

บทที่ 2

ทฤษฎี

น้ำชนิดหนัก (Heavy Water) มีชื่อทางเคมีว่า ดิวทีเรียม ออกไซด์ (Deuterium Oxide, D_2O) เป็นการรวมตัวกันระหว่างแก๊สดิวทีเรียม (Deuterium, D) กับแก๊ส ออกซิเจน (Oxygen, O) ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยปริมาตร ดิวทีเรียมเป็นไอโซโทปตัวหนึ่งใน 3 ตัวของธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen) กล่าวคือ ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป คือ โปรเตียม (Protium, 1_1H) ดิวทีเรียม (2_1H หรือ D) และทริเตียม (Tritium, 3_1H หรือ T) โดยที่ทริเตียมเป็นไอโซโทปที่ไม่เสถียร (Unstable) ดังนั้นเราจึงพบไอโซโทปของไฮโดรเจน ตามธรรมชาติ เพียง 2 ตัวเท่านั้น คือ โปรเตียมกับดิวทีเรียม โดยสารประกอบของดิวทีเรียม (D_2O , HDO, HD, CH_3D , etc) มีอยู่ในธรรมชาติในรูป Isotope mixture กับ normal hydrogen (1_1H) ด้วยอัตราส่วน 1 โมลดิวทีเรียม ต่อ 7000 โมลไฮโดรเจน สำหรับน้ำในธรรมชาติ (Natural Water) จะประกอบด้วย 0.00014 mole fraction (140 p.p.m) D_2O ในรูป HDO โดยประมาณ

คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของน้ำชนิดหนัก มีดังนี้

Scattering cross section (σ_s)	=	15.3 barns
Capture cross section (σ_c)	=	0.00092 barn
Slowing-down power ($N\sigma_s\xi$)	=	0.370 cm.^{-1}
Moderating ratio, $\sigma_s\xi/\sigma_c$	=	12,000 (graphite = 170, Be = 159, water = 72)
Diffusion length	=	100 cm.
N	=	molecules/cc.
ξ	=	logarithmic mean energy loss per collision.

คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำชนิดหนัก มีดังนี้

Maximum density	= 1.106 at 11.2° C. (H ₂ O = 1.000 at 4° C.)
Melting point	= 3.81° C. (H ₂ O = 0° C.)
Boiling point	= 101.43° C. (H ₂ O = 100° C.)
Critical temperature	= 371.5° C. (H ₂ O = 374.1° C.)
Relative viscosity (compared with water at 20° C.)	= 1.25
Natural abundance (average)	= 0.0146 % in normal water
Ionization constant (.25° C.)	= 1.95 x 10 ⁻¹⁵ (H ₂ O = 1.0 x 10 ⁻¹⁴)
K _{Liq} (HDO) ² / (H ₂ O) (D ₂ O)	= 3.80 (25° C.)
K _{vap} (H ₂) (HDO) / (HD) (H ₂ O)	= 3.88 (25° C.)

จากคุณสมบัติของน้ำชนิดหนักกับน้ำตามธรรมชาติ จะเห็นได้ว่าแหล่งน้ำที่ควรจะมีน้ำชนิดหนักเข้มข้นมากคือ แหล่งน้ำที่ปิดโดยรอบไม่มีการไหลเข้าออก เช่น ทะเลสาบ บ่อน้ำร้อน เป็นต้น เนื่องจากมีอัตราการระเหยของน้ำตลอดเวลา ซึ่งถ้าดูจากความแตกต่างของจุดเดือดแล้ว ส่วนที่ระเหยขึ้นจะมีปริมาณไฮโดรเจน เป็นส่วนใหญ่ น้ำที่เหลือจึงควรมีปริมาณดิวทีเรียมมากขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำตามธรรมชาติมีปริมาณดิวทีเรียมอยู่น้อยมาก การที่จะแยกโปรเตียมออกจนได้น้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุดิบเป็นจำนวนมาก

ดิวทีเรียม ถูกค้นพบโดย Urey โดยวิธีการกลั่นลำดับส่วนไฮโดรเจน (Fractional distillation of hydrogen) ในปี ค.ศ. 1932 ต่อจากนั้นก็มีการศึกษาถึงกระบวนการผลิตน้ำชนิดหนัก จนในที่สุดก็สามารถผลิตน้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ได้ โดย Lewis and Macdonald ด้วยวิธีอิเล็กโตรไลซิส น้ำ จำนวน 20 ลิตร หลาย ๆ ชั้น (stages) จะได้ D₂O บริสุทธิ์ 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร Taylor and Coworkers ก็ใช้วิธีอิเล็กโตรไลซิส น้ำ 2310 ลิตร โดยใช้ 7 stages ได้ 99 เปอร์เซ็นต์ D₂O 83 ลูกบาศก์เซนติเมตร วิธีอิเล็กโตรไลซิสนี้นับเป็นวิธีแรกที่ใช้ในการผลิตน้ำชนิดหนัก ระดับอุตสาหกรรม แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดสำหรับแหล่งผลิตคือ ต้องเป็นที่ ๆ ค่าไฟฟ้ามีราคาต่ำจึงจะเหมาะสม หลังจากนั้น ปี ค.ศ. 1941 ก็พบวิธีการผลิตอีกหลายวิธี ซึ่งสรุปวิธีการผลิตน้ำชนิดหนักได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ การกลั่น

