสารประกอบบางชนิดที่มีการเกาะเกี่ยวกับอย่างแน่นหนาจะไม่ใช้วิธีรีดักชัน แต่อาจใช้วิธีผ่านไฟฟ้าเข้าไปดังตัวอย่าง



ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจบ้างในเรื่องการถลุงแร่ต่าง ๆ เท่านั้น

3. ทำให้แร่บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น เนื่องจากโลหะหรือแร่ที่ได้ยังมีมลทิน ซัลเฟอร์และก๊าซบางตัว เกาะติดอยู่ ถ้าต้องการนำแร่มาใช้ประโยชน์ก็ต้องทำให้โลหะบริสุทธิ์มากที่สุด ซึ่งกรรมวิธีนี้ จำเป็นต้องพิจารณาจากชนิดของโลหะเป็นต้นว่าถ้ามีจุดเดือดต่ำหรือจุดหลอมเหลวต่ำมักจะใช้วิธีการกลั่น (distillation) ดังนั้น โลหะที่มีจุดเดือดต่ำที่สุดจะกลายเป็นไอออกมาก่อน แล้วทำการควบแน่น นอกจากนี้วิธีไซโนรีไฟนนิ่งเป็นวิธีสมัยใหม่ซึ่งอาจจะได้โลหะบริสุทธิ์ถึง 99.99% แต่ทว่าเป็นกรรมวิธีที่ยุ่งยากเกินกว่าความรู้ในขั้นนี้

โลหะและสารประกอบที่สำคัญซึ่งควรจะศึกษา ดังนี้

11-3 เหล็ก (Iron)

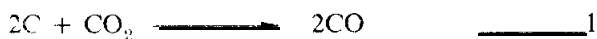
เหล็กและเหล็กกล้าเป็นวัตถุที่สำคัญที่สุดสำหรับมนุษย์เมื่อ 4000 ปีก่อนคริสตกาล อียิปต์ได้มีการนำเอาเหล็กมาใช้เป็นครั้งแรก ต่อมาเมื่อ 2900 ปีก่อน คริสตกาลยังได้พบแร่เหล็ก ณ ที่ปิรามิด เมื่อ 1200 ปีก่อนคริสตกาลเรียกว่าเป็นยุคเหล็ก (Iron age) ได้มีการพบวัตถุต่าง ๆ ทำด้วยเหล็กในบริเวณโบราณคดีในตะวันออกกลาง อินเดีย จีน ด้วย ต่อมาได้มีการนำเอาเหล็ก มาใช้เป็นประโยชน์แพร่หลายไปทั่วยุโรปโดยชาวโรมันซึ่งเรียนรู้วิธีการจากชาวกรีก ในอเมริกา ก็ได้เริ่มเรียนรู้เรื่องราวของเหล็กในศตวรรษที่ 17-18

สารประกอบเหล็กได้พบที่เปลือกโลกชั้น ๆ ในดิน พืช และในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ออออนเหล็ก (Fe^{2+}) เป็นธาตุที่สำคัญทางชีววิทยาเนื่องจากมีสารประกอบของฮีโมโกลบินอยู่ในเซลล์ของเม็ดเลือดแดงซึ่งสามารถจะรวมกับออกซิเจนเป็นออกซิฮีโมโกลบิน สารประกอบนี้เลือดจะพาไปปล่อยไว้ในเซลล์ต่าง ๆ ดังนั้นถ้าเซลล์ใดมี Fe^{2+} น้อยไป จะเกิดการผิดปกติ เหล็กจัดว่าเป็นธาตุที่มีมากที่สุดอันดับสี่ในโลก จากการศึกษาเรื่องของแผ่นดินไหวทำให้ทราบว่าใจกลางของโลกมีเหล็กเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่ของสะเก็ดดาวที่ร่วงลงสู่พื้นโลก มีเหล็ก และนิกเกิลเป็นอันดับรอง

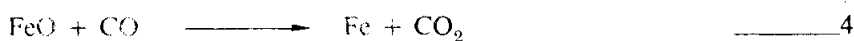
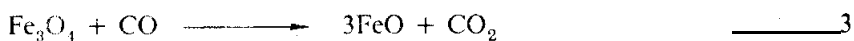
เหล็กออกไซด์จัดว่าเป็นสารตั้งต้นดีที่สุดในการถลุงแร่เหล็กได้แก่ ฮีมาไตต์แดง (red hematites, Fe_2O_3) และแมกนีไตท์ (magnetite, Fe_3O_4) ซึ่งมีอยู่ในดิน และยังมีซิลิกาและสารประกอบอื่น ๆ รวมทั้งแมงกานีส ฟอสฟอรัสและกำมะถันปะปนอยู่ในแร่ดังกล่าวด้วย

11-4 การถลุงเหล็ก (Smelting of Iron)

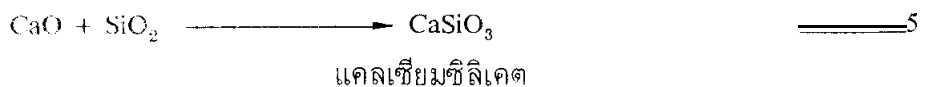
เตาถลุงเหล็กประเภทหนึ่งเรียกบลาสท์เฟอเรนซ์ (blast furnace) ทำด้วยโครงเหล็กสูง 80-150 ฟุต ภายในบุด้วยอิฐทนไฟใส่แร่เหล็กพร้อมด้วยไลม์สโตน ($CaCO_3$) และโค้ก ตอนบนของเตาผ่านอากาศร้อน $500^{\circ}C - 800^{\circ}C$ เข้าไปตอนล่างของเตา ทำให้เกิด CO_2 เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นถึง $1500^{\circ}C$ CO_2 จะทำปฏิกิริยากับถ่านโค้กให้ CO ดังนี้



