บทที่ 2

ยูเรเนียม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ประวัติ

มาร์ตินไฮน์ริช คลาพรอธ (Martin Heinrich Klaproth) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันเป็นผู้ที่ได้รับเกียรติว่าเป็นบุคคลที่ค้นพบแร่ยูเรเนียมเมื่อประมาณ 180 ปีมาแล้วแร่ยูเรเนียมที่พบนั้นอยู่ในสภาพธรรมชาติเกิดในแร่ พิทช์เบลนด์ (pitchblende) จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1842 เพลิคอท (Pelicot) ก็สามารถแยกยูเรเนียมได้สำเร็จ ต่อมาอีกในปี ค.ศ. 1896 เฮนริ เบคเคอเรล (Henri Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ทำการสังเกตและบันทึกลักษณะเฉพาะตัวของการแผ่รังสีของยูเรเนียมเอาไว้ หลังจากนั้นรัทเธอร์ฟอร์ด และ ซอดดี้ (Rutherford and Soddy) ได้เสนอทฤษฎีการสลายตัวของกัมมันตรังสี (theory of radioactive disintegration) ไว้ในปี ค.ศ. 1902 ซอดดี้ ยังได้ให้ข้อสังเกตเพิ่มเติมไว้ในปี ค.ศ. 1911 อีกว่า อะตอมของธาตุหนึ่ง ๆ นั้นสามารถมีมวลต่างกันได้หลายมวล และเขาเรียกอะตอมของมวลเหล่านั้นไว้ว่า ไอโซโทป (isotope)

การทดลองในระยะแรกเกี่ยวกับยูเรเนียมนั้นไม่ค่อยเป็นที่สนใจของผู้คนมากนัก จนกระทั่งในปี 1898 คูรี่ (Curies) สองสามีภรรยาได้สกัดเอาเรเดียมออกจากยูเรเนียมได้สำเร็จ เรเดียมนั้นถูกนำไปใช้ในทางการแพทย์ รักษาโรคมะเร็ง ส่วนยูเรเนียมมีทางนำไปใช้ในวงจำกัด เช่น นำไปใช้ผสมสีใน เซรามิค และแก้ว ใช้ระบายสีทำให้เกิดแสงเรือง หรือใช้ทำหน้าปัดนาฬิกา เป็นต้น และยูเรเนียมที่ใช้นี้ส่วนมากเป็นชนิดเกรดสูงทั้งสิ้น

กว่าจะเป็นที่ยอมรับกันว่าพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัว (fission reaction) สูงกว่าพลังงานที่ได้จากพลังงานเคมีนั้นก็เป็นเวลานานจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1938 อ็อตโต ฮาห์น และ ฟริตซ์ สตราสมานน์ (Otto Hahn and Fritz Strassmann)

