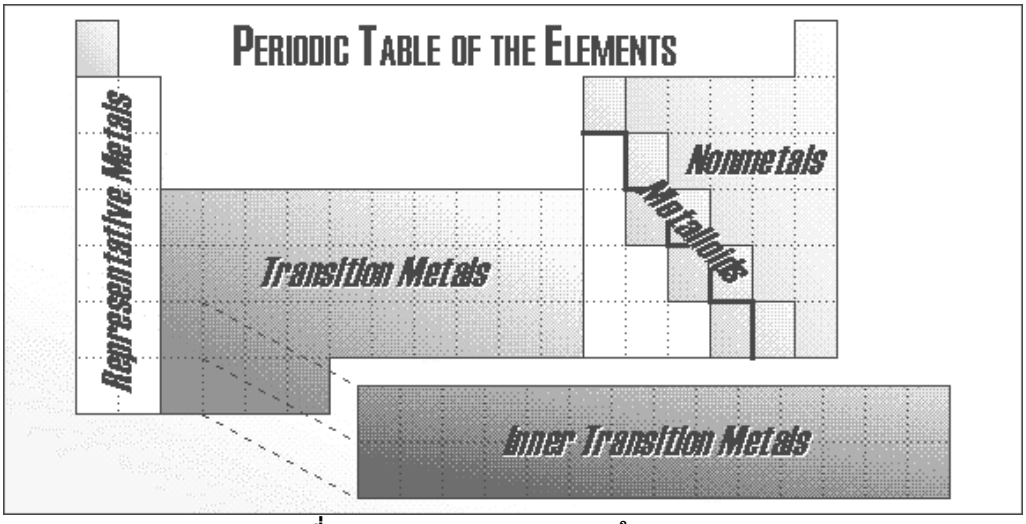
10

โลหะที่สำคัญและประโยชน์

10.1 แร่และสินแร่
10.2 การถลุงโลหะ
10.3 เหล็ก
10.4 การถลุงเหล็ก
10.5 การผลิตเหล็กกล้า
10.6 อลูมินัม
10.7 สมบัติและประโยชน์ของอลูมินัม
10.8 ทองแดง
10.9 การถลุงโลหะทองแดง
10.10 สมบัติและประโยชน์ทองแดง
10.11 ตะกั่ว
10.12 การถลุงตะกั่ว
10.13 สมบัติและประโยชน์ตะกั่ว
10.14 โซเดียม
10.15 โซเดียมไฮดรอกไซด์
10.16 ยูเรเนียม

บทนำ

โลหะที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่ อยู่ในลักษณะของของผสมที่ปนอยู่กับสารประกอบอื่น ซึ่งพบบนเปลือกโลกทั้งในน้ำ อากาศ และบนพื้นดิน โลหะส่วนใหญ่มักพบ



รูปที่ 10.1 แสดงการจำแนกธาตุในตารางธาตุ

จากการศึกษาตารางธาตุ ธาตุสามารถแบ่งตามสมบัติของความเป็นโลหะได้ 3 ประเภท ดังรูปที่ 10.1 ได้แก่ โลหะ อโลหะ และกึ่งโลหะ ธาตุที่พบบนโลกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นโลหะ และโลหะเกือบทั้งหมดนั้นอยู่ในหมู่อัลคาไล (หมู่ I ของตารางธาตุ) อัลคาไลเอิร์ทธาตุอินเนิร์ท-ทรานซิชัน[Δ] ธาตุทรานแอคทิไนด์ และธาตุทรานซิชัน (***แต่*** มีบางธาตุเป็นกึ่งโลหะ : Ge Sb และ Po)

สมบัติทางกายภาพของโลหะ ที่รู้จักกันดี คือ

1. การนำไฟฟ้า โลหะนำไฟฟ้าได้ดีมาก เนื่องจากมีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลง
2. การนำความร้อน โลหะนำความร้อนได้ดี
3. มีความมันวาวที่ผิวของโลหะ ทำให้สะท้อนแสงได้
4. โลหะสามารถตีเป็นแผ่นได้
5. มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง เพราะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง

[Δ] อินเนิร์ททรานซิชัน ได้แก ธาตุแลนทาไนด์ (lanthanides) และธาตุแอกติไนด์ (actinides)

สมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะยังมีคือ

1. สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้สารประกอบเบสิกออกไซด์ เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่เป็นเบส (มี pH สูงกว่า 7 และมีไฮดรอกไซด์ไอออน OH^-) และเมื่อนำสารประกอบเบสิกออกไซด์มาทำปฏิกิริยากับกรด จะได้เกลือ เช่น

$$4\,Na + O_2 \rightarrow 2\,Na_2O$$

$$Na_2O + H_2O \rightarrow 2\,NaOH$$

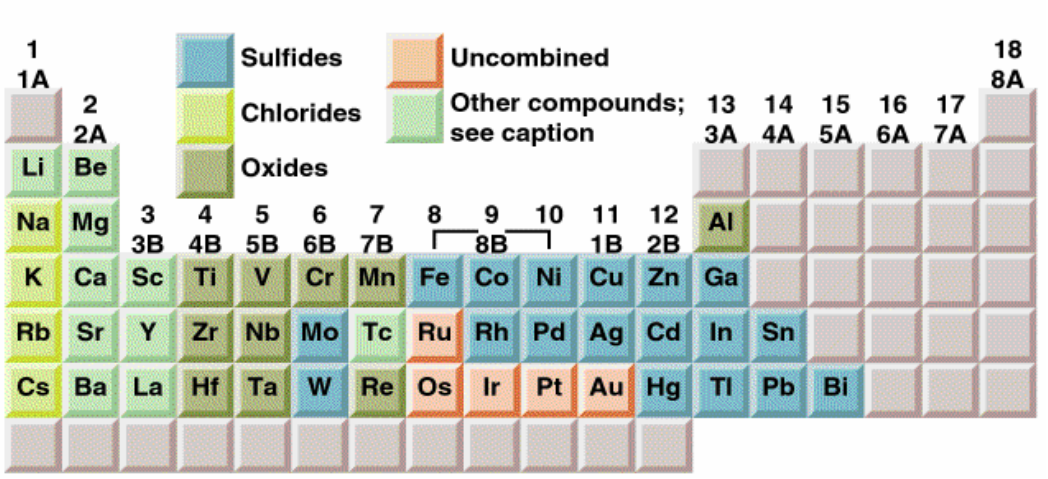
$$NaOH + HCl \rightarrow H_2O + NaCl$$

2. มีค่าออกซิเดชันเป็นบวก (มีแนวโน้มให้อิเล็กตรอนกับไอออนอื่น) เกิดเป็นไอออนบวก เมื่อสารประกอบโลหะละลายน้ำ

3. มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E°) เป็นลบ สามารถเข้าแทนที่ไฮโดรเจนในสารละลายกรด และเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ขึ้น

10.1 แร่และสินแร่ (Minerals and Ores)

แร่ธาตุทางเคมี โดยทั่วไปในธรรมชาติสามารถเกิดสารประกอบหรือธาตุได้ แต่ในทางวิทยาแร่ (mineralogy) และธรณีวิทยา (geology) ธาตุและสารประกอบนั้นเกิดขึ้นจากกระบวนการทางอนินทรีย์ ดังเช่น ปิโตรเลียมและถ่านหิน ซึ่งเป็นรูปหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยการย่อยสลายของสารอินทรีย์ แต่ไม่ถือเป็นแร่ธาตุ แร่ธาตุมากกว่า 3,000 ชนิด ที่รู้จักกันดี แร่ธาตุแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะตัวที่สำคัญ เช่น ส่วนประกอบทางเคมี โครงสร้างลักษณะของผลึก และสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นในการจำแนกอาจจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี ชนิดของผลึก ความแข็ง และสิ่งที่เห็นได้ (สี ความวาว และการทึบแสง) แร่ธาตุส่วนใหญ่เป็นของแข็ง ยกเว้นที่เป็นของเหลวคือโลหะปรอทและน้ำ หินทุกก้อนบนเปลือกโลกเกิดจากการรวมตัวของแร่โลหะ **แร่ธาตุ** (mineral) เป็นสิ่งมีค่าทางเศรษฐกิจ เพราะเป็นแหล่งที่ให้**โลหะ** (metals) ที่สำคัญ



รูปที่ 10.2 โลหะและแร่ธาตุที่รู้จักกันดี

สินแร่ (Ores) เป็นแร่ที่สามารถนำส่วนประกอบที่อยู่ในแร่มาใช้ประโยชน์ได้ และประกอบด้วยธาตุต่างๆ มากกว่าหนึ่งร้อยชนิด ทำให้สามารถจำแนกองค์ประกอบได้สามประเภท คือ โลหะ อัลลอยด์ และอโลหะ ดังในตารางที่ 10.1 สำหรับตัวอย่างของสินแร่ที่พบทั้งโลหะและอโลหะ ได้แก่

- Barringerite $(Fe, Ni)_2P$
- Carlsbergite CrN
- Cohenite Fe_3C
- Haxonite $(Fe, Ni)_{23}C_6$
- Niggliite $PtSn$
- Nierite Si_3N_4
- Osbornite TiN
- Perryite $(Fe, Ni)_8(Si, P)_3$
- Roaldite Fe_4N
- Schreibersite $(Fe, Ni)_3P$
- Siderazot Fe_5N_2
- Stistaite $SnSb$
- Suessite $(Fe, Ni)_3Si$
- Tongbaite Cr_3C_2