CO จะทำปฏิกิริยาต่อไปกับออกไซด์ของเหล็ก

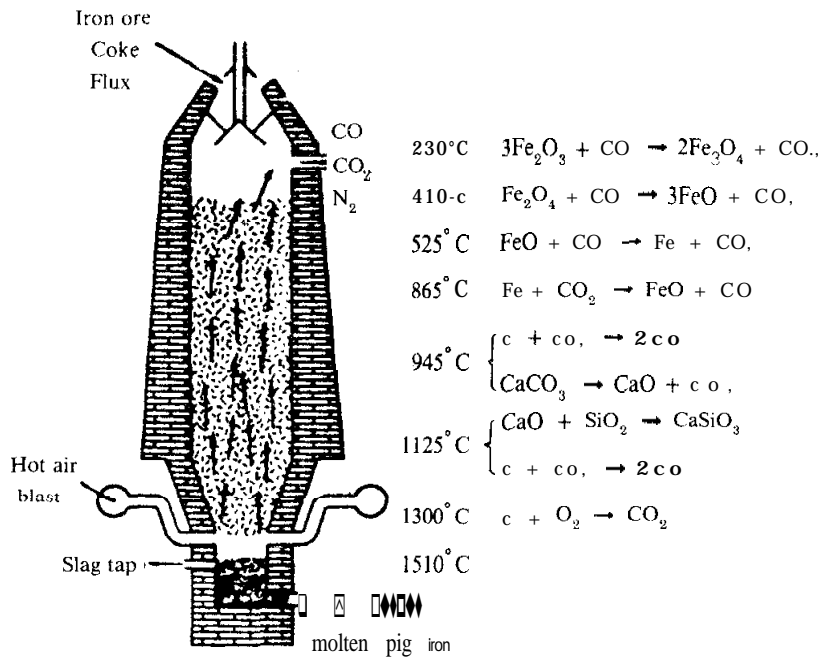


มลทินที่มีอยู่ในการถลุงเหล็กคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) จำเป็นจะต้องขจัดออกให้เป็นซีแร่ (slag) โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ แคลเซียมคาร์บอเนตเมื่อถูกความร้อนสูงจะกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นแคลเซียมซิลิเกต เรียกว่า ซีแร่



แคลเซียมซิลิเกตนี้ จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็กจะอยู่เหนือเหล็ก เราสามารถแยกได้ เหล็กที่ได้โดยวิธีนี้เรียก พิกไอร์ออน (pig iron) หรือบลาสไอร์ออน ซึ่งจะออกมาในตอนใต้เตา (รูป 11-3) เหล็กประเภทนี้ คุณภาพไม่ดีนัก ค่อนข้างเปราะมีคาร์บอนผสมอยู่ 3-5% นอกจากนี้ยังมีมลทินพวกฟอสฟอรัส กำมะถันและซิลิคอน มลทินพวกนี้ทำให้คุณสมบัติของเหล็กด้อยลงไป จึงจำเป็นต้องขจัดออก เมื่อได้เหล็กที่บริสุทธิ์แล้วเขามักจะผสมสารบางอย่างเพื่อให้ได้เหล็กกล้า (steel) ชนิดต่าง ๆ

รูป 11-3 เตาแบบบลาสท์ (Blast furnace)

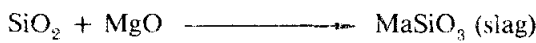


11-5 การผลิตเหล็กกล้า (Production of Steel)

ส่วนใหญ่ของเหล็กกล้าเตรียมได้จากวิธีแบบโอเพนฮาร์ทหรือวิธีเบสิกออกซิเจน (basic oxygen) ทั้งสองวิธีนี้คาร์บอนที่มีปะปนอยู่ในเหล็กจะถูกกำจัด

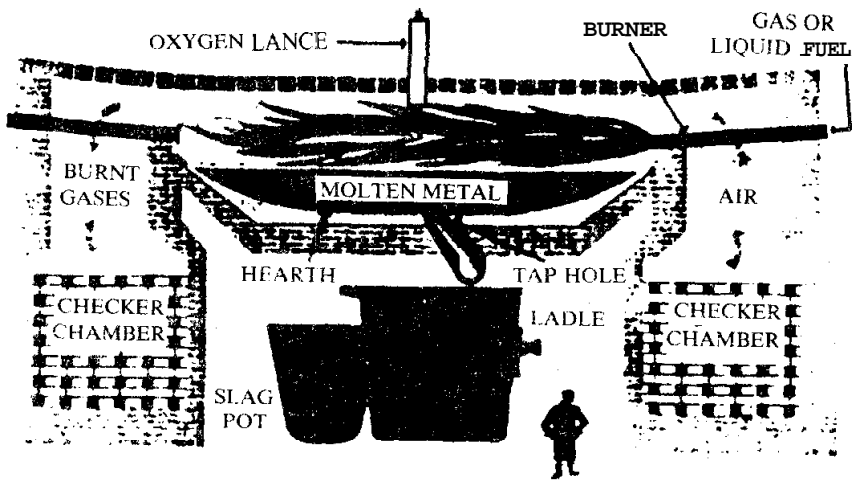
วิธีทำเหล็กกล้าแบบโอเพนฮาร์ท เขาใช้เศษเหล็กที่ใช้แล้ว (ซึ่งได้มาจากซากรถยนต์ เครื่องมือ เครื่องใช้ต่าง ๆ) และเหล็กแบบพิก อีกทั้งสินแร่เหล็ก (iron ore) เป็นวัตถุดิบที่จะใช้ถลุง การใช้เศษเหล็กนับว่ามีประโยชน์เพราะช่วยทำให้สิ่งเหลือใช้แล้วกลายเป็นประโยชน์ขึ้นมา

นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยให้แหล่งแร่เหล็กในธรรมชาติค่อยหมดไปจากโลกอย่างช้า ๆ ด้วย เมื่อเริ่มทำการถลุงเหล็กให้ใส่เศษเหล็ก สิ้นแร่เหล็กหรือเหล็กแบบพิกไสในส่วนที่เรียกว่าฮาร์ท (รูป 11-4) ตื้น ๆ ใช้อากาศหรือออกซิเจนรวมกับเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซและเผาให้ร้อนผ่านลงไป ในของผสมดังกล่าว ออกซิเจนจะออกซิไดส์ส่วนที่เป็นมลทินซึ่งมีอยู่ในเหล็กแบบพิกและเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซร้อนจะคายความร้อน ให้แก่อิฐทนไฟที่ก่อเป็นผนังของเตา อิฐจะร้อนขึ้นและเมื่อเป็นเช่นนี้ความร้อนจะไม่สูญ ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง ด้วยวิธีนี้ ภายในเตาจะมีความร้อนสูงทำให้คาร์บอน ซัลเฟอร์ ซิลิคอนและมลทินอื่น ๆ จะถูกออกซิไดส์ได้ สำหรับซิลิคอนออกไซด์ ฟอสฟอรัสเพนต์ออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นออกไซด์ซึ่งถูกกับน้ำจะให้กรด เนื่องจากอิฐที่บุเตามีแคลเซียมออกไซด์หรือแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ด้วยจึงเกิดปฏิกิริยากับออกไซด์ต่าง ๆ ให้สารประกอบ ดังนี้