(distillation) การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า (electrolysis) และการแลกเปลี่ยนทางเคมี (chemical exchange) ในอเมริกา ปี ค.ศ. 1943 ได้เริ่มมีการพัฒนาวิธีการกลั่นน้ำ (distillation of water) เนื่องจากมีประสบการณ์เกี่ยวกับเทคนิคด้านการกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation) มากพอสมควรแล้ว หลังจากนั้นก็เริ่มพัฒนากระบวนการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนกับน้ำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic exchange of hydrogen with water) เนื่องจากมีแหล่งผลิต hydrogen จากกระบวนการแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า อันเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้เป็นจำนวนมาก ส่วนวิธีแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า (electrolysis) นั้นใช้ สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักจนมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การแยก (Separation factor) สูง วิธี dual - temperature chemical exchange ระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และน้ำ (H_2O) (G S process or Girdler Sulfide process) เป็นที่รู้จักกันใน ปี ค.ศ. 1942 แต่มีปัญหาเรื่องการกัดกร่อน (Corrosion) เมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์สัมผัสกับวัสดุที่ใช้ เช่น คาร์บอน สตีล, 480 (Carbon Steel, 480) เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) วิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตน้ำชนิดหนักปริมาณมาก (หลายร้อยตันต่อปี) เนื่องจากต้องการพลังงานน้อยและมีอัตราการแลกเปลี่ยน (exchange rate) เร็วมาก

ปี ค.ศ. 1943 เริ่มมีการศึกษาวิธีการแลกเปลี่ยนระหว่างแอมโมเนียกับไฮโดรเจน (Ammonia - hydrogen exchange process) โดยใช้แก๊สธรรมชาติ (Natural gas) เป็นวัตถุดิบที่ป้อน (feed) ซึ่งปรากฏว่าเป็นวิธีที่ดีมาก และการแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนจากแอมโมเนีย (Ammonia plant) เรียกว่า "Parasitic Plant"

Country	Identification	Type	Discontinued	Capacity and Status		Planned or Proposed
				In Operation(year)	T/year	
USA	SRP	GS	360	180	(1952)	
	Dana	GS	540			
	Boulder	H ₂ distillation	(pilot) (a)			
	Morgantown					
	Alabama	H ₂ O distillation	15			
	Wabash River					34
Canada	Hydrocarbon Research	H ₂ distillation		200	(1969)	
	DC-1	GS		200	(1969-70)	
	DC-2	GS		400	(1969-70)	
	CGE	GS				
	Trail	H ₂ -H ₂ O electrolysis of H ₂ O	6			
France	Lacg ...	GS	0.5			
	Toulouse	H ₂ distillation	2			
	Mazingarbe	NH ₃ -H ₂ mono	3		(12/67)	
	Mazingarbe	NH ₃ -H ₂ mono		(a) 20	(11/67)	
	Mazingarbe	NH ₃ -H ₂ bithermal		6		Semi-industrial
Germany	Hoechst	H ₂ distillation				Semi-industrial
	Walter and Schindewolf	NH ₃ -H ₂				
	DEGUSSA	H ₂ -H ₂ O	(a)			
Switzerland	Ems (Sulzer)	Electrolysis		2.5-4.0		
		H ₂ distillation				
		H ₂ O distillation		20		
Norway	Norsk-Hydro	Electrolysis of H ₂ O				
England	John Brown	NH ₃ -H ₂		14	(1962)	
India	Nangal	H ₂ distillation				200
	Nangal	GS		(a)		10
Japan		H ₂ distillation				
Pakistan	Fenchoganj	H ₂ distillation or NH ₃ -H ₂				15
Spain	Sabinange	H ₂ -H ₂ O		(a)		0.5
		Electrolysis				
Russia		Electrolysis of H ₂ O				
		H ₂ distillation		2 to 4(400·m ³ gas/hr)		
Sweden		GS	(a)			
			0.0015			

(A) Pilot plants built primarily to study process variables. Produced only very small quantities of D₂ or D₂O (usually about 0.01 to 0.1 tons/year) and usually at a low D₂O concentration (300 ppm to 2 %)

ตารางที่ 2.1 แสดงสถานที่ผลิตน้ำชนิดหนักและกระบวนการผลิต