ตารางที่ 10.1 แสดงแร่โลหะ โลหะอัลลอย และอโลหะ

Native Metals	**Metallic Alloys**	**Native Non-metals and Semi-metals**

• Aluminum *Al*
• Cadmium *Cd*
• Chromium *Cr*
• Gold Group:
  • Copper *Cu*
  • Gold *Au*
  • Lead *Pb*
  • Mercury *Hg*
  • Silver *Ag*
• Indium *In*
• Iron *Fe*
• Nickel *Ni*
• Platinum *Pt*
• Tellurium *Te*
• Tin *Sn*
• Titanium *Ti*
• Zinc *Zn*
	• Anyuiite $Au(Pb, Sb)_2$
	• Auricupride Cu_3Au
	• Belendorffite Cu_7Hg_6
	• Brass Cu_3Zn_2
	• Cabriite Pd_2SnCu
	• Chengdeite Ir_3Fe
	• Cupalite $(Cu, Zn)Al$
	• Danbaite $CuZn_2$
	• Eugenite Ag_9Hg_2
	• Hunchunite $(Au, Ag)_2Pb$
	• Iron-nickel *(Fe, Ni)*
	• Isoferroplatinum $(Pt, Pd)_3(Fe, Cu)$
	• Kolymite Cu_7Hg_6
	• Leadamalgam $HgPb_2$
	• Luanheite Ag_3Hg
	• Maldonite Au_2Bi
	• Moschellandsbergite Ag_2Hg_3
	• Osmium *(Os, Ir)*
	• Paraschachnerite Ag_3Hg_2
	• Plumbopalladinite Pd_3Pb_2
	• Schachnerite $Ag_{1.1}Hg_{0.9}$
	• Stannopalladinite $(Pd, Cu)_3Sn_2$
	• Tetraauricupride *AuCu*
	• Tetraferroplatinum *PtFe*
	• Weishanite (Au, Ag_3Hg_2)
	• Yuanjiangite *AuSn*
	• Zhanghengite *(Cu, Zn, Fe, Al, Cr)*
		• Arsenic *As*
		• Arsenolamprite *As*
		• Bismuth *Bi*
		• Carbon Group
		  • Chaoite *C*
		  • Diamond *C*
		  • Graphite *C*
		  • Lonsdaleite *C*
		  • Moissanite *SiC*
		• Nierite Si_3N_4
		• Paradocrasite $Sb_2(Sb, As)_2$
		• Rosickyite *S*
		• Selenium *Se*
		• Silicon *Si*
		• Sinoite Si_2N_2O
		• Stibarsen *SbAs*
		• Sulfur *S*
		• Tellurium *Te*
		• Antimony *Sb*

สำหรับประเทศไทย แร่ที่ทำรายได้มากที่สุด ได้แก่ ดีบุก ตะกั่ว พลวง ยิปซัม ตามลำดับ สำหรับตารางที่ 10.2 เป็นตารางที่แสดงสินแร่ โลหะที่ได้ และประเภทของแร่

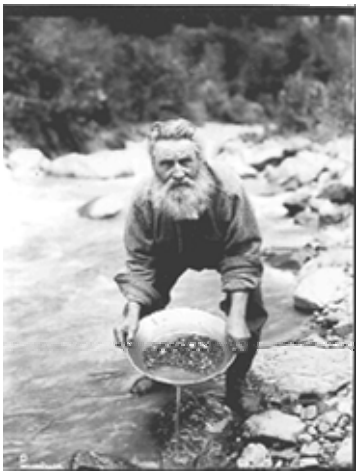
ตารางที่ 10.2 แสดงสินแร่ โลหะ ประเภทของแร่

สินแร่	โลหะที่ได้จากสินแร่	โลหะที่อยู่ในรูปสารประกอบ
แคสสิเทอร์ไรด์	ดีบุก	ออกไซด์
กาลีนา	ตะกั่ว	ซัลไฟด์
เฮมาไตด์	เหล็ก	ออกไซด์
ซิเดอร์ไรด์		คาร์บอเนต
วุลแฟรมไมท์ซีไลท์	ทังสะเตน	ออกไซด์
คาลโคไพไรด์	ทองแดง	ซัลไฟด์
มาลาไคด์		คาร์บอเนต
สติบไนต์	พลวง	ซัลไฟด์,
สติบิโคไนต์		ออกไซด์
โมนาไซท์	ทอเรียม	ฟอสเฟต
สฟาเลอไรต์หรือ	สังกะสี	ซัลไฟต์
ซิงต์เบลนด์		

10.2 การถลุงโลหะ (Metallurgical Operations)

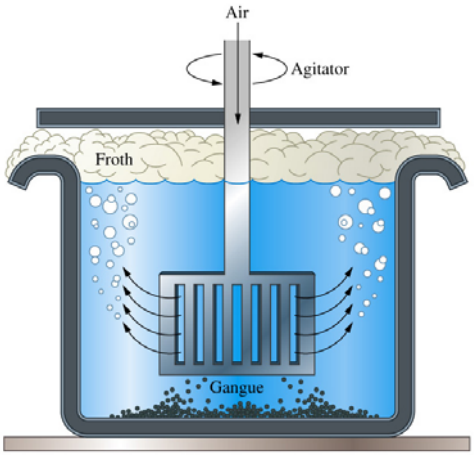
กระบวนการแยกแร่โลหะจากสินแร่และทำให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ เรียกว่า **การถลุงแร่โลหะ (metallurgy)** หลังจากที่ได้มี**การขุดแร่** (mining) ขึ้นมาจากพื้นดินแล้ว ต้องมีวิธีการที่ใช้แยกโลหะออกจากสินแร่เหล่านี้ การที่จะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของโลหะนั้นๆ และค่าใช้จ่ายในการแยกด้วย การถลุงโลหะโดยทั่วไปมีสองขั้นตอน

1. Concentration เป็นการทำให้สินแร่มีสิ่งเจือปนจำพวก หิน ทราย น้อยที่สุด บางครั้งอาจใช้วิธีล้างออกด้วยน้ำ แต่ส่วนใหญ่มักต้องบดหรือโม่ให้เป็นชิ้นเล็กๆ (crushing) การเผาให้ร้อน และการแยกให้ผงโลหะลอยอยู่บนฟองของเหลว ซึ่งอาศัยสมบัติทางกายภาพ คือ ความถ่วงจำเพาะและน้ำหนักที่แตกต่างกันของแร่โลหะและสิ่งเจือปน การแยกโดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ ไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของโลหะเปลี่ยนไป การแยกจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสินแร่ด้วย เช่น การแยกโลหะทองคำหรือเงินออกจากสินแร่ อาจใช้เพียงวิธีการร่อนแร่ในภาชนะที่มีรูปร่างคล้ายกะทะในน้ำ แร่ทองหรือเงินที่ปนกับทรายหรือดินจะจมอยู่ก้นภาชนะ ส่วนทรายและดินจะลอยหลุดไปกับน้ำ เนื่องจากทองคำหรือเงินมีความหนาแน่นมากกว่าทรายนั่นเอง ดังรูปที่ 10.3



รูปที่ 10.3 การร่อนแร่

วิธีการที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรม คือ **วิธีการลอยแร่ (froth-flotation process)** เป็นกระบวนการหนึ่งสำหรับแยกแร่โลหะที่อยู่ในสินแร่ ปกติมักใช้กับสินแร่จำพวกคอปเปอร์ซัลไฟด์ เมื่อแร่ถูกบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วเติมน้ำและสารเคมีบางชนิด ผสมลงไปในถังที่ใช้สำหรับลอยแร่ คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน แร่โลหะแต่ละชนิดมีสมบัติของพื้นผิวแตกต่างกัน การเติมอากาศและสารเคมีลงไปจะทำให้แร่โลหะลอยแยกออกจากแร่อื่นๆ ที่ไม่ต้องการ[1] ดังรูปที่ 10. 4



รูปที่ 10.4 การแยกแร่โดยวิธีลอยแร่ ในถัง flotation tang

[1] แร่อื่นที่จมลงใต้ถัง เรียกว่า gangue

สำหรับสารเคมีที่เติมลงไป ได้แก่

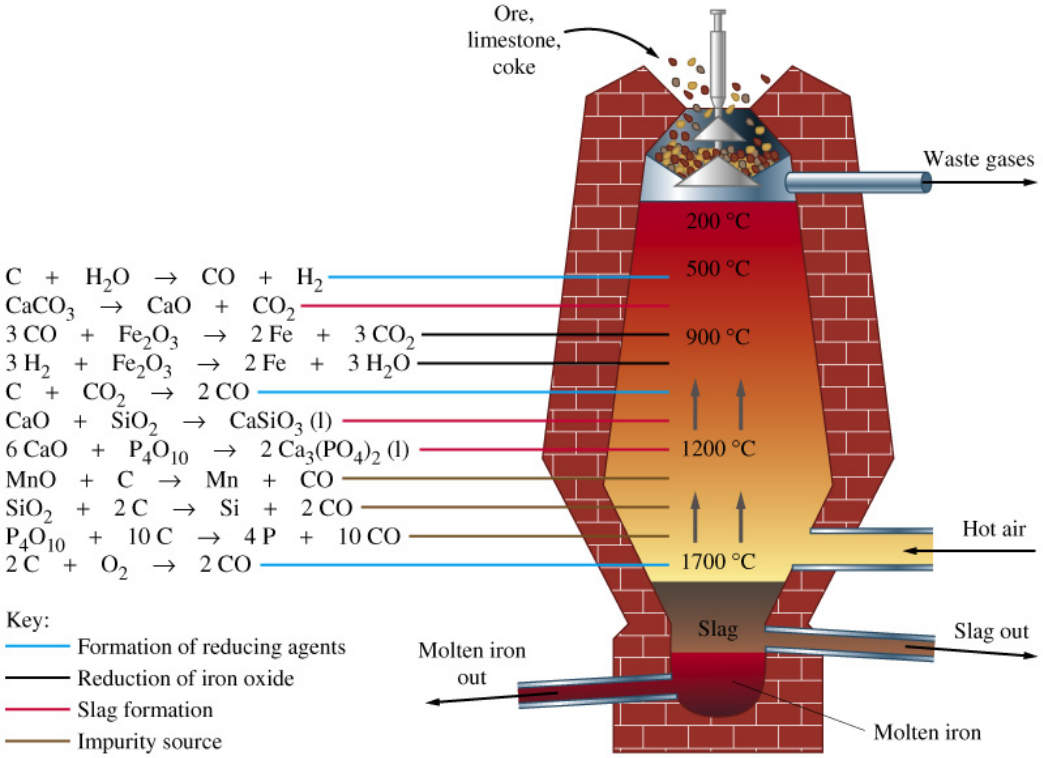
1. frothing reagents สารที่ทำให้เกิดฟองหรือโฟม (ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ) ได้แก่ สบู่ สารซักฟอก น้ำมันสน แอลกอฮอล์ โพลีโพรไพลีนไกลคอล sulfur dioxide, sulfuric acid, cyanide compounds, petroleum hydrocarbons, hydrochloric acids, copper compounds, และ zinc fume หรือผงฝุ่น.