พิจารณาจากรูป 11-4 จะเห็นทางที่แร่เหล็กหลอมละลายไหลสู่ราง สู่ภาชนะที่รับ (ladle) เหล็กที่ถลุงด้วยวิธีนี้จะมีคุณภาพสูง และมีเปอร์เซ็นต์เหล็กสูง นำเอาไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง อาทิเช่น สร้างอุโมงค์ เรือเดินสมุทร รถไฟ ตึกหลาย ๆ ชั้น และอื่น ๆ อีกมากมาย

รูป 11-4 เตาแบบโอเพนฮาร์ท (Open - Hearth furnace)



ได้มีวิธีเบสิคออกซิเจน (basic oxygen process) ใช้เครื่องมือเช่นเดียวกับแบบโอเพนฮาร์ท ผิดแต่ที่ไม่ใช้อากาศใช้ออกซิเจนล้วน ๆ ซึ่งทำให้มีการออกซิไดส์ได้รวดเร็วขึ้น และใช้เวลาเพียง 20 นาที นับแต่เครื่องมือทำงาน ซึ่งตรงกันข้ามกับแบบโอเพนฮาร์ทใช้เวลา 8 ชั่วโมง - 10 ชั่วโมง กว่าจะสิ้นสุดจนได้เหล็กแบบหลอมละลาย (molten iron) เมื่อได้เหล็กตามต้องการแล้วนำมาเทออกและใส่สารเคมีบางตัวที่ให้เหล็กกล้าแบบที่ต้องการ วิธีนี้ค่าเสียห่วยถูกและทำได้ด้วยความรวดเร็ว

ถ้าใช้เตาไฟฟ้า (electric furnace) ผลิตเหล็กกล้าพบว่าจะได้เหล็กที่มีคุณภาพสูง ซึ่งนำไปใช้ทำเครื่องมือพิเศษ กล่าวคือต้องได้เหล็กกล้าที่มีสมบัติดีมาก เตาแบบนี้ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแต่จะใช้กระแสไฟฟ้าแทนและความร้อนภายในเตาสูงมาก เมื่อไม่ใช่เชื้อเพลิงเหล็กที่ได้จึงมีความบริสุทธิ์กว่า

ประโยชน์ที่ได้จากเหล็กแท้ ๆ ไม่มากนัก แต่ถ้านำโลหะอื่น ๆ มาผสมจะได้เหล็กที่มีคุณภาพดีเหนียว ได้มีเหล็กกล้าผสมกับโลหะหรืออโลหะเป็นร้อยละ ๑-๑๐ แบบและมียุคสมบัติแตกต่างกันออกไปตามเปอร์เซ็นต์ของโลหะที่เข้าผสม อโลหะที่เข้าผสมกับเหล็กได้แก่ คาร์บอน โลหะแมงกานีส โครเมียม นิกเกิลและวาเนเดียม เป็นธาตุที่เข้าผสมกับเหล็กด้วย เหล็กกล้าที่มีโครเมียม 14-18% และนิกเกิล 7-9% จัดว่ามีคุณสมบัติดีเลิศเพราะไม่ถูกกัดกร่อนได้ง่าย และรู้จักกันในชื่อว่า เหล็กกล้าปลอดสนิม (stainless steel) เครื่องมือตัดสิ่งต่าง ๆ โดยใช้ความเร็วสูง ขนาดเล็กก็ทำจากเหล็กกล้า จะเห็นได้ว่าเหล็กกล้ามีความจำเป็นต่อชีวิตและสังคมมนุษย์อยู่ทุกวันนี้ เป็นการยากที่จะคาดคะเนว่าถ้าขาดเหล็กแล้ว สังคมทุกวันนี้จะอยู่กันได้อย่างไร

ตาราง 11-3 ตัวอย่างโลหะผสม (Example of alloys)

ชื่อ	องค์ประกอบ	ประโยชน์
stainless steel	14-18% Cr 7-9% Ni	เครื่องมือสำหรับตัด
nickle steel	2-4% Ni	สายเคเบิล เกียร์
high speed steels	14-20% W หรือ 6-12% Mo	เครื่องตัดความเร็วสูง
permalloy	78% Ni	สายเคเบิลในมหาสมุทร
bronze	70-90% Cu 1-25% Zn 1-18% Sn	อนุสาวรีย์

ชื่อ	องค์ประกอบ	ประโยชน์
brass	67% Cu 33% Zn	วัตถุประดับ
sterling silver	92.5% Ag 7.5% Cu	เครื่องประดับ
14-carat gold	58% Au 4-28% Ag 14-28% Cu	เครื่องประดับ
18 carat white gold	75% Au 12.5% Ag 12.5% Cu	เครื่องประดับ
solder	67% Pb 33% Sn	เครื่องไฟฟ้า

11-6 อลูมิเนียม (Aluminum)

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีอยู่ที่ผิวโลกมากที่สุด เมื่อเทียบกับทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และดีบุกรวมกัน โลหะนี้อยู่ในรูปของสารประกอบแบบคอมเพลกซซิลิเกต ($KAlSi_3O_8$) บางทีอยู่ในรูปของบ็อกไซต์ ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) หินที่มีค่าหลายชนิด เช่นทับทิมและอัญมณีพวกนิล มรกต บุษราคัม คือผลึกของ Al_2O_3 สีแดงของทับทิมเนื่องจากมีมลทินของโครเมียมเจือปน ส่วนสีน้ำเงินของอัญมณีบางชนิดเนื่องจากมีสารประกอบของโคบอลต์ โครเมียมและดีตาเนียมอยู่ด้วย

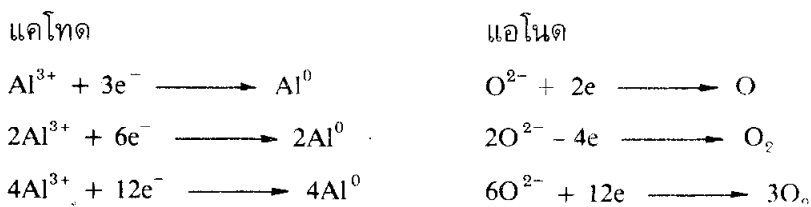
ได้มีการแยกอลูมิเนียมครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1829 โดยใช้ $AlCl_3$ ทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมแอมัลกัม (Potassium amalgam) (คำว่า amalgam คือโลหะผสมระหว่างปรอทกับโลหะอื่น ๆ) ในตอนนั้นพากันคิดว่าอลูมิเนียมเป็นธาตุหายากจนกระทั่งปี 1850 เรื่อยมา เมื่อ 1889 ได้มีการผลิตขายเป็นอุตสาหกรรม สำหรับราคาของโลหะนี้พบว่าเมื่อ ค.ศ. 1855 อลูมิเนียมหนัก 1 ปอนด์ ราคา 113 ดอลลาร์ ต่อมาเมื่อ ค.ศ. 1890 ราคาลดลงจาก 113 ดอลลาร์เป็น 2.30 ดอลลาร์ ค.ศ. 1918 หนัก 1 ปอนด์ราคา .18 ดอลลาร์ จะเห็นได้ว่าราคาลดลงมาเรื่อย ๆ