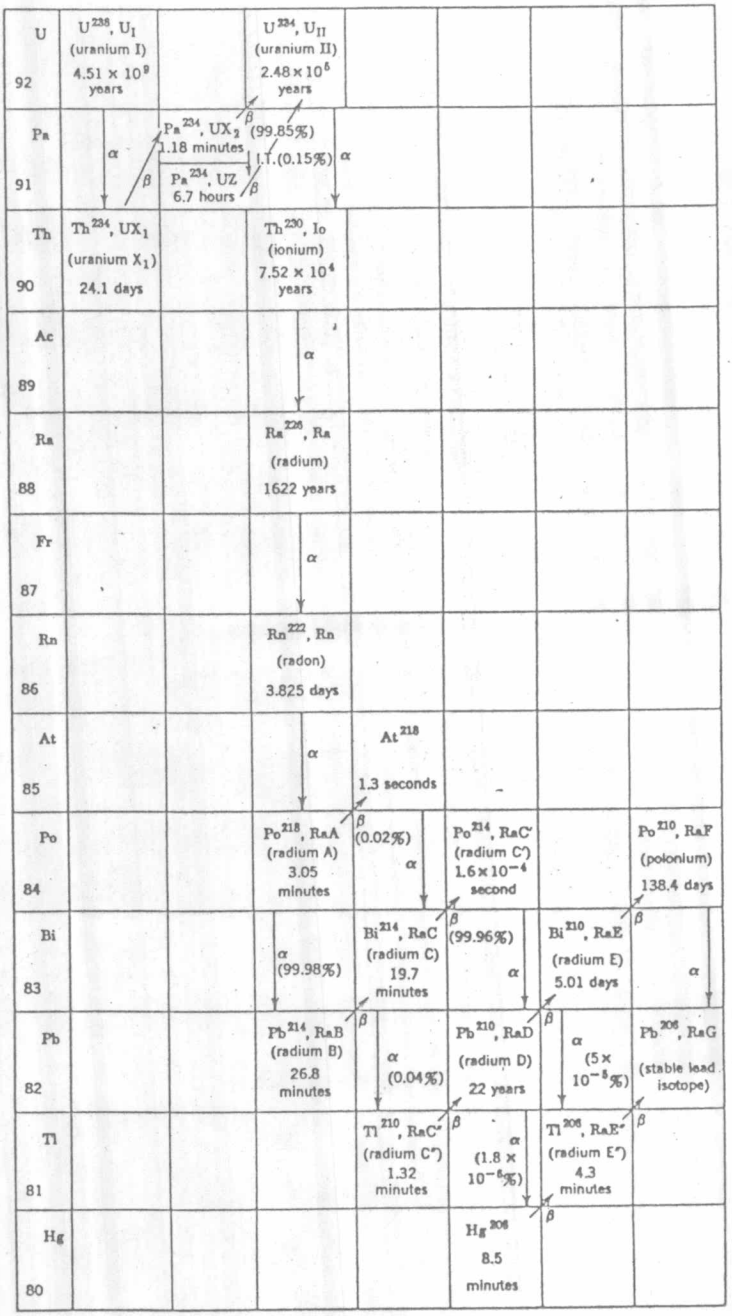
นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน สามารถแยกอะตอมของยูเรเนียมได้จากการยิงอะตอมยูเรเนียมด้วยอนุภาคนิวตรอน ยูเรเนียมจึงกลายเป็นแร่ที่มีคุณค่านับแต่นั้นมา

2.2 ธรณีเคมีและความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยูเรเนียม(10)

ยูเรเนียมเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีสัญญลักษณ์ทางเคมีว่า U อะตอมมิคนัมเบอร์(atomic number) 92 และน้ำหนักของอะตอม (atomic weight) 238.07 เป็นธาตุที่หนักที่สุดในกระบวนธาตุที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ เป็นธาตุอันดับที่ 92 และเป็นอันดับสุดท้ายที่อยู่ในตารางธาตุ(periodic table) ของดมิตริ เมนเดลีฟ (Dmitri Mendeleev) นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย

ยูเรเนียมในธรรมชาตินั้นมีอยู่ 3 ไอโซโทป คือ ยูเรเนียม 238, ยูเรเนียม 235, และยูเรเนียม 234 ในปริมาณร้อยละ 99.25, 0.71 และ 0.0051 โดยน้ำหนักตามลำดับ

ยูเรเนียม 238 และยูเรเนียม 235 เป็นสารกัมมันตรังสีทั้งคู่ต่างก็สลายตัวได้เองโดยปล่อยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าออกมาจากนิวเคลียสแล้วกลายเป็นไอโซโทปของธาตุชนิดใหม่ซึ่งเรียกว่า ลูก (daughter) ส่วนยูเรเนียมซึ่งเป็นตัวเริ่มต้นเรียก พ่อ - แม่(parents) การสลายตัวของยูเรเนียมซึ่งเป็นพ่อ - แม่ กลายเป็นธาตุลูกต่อ ๆ มาเป็นลำดับจนถึงธาตุสุดท้ายที่เสถียร(stable) ได้แก่ตะกั่วนั้น ได้จัดไว้เป็นอนุกรม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 อนุกรมยูเรเนียม (9)

จากอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม 238 นั้น จะใช้ธาตุลูกออกต่อกันมาจำนวน 14 ธาตุ ในจำนวนนี้ธาตุลูกบิสมัท-214(RaC)จะให้พลังงานรังสีแกมมาออกมาหลายพลังงาน ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1 จากพลังงานเหล่านี้เมื่อวัดด้วยหัววัดรังสี NaI (Tl) จะปรากฏเป็นพีคบนจอของเครื่องมัลติแชนเนลอะนาไลเซอร์ พีคที่เห็นเด่นชัดที่สุดมีอยู่สองพลังงานคือ 0.609 MeV และ1.764MeV และเป็นพีคของพลังงานสำหรับหาปริมาณของยูเรเนียมในการวิจัยเรื่องนี้