2. collecting reagents สารที่ใช้สำหรับเคลือบผิวของโลหะไม่ให้รวมกับน้ำ เช่น น้ำมัน, xanthates, dithiophosphates, petroleum sulfonates, fatty amine

2. การแยกโลหะ (Separation of the Metal) เป็นกระบวนการแยกธาตุโลหะออกจากสารเจือปนที่ไม่ต้องการ มักใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เพื่อให้ได้ธาตุโลหะที่บริสุทธิ์ขึ้น โดยใช้ตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม วิธีการแยกขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่แยกและสารประกอบที่ปนอยู่ เช่น ทองและเงินสามารถแยกออกจากธาตุอื่นได้โดยหลอมแล้วใช้ปรอทแยกโลหะทองและเงินออกมา หรืออาจใช้ไซยาไนด์ในการแยกก็ได้ วิธีแยกเงินอีกวิธีหนึ่งคือ “Parkes process” เป็นการแยกโลหะเงินออกจากสินแร่ที่มีตะกั่วผสมอยู่ ด้วยหลอมเงินรวมกับสังกะสี จะพบว่าธาตุโลหะที่พบปนอยู่กับธาตุอื่นในธรรมชาติ ต้องใช้ปฏิกิริยาเคมีในการแยกโลหะให้เป็นอิสระ กระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการแยก เช่น การแยกโลหะด้วยความร้อน (pyrometallurgy) การแยกด้วยอิเล็กโตรไลติก (electrometallurgy) และ การแยกด้วยน้ำ (hydrometallurgy)

การแยกโลหะด้วยความร้อน (pyrometallurgy) ใช้ความร้อนในการหลอมและเผา ถ้าสินแร่มีสารประกอบโลหะออกไซด์ เมื่อถูกหลอมกับตัวรีดิวซ์★ เช่น คาร์บอน (จากถ่านโค๊กหรือถ่านหิน) สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับสารประกอบโลหะออกไซด์ เกิดการรวมตัวกับออกซิเจน ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

★ สารที่เติมลงไปในการแยกโลหะ เรียกว่า ฟลักซ์ (flux)



รูปที่ 10.5 การแยกโลหะโดยใช้ความร้อน

ดังเช่นแร่โลหะดีบุกออกไซด์ และแร่ตะกั่วออกไซด์

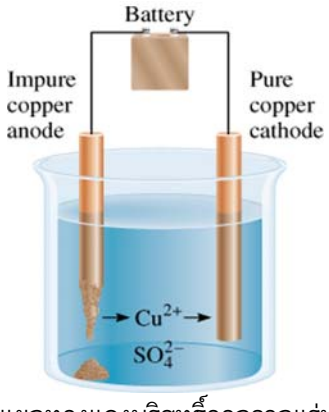
$$2\,SnO + C \xrightarrow{\Delta} 2Sn + CO_2$$

$$2\,PbO + C \xrightarrow{\Delta} 2Pb + CO_2$$

สำหรับของเหลวที่ได้จากการหลอมของแร่โลหะเรียกว่ากากถลุง (slag) คาร์บอนถูกใช้มากในการถลุงโลหะทางการค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการถลุงเหล็กและการทำเหล็กกล้า เพราะราคาถูก

สำหรับแร่โลหะซัลไฟด์เมื่อถูกเผาในอากาศ จะได้โลหะออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากนั้นจึงนำโลหะออกไซด์ที่ได้มารีดิวซ์อีกครั้ง ส่วนแร่โลหะคาร์บอเนตเมื่อนำมาหลอม จะเกิดโลหะออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์

การแยกโลหะด้วยอิเล็กโตรลิติก (Electrometallurgy) โดยวิธีการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสินแร่ที่อยู่ในสภาพสารละลาย เป็นการแยกโลหะออกจากสารประกอบอื่น โลหะบริสุทธิ์จะไปเกาะขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ประกอบด้วยโลหะที่มีความว่องไวสูง เช่น อลูมิเนียม แคลเซียม แบเรียม แมกนีเซียม และโซเดียม วิธีการนี้ใช้ค่าใช้จ่ายสูง แต่จะแยก



รูปที่ 10.6 การแยกทองแดงบริสุทธิ์ออกจากแร่ทองแดงที่มีมลทิน

การแยกโลหะด้วยน้ำ (Hydrometallurgy) วิธีการนี้บางครั้งเรียก "การชะละลาย" (leaching) กระบวนการแยกโลหะจากสินแร่โดยใช้ตัวทำละลาย อาจเป็นน้ำ กรดซัลฟุริก กรดไฮโดรคลอริก หรือสารละลายไซยาไนด์ ให้อยู่ในรูปของสารละลายของโลหะ จากนั้นจึงแยกโลหะออกจากสารละลายอีกครั้งโดยเติมสารเคมีหรืออาจใช้วิธีทางเคมีไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น สินแร่ทองแดงจะใช้กรดซัลฟุริกละลายทองแดงออกมาในรูปของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต แล้วจึงแยกโลหะทองแดงออกมาด้วยวิธีอิเล็กโตรลิซิส

10.3 เหล็ก (Iron)

เหล็กเป็นธาตุเคมีในตารางธาตุ มีสัญลักษณ์เป็น Fe เหล็กถูกนำมาใช้งานมานานกว่า 4000 ปีก่อนคริสตกาล พบว่าชาวอียิปต์นำเหล็กมาใช้ครั้งแรก และยังค้นพบแผ่นเหล็กในปิรามิดอีกด้วย โลหะเหล็กเฟื่องฟูมากในยุคโลหะ พบมากบนผิวโลกประมาณร้อยละ 4.7 โดยมวล จัดเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่สี่ เหล็กเป็นโลหะที่มีสีเทา มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวสูง ถูกดึงดูดด้วยแม่เหล็กได้และสามารถคงสภาพอำนาจแม่เหล็กได้อย่างถาวร

เหล็กที่พบบนโลกมีทั้งที่เป็นโลหะเหล็ก แร่เหล็ก และสารประกอบของเหล็ก ซึ่งสารประกอบของเหล็กจะพบมากได้ในดิน ในพืชและในสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะในเลือด ซึ่งมีส่วนประกอบของฮีโมลโกลบิน สินแร่เหล็กที่พบบนโลก มักพบที่เปลือกโลกตื้นๆ ในลักษณะ

10.4 การถลุงเหล็ก (Smeling of Iron)

การถลุงเหล็กให้เป็นโลหะเหล็ก เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเหล็กกล้า โดยใช้ธาตุคาร์บอนหรือถ่านเป็นตัวดึงออกซิเจนจากสินแร่เหล็ก (แร่เหล็กที่มีส่วนผสมของออกซิเจนเรียกว่าเหล็กออกไซด์) ให้เปลี่ยนเป็นโลหะเหล็ก เรียกกระบวนการถลุงเหล็ก การถลุงเหล็กในปัจจุบันมี 3 วิธี ได้แก่ การถลุงโดยใช้เตาถลุงแบบพ่นลม (blast furnace) การถลุงเหล็กพรุน (direct reduction) และการถลุงและหลอมเหล็ก (direct smelting)

กระบวนการถลุงเหล็กที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันคือ ใช้เตาถลุงเหล็กแบบพ่นลม ได้เหล็กออกมาในรูปของน้ำโลหะหลอมเหลว เรียกว่า เหล็กถลุง การถลุงของเตาถลุงเหล็กแบบพ่นลม ต้องใช้ถ่านโค้ก (Coke) ที่ได้จากการเผาถ่านหิน(Coal) ที่มีคุณภาพดี มีราคาสูง การผลิตถ่านโค้ก ยังก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศค่อนข้างสูง ในปัจจุบันจึงมีผู้คิดกระบวนการถลุงเหล็กแบบใหม่ที่สามารถใช้ถ่านหินธรรมดาแทนที่ถ่านโค้ก เรียกว่า โคเร็กซ์ (Corex) แต่เนื่องจากยังเป็นเทคโนโลยีการถลุงเหล็กที่ยังมีใช้น้อย สำหรับเตาถลุงเหล็กแบบพ่นลม ถลุงที่อุณหภูมิสูงถึง 1600°C เพื่อให้โลหะเหล็กหลอมเหลว และให้ส่วนของมลทินรวมกันเป็นตะกรันลอยแยกออกไป

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe \text{ (metal)}$$

ใน**การถลุงเหล็ก**จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างเหล็กออกไซด์กับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (ที่เกิดจากการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับคาร์บอน)

$$2\,C(s) + O_2(g) \rightarrow 2\,CO(g) + \text{ความร้อน}$$

$$Fe_2O_3(s) + 3\,CO(g) \longrightarrow 2\,Fe(s) + 3\,CO_2(g) + \text{ความร้อน}$$

