

沃川變成帶內에 分布하는 우라늄鑛床의 同位元素 地球化學的 研究

金 奎 漢*

Isotope Geochemistry of Uranium Ore Deposits in Okcheon Metamorphic Belt, South Korea

Kyu Han Kim

Abstract: Black and graphite slates from the Okcheon metamorphic belt contain enriched values of uranium (average 200~250ppm) and molybdenum (average 150~200ppm). Uranium mineralization is closely associated with quartz and sulfide veinlets which are formed diagenetically in graphite slate. The uranium minerals were concentrated in outer part of graphite nodules.

The $\delta^{13}\text{C}$ values of organic carbon from the metasediments including uranium bearing graphite slate range from -15.2 to -26.1% with a mean of -23.5% . Meanwhile, $\delta^{13}\text{C}$ values of coal and coaly shale from some Paleozoic coal fields of South Korea vary from -19.4 to -23.9% with an average of -22.5% .

Isotopic compositions of vein calcite in uranium bearing slate range from -13.4 to -15.4% in $\delta^{13}\text{C}$ and $+11.3$ to $+15.1\%$ in $\delta^{18}\text{O}$ could indicate a reduced organic carbon source isotopically exchanged with a graphite of biogenic origin.

Metamorphic temperature determined by a calcite-graphite isotope geothermometer was $383\sim 433^\circ\text{C}$ which corresponded to greenschist facies by Miyashiro (1973) and is consistent with metamorphic facies estimated by mineral assemblages (Lee, et al., 1981, and Kim, 1971).

The fixation of uranyl species by carbonaceous matter in marine epicontinental environment, and remobilization of organouranium by diagenetic processes have attributed to the enrichment of uranium and heavy metals in the graphite slate of Okcheon metamorphic belt.

序 言

沃川變成帶內에 分布하는 黑色 슬레이트, 炭質~흑연질 슬레이트 地層에 對한 우라늄 조사는李大聲外(1956)와 金鍾洙外(1958) 등에 의해 시작되었다.

그후 地質學的, 鑛物學的, 地球化學的, 地質構造的 研究 및 많은 시추탐사가 수행되었다(金善億外, 1970; 金鍾煥外, 1974, 79, 80, 82; 金正澤外, 1980, 81; 구자학外, 1981; 李商萬外, 1981; 李東鎮外, 1981, 82; 李大聲外, 1983; 朴重權外, 1983). 그러나 우라늄 鑛床의 成因, 鑛化作用의 時期, 堆積環境, 우라늄 및 기타 금속원소의 起源 등에 對하여 研究되어야 할 많은 문제가 남아있다.

本 研究에서는 함우라늄 흑연질슬레이트를 包含한 變成堆積岩類에 包含되어 있는 有機源炭素의 炭素安定同位元素比分析, 흑색슬레이트層에 賦存되어 있는 石灰岩 및 방해석 광물 試料에 대하여 炭素 및 酸素安定同位元素比를 분석하여 함우라늄 地層의 堆積環境과 우라늄鑛化作用, 變成堆積岩의 變成作用時의 溫度등을 추정하였다. 또한 平安系의 무연탄 및 탄질셰일의 炭質物과 沃川系地層의 炭質物의 炭素同位元素比와 堆積環境을 비교 검토하였다.

함우라늄슬레이트의 試料에 대한 미량원소의 상관관계 연구가 蘇七燮(1978), 朴奉淳·蘇七燮(1980), 金玉培(1980), 李岐成·全孝澤(1980), 朴重權外(1983), 李大聲外(1983) 등에 의해 이루어졌다. 이를 既存 分析資料를 재종합 우라늄과 기타금속원소들과의 상관관계

* 梨花女子大學校 科學敎育科

를 재검토 하였다.

本研究는 1984년도 한국과학재단 해외연수지원금으로 이루어졌다. 그리고 모든 安定同位元素比 分析은 美國 California Institute of Technology에서 실시했다. 관계기관에 감사를 표한다.