ยูเรเนียมในรูปโลหะอิสระจะไม่พบในธรรมชาติเพราะมันไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นยูเรเนียมออกไซด์ ดังนั้นยูเรเนียมโดยทั่วไปมักอยู่ในรูปของออกไซด์ซึ่งส่วนใหญ่เป็น UO_2, U_3O_8และ UO_3 โดยมีเวเลนซี่+4,+5 และ+6ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ปริมาณของยูเรเนียมนั้นมักจะคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของ U หรือ U_3O_8 ส่วนการวัดกัมมันตภาพรังสีของยูเรเนียมเพื่อดูปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยใช้วิธีทางเรดิโอเมตริคนั้นใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไกเกอร์เคาน์เตอร์ (Geiger counters) หรือซินทิลเลชั่น เคาน์เตอร์ (scintillation counters) เป็นต้น

ยูเรเนียมที่อยู่ในเปลือกโลกนั้นประมาณว่าราว ๆ 0.002 เปอร์เซ็นต์ หรือ2ppm หมายความว่าในจำนวนล้านส่วนของเปลือกโลกจะเป็นยูเรเนียมเสีย 2 ส่วนและโดยความเป็นจริงนั้นยูเรเนียมได้ทิ้งร่องรอยจำนวนหนึ่งมากบ้างน้อยบ้างในหินบนเปลือกโลกเกือบทุกชนิด ต้นกำเนิดของยูเรเนียมทุกชนิดมาจากหินเหลว(molten magma) ซึ่งถูกดันออกมาอยู่ภายในเปลือกโลกเมื่อแข็งตัวแล้วเรียกว่าหินไหล (intrusive rock) หรือเมื่อโผล่ขึ้นมาบนผิวโลกแล้วแข็งตัวเรียกว่า หินแลบ (extrusive rock) ยูเรเนียมในหินเหล่านี้จะตกผลึกเมื่อเย็นตัวลง ในหินอัคนีอาจมียูเรเนียมปนอยู่เป็นจำนวนน้อยในลักษณะแร่ประกอบหิน เช่นเดียวกับแร่เซอร์คอน (zircon) อปาไทท์ (apatite) และโมนาไซท์ (monazite) หรืออาจ

ตารางที่ 2.1 (3)

กัมมันตภาพรังสีจากอนุกรมยูเรเนียม

Radioactive species	Nuclide	Half-life	Major radiations, approximate energies (MeV) and intensities (%)	
Uranium I (UI)	$^{238}_{92}U$	4.51×10^{9} y	alpha	4.20 (75 %), 4.15 (25 %)
Uranium X_1 (UX_1)	$^{234}_{90}Th$	24.10 d	beta	0.191 max
Uranium X_2 (UX_2)	$^{234}_{91}Pa$	1.175 m	beta	2.29 max
Uranium Z (UZ)	$^{234}_{91}Pa$	6.75 h	beta	1.13 max
			gamma	0.100 (50 %), 0.126 (26 %), 0.22 (14 %), 0.36 (13 %), 0.56 (15 %) 0.70 (24 %), 0.90 (70 %), 1.08(12 %)
Uranium II (U II)	$^{234}_{92}U$	2.47×10^{5} y	alpha	4.77 (72 %), 4.72 (28 %)
Ionium (Io)	$^{230}_{90}Th$	7.5×10^{4} y	alpha	4.68 (76 %), 4.62 (24 %)
Radium (Ra)	$^{226}_{88}Ra$	1622 y	alpha	4.78 (95 %), 4.60 (6 %)
			gamma	0.186 (4 %)
Ra Emanation (Rn)	$^{222}_{86}Em$	3.825 d	alpha	5.49 (100 %)
Radium A (RaA)	$^{218}_{84}Po$	3.05 m	alpha	6.00 (100 %)
Radium B (RaB)	$^{214}_{82}Pb$	26.8 m	beta	1.03 max (6 %), 0.67 max
			gamma	0.242 (4 %), 0.295 (19 %) 0.352 (36 %)

ตารางที่ 2. 1 (ต่อ)