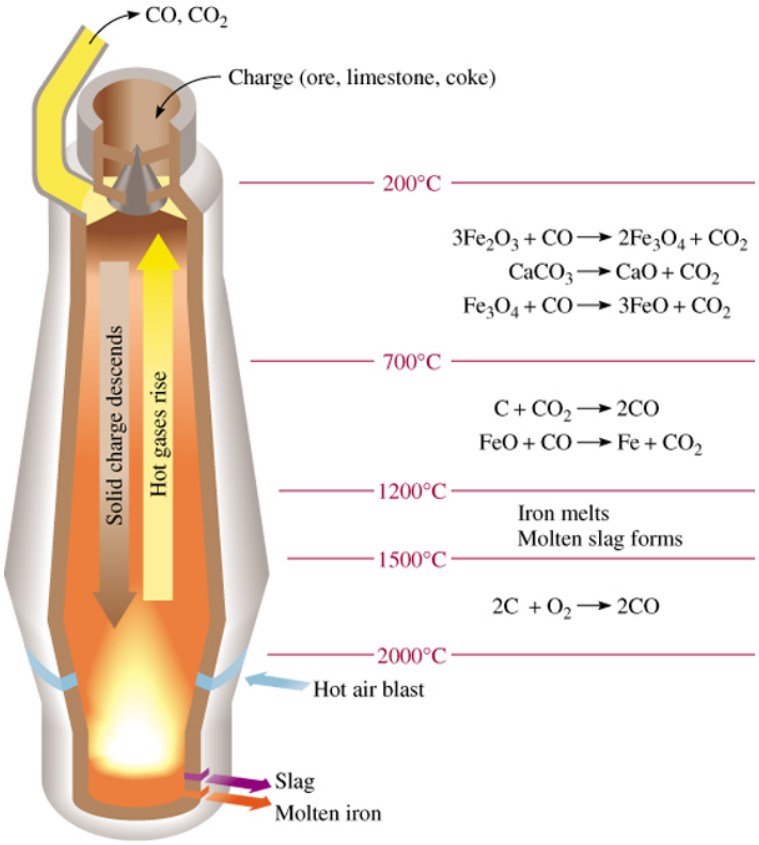
และยังมีปูนขาว ($CaCO_3$) เป็นวัตถุดิบที่เติมลงไปด้วย เพื่อที่หลอมซิลิกา (ที่เป็นมลทิน) ให้เป็นแคลเซียมซิลิเกต ($CaSiO_3$)ที่เรียกว่า**กากถลุงหรือตะกรัน (slag)**

ตามปฏิกิริยา

$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$$

$$CaO(s) + SiO_2(g) \xrightarrow{\Delta} CaSiO_3(l)$$

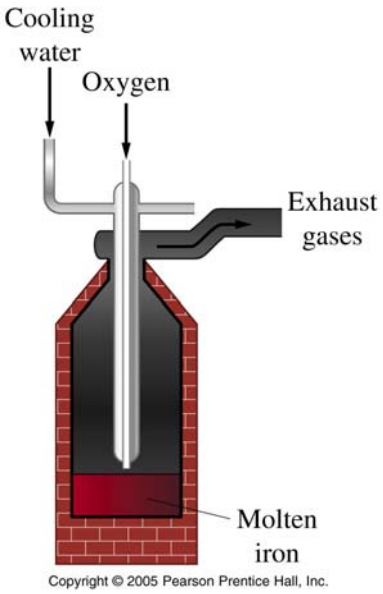
จากรูปที่ 10.7 การถลุงเหล็กที่ใช้เตาแบบพ่นลม จะมี สินแร่ หินปูนและถ่านโค๊ก เข้าด้านบน และมีกากถลุงและเหล็กหลอมเหลว ไหลออกสู่ภาชนะด้านล่าง



รูปที่ 10.7 การถลุงเหล็กในเตาถลุงแบบพ่นลม

10.5 การผลิตเหล็กกล้า (Steel Making Process)

การถลุงเหล็กนั้นจะใช้ธาตุคาร์บอนหรือถ่าน ไปดึงออกซิเจนจากสินแร่เหล็กให้เปลี่ยนเป็นโลหะเหล็ก แต่คาร์บอนจะเข้าไปละลายในเหล็กในปริมาณสูง ซึ่งไม่เหมาะในการนำไปรีดเป็นเหล็กรูปพรรณ จึงต้องมีกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติเหล็ก ด้วยการลดปริมาณธาตุคาร์บอนลง เพื่อให้ได้เหล็กที่มีความเหนียวมากหรือ**เหล็กกล้า (Steel)** เรียกว่า **กระบวนการผลิตเหล็กกล้า** ที่มีกระบวนการผลิตที่นิยม 3 แบบ คือ *การใช้เตาออกซิเจน-เบส (Basic Oxygen Furnace)* ดังรูปที่ 10.8 ซึ่งเป็นการผลิตโดยใช้โลหะหลอมเหลวเป็นวัตถุดิบ *การใช้เตาเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace)* วัตถุดิบจะอยู่ในรูปของแข็งอย่างเช่น เหล็กพรุนหรือเหล็กถลุง โดยจะมีการหลอมเหล็กให้เป็นเหล็กหลอมเหลวก่อนที่จะปรุงแต่งส่วนผสมทางเคมี และ*การใช้เตาโอเพนฮาร์ท (open hearth furnace)* ในทางปฏิบัติแล้วเตาอาร์คไฟฟ้าถูกใช้หลอมเศษเหล็กหมุนเวียน (เหล็กที่ได้จากซากเหล็กที่ไม่ใช้แล้ว) มากกว่าใช้กับเหล็กที่ได้จากการถลุงโดยตรง เหล็กหลอมเหลวกล้าที่ได้จะนำไปหล่อเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กกึ่งสำเร็จรูป (Semi-Finished Products) แบบต่างๆ ได้แก่ เหล็กแท่งเล็ก (Billet) และเหล็กแท่งใหญ่ (Bloom) สำหรับรีดเป็นเหล็กรูปทรงยาว หรือหล่อเป็นเหล็กแท่งแบน (Slab) สำหรับรีดเป็นเหล็กแผ่นต่อไป



รูปที่ 10.8 เตาออกซิเจน-เบส

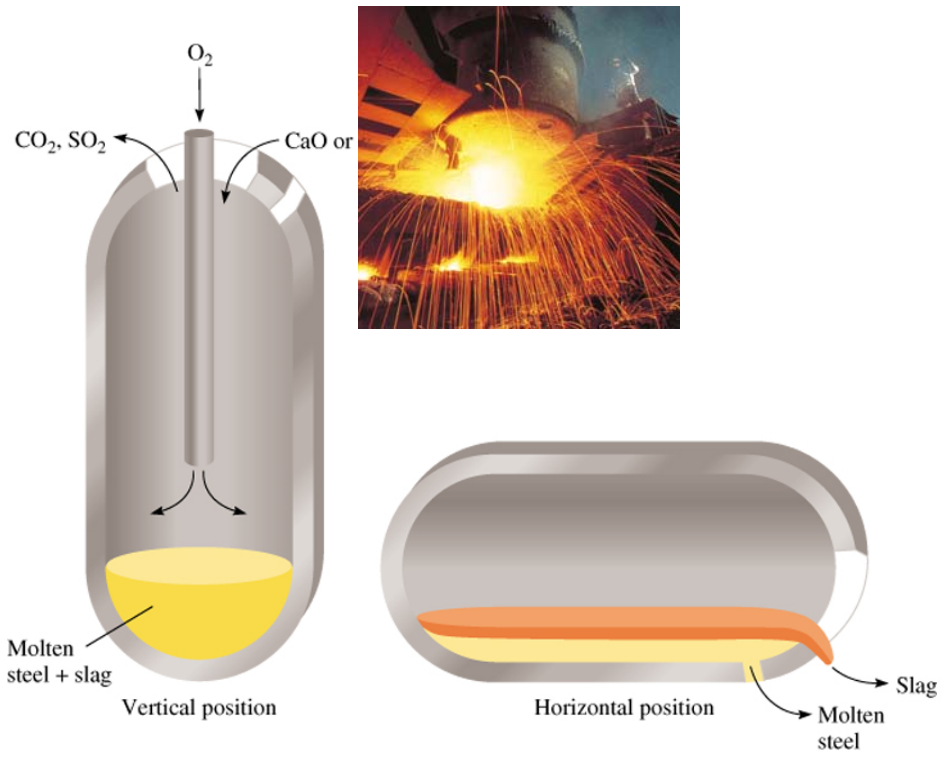
การกำจัดมลทินในเหล็กกล้า มีการกำจัดมลทิน 2 ขั้นตอน

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดจากการพ่นก๊าซออกซิเจนลงในเหล็กหลอมเหลว เพื่อลดมลทินฟอสฟอรัส ซิลิกอน คาร์บอนและแมงกานีส เกิดเป็นออกไซด์

2. ปฏิกิริยารีดักชัน เกิดจากการเติมสารลดออกซิเจน (ฟลักซ์) เช่น CaO สำหรับกำจัดซิลิกอนและฟอสฟอรัสออกไซด์ หรือ SiO_2 สำหรับมลทินแมงกานีสออกไซด์ เพื่อลดออกซิเจนส่วนเกินที่อยู่ในเหล็กหลอมเหลว ผลพลอยได้อีกอย่างคือ กำมะถันส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปจากด้วย ดังสมการ

$$CaO + FeS \rightarrow CaS + FeO$$

สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นในเตาออกซิเจน-เบส เหล็กหลอมเหลวจากเตาแบบพ่นลมจะถูกเทใส่ด้านบนของภาชนะรูปแนวตั้ง โดยมีก๊าซออกซิเจนผ่านเข้ามาด้านบน ดังรูปที่ 10.9



รูปที่ 10.9 การทำเหล็กกล้าด้วยเตาออกซิเจน-เบส

เหล็กกล้าที่ได้ออกมามีสมบัติขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิสูงๆ เหล็กสามารถรวมตัวกับคาร์บอนเป็นเหล็กคาร์ไบด์ (Fe_3C) ที่เราเรียกว่า *ซีเมนไทต์ (Cementile)* ได้ ซึ่งจะเปราะ

เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่ถูกนำไปใช้ในงานต่างๆ มากมาย ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กกล้านั้น มีสมบัติในการรับแรงต่างๆ ได้ดี เช่น แรงกระแทก (Impact Strength) แรงดึง (Tebsile Strength) แรงอัด (Compressive Strength) และ แรงเฉือน (Shear Strength) ดังนั้นเพื่อต้องการทำให้ได้เหล็กกล้าที่มีสมบัติตามต้องการ จึงมีการเจือจนโลหะอื่นลงไป เช่น โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม วุลแฟรม โคบอลต์ วาเนเดียม หรือ แมงกานีส ซึ่งเราเรียกเหล็กกล้าเจือนี้ว่า **เหล็กอัลลอยด์ (Alloyed Steel)** สำหรับธาตุที่ผสมในเหล็กอัลลอยด์รายละเอียดดังต่อไปนี้