เนื่องจากธาตุนี้มีสมบัติว่องไวจึงไม่พบที่เกิดเป็นอิสระในธรรมชาติ ได้มีการเตรียมอลูมิเนียมจากแร่บ็อกไซต์ ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) โดยวิธีฮอลล์ (Hall process) เนื่องจากการยึดเหนี่ยว

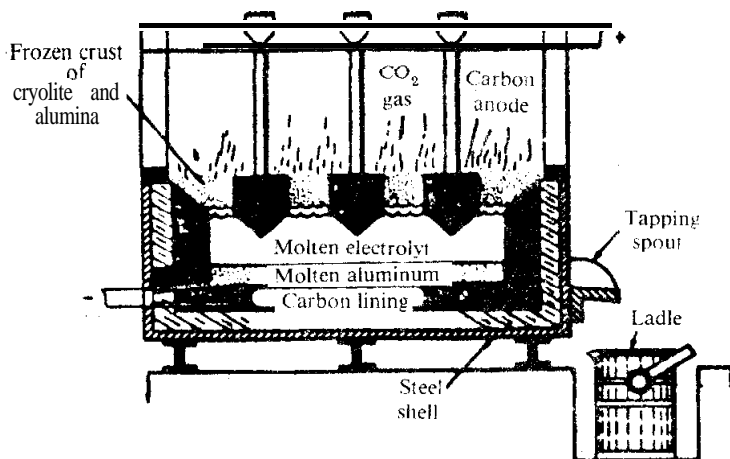
ระหว่างอลูมิเนียมกับออกซิเจนค่อนข้างเหนียวแน่น จึงต้องแยกอลูมิเนียมโดยวิธีอิเล็กโทรลิซิส คือให้ Al_2O_3 ละลายในครีโอลิต (cryolite, Na_3AlF_6) ที่หลอมเหลว สำหรับแร่บอกไซต์ที่มีมลทินเจือปนอยู่ ได้แก่ เหล็กออกไซด์ ซิลิเกต และสิ่งอื่น ๆ เพื่อให้ได้ Al_2O_3 ที่มีความบริสุทธิ์สูง จึงใช้เครื่องมือฮอลเซลล์ (Hall cell)

เครื่องมือฮอลเซลล์ ได้ใส่ครีโอลิตไว้ที่อิเล็กโทรไลติกเซลล์ ซึ่งมีคาร์บอนบุไว้และทำหน้าที่เป็นแคโทดด้วย และมีแท่งคาร์บอนเป็นแอโนด (รูป 11-5) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้า กระแสไฟฟ้าจะกระโดดจากแท่งคาร์บอนแอโนดไปยังครีโอลิต แต่ครีโอลิตเป็นตัวต้านทานการผ่านกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานความร้อนมากมาย ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนครีโอลิตหลอม และกระแสไฟฟ้าสามารถผ่านได้ ให้ใส่ Al_2O_3 จะเกิดการละลายในครีโอลิตพร้อมทั้งเกิดอ็อกซิเจน

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านในครีโอลิต Al^{3+} จะเคลื่อนที่ไปยังคาร์บอนที่เป็นแคโทด ส่วนออกซิเจนจะไปยังแอโนดจะก่อให้เกิดปฏิกิริยา ดังนี้



รูป 11-5 ฮอลเซลล์ (Hall cell)



อลูมิเนียมที่ได้โดยวิธีนี้มีความบริสุทธิ์ถึง 99% และจะอยู่ตอนล่างของเซลล์

11-7 คุณสมบัติและประโยชน์ของอลูมิเนียม (Properties and Uses of Aluminum)

อลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำแต่มีความเหนียวมาก คุณสมบัติเช่นนี้ได้นำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อาทิเช่น สร้างอากาศยานทุกชนิด (air craft) รถไฟ รถบรรทุก ยวดยานต่าง ๆ ที่ต้องการน้ำหนักเบาเพื่อประหยัดเชื้อเพลิง ชาตินี้จัดว่าเป็นสื่อไฟฟ้าและความร้อนที่ดีมาก ลักษณะเป็นเงาแวววาวเมื่อถูกกับอากาศ ถูกออกซิไดส์ได้เร็วเกิดเป็นออกไซด์ เช่นอลูมินา (Al_2O_3) เคลือบผิวทำให้ไม่เกิดสนิม นอกจากนี้อลูมินามีสมบัติเสถียร จุดหลอมเหลวสูง ใช้ในอุตสาหกรรมทำวัตถุทนไฟมีสีขาว แต่ถ้ามีออกไซด์ของโครเมียมหรือเหล็กออกไซด์ปนอยู่ด้วยจะทำให้เกิดสีสนิมสวยงาม ทับทิมที่มีสีสวยงามมีอลูมินซึ่งมีโครเมียมปะปนอยู่ด้วย มนุษย์ได้นำเอาอลูมินา เจือกับธาตุดีตาเนียมหรือเหล็กหลอมในเปลวออกซิไฮโดรเจน (oxyhydrogen) จะได้พลอยสังเคราะห์ที่มีสีสวยงาม

อลูมิเนียมมีสมบัติใช้ทำเครื่องมือให้สะท้อนแสงในเครื่องทอเลสโคป (telescope) และยังมีสมบัติสะท้อนความร้อนจึงนำไปทำอลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil)

ถ้าเอาเหล็ก โคบอลต์ผสมกับอลูมิเนียมเกิดเป็นโลหะผสมเรียก อัลนิโค (alnico) ใช้ทำแม่เหล็กได้

โลหะผสมแมกนาลิเทียม (magnalium) คืออลูมิเนียมผสมกับ 5-15% ของแมกนีเซียม ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า

คอร์ันดัม (corundum) เป็นสารประกอบพวกออกไซด์ของอลูมิเนียม จัดว่ามีความแข็งรองจากเพชร ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมบดตัดสิ่งต่าง ๆ ได้ดี