Radioactive species	Nuclide	Half-life	Major radiations, approximate energies (MeV) and intensities (%)	
Astatine-218 (^{218}At)	$^{218}_{85}$At	1.5-2.1 s	alpha	6.70 (94 %), 6.65 (6 %)
Radium C (RaC)	$^{214}_{83}$Bi	19.7 m	beta	3.26 max
			gamma	0.609 (47 %), 0.769 (5 %), 0.935 (3 %) 1.120 (17 %), 1.238 (6 %), 1.378 (5 %) 1.40 (4 %), 1.509 (2 %), 1.728 (3 %) 1.746 (17 %), 1.848 (2 %), 2.117 (1 %) 2.204 (5 %), 2.442 (2 %)
Radium C' (RaC')	$^{214}_{84}$Po	1.64×10^{-4} s	alpha	7.69 (100 %)
Radium C" (RaC")	$^{210}_{81}$Tl	1.32 m	beta	2.3 max
			gamma	0.296 (80 %), 0.795 (100 %), 1.08 (19 %), 1.21 (17 %), 1.31 (21 %), 2.01 (7 %), 2.09 (5 %), 2.36 (8 %), 2.43 (9 %)
Radium D (RaD)	$^{210}_{82}$Pb	22.0 y	alpha	3.27
			beta	0.061 max
Radium E (RaE)	$^{210}_{83}$Bi	5.013 d	beta	1.160 max
Radium F (RaF)	$^{210}_{84}$Po	138.40 d	alpha	5.305 (100 %)
Thallium-206 (^{206}Tl)	$^{206}_{81}$Tl^{2}	4.23 m	beta	1.52 max
Radium G (RaG)	$^{206}_{82}$Pb	stable		

มียูเรเนียมในรูปของฟิล์มบาง (thin film) เคลือบบนผลึกของแร่ต่าง ๆ ในแหล่งแรเป็กมาไทท์ (pegmatites) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการสะสมตัวของหินเหลวในขั้นสุดท้าย (late stage) อาจมีแร่ที่มียูเรเนียมอยู่หลายชนิดเช่น ออกไซด์ ที่ซับซ้อนของเหล่าธาตุแรเอิร์ท (complex rare - earth oxides) เช่น อัลลาไนท์ (allanite) ยูซีไนท์ (euxenite) เบทาไฟท์ (betafite) ไพโรคลอร์ (pyroclore) ซามารสไกท์ (samarskite) หรือแร่ที่ไม่ค่อยจะได้พบเช่น ยูเรนิไนท์ (uraninite) ในสายแร่น้ำยาความร้อน (hydrothermal veins) อาจมีแร่ยูเรนิไนท์ในรูปของผลึกหรือฝุ่นในปริมาณเล็กน้อยไปจนถึงมากพอใช้แร่ยูเรเนียมที่อยู่ในหินอัคนีรวมทั้งที่เป็นยูเรเนียม-ฟิล์ม ในสายแร่นั้นส่วนใหญ่จะถูกออกซิไดซ์ (oxidize) กลายเป็นออกไซด์ และผุกร่อนลงเกิดสารประกอบยูเรเนียมที่สามารถจะละลายได้และจะถูกพัดพาไปเป็นระยะทางได้ไกล ๆ ทั้งโดยน้ำบนดินและน้ำใต้ดินยูเรเนียมในรูปของสารละลายนี้อาจอยู่ในสถานะที่มีวาเลนซี่สูง คือ +6 แต่อาจถูกลดให้อยู่ในสถานะที่มีวาเลนซี่ต่ำกว่าลงมาและตกตะกอนลงได้เมื่ออยู่ในสถานะหรือเมื่อพบกับสิ่งที่ทำให้เกิดการลดความเข้มลง เช่นคาร์บอเนเซียส แมตเตอร์ (carbonaceous matter) หรือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogensulfide) ซึ่งเกิดจากแร่ซัลไฟด์หรือเกิดจากปฏิกิริยาของบัคเตรีเป็นต้น ยูเรเนียมในสารละลายอาจถูกโคลนตมดูดเอาไว้ได้เหมือนกัน และหลังจากทำปฏิกิริยากันแล้วหรือเมื่อน้ำระเหยไปแล้วยูเรเนียมจะตกตะกอนลงยูเรเนียมส่วนใหญ่ที่อยู่ในสารละลายนั้น ในที่สุดจะจบตัวเองลงในมหาสมุทรและยูเรเนียมที่เกิดในลักษณะเช่น ในโคลนหรือในหินชั้นฟอสฟาติกนี้มักมีความเข้มข้นต่ำ ส่วนแหล่งแร่ยูเรเนียมในหินชั้นบนบก (terrestrial sediment) นั้นยูเรเนียมจะไม่จบตัวเองเหมือนอยู่ในโคลนหรือในหินชั้นฟอสฟาติก แต่จะสามารถกลายเป็นออกไซด์และตกตะกอนต่อไปได้ใหม่อีกหนึ่งหรือสองครั้ง แหล่งแร่ยูเรเนียมแบบนี้มักเป็นแหล่งแร่หินทรายที่รู้จักกันดีก็คือ แหล่งแร่ยูเรเนียมในหินทรายที่โคโลราโด สหรัฐอเมริกา สำหรับแหล่งแร่ยูเรเนียมในหินทรายที่ภูเวียงก็มีลักษณะเดียวกันนี้