ซิลิคอน มีอยู่ในเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ ซิลิคอนที่ผสมอยู่นั้น จะช่วยให้เกิดการจับตัวของแกรไฟต์ ดังนั้น ปริมาณซิลิคอนที่มีอยู่ในเหล็กกล้าผสมไม่เกินร้อยละ 5 ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดแกรไฟต์ ขึ้นนั่นเอง และเหล็กกล้าผสมซิลิคอนที่สำคัญอาจแยกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- Silicon-Manganese Steel ประกอบด้วยซิลิคอนและแมงกานีส เหล็กกล้าชนิดนี้นิยมใช้ในการทำแหนบรถยนต์ ทั้งนี้ก็เพราะว่าเหล็กชนิดนี้สามารถรับแรงกระแทกได้ดี
- Silicon Steel ประกอบด้วยคาร์บอนและซิลิคอน เป็นเหล็กกล้าที่มีค่าความเป็นแม่เหล็กสูงและมีความต้านทานไฟฟ้าได้ดี จึงนิยมนำไปใช้ทำแกนทรานส์ฟอร์เมอร์และขั้วไดนาโม เป็นต้น
- Valve Steel เป็นเหล็กกล้าผสมที่ใช้ทำวาล์วต่าง ๆ ในรถยนต์ โดยซิลิคอนเป็นธาตุผสมที่มีความสำคัญรองลงมาตัวอย่างเช่น โลหะผสม Silchcrome และ Valmax ซึ่งประกอบด้วยโครเมียมและซิลิคอน

โมลิบดินัม ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนา และ เป็นธาตุที่ช่วยไม่ให้เกิดการแตกร้าวได้ง่าย เหล็กกล้าผสมโมลิบดินัมนี้ใช้ในการทำเครื่องมือต่างๆ ที่มีรอบหมุนด้วยความเร็วสูง และใช้ทำชิ้นงานอื่น ๆ ที่ต้องต้านทานความร้อน และต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี

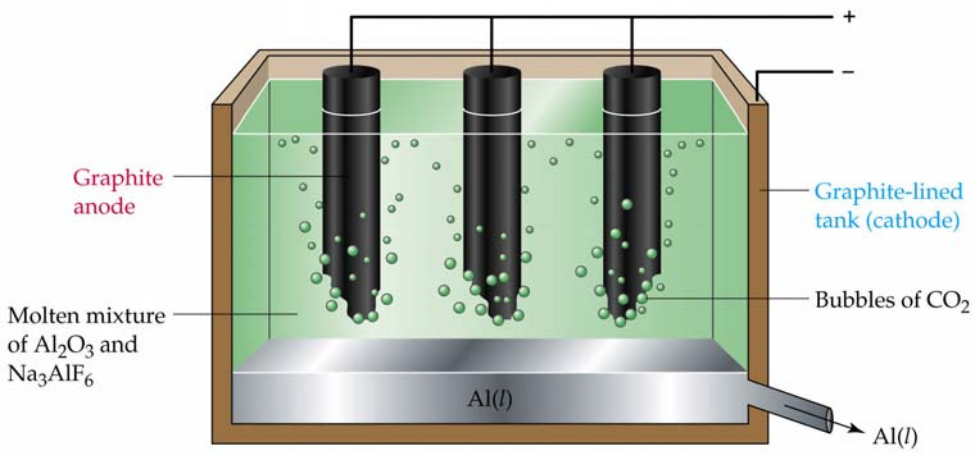
วาเนเดียม เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิด การจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนา เหล็กกล้าที่ผสมวาเนเดียม จะนำไปใช้ทำเครื่องมือต่างๆ และเป็นตัวกำจัดออกซิเจนที่ดีมาก ช่วยขจัดการเกิดสนิมและสิ่งเจือปนอื่น ๆ ในเนื้อเหล็ก

10.6 อลูมิเนียม (Aluminium)

อลูมิเนียม (Aluminium, Al) เป็นโลหะที่มีมากที่สุดและเป็นธาตุที่พบมากอันดับที่บนโลก ไม่พบเป็นธาตุอิสระในธรรมชาติ สินแร่ที่สำคัญคือ บอกไซด์ (Bauxite, $Al_2O_3.H_2O$) และยังพบในแร่อื่นๆ อีก ได้แก่ ออร์โทเคลส เบริล (มรกต) ไครโอไลต์ และคอรันดัม (พลอยทับทิม) ในปี ค.ศ. 1892 ได้มีการแยกอลูมิเนียมครั้งแรก จากอลูมิเนียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมอมัลกัม* (potassium amalgam) ในยุคที่ราคาอลูมิเนียมยังแพงอยู่ ปัจจุบันได้เตรียมอลูมิเนียมจากบอกไซด์ ที่มีซิลิกา เหล็กออกไซด์ และไททาเนียมออกไซด์ปนอยู่ โดยนำสินแร่ดังกล่าวไปต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเปลี่ยนซิลิกาให้เป็นซิลิเกตที่ละลายได้ดี และเปลี่ยนอลูมิเนียมออกไซด์เป็นอลูมิเนตไอออน แล้วเติมกรดลงไปเพื่อให้เกิดตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเมื่อเผาตะกอนจะได้อลูมิเนียมออกไซด์ที่ปราศจากน้ำ ซึ่งจะถูกรีดิวส์เป็นอลูมิเนียม ด้วยกระบวนการฮอลล์ (Hall process) ดังรูปที่ 10.10 แสดงเซลล์อิเล็กโตรไลติกแบบฮอลล์ โดยใช้ครีโอไลท์ (cryolite, Na_3AlF_6) เป็นตัวทำละลายอลูมิเนียมออกไซด์ แล้วนำสารละลายที่ได้ไปแยกด้วยไฟฟ้า

---

* อมัลกัม เป็นโลหะผสมของปรอทกับโลหะอื่น



รูปที่ 10.10 การผลิตอลูมิเนียม จากอิเล็กโตรไลซิส Hall Process

สมการที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดและแอโนด ดังนี้

แอโนด (ออกซิเดชัน) : $3\,[2O^{2-} \rightarrow O_2(g) + 4e^-]$

แคโทด (รีดักชัน) : $4\,[Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al(l)]$

ปฏิกิริยารวม : $2Al_2O_3 \rightarrow 4Al(l) + 3O_2(g)$

ใช้ก๊าซออกซิเจนที่ได้ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนแอโนด ได้คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนโลหะอลูมิเนียมจะหลอมเหลวจมสู่ด้านล่าง และไหลออกสู่ด้านนอกได้

10.7 สมบัติและประโยชน์ของอลูมิเนียม (Properties and Uses of Aluminium)

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่สำคัญได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา (Light Metals) ทั้งนี้เพราะ อลูมิเนียมมีสมบัติเด่นหลายประการ

1. มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้ไม้สอย ตลอดจนชิ้นส่วนบางอย่าง ในเครื่องบิน จรวด ขีปนาวุธ และอุปกรณ์ในรถยนต์ เพื่อประหยัดเชื้อเพลิง (ลดน้ำหนักของรถให้น้อยลง) ตลอดจนชิ้นส่วนอากาศยาน
2. มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และรุนแรงโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
3. จุดหลอมเหลวต่ำ หลอมง่าย และมีอัตราการไหลตัวสูง

4. ค่าการนำไฟฟ้า ประมาณ 65% ซึ่งไม่สูง แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา จึงใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า ในกรณีที่คำนึงถึงเรื่องน้ำหนักเป็นสำคัญ

5. เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย และไม่มีค่าการนำความร้อนสูง ใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร และห่อรองรับอาหาร (alumimium foil)

6. ผิวหน้าของอลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อน ในแฟลชถ่ายรูป จานสะท้อนแสงในโคมไฟ และไฟหน้ารถยนต์

7. ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิมและการผุกร่อน ใช้งานโดยทั่วไปได้ดี แต่ไม่ทนทาน ต่อการกัดกร่อนของกรดแก่ และด่างทั่วๆไป

8. ซื้อหาได้ง่าย ในท้องตลาด และราคาไม่แพงนัก

9. ใช้ในการตกแต่งในงานเฟอร์นิเจอร์ ตลอดจนเป็นอุปกรณ์ตกแต่งบ้าน

อลูมิเนียมมีสีขาวเหมือนเงิน เนื้อเป็นมันวาววดงามไม่หมองง่าย อาจถึงเป็นเส้นลวดขนาดเล็กยิ่งกว่าเส้นผม หรือ ตีแผ่เป็นแผ่นบางๆ ที่บางมากราวกับกระดาษได้ อลูมิเนียมไม่สึกกร่อนโดยง่าย และจะทำปฏิกิริยากับกรดและด่างบางชนิดเท่านั้น เมื่อผสมโลหะอื่นบางชนิดลงไปในเนื้ออลูมิเนียม จะได้โลหะผสมซึ่งแข็งแรง ทนทาน และเหนียวกว่าอลูมิเนียมบริสุทธิ์มาก ใช้ทำสิ่งของเครื่องใช้ได้อย่างดี

โลหะผสมของอลูมิเนียม ได้แก่

- อัลนิโค (alnico) เป็นโลหะผสมของอลูมิเนียม นิเกิลและโคบอลต์ ใช้ทำแม่เหล็ก
- คอรันดัม (corundum) เป็นสารประกอบออกไซด์ของอลูมิเนียม ที่มีความแข็งรองจากเพชร ใช้ในอุตสาหกรรมการตัด
- แมกนาเลียม (magnalium) เป็นโลหะผสมของอลูมิเนียมกับแมกนีเซียม ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า

10.8 ทองแดง (Copper)

ทองแดง (Cu) วิวัฒนาการของทองแดง ถือกำเนิดขึ้นเป็นเวลากว่า 10,000 ปีมาแล้ว ทองแดงเป็นโลหะชนิดแรกๆ ที่มนุษย์รู้จักและนำมาใช้งาน จากหลักฐานพบว่า มนุษย์รู้จัก การถลุงทองแดงขึ้นมาใช้ทำเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ มาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ แม้ว่าทองแดงจะมีปริมาณน้อยมากในเปลือกโลก (เพียง 0.0001%) เมื่อเทียบกับโลหะอื่นอย่างเหล็ก

