บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาด้านพลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากการนำน้ำมันและถ่านหินมาใช้โดยไม่มีการวางแผนอย่างรัดกุม พลังงานปรมาณูเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งกำลังเป็นที่สนใจของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ในประเทศไทยเองก็มีเพียงเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูสำหรับงานวิจัย ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติเท่านั้น ในขณะที่ประเทศอื่น ๆ หลายประเทศเช่น ญี่ปุ่น อินเดีย ไต้หวัน เกาหลีใต้ มีการนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว จากการที่กรมทรัพยากรธรณีได้ทำการสำรวจพบแหล่งแร่ยูเรเนียมแหล่งใหม่บริเวณด้านแถบที่ราบสูงโคราช ทำให้มีความหวังว่าในอนาคตเราสามารถวางแนวทางที่จะผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เพื่อป้อนโรงไฟฟ้าที่จะสร้างขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเตรียมบุคคลากรที่จะฝึกฝนให้มีพื้นฐานอย่างเพียงพอ

มนุษย์รู้จักยูเรเนียมมามากกว่าหนึ่งร้อยห้าสิบปี ก่อนที่จะได้รับประโยชน์จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิสชัน (nuclear fission) นักเคมีชาวเยอรมัน ชื่อ Martin Heinrich Klaproth เป็นผู้ค้นพบในปี ค.ศ. 1789[1] โดยใช้แร่พิตช์เบลนด์ (Pitchblende) จาก Joachimsthal และ Johanngeorgenstadt มาสกัดได้ผงสีดำที่มีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างจากธาตุอื่น ๆ ที่รู้จัก จึงคิดว่าเป็นธาตุใหม่ และได้ให้ชื่อว่ายูเรเนียม เป็นเกียรติแก่ดาวนพเคราะห์ยูเรนัส (Uranus) ซึ่งมีผู้ค้นพบ 5 ปีก่อนหน้านี้ ในปี ค.ศ. 1841 E.Péligot นักเคมีชาวฝรั่งเศส ได้ทำปฏิกริยาไฮโดรไลซีสเตตระคลอไรด์พบว่า น้ำหนักของคลอรีนและผงสีดำที่ Klaproth พบมีมากกว่าน้ำหนักของสารก่อนปฏิกริยา เขาจึงเข้าใจว่าผงสีดำนั้นเป็นสารประกอบ (เช่นออกไซด์) ของธาตุใหม่ เขาจึงได้เผาเตตระคลอไรด์ของธาตุที่สนใจนั้นกับโพแทสเซียม ได้โลหะธาตุยูเรเนียมเป็นเม็ดเล็ก ๆ (powder) นอกจากนี้เขายังพบวิธีทำสารประกอบของยูเรเนียมให้บริสุทธิ์ โดยใช้ไดเอทิล อีเทอร์

1.1 ต้นกำเนิด

โลหะธาตุยูเรเนียม เป็นธาตุที่ไวต่อปฏิกริยาเคมีมาก จึงไม่พบในลักษณะเป็นธาตุ ในธรรมชาติจะเกิดรวมกับธาตุอื่น ๆ เป็นสารประกอบ มีการคาดคะเนปริมาณของยูเรเนียม[2] ว่ามีบนเปลือกโลกประมาณร้อยละ 4 x 10^{-4} ในน้ำทะเลมีประมาณ 0.3 x 10^{-6} ถึง 3.70 x 10^{-6} กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ในน้ำทะเลสาบ 3 x 10^{-8} ถึง n x 10^{-4} กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรและในน้ำแม่น้ำ 3 x 10^{-8} ถึง n x 10^{-5} กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร หรือค่าเฉลี่ยในแหล่งน้ำต่าง ๆ เท่ากับ (1.8-2) x 10^{-6}, 1 x 10^{-6} และ 1 x 10^{-6} กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ

ยูเรเนียมเกิดในแร่มากกว่า 200 ชนิด และมีเพียง 10 กว่าชนิดเท่านั้น ที่พบว่ามีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถแบ่งตามชนิดของแร่ คือ ออกไซด์ (กลุ่มยูรานิไนต์) ซิลิเกต (กลุ่มคอฟฟินิต์) วานาเดต (กลุ่มคาร์โนไทต์) ติตาเนต (กลุ่มบรานนิไรต์และเดวิไดต์) รายละเอียดแสดงไว้ในตาราง 1.1