2.3 ยูเรเนียมที่อำเภอภูเวียง (8)

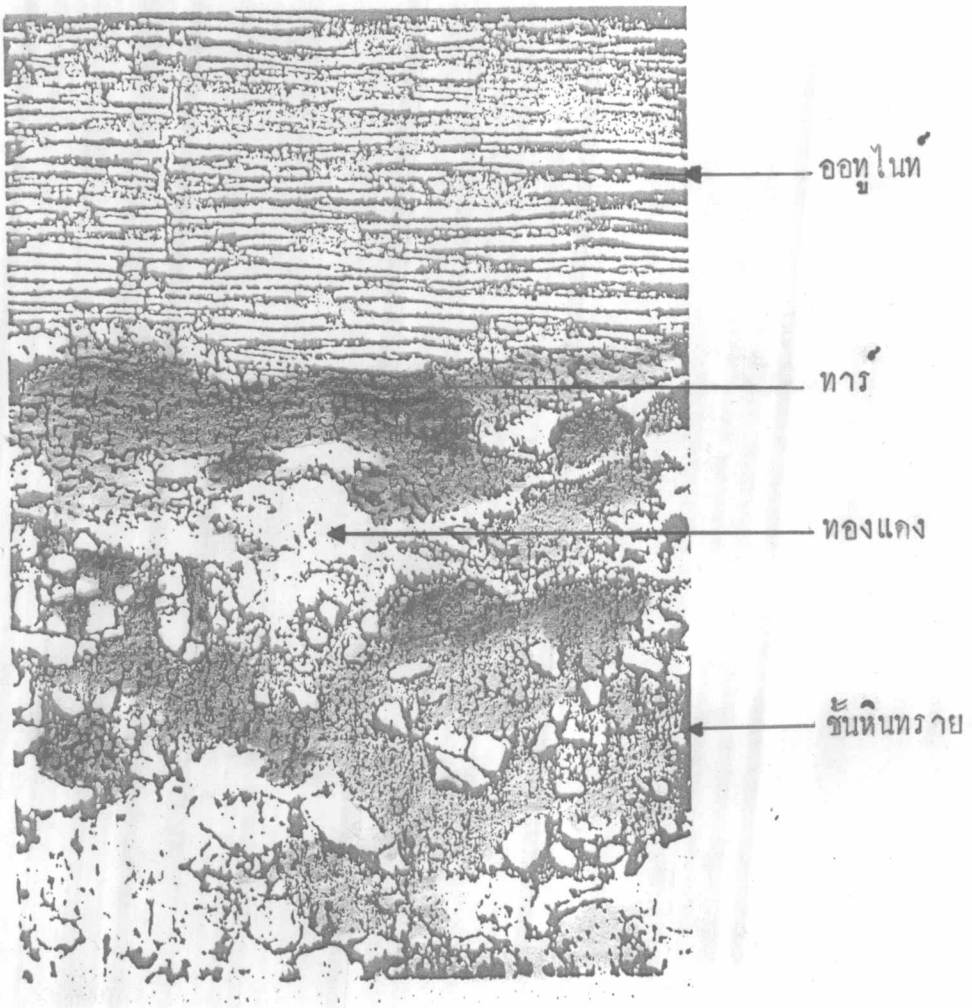
เป็นแหล่งแร่ในหินทรายพบที่เขาประตูศีหมา ในบริเวณเองภูเวียงด้านทิศตะวันตกใกล้ ๆ กับขอบทิศตะวันตกเฉียงเหนือของที่ราบสูงโคราช ซึ่งตั้งอยู่ประมาณเส้นรุ้งที่ 16° 45' เหนือและเส้นแวง 102° 13' ตะวันออก ในเขตบ้านหนองขาม ตำบลเขาน้อย อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น