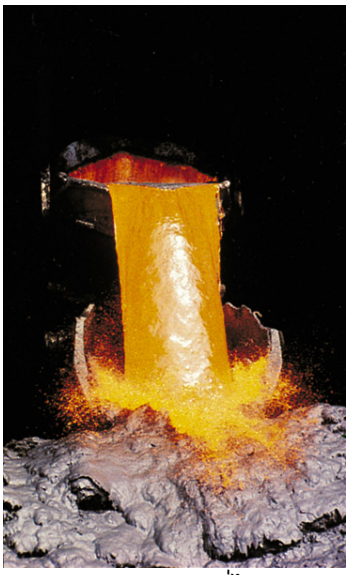
เนื่องจากสมบัติทางด้านความเหนียว โดยมนุษย์ยุคหินจึงใช้โลหะชนิดนี้เพื่อทำอาวุธ สามารถขึ้นรูปได้โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก และยังมีสมบัติเด่น ด้านความทนทานต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะน้ำทะเลและกรดได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามจากจุดอ่อนของทองแดงที่มีความแข็งแรงต่ำ จึงทำให้การใช้งานมีขอบเขตจำกัด

10.9 การถลุงโลหะทองแดง (Copper Metalluergy)

โลหะทองแดง นอกจากพบเป็นโลหะอิสระแล้ว ยังพบแร่ทองแดงในรูปของซัลไฟด์ ออกไซด์ คาร์บอนเนต ซัลเฟตและซิลิเกต โดยส่วนมากจะเป็นซัลไฟด์ ในสินแร่ การถลุงทองแดงปัจจุบันนำสินแร่ทองแดง เช่น

- Copper pyrite หรือ chalcopyrite ($CuFeS_2$)
- Chalocite (Cu_2S) หรือ copper glance
- Malachite green [$CuCO_3.Cu(OH)_2$]
- Azurite blue [$2CuCO_3.Cu(OH)_2$]
- Bornite ($3Cu_2S.Fe_2S_3$) หรือ peacock ore
- Melaconite (CuO) เป็นต้น

สินแร่ดังกล่าวที่มีทองแดงที่จำนวนมาก เช่น แร่ไพไรท์ทองแดงโดยการหลอมละลาย ปกติสินแร่ทองแดง ที่มีทองแดงประมาณ 4% หรือมากกว่า จะถูกนำการหลอมละลายในขั้นตอนการถลุง ได้ทองแดงหลอมเหลว ดังรูปที่ 10.11 แต่สินแร่ที่ปริมาณทองแดงน้อยจะถูกนำมาผ่านกระบวนการแยกโลหะด้วยน้ำ (hydro-metallurgical process)



รูปที่ 10.11 ทองแดงหลอมเหลวที่ได้จากการถลุงทองแดง

เมื่อได้ทองแดงหลอมเหลวแล้วจะทำการแยกทองแดงออกมาอีกครั้ง ในการเผาสินแร่ที่อุณหภูมิต่ำ กำมะถันจะถูกทำให้เป็นออกไซด์ (SO_2) ในรูปของก๊าซ เช่นเดียวกับสารหนูและพลวง ตามปฏิกิริยาข้างล่างเกิดขึ้น

$$2CuFeS_2 + O_2 \longrightarrow Cu_2S + 2FeS + SO_2$$

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2$$

$$4As + 3O_2 \longrightarrow As_2O_3$$

$$4Sb + 3O_2 \longrightarrow 2Sb_2O_3$$

สารประกอบคอปเปอร์ซัลไฟด์และสารประกอบเหล็กซัลไฟด์ ถูกทำให้เป็นออกไซด์

$$2Cu_2S + 3O_2 \longrightarrow 2Cu_2O + 2SO_2$$

$$2FeS + 3O_2 \longrightarrow 2FeO + 2SO_2$$

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ่านโค๊กและซิลิกา(SiO_2) จะถูกนำเข้าสู่ที่ในเตาหลอมแบบพ่นลมรวมตัวกับ FeO เปลี่ยนเป็นเหล็กซิลิเกต ($FeSiO_3$) ดังสมการ

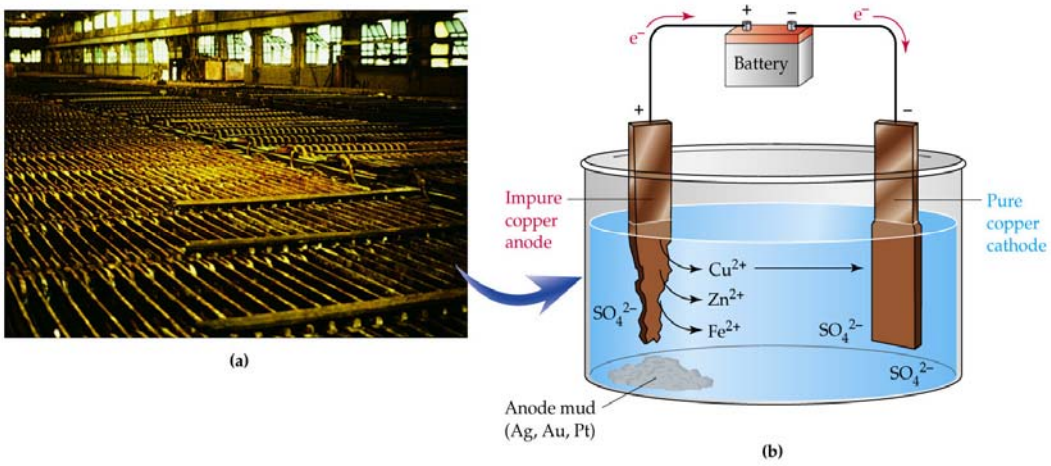
$$FeO + SiO_2 \longrightarrow FeSiO_3 \text{ (slag)}$$

$$Cu_2O + FeS \longrightarrow Cu_2S + FeO$$

Cu_2S จากขั้นตอนแรกจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน ได้ Cu_2O และทำปฏิกิริยากันได้โลหะทองแดงหลอมเหลวออกมาจาก เมื่อแข็งตัวและต้องการทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นต้องแยกด้วยใช้เซลล์อิเล็กโตรไลติก ดังรูปที่ 10.12

$$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2$$

$$2Cu_2O + Cu_2S \rightarrow 6Cu + SO_2$$



รูปที่ 10.12 การทำให้ทองแดงบริสุทธิ์มากขึ้น ด้วยอิเล็กโตรไลซิส

10.10 สมบัติและประโยชน์ของทองแดง (Properties and Uses of Copper)

เนื่องจากสมบัติของทองแดงทางด้านความเหนียว สามารถขึ้นรูปได้ง่ายทนต่อการแตกหัก และยังมีสมบัติเด่นด้านความทนทานต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะน้ำทะเลและกรดได้เป็นอย่างดี ในน้ำทะเล จากการสำรวจซากเรือที่จมอยู่ใต้ทะเล ตั้งแต่คริสตศตวรรษที่ 16 ครั้งหนึ่งพบว่ารอก (pulley) ที่ทำจากทองแดง ยังสามารถใช้งานได้ดี สมบัติพิเศษอีกประการหนึ่งคือ ทองแดงเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตเล็กๆ หลายชนิด จึงถูกนำมาใช้เป็นปลอกหุ้มแผ่นไม้ที่ใช้ต่อเรือเดินทะเล เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงหรือเพรียงที่ทำลายไม้ รวมทั้งทำเป็นท่อส่งน้ำดื่ม อย่างไรก็ตามจากจุดอ่อนของทองแดงที่มีความแข็งแรงต่ำ จึงทำให้การใช้งานมีขอบเขตจำกัด

การปรับปรุงสมบัติในด้านความแข็งแรง ไม่นิยมใช้กรรมวิธีทางความร้อน แต่ทำโดยการขึ้นรูปเย็น หรือการผสมธาตุอื่นลงไป ทำให้เกิดโลหะผสมทองแดงหลายกลุ่ม ได้แก่

- นาก เกิดจากผสมระหว่างทองแดงบริสุทธิ์กับทองคำ (3:1)
- ทองเหลือง เกิดจากการผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี
- ทองสำริด (ทองบรอนซ์) เป็นการผสมกันระหว่างทองแดงกับโลหะอื่นนอกจากสังกะสี เช่น ทองแดงผสมดีบุก ซึ่งจัดเป็นโลหะทองแดงผสมประเภทแรก ที่มนุษย์เริ่มรู้จักวิธีการหล่อหลอมและนำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนั้นยังมีทองแดงผสมอลูมิเนียม ซึ่งสามารถขึ้นรูปขณะร้อนได้ และมีความต้านทานการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี

ตัวอย่างของวัสดุที่ทำมาจากโลหะผสมของทองแดง คือ เหรียญกษาปณ์ ทองแดงผสมนิกเกิล เรียกว่า คิวโปรนิกเกิล ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญ ในการผลิตเหรียญชนิดสีเงินที่ใช้ในระดับสากล เนื่องจากมีความต้านทานการกัดกร่อนสูง โดยเติมนิกเกิลเพียง 10-15% เพื่อทำให้สีของโลหะผสมเปลี่ยนเป็นสีของนิกเกิลเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ยังมีการใช้ทองเหลืองผสมสังกะสีไม่เกิน 5% หรือใช้เหล็กกล้าเคลือบทองแดงในการผลิตเหรียญ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการแพ้นิกเกิลของผู้ใช้งาน

โลหะผสมของทองแดง

Alloy	Composition (% by mass in parentheses)
Brass	Cu (20–97), Zn (2–80), Sn (0–14), Pb (0–12), Mn (0–25)
Bronze	Cu (50–98), Sn (0–35), Zn (0–29), Pb (0–50), P (0–3)
Sterling silver	Cu (7.5), Ag (92.5)
Gold (18-karat)	Cu (5–14), Au (75), Ag (10–20)
Gold (14-karat)	Cu (12–28), Au (58), Ag (4–30)