11-8 ทองแดง (Copper)

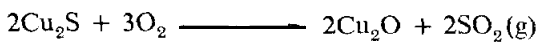
ทองแดงนับว่าเป็นโลหะแรกที่มีมนุษย์นำมาใช้ จัดเป็นพวกธาตุทรานซิชันในตารางธาตุ ได้ใช้กันมานานนับตั้งแต่สมัยโบราณ จะพบในวัตถุอียิปต์ เครื่องใช้ในครัว แก้ว อี ฉาดและอื่น ๆ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต แต่มีจำนวนน้อยมาก อย่างไรก็ตามถ้ามีอยู่ในร่างกายในปริมาณมากหรือน้อยเกินไปก็มีผลเสียต่อร่างกายเช่นกัน

ทองแดงนี้อยู่ในธรรมชาติได้อย่างอิสระ และอยู่ในสภาพสารประกอบก็มี สีนแร่ทองแดงที่สำคัญคือ ชาลโคไซต์ (chalcocite, Cu_2S) และคอปเปอร์ไพไรต์ (Copper pyrites, $CuFeS_2$)

11-9 การถลุงโลหะ ทองแดง (Copper Metallurgy)

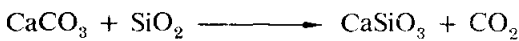
นำทองแดงที่เกิดในสภาพอิสระมาบดให้เป็นผงและล้างให้หมดจากเพื่อนแร่ (gangue) แล้วนำโลหะนี้หลอมเหลวและเทลงในน้ำหรือฟิมพ์ แต่ถ้าทองแดงอยู่ในสภาพสารประกอบจะมีธาตุทองแดงในปริมาณต่ำ จึงต้องใช้วิธีลอยแร่ (froth flotation) เพื่อให้ได้แร่ที่มีปริมาณแร่สูง หรือเรียกหัวแร่ สำหรับมลทินที่มีอยู่ในแร่จะเป็นพวกเหล็กซัลไฟด์ ซิลิคอนไดออกไซด์และหรือซัลไฟด์ของโลหะหนัก

วิธีที่จะให้ได้ทองแดงจากสารประกอบทองแดงซัลไฟด์ ใช้วิธีให้ความร้อน (roast) แต่ให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ทองแดงซัลไฟด์จะเปลี่ยนเป็นออกไซด์บางส่วน ดังสมการ

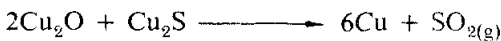
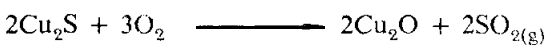


บางส่วนของ Cu_2S จะเปลี่ยนเป็น Cu_2O

หลังจากที่ใช้ความร้อนดังกล่าวปริมาณของกำมะถันที่มีอยู่ในแร่ได้ถูกรีดิวซ์ ส่วน Cu_2S และ FeS ถูกเปลี่ยนเป็นออกไซด์ และที่เหลือก็นำมาผสมกับไลม์สโตน (CaCO_3) และเผาอย่าให้ถึงจุดหลอมเหลว จะเกิดปฏิกิริยา โดย CaCO_3 จะทำปฏิกิริยากับ SiO_2 และ FeO ซึ่งเป็นมลทิน ก็เกิดปฏิกิริยา



ได้กล่าวมาตอนต้นว่า Cu_2S ถูกเปลี่ยน Cu_2O บางส่วน ฉะนั้น Cu_2S ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะไปทำปฏิกิริยากับ oxygen ที่เราผ่านอากาศเข้าไปจะเปลี่ยน Cu_2S ให้เป็น Cu_2O และ Cu_2S จะรวม Cu_2O ได้ทองแดงและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังปฏิกิริยา



ทองแดงจัดว่าเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมาก แต่ถ้ามีมลทินเจือปนแม้กระทั่งเล็กน้อย การนำไฟฟ้าจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น ถ้ามี

สารหนู 0.03%	การนำไฟฟ้าลดลง	14%
ฟอสฟอรัส 0.13%	การนำไฟฟ้าลดลง	30%
เหล็ก 0.4%	การนำไฟฟ้าลดลง	64%

จากตัวเลขข้างบนเห็นว่ามีสิ่งไม่บริสุทธิ์เจือปนเล็กน้อย การนำไฟฟ้าจะลดลงเห็นได้ชัด ถ้าต้องการจะให้ได้โลหะบริสุทธิ์ถึง 99.95% มักนำแร่ทองแดงมาทำอิเล็กโทรลิซิส

11-10 คุณสมบัติและประโยชน์ของทองแดง (Properties and Uses of Copper)

ทองแดงเป็นโลหะที่มีสีแดง มีลักษณะอ่อน ชักเป็นเส้นลวดได้ง่าย หรือทำให้เป็นแผ่นก็ได้ เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ทำโลหะผสมได้คือทองเหลือง ทองเหลืองประกอบด้วยทองแดงและสังกะสีเจือประมาณ 5% - 45% ซึ่งใช้ประโยชน์ในเครื่องกลต่าง ๆ บางทีก็ผสมอลูมิเนียม ดีบุก มังกานีส เหล็กหรือตะกั่วเข้าไปบ้าง

นอกจากนี้ยังทำโลหะผสมซึ่งเรียกว่า บรอนซ์ (bronze) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับดีบุกปกติจะมีดีบุก 5% - 15% มีประโยชน์ใช้ในโครงสร้างและสิ่งตกแต่ง เช่น รูปปั้น กระดิ่ง เครื่องใช้บางชนิด บรอนซ์มีสมบัติแข็ง เหนียวและทนทานต่อการกัดผุ และทองแดงยังใช้เจือกับนิกเกิลใช้ทำเหรียญกษาปณ์ โดยมีส่วนผสมของ 75% Cu กับ 25% Ni

ทองแดงยังทำเงินสเตอร์ลิง ซึ่งมีทองแดงเจืออยู่ 7.5% ใช้ทำเครื่องใช้ เครื่องประดับ

ทองแดงผสมกับทองคำและส่วนผสมอื่น ๆ เป็นทองคำขาวซึ่งประกอบด้วย ทองแดง 3.5% นิกเกิล 16.5% สังกะสี 5% นอกนั้นเป็นทองคำ ทองคำขาวนี้แข็งแรงมาก ใช้เป็นเครื่องประดับ