จากหินโผล่ (outcrop) ของแหล่งแร่ที่ห่างจากบ้านหนองเต่าพุนไปทางทิศตะวันตก ประมาณ 4 กิโลเมตร ส่วนที่โผล่เป็นหินทรายสีเทาอ่อน เม็ดแร่ปานกลางขนาด 5 mesh แร่ลักษณะนี้ได้ชื่อว่าแร่ภูเวียง 2(pw-II) และที่ยอดบนสุดนั้นเป็นหินทรายแบบคาโบเนเชียส (carbonaceous sandstone) สีแดงเรื่อ มีเม็ดแร่ปานกลางขนาด 2-3 mesh แร่แบบนี้เรียก แร่ภูเวียง 1(pw-I) ในตอนล่างของชั้นหินชนิด pw-I ลงมาเป็นชั้นหินทรายไบทูมินัส (bituminous arcosic grit) เกิดสลับอยู่กับชั้นหินดินดาน (shales) ซึ่งมีซากคาร์บอนจากพืช ชั้นหินเหล่านี้เป็นชั้นหินที่มีแร่ยูเรเนียม

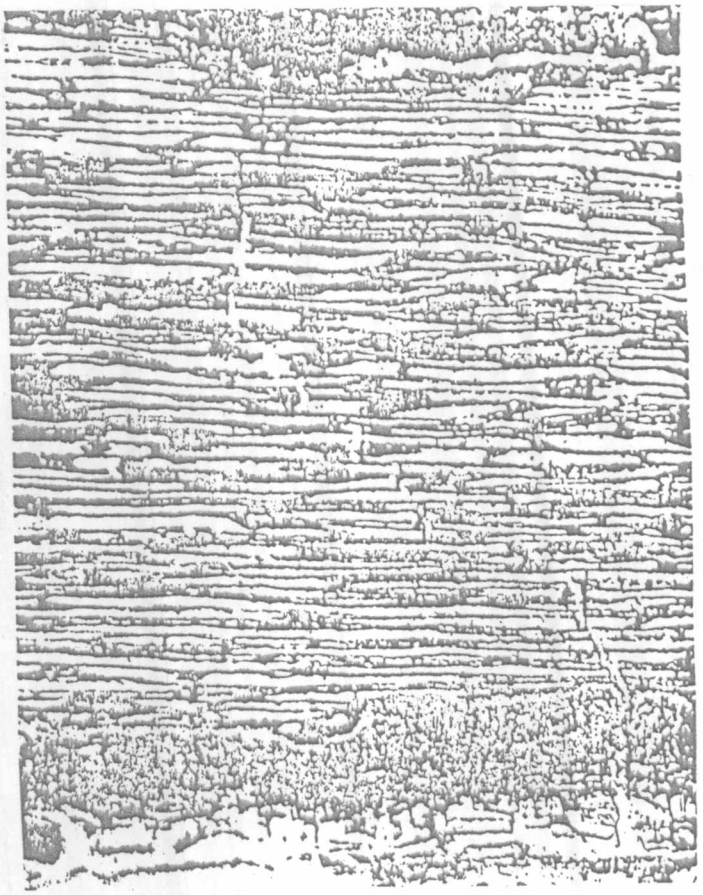
จากการวิเคราะห์แร่โดยวิธีทำ thin section และ polish section ของแร่ pw-I ปรากฏว่ามีแร่ยูเรเนียมชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

autunite	$Ca(UO_2)_2$	$(PO_4)_2$	$n\ H_2O$
torbernite	$Cu(UO_2)_2$	$(PO_4)_2$	$12\ H_2O$
carnotite	$K_2(UO_2/VO_4)$		$3\ H_2O$