ปริมาณแร่สำรองของแหล่งใหญ่ ๆ[3] ของโลกแสดงไว้ในตาราง 1.2

แหล่งแร่ยูเรเนียมในประเทศไทย[4] พบบริเวณเหมืองดีบุกเกิดร่วมกับออกไซด์ของธาตุโคลัมเบี่ยม และแทนทาลัม เช่น แร่ซามาร์สไกต์ (Samarskite) ซึ่งพบที่เหมืองตีนเป็ด จังหวัดพังงา ผลวิเคราะห์พบว่ามี U_3O_8 ร้อยละ 13.2 ในเขตอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี พบแร่พริโอไรต์ (Priorite) มี UO_2 ร้อยละ 1 ถึง 5 ที่เหมืองยิบอินซอย บ้านทุ่งโพธิ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบแร่ทอร์เบอร์ไนต์ (hydrous copper uranium phosphate) มี U_3O_8 ร้อยละ 60 นอกจากนี้ยังพบแร่ยูเรเนียมในหินทรายอายุเมโซโซอิค (Mesozoic) ที่บ้านหนองยาม อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น จากการวิเคราะห์โดยวิธีทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอาร์เซนาโซ III วัดค่าความดูดกลืนที่ความยาวคลื่นสูงสุด (absorbtion spretra λmax) 653 นาโนเมตร มีธาตุยูเรเนียมอยู่ร้อยละ 0.0144 $\pm$ 0.0012[5]

Mineral	Chemical composition	System	Colour	Hardness	Specific weight	Uranium content, %
			Anhydrous oxides			
Uraninite Pitchblende Uranium black	$(U^4_{1-x}U^6)O_{2+x}$	Cubic	brownish-black black black	5·06–7·6 4·0–6·29 1–4	7·6–10·8 4·8–7·7 3·1–4·8	46·5–88·2 52·3–76·5 7·7–34
			Silicates			
Coffinite	$U(SiO_4)_{1-x}(OH)_4$	Tetragonal	black-cinnamon	5–6	5·1	45–67
			Vanadates			
Carnotite	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_1 \cdot 1\text{–}3\ H_2O$	Rhombic	bright yellow, greenish-yellow	2–2·5	4·46	51·7–54·5
Tyuyamunite	$Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 7\text{–}10·5\ H_2O$	Rhombic	bright yellow	1–2	3·31–4·35	44·5–52·4
			Titanates			
Brannerite	$(U, Ca, Fe, I, Th)_3\ Ti_5O_{16}$	Monoclinic	yellowish-green	4·5–5·5	4·5–5·43	27·9–43·6
Davidite	$AB_3(O, OH)$, A–He^2, TR, U, Ca, Na, Zr, Th; B–Ti^4, Fe_3, U, V^3, Cr^3	Cubic	cinnamon	6	4·5	20

ตาราง 1.1 แร่ยูเรเนียมที่แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี

	Year ending		
	1958	1961	1966
Canada	414,577	277,968	210,000
U.S.A.	220,750	175,000	200,000
Republic of South Africa	370.000	150,000	205,000
Other countries	60,000	80,000	100,000
	1065,327	682,968	715,000

ตาราง 1.2 แหล่งแร่ยูเรเนียมสำรอง (หน่วย :short tons U_3O_8)

1.2 คุณสมบัติของโลหะธาตุยูเรเนียม

1.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

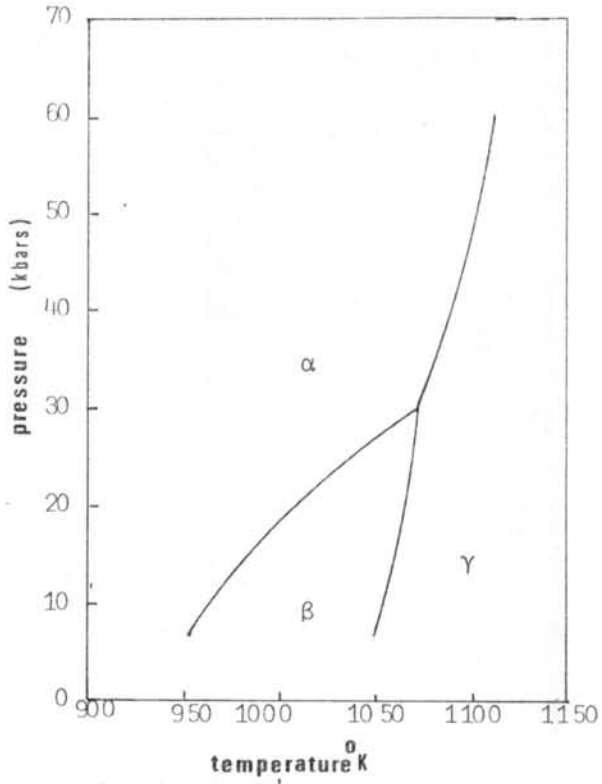
โลหะธาตุยูเรเนียมมีสีขาวเงิน ผิวมันวาว แต่จะหมองลงเมื่อถูกอากาศ คุณสมบัติแสดงไว้ในตาราง 1.3