ทองแดงยังช่วยมิให้มนุษย์ได้รับอันตรายจากแสงอุลตราไวโอเล็ตของดวงอาทิตย์ อีกทั้งเป็นส่วนหนึ่งของเอ็นไซม์ที่ช่วยในการสร้างเมลานิน (melanin) ซึ่งเป็นสีของผิวหนังและสีนี้จะเป็นตัวช่วยมิให้อุลตราไวโอเล็ตถูกร่างกายมาก ยังสามารถกล่าวได้ว่า เซลล์ต่าง ๆ จะไม่สามารถสกัดพลังงานจากอาหารถ้าปราศจากสารประกอบซึ่งมีทองแดงอยู่ด้วย

11-11 ตะกั่ว (Lead)

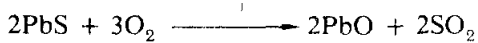
มนุษย์ได้นำเอาตะกั่วมาใช้เป็นเวลานานที่ทราบเพราะได้พบว่า มีการกล่าวถึงเรื่องตะกั่วในคัมภีร์ไบเบิลอีกทั้งชาวอียิปต์ก็ได้ใช้ธาตุนี้ในการทำเครื่องเคลือบดินเผา ได้พบทำตะกั่วเก่า ๆ ในอียิปต์ ได้มีการรู้จักก่อนแร่ตะกั่ว ก่อนคริสตกาลถึงสามพันปี แรก ๆ ช่องแคบตาลดาเนลล์ระหว่างยุโรปกับเอเชีย ในศตวรรษที่ 15 มีตีถึง 16 หลัง ใช้หลังคาทำด้วยตะกั่ว ขณะนี้ได้ใช้มากในอุตสาหกรรมทำแบตเตอรี่รถยนต์ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

11-12 การถลุงตะกั่ว (Metallurgy of Lead)

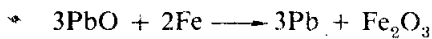
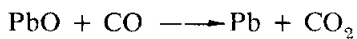
ตะกั่วมีทั่วไปในโลก บางครั้งพบว่ามีสังกะสีปะปนอยู่ด้วย แต่ปริมาณของแร่ตะกั่วมีมากกว่า แต่บางครั้งสังกะสีก็มีมากกว่า สินแร่ที่สำคัญของตะกั่วคือแร่กาลีนา (galena, PbS) ตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$) และตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$)

ในการแยกตะกั่วออกจากแร่กาลีนาพบว่ามีสารประกอบซัลไฟด์ของธาตุนี้เกิล โคบอลท์ ทองแดง ทองคำ บิสมัท แคดเมียมและแมงกานีส จึงต้องใช้วิธีลอยแร่เพื่อให้ได้หัวแร่เสียก่อน จึงจะนำมาเผาให้ความร้อน แต่จะใช้ของเหลวชนิดใดเป็นตัวช่วยในการลอยแร่ก็ต้องศึกษาว่ามี สารประกอบใดเจือปนอยู่บ้างจึงจะได้ผลดี ในการแยกธาตุนี้ อาทิเช่น นำเอากาลีนามาทำให้มี หัวแร่โดยเติมโซเดียมคาร์บอเนตพร้อมทั้งใส่สังกะสีซัลเฟตและโซเดียมไซยาไนด์เล็กน้อย ซึ่ง จะทำให้สังกะสีซัลไฟด์และเหล็กซัลไฟด์ลอยอยู่ที่ผิว ส่วนทองแดงซัลไฟด์และตะกั่วซัลไฟด์ อยู่ถัดมา และต้องมีการลอยแร่เพื่อแยกสังกะสีซัลไฟด์ออกจากเหล็กซัลไฟด์ ในขณะที่ทำให้ ธาตุนี้บริสุทธิ์ทองแดงจะแยกออกจากตะกั่ว

ต่อมาต้องมีการให้ความร้อน (roasting) และถลุง (smelting) โดยนำเอาหัวแร่ซึ่งมี ตะกั่วซัลไฟด์มาเปลี่ยนเป็นตะกั่วออกไซด์ ดังนี้



นำเอา PbO ไปรีดิวซ์โดยใส่ใส่เตาบลาสท์ แล้วใส่เศษเหล็ก คาร์บอนและคาร์บอน-มอนอกไซด์ (ซึ่งได้จากการเผาเชื้อเพลิง) เพื่อดึงออกซิเจนจาก PbO



ตะกั่วที่แยกออกมาอาจจะประกอบด้วยสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ซึ่งเป็นที่ทั้งโลหะและอโลหะ เช่น ทองแดง พลวง สารหนู บิสมัท ทอง และเงิน ธาตุดังกล่าวนี้บางตัวรวมกับออกซิเจนได้ ออกไซด์รวดเร็วกว่าตะกั่วเสียอีกในขณะที่ถูกกับอากาศ ฉะนั้น ออกไซด์ของสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์นี้ จะอยู่เหนือตะกั่วและจะถูกกวาดออกไป ก็จะเหลือตะกั่วซึ่งอาจมีสังกะสี ทองแดงและโลหะ มีค่าอื่นอยู่ ขึ้นต่อไปก็หาวิธีแยกตะกั่วออกจากธาตุดังกล่าว

11-13 คุณสมบัติและประโยชน์ของตะกั่ว (The Properties and Uses of Lead)

ตะกั่วเป็นโลหะสีเทาเงิน หน้าตัดเป็นเงา ลักษณะอ่อน แผ่นตะกั่วมีสมบัติสะกด กั้นอำนาจกัมมันตภาพรังสี ตะกั่วบริสุทธิ์จริงๆ จะอ่อน สามารถใช้นิ้วขูดผิวให้เป็นรอยได้ อีกทั้งทำเป็นแท่งและชักเป็นเส้นลวดได้ เนื่องจากโลหะนี้มีความหนาแน่นสูงจึงจะสะกดกั้นการแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพรังสีได้ดี บางทีเขาเก็บสารกัมมันตภาพรังสีไว้ในก้อนตะกั่วหรือไม้ก่ ห่อหุ้มด้วยแผ่นตะกั่ว ในวงการทันตกรรม ทันตแพทย์ได้ใช้ผ้าตะกั่วคลุมร่างกายคนไข้ให้พ้น

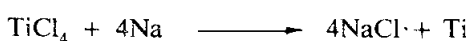
จากอำนาจรังสีเอ็กซ์ บางครั้งแพทย์ใช้แผ่นตะกั่วคลุมอวัยวะสืบพันธุ์ของเด็กในตอนที่มีการเอ็กซเรย์ ขณะที่อนุภาคอัลฟาบีตารังสีแกมมาหรือรังสีเอ็กซ์ผ่านแผ่นตะกั่ว จะเกิดการบอบกบอะตอมตะกั่วและถ่ายเทพลังงานให้อะตอมตะกั่ว แต่ถ้ามีการแผ่รังสีสูงก็จะต้องใช้ตะกั่วกันรังสีเป็นจำนวนมากด้วย