แร่เหล่านี้เกิดอยู่ในหินทรายไบทูมินัส โดยการแทนที่ซากต้นไม้ ที่กลายเป็นหินด้วยน้ำยาซิลิก้า โดยการกระจายตัวเข้าไปในตัวประสานหรือเป็นตัวประสานเสียเองโดยที่โครงสร้างของเซลพืชยังคงรักษาสภาพอยู่เหมือนเดิม ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดของแร่ pw - I ชั้นล่างเป็นหินทราย ส่วนชั้นบนเป็นซากพืช ตัวประสานหินทรายประกอบด้วย ทาร์ (tar) ซึ่งเป็นสีดำและทองแดง (malachite) สีขาว ส่วนในซากพืชชั้นบนนั้นบางส่วนจะมีแร่ออกูไนท์เข้าไปแทรกอยู่ ได้แก่ ส่วนที่เป็นสีเทาเข้ม



รูปที่ 2.3 แสดงแร่ pw – I เฉพาะส่วนที่เป็นซากฟืชที่มีแร่ออทูไนท์ และทอร์เบอร์ไนท์ที่มีสีเทาเข้ม เข้าไปแทรกตัวอยู่

หินทรายสีเทาอ่อนชนิด pw-II ซึ่งไม่จัดเป็นพวกหินทรายไบทูมินัสนั้นไม่มีแร่ยูเรเนียม นอกจากมีอยู่บ้างเล็กน้อยที่เกิดแบบสะสมตัวอย่างตามรอยแยกรอยแตกของหิน และเป็นยูเรเนียมชนิดออทูไนท์ ที่เกิดขึ้นจากการสะสมตัวเองภายหลัง

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี X - ray fluorescence โดย Dr. Werner Gocht ในตารางข้างล่างนี้ แสดงให้เห็นถึงการเกิดของยูเรเนียมว่ามีอยู่แต่ในชุดของหิน pw-I เฉพาะส่วนที่เป็นไบทูมินัสเท่านั้น ส่วนในหินชุด pw-II นั้นมียูเรเนียมปริมาณต่ำมาก โดยเกิดร่วมกับธาตุวาเนเดียมในแร่ทองแดงดังตารางที่ 2.2

ตัวอย่าง	ยูเรเนียม (ppm)	วาเนเดียม (ppm)	ตะกั่ว (%)	ทองแดง (%)	เหล็ก (%)	แมงกานีส (ppm)
pw - I (arcosic)	< 10	121	68	0.632	0.969	647
pw - I (bituminous)	490	2330	428	3.571	1.632	933
pw - II	< 10	0	< 10	0.031	0.634	235

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณของธาตุต่าง ในแร่หินทรายจากภูเวียง

2.4 เครื่องกวนสาร[15]

2.4.1 จุดประสงค์ของการใช้เครื่องกวนสาร มีดังต่อไปนี้ คือ

2.4.1.1 ต้องการให้อนุภาคขนาดเล็ก ๆ ลอยตัวในของเหลว

2.4.1.2 ต้องการขัดเม็ดแร่ เช่น ใช้ล้างทรายให้สะอาดหรือทำให้สารที่เกาะหรือเคลือบเม็ดสารหลุดออก

2.4.1.3 ต้องการผสมของเหลว 2 ชนิดให้เข้ากันได้ดีขึ้น เช่น การผสมเมทธิล แอลกอฮอล์กับน้ำ

2.4.1.4 ต้องการให้กาซที่ผ่านลงไปในของเหลวเกิดฟองขนาดเล็ก

2.4.1.5 ต้องการของผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่เข้ากันเพื่อทำให้เกิด emulsion

2.4.1.6 ต้องการพาความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนสู่ของเหลวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและรวดเร็ว

การใช้เครื่องกวนสารในแต่ละครั้งอาจบรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์หลายอย่างพร้อมกัน เช่น การวิจัยเรื่องนี้ เครื่องกวนสารสามารถทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ ใน ข้อ 2.4.1.1 และ 2.4.1.2