ประโยชน์ของทองแดง ที่คุ้นเคยกันดีที่สุด คือ การนำมาใช้ทำลวดส่งกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีเป็นอันดับสองรองจากเงิน แต่ราคาถูกกว่าเงินมาก การที่ทองแดงนำไฟฟ้าได้ดี ช่วยลดพลังงานที่สูญเสียไป ในรูปของความร้อน ขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟ และยังช่วยป้องกันอันตรายจากการไหม้ของสายไฟอีกด้วย

สารประกอบทองแดงบางชนิด เช่น จุนสี (blue vitriol) หรือคอปเปอร์ซัล- เฟตเพนตะไฮเดรต ($Cu(H_2O)_4SO_4.4H_2O$) ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรคและเชื้อราในแหล่งน้ำ การใช้ทองแดงในการกำจัดสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในแหล่งน้ำดังกล่าวนี้ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์แต่อย่างใด หากว่าร่างกายไม่ได้รับทองแดงเป็นปริมาณมาก จนเกินกว่าที่จะขับออกได้ทัน

10.11 ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่ว คือ ธาตุเคมีที่มีสัญลักษณ์ **Pb** (มาจากภาษาละตินว่า Plumbum) ตะกั่วเป็นธาตุโลหะ เนื้ออ่อนนุ่มสามารถยืดได้ เมื่อตัดใหม่ๆ จะมีสีขาวอมน้ำเงิน แต่เมื่อถูกกับอากาศสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทา ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีพิษ มนุษย์เรารู้จักใช้ตะกั่วมาหลายพันปีแล้วในยุคแรก ๆ ของประวัติศาสตร์ จีนใช้ตะกั่วในการทำเหรียญกษาปณ์แทนเงิน สมัยโรมันทางยุโรปใช้ตะกั่วเป็นเครื่องใช้ต่าง ๆ เช่น ทำท่อ เครื่องประดับ เหรียญเงิน เป็นต้น โลหะตะกั่วมักจะเกิดร่วมกับสังกะสีเสมอ ในธรรมชาติสินแร่ที่มีตะกั่วผสมอยู่ที่สำคัญ ได้แก่ กาลีนา ตะกั่วเป็นโลหะพื้นฐานที่จัดว่ามีความสำคัญที่สุดมานานนับร้อยๆ ปี ดังนั้น ตะกั่วในรูปของตะกั่วออกไซด์ต่าง ๆ จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น อุตสาหกรรมสี ใช้ทำหม้อแบตเตอรี่ และโลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมท่อน้ำต่างๆ ใช้ในการผลิตกระสุนปืนและใช้ในอุตสาหกรรมโลหะผสมต่าง ๆ เป็นต้น

10.12 การถลุงตะกั่ว (Lead Metallurgy)

สินแร่ที่พบตะกั่ว มักปนอยู่กับสังกะสี สินแร่ที่สำคัญของตะกั่ว ได้แก่

- Gelena, PbS
- Cerussite, $PbCO_3$
- Anglesite, $PbSO_4$
- Crocoisite, $PbCrO_4$
- Wulfenite, $PbMoO_4$
- Pyromorphite, $PbCl_2.3Pb(PO_4)_2$
- Matlockite, $PbCl_2$

ในการถลุงตะกั่วมักใช้สินแร่กาลีนา (เลดซัลไฟด์, PbS) เผารวมกับทรายหินปูนและสินแร่เหล็ก จากตะกั่วซัลไฟด์ จะได้ตะกั่วออกไซด์และตะกั่วซิลิเกต

$$3\,PbS + 3\,O_2 \rightarrow 2\,PbO + 2\,SO_2$$

$$PbS + 2\,O_2 \rightarrow PbSO_4$$

$$PbSO_4 + SiO_2 \rightarrow PbSiO_3 + 2\,SO_3$$

เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง สังกะสีจะถูกรีดิวซ์ด้วยถ่านโค๊ก จะลอยออกทางด้านบนของเตาเผา

$$2\,C + O_2 \rightarrow 2\,CO$$

$$PbO + CO \rightarrow Pb + CO_2$$

$$PbSiO_3 + CaO + CO \rightarrow Pb + CaSiO_3 + CO_2$$

ส่วนตะกั่วหลอมเหลวจะไหลออกทางด้านล่าง ถ้าต้องการตะกั่วที่บริสุทธิ์มากขึ้น ต้องแยกด้วยวิธีอิเล็กโตรไลติกอีกครั้ง ตะกั่วที่ใช้แล้วมักถูกนำกลับมาหลอมใช้ใหม่อีกได้

10.13 สมบัติและประโยชน์ของตะกั่ว (Properties and Uses of Lead)

ตะกั่วเป็นโลหะสีเทาเงินหรือแกมน้ำเงิน เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในเปลือกโลก ตะกั่วในพื้นดิน อาจเกิดตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจาก ภาวะมลพิษ ตะกั่วจะไม่ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟุริก จึงใช้ทำท่อหรือแท้งค์ได้ดี ดินที่มีสภาพเป็นกรด จะมีสารตะกั่วน้อยกว่าดินที่เป็นด่าง เนื่องจากสารอินทรีย์ในดินอาจทำปฏิกิริยา กับสารตะกั่วที่มีอยู่ สารตะกั่วที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ เช่น ไนเตรด คลอเรท ส่วนตะกั่วที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งใช้เป็นสารเติมในน้ำมันเชื้อเพลิง (Tetraethyl lead, $(C_2H_5)_4Pb$) เช่น เบนซิน สารตะกั่วในบรรยากาศมาจากตะกั่วที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน เพื่อใช้ในการจุดระเบิดของน้ำมัน เมื่อน้ำมันเผาไหม้ใน รถยนต์สารตะกั่วจะออกมากับไอเสีย สารประกอบตะกั่วในน้ำมัน สามารถแพร่กระจายไปได้ไกล หลายกิโลเมตร และอาจทำให้สิ่งแวดล้อมในบริเวณที่อยู่ห่างไกลความเจริญเกิดการปนเปื้อนได้ นอกจากนี้ สารตะกั่วสามารถถูกชะล้างออกจากบรรยากาศได้โดยฝน สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ด้วยการบริโภคอาหาร น้ำ หรือหายใจ เอาอากาศที่มีสารตะกั่วเจือปนเข้าไป ในบางกรณีร่างกาย อาจดูดซึมตะกั่วอินทรีย์ที่ไม่ใช่สารตะกั่ว ในบรรยากาศเข้าทางผิวหนังได้สารตะกั่วมีพิษมาก โดยเฉพาะในเด็ก ซึ่งอาจมีผลทำให้สมองพิการส่วนในผู้ใหญ่อาจมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร และระบบประสาท สำหรับอันตรายโดยทั่วไปนั้นทำให้เม็ดเลือดแดงอายุ สั้นลง ทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ซึ่งเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ และเป็นอันตรายต่อระบบประสาท ไต ทางเดินอาหาร ตับ และหัวใจ

ประโยชน์ของตะกั่ว ยังใช้ในการทำขั้วและแผ่นเซลล์แบตเตอรี่ ทำโลหะผสม กระดาษตะกั่ว ท่อน้ำ ตัวพิมพ์ กระสุนปืน ฟิวส์

10.14 โซเดียม (Sodium)

โซเดียมเป็นโลหะของธาตุที่อยู่ในหมู่ที่ 1A ใช้สัญลักษณ์ว่า Na มีลักษณะอ่อนนุ่ม สามารถใช้มีดตัดได้ โซเดียมเป็นสารที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา สามารถเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำในอากาศได้ ดังนี้การเก็บโซเดียมจึงแช่ลงในน้ำมัน ห้ามสัมผัส

รูปที่ 10.13 สมบัติของโซเดียม อ่อนนุ่มและทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรุนแรง

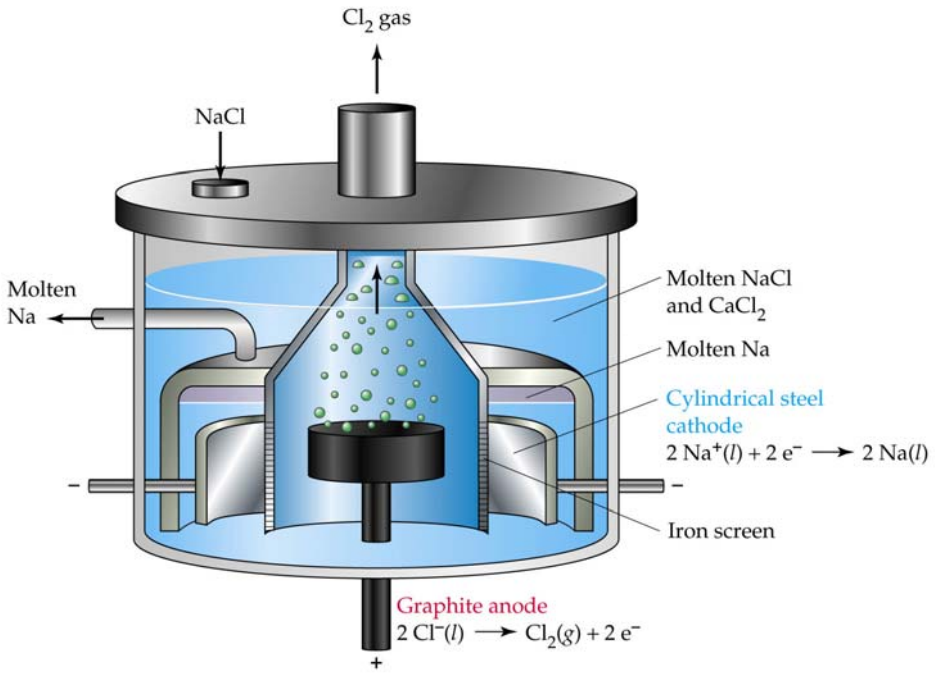
โซเดียมที่มีอยู่ในธรรมชาติจะในรูปของซิลิเกตของสินแร่แอลไบต์ ($NaAlSi_3O_8$) และออร์โทเคลส ($KAlSi_3O_8$) แหล่งที่ให้โซเดียมอีกที่คือ โซเดียมคลอไรด์ ที่ได้จากเกลือแกง นำมาทำอิเล็กโตรไลซิสของโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลว เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง จึงเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไปเพื่อลดจุดเดือดให้ต่ำลง เหลือประมาณ $600^{\circ}C$ ซึ่งเหมาะสมสำหรับทำอิเล็กโตรไลซิส