ตะกั่วจะไม่มีผลต่ออากาศแห้งหรือในที่ ๆ มีน้ำ แต่ไม่มีออกซิเจน ในที่ ๆ มีอากาศชื้นพื้นผิวตะกั่วจะถูกออกซิไดส์เกิดเป็นฟิล์มเกาะติดแน่นที่ผิวซึ่งทำให้เกิดการออกซิเดชันช้าลง ถ้าเผาตะกั่วจนร้อนแดงจะได้ตะกั่วออกไซด์เรียกลิธارج (litharge); ถ้าเผาลิธارجจนร้อนถึง 400°C -- 450°C จะได้ตะกั่วแดง (Pb_3O_4)

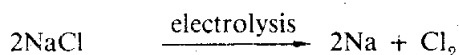
ในสมัยโบราณได้ใช้ตะกั่วเป็นสีทาอาคารแต่ถ้าสารนี้เข้าไปในร่างกายจะเป็นพิษได้เคยมีรายงานว่าถ้าสารประกอบตะกั่วเข้าไปในร่างกายเด็กก็มีผลทำให้เกิดอาการง่วงเหงา คลื่นเหียนวิงเวียน และอาจหมดความรู้สึกได้ สารประกอบตะกั่วใช้ปนในก๊าซโซลีนเพื่อแก้การน็อคของเครื่องยนต์ ใช้ทำแก้วที่มีคุณภาพสูง ทำกระสุนดินดำ แต่ที่สำคัญที่สุดคือการทำแบตเตอรี่

11-14 โซเดียม (Sodium)

เป็นโลหะสีเงินแกมขาว (silvery-white) ลักษณะอ่อนนุ่มสามารถตัดได้ด้วยมีด ทำปฏิกิริยาได้เร็วกับสารหลายชนิด ถูกออกซิไดส์ได้ในอากาศชื้น รวมถึงกับโลหะต่าง ๆ เกิดเป็นโลหะผสม (alloy) โซเดียมจัดว่าอยู่ในหมู่หนึ่งของตารางธาตุ อิเลคตรอนวงนอกที่วิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสหลุดออกได้ง่ายเมื่อหลุดแล้วอะตอมจะกลายเป็นไอออนบวกจึงเป็นโลหะที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา ฉะนั้นธาตุนี้จึงเกิดปฏิกิริยาได้หลายชนิด เช่น สามารถแยกโลหะออกจากสารประกอบได้ เช่น แยกติทานีียม (Ti) และเซอร์โคเนียม (Zr) จากติทานีียมคลอไรด์ (TiCl_4) และเซอร์โคเนียมคลอไรด์ได้ตามลำดับ ดังสมการ

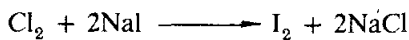


โซเดียมมีประโยชน์มากมาย เช่น ทำอุตสาหกรรมสี ยา น้ำหอม ดวงไฟที่ติดตามถนน ทำให้ถนนสว่างไสวเป็นสีเหลืองและปลอดภัย เนื่องจากไอของโซเดียม โซเดียมเป็นธาตุที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจึงก่อให้เกิดสารประกอบได้มากมาย โซเดียมคลอไรด์มีประโยชน์มากที่สุด สารนี้อยู่ในน้ำทะเล ถ้าต้องการธาตุโซเดียมเตรียมได้โดยวิธีอิเล็กโทรไลซิสของโซเดียมคลอไรด์



11-15 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

เป็นสารประกอบที่สำคัญของโซเดียมสารหนึ่ง บางที่เรียกชื่อว่าคอสติกโซดา (caustic soda) จัดว่าเป็นสารเคมีที่สำคัญสารหนึ่งในอุตสาหกรรมเคมี ถ้าสารประกอบนี้อยู่ในน้ำเรียกว่าไลย์ (lye) การเตรียมสารนี้ในทางการค้า ใช้วิธีอิเล็กโทรไลซิสสารละลายโซเดียมคลอไรด์ วิธีนี้ได้ประโยชน์ดีมาก ตรงที่ว่านอกจากจะได้โซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วยังได้คลอรีนออกมาทำประโยชน์ได้ คือคลอรีนทำให้น้ำบริสุทธิ์และกำจัดแบคทีเรีย ออกซิไดส์สารอินทรีย์และฟอกสีได้ คลอรีนยังเป็นตัวช่วยให้ได้ออโอดีนออกมา ดังสมการ



คลอรีนยังใช้เตรียมยากำจัดศัตรูพืชคือ ดี ดี ที ได้อีกด้วย

11-16 ยูเรเนียม (Uranium)

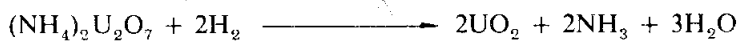
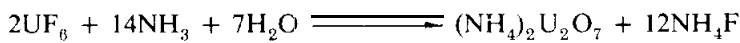
อดีตที่ผ่านมาโลกได้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ๆ ตลอดเวลา โดยเหตุนี้จึงได้มีการค้นหาแหล่งให้พลังงาน นำมาสู่การใช้พลังงานนิวเคลียร์ สำหรับเตาปฏิกรณ์ปรมาณูได้ใช้ยูเรเนียมเป็นเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงยูเรเนียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของยูเรเนียมไดออกไซด์ (UO_2) นับตั้งแต่ ค.ศ. 1940 มา จัดว่าเป็นยุคของพลังงานนิวเคลียร์ ในตอนแรก ๆ ของยุคนิวเคลียร์ได้มีการใช้ยูเรเนียมเป็นสีในการทำเครื่องเคลือบดินเผาเท่านั้น และก็ยังไม่ทราบถึงอันตรายของธาตุนี้ ส่วนที่มาของยูเรเนียมในตอนนั้นส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการทำเหมืองทองคำ วานาเดียมและเรเดียม ปัจจุบันนี้ได้มีการสำรวจเพื่อหาแหล่งแร่ที่เกิดขึ้นหลายแห่งในโลก