함우라늄炭質—黑鉛質슬레이트地層의
分布 및 試料採取

함우라늄 탄질—흑연질슬레이트地層이 忠州에서 西南方向으로 錦山地域에 이르기까지 약 100여km에 걸쳐 단속적으로 分布하고 있다. 함우라늄地層의 分布와 地質에 關하여 李大聲의(1983)의 研究報告書에 잘 요약 기재되어 있다.

상기 研究에 의하면 함우라늄地層은 서로 對比되는 九龍山層, 倉里層, 國土峯層內에 있는 地層으로 주로 흑색슬레이트, 흑연질슬레이트, 炭質千枚岩, 石灰岩 그리고 片岩등으로 構成되어 있다. 그중 우라늄 부광대는 주로 炭質~흑연질슬레이트層에 국한 되어 있으며 그 층후는 地域에 따라 다르며 20~1,500m 내외이다. 우라늄의 品位는 약 78~1,563ppm(金鍾煥의, 74, 79, 80, 82; 朴重權의, 1983; 金正澤의, 1980; 李東鎭, 1984) 또는 0.17~0.087%(李大聲의, 1983)이다.

本研究는 비교적 우라늄 品位가 높은 곳으로 조사된

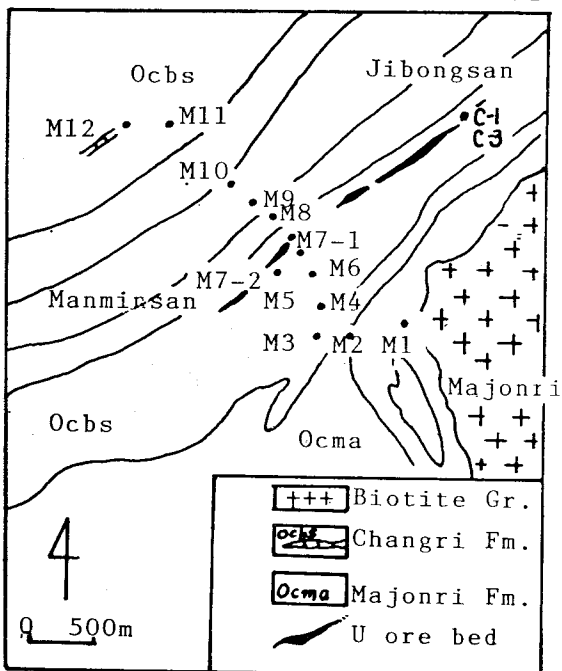


Fig. 1 Sampling map of the Chubu-Majonri district in Okcheon metamorphic belt(Geological map after Lee et al., 1980).

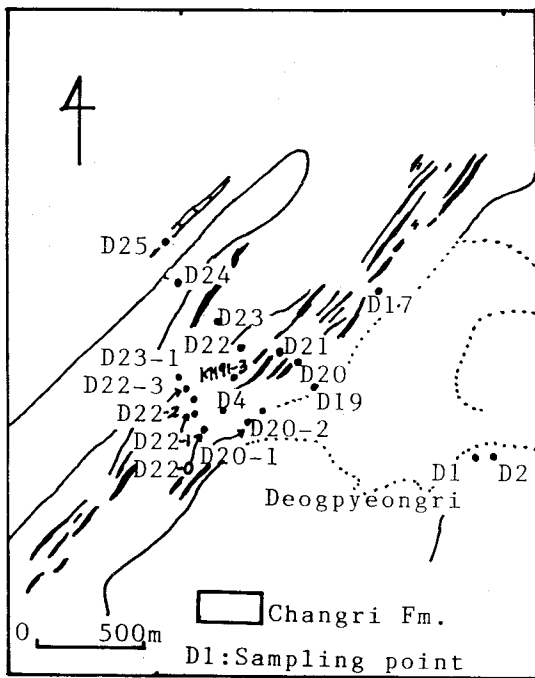


Fig. 2 Sampling point of the Deogpyeongri area in Okcheon metamorphic belt (Geological map after Lee and Kim, 1972 and Lee, 1984).