$$2NaCl \rightarrow 2\ Na\ (l) + Cl_2(g)$$

เนื่องจากโลหะโซเดียมเป็นธาตุหมู่หนึ่งที่เกิดปฏิกิริยาได้ดี จึงมักใช้ในการแทนที่โลหะอื่น เพื่อใช้ในการเตรียมโลหะอื่นได้ เช่น เตรียมไททาเนียม จากไททาเนียมคลอไรด์ หรือ เซอร์โคเนียมจากเซอร์โคเนียมคลอไรด์

$$TiCl_4 + 4\ Na \rightarrow 4\ NaCl + Ti$$

$$ZnCl_4 + 4\ Na \rightarrow 4\ NaCl + Zn$$



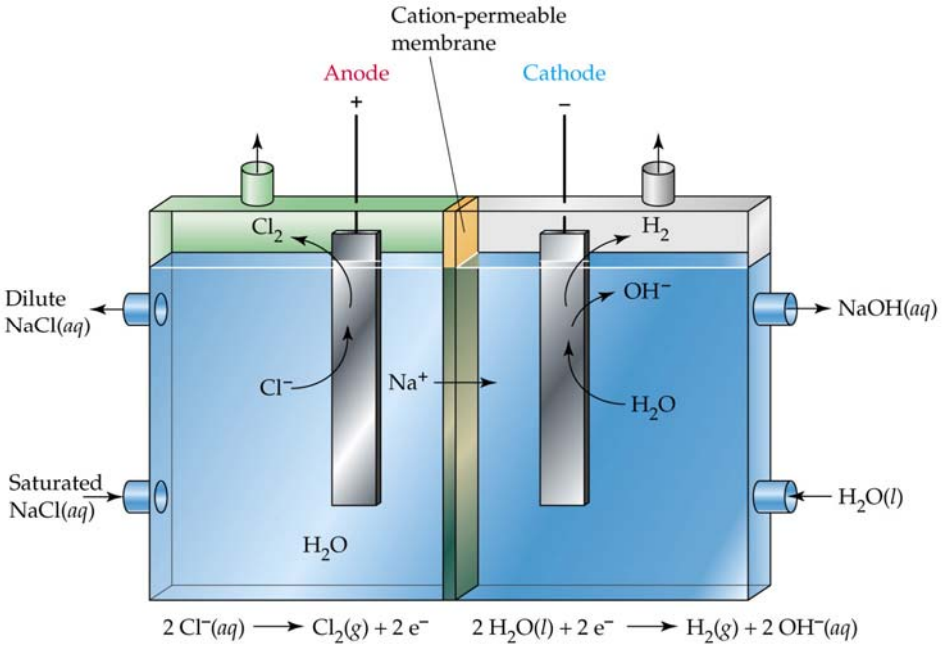
รูปที่ 10.14 การแยกโซเดียม จากโซเดียมคลอไรด์ด้วยอิเล็กโตรไลซิส

สารประกอบของโซเดียมหลายตัวที่สำคัญ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไนเตรต สำหรับโซเดียมไอออน เป็นไอออนที่จำเป็นสำหรับร่างกาย เพื่อรักษาระดับความดันออสโมซิสและทำให้เอนไซม์ทำงานได้อย่างปกติ นอกจากนี้โลหะโซเดียมยังใช้เตรียมสารประกอบโซเดียมเฮไลด์

10.15 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

รูปที่ 10.15 โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ เมื่อละลายน้ำมีฤทธิ์เป็นเบสแก่ มีอีกชื่อคือ คอสติกโซดา (caustic soda) เป็นสารเคมีทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมาก



รูปที่ 10.16 การผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วยโซเดียมคลอไรด์

โดยทั่วไปโซเดียมไฮดรอกไซด์มีทั้งรูปแบบที่เป็นของแข็งและของเหลว โซเดียมไฮดรอกไซด์ถูกใช้ในผลิตภัณฑ์เคมีอื่น นอกจากนี้ถูกใช้ในการผลิตเส้นใย สบู่ สิ่งทอ อื่นๆ กระดาษ และสารทำความสะอาด

10.16 ยูเรเนียม (Uranium)

ยูเรเนียม (Ur) คือธาตุที่มีสัญลักษณ์ U เป็นธาตุโลหะหนักกัมมันตรังสี ตามธรรมชาติมีลักษณะสีเงินวาว อยู่ในกลุ่มแอกทิไนด์ (actinide group) ไอโซโทป ^{235}U ใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมณูและอาวุธนิวเคลียร์ ตามธรรมชาติพบยูเรเนียมในปริมาณเล็กน้อยในหิน ดิน น้ำ พืช และสัตว์ รวมทั้งมนุษย์ด้วย เวลาครึ่งชีวิตของมันคือ 4.5 พันล้านปี (^{238}U) สารประกอบที่สำคัญของยูเรเนียม ได้แก่

- ยูเรเนียม เตตร้าฟลูออไรด์ (Uranium tetrafluoride (UF_4))

- ยูเรเนียม เฮซาฟลูออไรด์ (Uranium hexafluoride (UF_6))
- ยูเรเนียม อ๊อก ไซด์ (Uranium oxide (U_3O_8,UO_2 and $UO_{3)}$)
- ยูเรนิล ไนเตรต (Uranyl nitrate ($UO_2(NO_3)_2$))

ยูเรเนียมเป็นธาตุในธรรมชาติ ที่มีน้ำหนักอะตอมสูงที่สุด นักเคมีชาวเยอรมัน Martin Klaproth ค้นพบเมื่อ พ.ศ. 2332 โดยตั้งชื่อเลียนแบบตามดาวเคราะห์ยูเรนัส ก่อนที่ปฏิกิริยาฟิสชันจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ ยูเรเนียมเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตแก้วบางชนิดและวัสดุเรืองแสง แต่หลังจากการศึกษาค้นคว้าปฏิกิริยานิวเคลียร์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะฟิสชัน ยูเรเนียมเป็นธาตุสำคัญในการใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาชนิดนี้ แม้ว่าธาตุหนักชนิดอื่นก็สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้บ้างเช่นกันแต่ไม่ได้ประโยชน์มากเท่ายูเรเนียม

ยูเรเนียมที่เป็นตัวสำคัญในการทำปฏิกิริยา มีไอโซโทป 235 (จำนวนของโปรตอนและนิวตรอนในนิวเคลียส) ยูเรเนียม-235 ในธรรมชาติมีอยู่ร้อยละ 0.7 โดยยูเรเนียมส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 99 เป็น ยูเรเนียม-238 มียูเรเนียม-234 ปะปนอยู่เพียงร้อยละ 0.005

ปฏิกิริยาฟิสชันที่เกิดจากนิวตรอนในนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 จะให้พลังความร้อนสูง และพลังงานส่วนนี้นำไปใช้ผลิตไฟฟ้า ในหลักการเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินหรือน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง การใช้ประโยชน์จากยูเรเนียมและปฏิกิริยาฟิสชันยังถูกประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โรงไฟฟ้ามีกำลังผลิตไม่สูง สามารถแยกน้ำบริสุทธิ์ไปใช้ประโยชน์ได้ ขณะที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์รุ่นใหม่ที่มีกำลังผลิตสูงถูกนำไปผลิตไฮโดรเจนควบคู่กับการผลิตไฟฟ้า นอกจากผลิตไฟฟ้าปฏิกรณ์นิวเคลียร์บางชนิดถูกสร้างขึ้นมา เพื่อผลิตสารกัมมันตรังสีที่ใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ การอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่ยังใช้หลักการจากปฏิกิริยาฟิสชันของอะตอมยูเรเนียม ยูเรเนียมยังเป็นเชื้อเพลิงสำคัญในการผลิตอาวุธนิวเคลียร์ รวมไปถึงพลูโตเนียมธาตุที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของยูเรเนียม-238 และนิวตรอน

ยูเรเนียมในธรรมชาติอยู่ในรูปของออกไซด์ผสม U_3O_8 ปะปนอยู่ในสินแร่พิชเบลนด์และยูเรไนท์ ประเทศที่มียูเรเนียมมาก ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม การซื้อขายระหว่างประเทศต่างมีเงื่อนไขเพื่อนำไปใช้ในเชิงสันติเท่านั้น ทั้ง ยูเรเนียม-235 และ ยูเรเนียม-238 เป็นสารกัมมันตรังสีที่ปลดปล่อยอนุภาคหรือรังสีแอลฟา ยูเรเนียม-238 มีครึ่งอายุราวสี่พันล้านปี ขณะที่ ยูเรเนียม-235 มีครึ่งอายุเจ็ดร้อยล้านปี ธาตุสุดท้ายหลังจากการสลายตัวคือ ตะกั่ว

นอกจาก ยูเรเนียม-235 และ พลูโตเนียม-239 ที่เป็นเชื้อเพลิงที่ดีในการผลิตไฟฟ้าจากปฏิกิริยาฟิสชันแล้ว ยูเรเนียม-233 ซึ่งไม่มีในธรรมชาติ แต่เกิดจากการจับนิวตรอนของธาตุธอเรียม-232 ในปฏิกรณ์นิวเคลียร์ สามารถทำปฏิกิริยากับนิวตรอนได้ดี และให้พลังงานมาก (ยูเรเนียม-233 เป็นสารกัมมันตรังสีเช่นกันมีครึ่งอายุราวหนึ่งแสนหกหมื่นปี) แต่การเตรียมธอเรียม-232 เพื่อให้เกิดเชื้อเพลิงชนิดนี้ ยังสิ้นเปลืองและยุ่งยากกว่าการนำยูเรเนียมธรรมชาติมาผลิตเชื้อเพลิง