ตาราง 1.3

คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะธาตุยูเรเนียม

น้ำหนักอะตอม		283.03
ความหนาแน่น (25°C)	x-ray	19.214
	exp	19.05 ± 0.02
การเปลี่ยนสถานะ (phase transformation)		
	$\alpha \rightarrow \beta$	667.7 °C
	$\beta \rightarrow \gamma$	774.8 °C
จุดหลอมเหลว		1132.3 °C
จุดเดือด		3818°C
ความร้อนของการหลอม (heat of fusion)		2500 cal/g/atom
		4.7 cal/mole
ความร้อนจำเพาะ (specific heat)		6.594 cal/degree-mole

ผลของความร้อนและอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับสถานะ[3] (phase) แสดงไว้ในรูป 1.1 จุดที่สถานะ α, β และ γ อยู่ในภาวะสมดุลย์ คือที่อุณหภูมิ 798 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 29.8 กิโลบาร์ (K bars)



รูป 1.1 การเปลี่ยนสถานะของยูเรเนียม

โลหะยูเรเนียมมีคุณสมบัติเป็น paramagnetic อ่อน ๆ วัดได้ 1.720×10^{6} emu ต่อกรัมที่ 15 องศาเซลเซียสและเพิ่มเป็น 1.891×10^{6} emuต่อกรัมที่ 654 องศาเซลเซียส

1.2.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties)

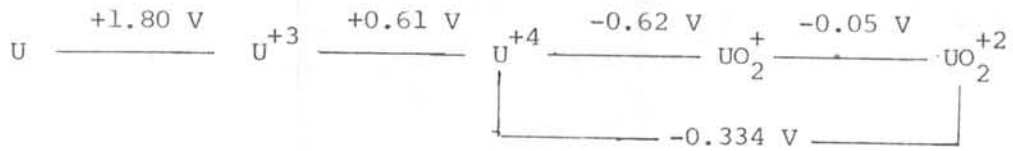
ยูเรเนียมมีออกซิเดชันสเตท 4 แบบคือ +3, +4, +5 และ +6 มีเพียง +4 และ +6 เท่านั้นที่เสถียรในสารละลายที่มีน้ำ +3 จะออกซิไดซ์ให้ +4 โดยมีก๊าซไฮโดรเจน ออกไซด์ที่สำคัญ คือ UO_2 (ออกไซด์สีน้ำตาล) และ UO_3 (ออกไซด์สีส้ม) ออกไซด์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ U_3O_8 (ออกไซด์สีดำ) ซึ่งเกิดจากการเอาออกไซด์ต่าง ๆ มาเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ออกไซด์ทั้งหมดละลายได้ในกรดไนตริก ได้ยูรานิลไนเตรต

ปฏิกริยาของโลหะธาตุยูเรเนียมที่มีต่อธาตุและสารประกอบต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง 1.4

Reactant	Temperature of reaction °C		
	massive metal	powder	Products
hydrogen	250	25	UH_3
carbon	1800-2400	100-1200	UC, U_2C_3, UC_3
nitrogen	700	500	$UN, UN_{1.75}, UN_2$
phosphorus		1000	U_3P_4
oxygen	150-350	pyrophoric	UO_2, U_3O_8
sulfur	500		US_2
fluorine	25		UF_6
chlorine	500-600	150-180	UCl_4, UCl_5, UCl_6
bromine	650	210	UBr_4
iodine	350	260	UI_3, UI_4
water	100	25	UO_2
hydrogenfluoride (g)		200-400	UF_4
hydrogen chloride (g)		250-300	UCl_3
ammonia	700	400	$UN_{1.75}$
hydrogen sulfide		500	US, U_2S_3, US_2
nitric oxide	400-500		U_3O_8
dinitrogen tetroxide	25		$UO_2(NO_3)_2 \cdot 2NO_2$
methane		900	UC
carbon monoxide	750		UO_2 + UC
carbondioxide	750		UO_2 + UC

ตาราง 1.4 ปฏิกริยาทางเคมีของโลหะธาตุยูเรเนียม

ยูเรเนียมไอออนในสารละลาย มีออกซิเดชันสเตต 4 แบบคือ U^{+3} สีแดง, U^{+4} สีเขียว UO_2^+ ไม่คงที่ และ UO_2^{+2} สีเหลือง ออกซิเดชัน-รีดักชัน โพเทนเชียล[6] ของการเปรียบเทียบออกซิเดชันสเตต แสดงในรูป 1.2



รูป 1.2 แบบแผนออกซิเดชัน-รีดักชัน ของยูเรเนียม

1.2.3 คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ (Nuclear properties)