2.4.2 อุปกรณ์เครื่องกวนสาร

2.4.2.1 ส่วนประกอบทั่วไป

ภาชนะเป็นถัง (tank) หรือท่อรูปทรงกระบอกตั้งอยู่ในแนวดิ่ง ส่วนบนของถังอาจมีมอเตอร์ติดอยู่ อัตราส่วนของถังเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ ก้นถังกลมมนไม่มีมุมตามขอบก้น ส่วนสูงของของเหลวที่ใส่โดยทั่วไปสูงประมาณเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง ใบพัด (impeller) ติดแน่นอยู่กับเพลาซึ่งวางตัวในแนวดิ่ง อยู่ตรงศูนย์กลางถังพอดีเพลานี้หมุนได้โดยมอเตอร์ อาจมีส่วนประกอบอื่นได้อีก เช่น แผ่นกั้น (baffles) 3 หรือ 4 อัน เพื่อป้องกันการหมุนวน และการเกิด แกนสูญญากาศ(ของ ๆ เหลว ท่อนำของเหลวเข้าออก ที่เสียบเทอร์โมมิเตอร์ เป็นต้น

2.4.2.2 ใบพัด (propeller)

ใบพัดในเครื่องกวนสารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้ ชนิดหนึ่งทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางขนานกับแกนของใบพัด ส่วนอีก ชนิดหนึ่งทำให้เกิดกระแสไหลในลักษณะเส้นสัมผัสหรือตามแนวโค้ง ชนิดแรกเรียกว่า axial-flow impellers และชนิดที่สองเรียกว่า radial-flow impellers

ใบพัดชนิด axial - flow มักใช้กับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ การหมุนของใบพัดจะทำให้ของเหลวในถังเป็นรูป helix และถ้าความหนืดไม่ต่ำจนเกินไป แรงสัมผัสระหว่างใบพัดกับของเหลวจะทำให้ระดับของของเหลวสูงขึ้นไปได้ระยะทางอันหนึ่งเมื่อใบพัดหมุนไปได้เต็มรอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมเอียงของใบ (blade) อัตราส่วนระหว่างระยะที่ ของเหลวขึ้นไปได้ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเรียกว่า พิทช์ (pitch) ของใบพัด ใบพัดที่มีพิทช์เท่ากับ 1,0 นั้น เรียกว่า square pitch.

ใบพัดอาจมีจำนวนแฉกตั้งแต่ 2 แฉก, 3 แฉก ซึ่งเป็นมาตรฐานของใบพัดทั่วไป หรือ 4 แฉก ในบางกรณีอาจติดใบพัดมากกว่า 1 ตัว บนเพลาเดียวกัน ในลักษณะที่ทำให้การเคลื่อนที่ของกระแสของเหลวไปในทิศทางเดียวกัน หรือตรงข้ามกัน อย่างหลังนี้เรียกว่าเป็นแบบ push - pull ในการวิจัยนี้ใบพัดที่ใช้มี 4 แฉก เส้นผ่าศูนย์กลาง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว จำนวน 2 ตัว ติดอยู่บนเพลาเดียวกันในลักษณะ push - pull

แร่หินทรายซึ่งมีเม็ดละเอียดจะนอนก้นอยู่เบื้องล่าง ระดับสูงจากก้นถังขึ้นไปประมาณ $\frac{1}{2}$ นิ้ว จมอยู่ในของเหลวซึ่งมีระดับสูงประมาณ $4\frac{1}{2}$ นิ้ว เมื่อมอเตอร์หมุนใบพัดตัวล่างและแผ่นกั้น จะทำให้แร่กับของเหลวไหลขึ้นเป็นแบบ vertical flow ส่วนใบพัดตัวบนจะทำให้ของเหลวไหลกลับลงข้างล่างในแบบเดียวกัน ทำให้เม็ดแร่เคลื่อนที่แบบอลวน (turbulence) อยู่ระหว่างใบพัดตัวบนกับตัวล่าง เกิดการขัดสีระหว่างเม็ดแร่ด้วยกัน หรือระหว่างเม็ดแร่กับผนังของถังอยู่ตลอดเวลา เป็นผลให้สารที่เคลือบเม็ดทราย หรือ แร่ เช่น ยูเรเนียม และอื่น ๆ หลุดออกมาในลักษณะเป็นตะกอนละเอียด ซึ่งจะเรียกว่า ตะกอนยูเรเนียม หรือ หัวแร่ และส่วนที่เหลือจะมีลักษณะเหมือนเม็ดทรายซึ่งจะเรียกว่ากากแร่ยูเรเนียม หรือ หางแร่ ส่วนแร่ที่ใส่ลงไปในครั้งแรกนั้นเรียกว่า สินแร่ ยูเรเนียมในหินทราย หรือแร่ป้อน

17372070