การแยกแร่ยูเรเนียมในธรรมชาติ ได้จากสินแร่ พิชเบลนด์ (pitchblende U_3O_8) หรือคาร์โนไทท์ (carnotite) เมื่อได้ชุดแร่ที่มียูเรเนียมจากพื้นดินได้แล้วก็นำมาบดให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ เสียก่อน แล้วจึงทำการแยกและทำให้ได้หัวแร่ซึ่งเป็นสารประกอบของยูเรเนียม ต่อไปใส่กรดกำมะถันหรือน้ำยาโซเดียมคาร์บอเนต อย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งก็แล้วแต่ชนิดของแร่ เพื่อให้เกิดการละลายและทำปฏิกิริยากับสารประกอบยูเรเนียม ต่อมาใส่แอมโมเนียเพื่อให้มีปฏิกิริยาดำเนินการต่อไปอีกจนได้ของแข็งสีเหลืองของสารประกอบออกไซด์ของยูเรเนียม (U_3O_8) และขั้นต่อไปให้เปลี่ยนเป็นยูเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์ (UF_6) ต่อไปต้องพยายามเปลี่ยน UF_6 ให้เป็น UO_2 เพื่อนำไปใช้เป็นแท่งเชื้อเพลิง

การเปลี่ยน UF_6 ให้เป็น UO_2 จะต้องเป็นไปหลายขั้นตอน เช่น ตอนแรกใช้กรดไนตริกเพื่อละลาย U_3O_8 แล้วใส่สารละลายเพื่อสะกัด U_3O_8 ใส่ น้ำ และนำไปประเหย ขั้นสุดท้ายใส่กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เพื่อให้ได้ UF_6 จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาทั้งหมดค่อนข้างยาวและเป็น

พิษ ทำให้ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาหลายขั้นตอนเช่นนี้ เหตุผลคือว่าการที่ธาตุยูเรเนียมจะสามารถทำปฏิกิริยาฟิชชัน (ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 12) ได้สมบูรณ์แบบต้องเป็นยูเรเนียมที่สามารถเกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้มากพอหรือเรียกว่า เป็นแอนริชยูเรเนียม (enrich uranium) ยูเรเนียมในธรรมชาติส่วนใหญ่มีไอโซโทปที่จะไม่เกิดฟิชชัน คือเป็นยูเรเนียม 238 (^{238}U) ส่วนยูเรเนียม 235 (^{235}U) นั้น เป็นไอโซโทปที่เกิดปฏิกิริยาฟิชชันมีเพียง 0.71% ส่วนที่เหลือเป็นยูเรเนียม 238 (^{238}U) ดังนั้น ถ้าจะคิดเอา ^{235}U จากธรรมชาติซึ่งมีน้อย ถ้าจะให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ให้ได้ผลดีจะต้องมี ^{235}U ประมาณ 2-3% ฉะนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องแยกเอา ^{235}U ออกมาและผสม ^{235}U ลงไปในแร่ยูเรเนียมตามธรรมชาติ การกระทำอย่างนี้เรียกว่า ไอโซโทปิกแอนริชเมนต์ (isotopic enrichment) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่สลับซับซ้อน และบางตอนต้องอาศัยกรรมวิธีทางฟิสิกส์เข้าช่วย เรื่องนี้ทำสำเร็จเมื่อสงครามครั้งที่สอง และถือกันว่าเป็นความสำเร็จที่ใหญ่หลวงของเทคโนโลยีในศตวรรษนี้ และเมื่อสำเร็จนำไปสู่การพัฒนาสร้างระเบิดปรมาณู

ขั้นต่อไปนี้จะกล่าวถึง คือการทำแอนริชยูเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์ (UF_6) ให้เป็น UO_2 โดยนำเอา UF_6 ทำปฏิกิริยากับน้ำและแอมโมเนีย จะเกิดปฏิกิริยาได้ แอมโมเนียมไดยูเรเนท (ammonium diuranate ($(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$) ต่อก็นำเอา $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ ไปเผาด้วยไฮโดรเจนให้ยูเรเนียมออกไซด์ (UO_2)



ยูเรเนียมไดออกไซด์ที่ได้เป็นของแข็ง และนำมาทำให้เป็นผลเพื่ออัดเป็นเม็ด (pellet) ซึ่งจะต้องเอาไปอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิง สำหรับนำไปใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ยูเรเนียมที่อยู่ในสภาพเอาไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เรียกแอนริชยูเรเนียม ได้มีการเรียกว่าวัฏจักรเชื้อเพลิงยูเรเนียม (uranium fuel cycle) นั้น หมายถึงตั้งแต่เริ่มขุดแร่ยูเรเนียมจากใต้ดินจนถึงได้เป็นแท่งเชื้อเพลิงยูเรเนียม แต่ทุก ๆ ขั้นตอนของการทำวัฏจักรเชื้อเพลิงยูเรเนียมเต็มไปด้วยสารที่เป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งจำเป็นจะต้องควบคุมมิให้เสียดลอดเข้าสู่บรรยากาศโลก พิจารณาอย่างหยาบ ๆ จะเห็นว่าขณะที่มีการขุดแร่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สารพวกซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ไนโตรเจนคือ NO , NO_2 และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก็เข้าสู่บรรยากาศ เมื่อแร่ขนส่งลงมาทางเรือเข้าสู่โรงถลุงเพื่อแยกธาตุจากแร่แล้วผ่านกรรมวิธีการแยกแร่ กัมมันตภาพรังสีจากก้อนแร่จะเข้าสู่บรรยากาศ ในตอนที่ละลายสารประกอบยูเรเนียม น้ำยาที่ใช้แล้วและไม่ใช้อีก ก็ยังมีกัมมันตภาพรังสีปะปนอยู่ด้วย ซึ่งต้องระมัดระวังให้มาก เพราะเป็นปัญหาว่าจะจัดและทำลายได้

อย่างไรที่มีให้เล็ดลอดสู่บรรยากาศ แม้กระทั่งตอนแรก ๆ ที่นำแร่มาบดให้เป็นผงเล็ก ๆ ซึ่งตอนนั้นก็มีการเรดอน -222 (^{222}Rn) และเรเดียม -226 (^{226}Ra) และทอเรียม -232 (^{232}Th) อยู่ด้วยแล้ว ทั้งหลายที่กล่าวมาเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังเพราะเมื่อได้ยูเรเนียมมาใช้งานแล้ว ต้องมิให้เกิดการเล็ดลอดของสิ่งที่ไม่ต้องการ หรือเรียกว่า กากกัมมันตภาพรังสี ออกสู่บรรยากาศ ซึ่งถ้าเล็ดลอดออกมาได้และเป็นของแน่นอนยังมีพิษอยู่ต่อมนุษย์มากมาย