ยูเรเนียมที่เกิดตามธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป คือ U^{238} (ร้อยละ 99.276 อะตอม) U^{235} (ร้อยละ 0.718 อะตอม) และ U^{234} (ร้อยละ 0.0056 อะตอม) เฉพาะ U^{235} เท่านั้นที่สามารถเกิดปฏิกริยาฟิสชัน(fission) กับเทอร์มอลนิวตรอน ส่วน U^{238} และ U^{234} เกิดฟิสชันได้กับฟาสท์นิวตรอน นอกจากนี้ยังมี U^{233} ซึ่งเกิดฟิสชันได้ ซึ่งไอโซโทปนี้ไม่มีในธรรมชาติ ได้จาก Th^{232}(Thorium 232) จับนิวตรอน ตามปฏิกริยา

$$_{90}Th^{232} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{90}Th^{233} \xrightarrow[\beta^-]{23.3\text{นาที}} {}_{91}Pa^{233} \xrightarrow[\beta^-]{27.4\ \text{วัน}} {}_{92}U^{233}$$

ไอโซโทปที่เกิดปฏิกริยาฟิสชัน อีกตัวหนึ่งคือ $_{94}Pu^{239}$ ซึ่งได้จากปฏิกริยาของนิวตรอนกับ $_{92}U^{238}$ ที่มีในธรรมชาติ ตามปฏิกริยา

$$_{92}U^{238} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{92}U^{239} \xrightarrow[\beta^-]{23.54\text{นาที}} {}_{93}Np^{239} \xrightarrow[\beta^-]{2.33\ \text{วัน}} {}_{94}Pu^{239}$$

เมื่อ U^{235}, U^{233} และ Pu^{239} เกิดปฏิกริยาฟิสชัน จะปล่อยพลังงานออกมาอย่างมากมาย พลังงานความร้อนที่ได้จาก U^{235} 1 กิโลกรัม มีค่ามากกว่าที่ได้จากถ่านหิน 1 กิโลกรัม

ถึง 50 ล้านเท่า

1.3 ประโยชน์ของโลหะธาตุยูเรเนียมทางนิวเคลียร์

ระหว่างปี 1943-45 ได้มีการสร้างเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตพลูโตเนียม จากยูเรเนียมที่ Handford มลรัฐวอชิงตัน ใช้โลหะธาตุยูเรเนียมเป็นเชื้อเพลิง ปี 1954 เครื่องปฏิกรณ์พลังงานปรมาณูเครื่องแรกของโลก ได้ถูกสร้างขึ้นที่ Obninsk ประเทศรัสเซีย[7] ใช้โลหะธาตุยูเรเนียมชนิดมียูเรเนียม -235 ร้อยละ 5 เป็นเชื้อเพลิง และมีแกรไฟท์เป็นตัวหน่วงนิวตรอน (moderator) ปี 1956 มีการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ที่ Calder-Hall ประเทศอังกฤษ โดยใช้โลหะธาตุยูเรเนียมที่ไม่ได้เสริมสมรรถนะเป็นเชื้อเพลิง มีแกรไฟต์เป็นตัวหน่วงนิวตรอน และมีคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวระบายความร้อน (coolant) นอกจากนี้ยังมีเครื่องปฏิกรณ์ชนิดที่ใช้โลหะผสมของยูเรเนียมกับแมกนีเซียมเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะต้องมีวัสดุห่อหุ้ม (cladding) ที่ทนต่อความร้อนสูงและป้องกันมิให้ยูเรเนียมเกิดปฏิกริยาได้ ตาราง 1.5 แสดงรายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้โลหะธาตุยูเรเนียมเป็นเชื้อเพลิง โดยมีโลหะชนิดต่างๆเป็นวัสดุห่อหุ้มที่สร้างขึ้นในสหรัฐอเมริกา

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Fuel	Cladding metal	Reactor
Uranium metal (natural uranium).	Aluminum	Air-cooled graphite reactors at Oak Ridge National Laboratory and Brookhaven National Laboratory
Uranium metal (highly enriched uranium)	Stainless steel, sodium potassium alloy (NaK) between Uranium and cladding to ensure thermal bond	Experimental breeder reactor (EBR-1) at Arco, Idaho
Uranium metal (highly enriched uranium)	Stainless steel, NaK thermal bond	Sodium-graphite reactor experiment (SRE) at Santa Susanna,Calif.
Uranium metal alloyed in zirconium metal (highly enriched uranium)	Zircaloy	Fissionable fuel for PWR at Shippingport and for experimental boiling-water reactor (EBWR)
Uranium metal alloyed in aluminum (highly enriched uranium)	Aluminum	Materials testing reactor (MTR) at Arco, Idaho.
Uranium metal alloyed in matrix of thorium metal (highly enriched uranium)	Stainless steel,NaK thermal bond	Sodium-graphite reactor experiment (SRE) at Santa Susanna Calif.

ตาราง 1.5 เชื้อเพลิง, วัสดุห่อหุ้ม ในเครื่องปฏิกรณ์