(1) 槐山部近의 德平里地域, (2) 錦山部近의 추부터널 馬田里地域에서 試料를 採取 실시했다(Fig. 1, 2).

採取된 試料는 흑연질슬레이트, 흑색슬레이트, 炭質세일, 石灰岩, 千枚岩, 片岩, 方解石 및 黃化礦物 등이다.

分析方法

모든 試料는 400mesh로 분말화하였다. 試料中の 有機源炭素의 安定同位元素比 分析을 위해 無機源炭素와 가용성 有機源炭素를 제거하기 위해 Benzene+methanol 및 酸처리를 한 후 Cu₂O와 950°C에 태워 순수한 CO₂만 얻어 質量分析計로 分析했다. 石灰岩 및 方解石 鑛物의 試料는 100% H₃PO₄와 反應에서 CO₂를 추출 (McCrea, 1950)했다. 순수한 흑연질물질 試料를 얻기 위해서 2:1 v/v Benzene-methanol, 1N HCl, 5:1 v/v HF-HCl의 처리를 했다.

¹³C/¹²C는 보통 표시하고 있는 방법인 千分率로 다음과 같이 표시했으며 標準試料는 PDB Standard를 이용했다.

$$\delta^{13}C = \left(\frac{(^{13}C/^{12}C)_{\text{試料}}}{(^{13}C/^{12}C)_{\text{標準試料}}} - 1 \right) 1,000(\%)$$

¹⁸O/¹⁶O의 표시도 위와 같은 식으로 표시했으며 標

Table 1 Carbon and oxygen isotopic compositions of some carbonates from the Majonri-Deogpyeongri district in Okcheon metamorphic belt.

Sample No.	Description	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$
M2	Light gray crystalline limestone	-1.4	+4.0
M3	Gray crystalline limestone	-2.6	+5.6
M12	Gray limestone	-3.8	+12.0
D25	Gray crystalline limestone	-0.4	+15.4
MJ-5	Light gray limestone	-1.2	+17.6
MJ-6	Layered crystalline limestone	-0.1	+18.4
S-1	Dark gray limestone	-1.3	+15.0
S-3	Gray crystalline limestone	0.0	+15.7
S-10	Layered limestone	-1.7	+14.9
MJ-1	Vein calcite	-4.3	+8.1
MJ-2	Vein calcite	-3.7	+9.4
D10	Vein calcite in U-bearing black slate	-13.4	+15.1
D14	Vein calcite in U-bearing black (graphitic) slate	-15.4	+11.3

M2, M3: the contact metamorphosed samples in the vicinity of Majonri.
 M12 to S-10: the regional metamorphosed rocks samples.
 MJ-1, MJ-2, MJ-5 and MJ-6: samples from the Manjang copper mine.

Table 2 $\delta^{13}\text{C}$ values for organic carbon preserved in the uranium bearing black slate and graphite slate formation in the Chubu district of Okcheon metamorphic belt.

Sample No.	Description	CO_2 yield (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (graphite)	$\Delta^{13}\text{C}$ $\text{CaCO}_3\text{-C}$	Temp. ($^\circ\text{C}$)
M3	Gray crystalline limestone	0.09	-4.3	1.76	730
M4	Graphite slate	0.33	-20.0		
M5	Gray shale	0.15	-15.2		
M6	Graphite slate	1.13	-24.6		
M7-1	Sandy graphite slate	0.41	-24.2		
M7-2	Graphite slate	2.73	-26.0		
M8	Sandy slate (phyllitic)	0.94	-25.4		
M9	Shale	0.09	-23.6		
M10	Black slate with many pyrite layers	0.06	-24.8		
M11	Mica schist (phyllitic)	0.07	-16.4		
M12	Gray limestone	0.38	-14.5	10.75	433
C-1	Graphite slate with quartz and pyrite veins	2.81	-26.1		
C-3	ditto	3.10	-25.7		

準試料 SMOW를 利用했다. 분석결과를 표 1, 2, 3과 같다.

分析結果 및 討議

炭素安定同位元素分析 結果에 對하여 論하기 전에 우리금광물의 產出狀態에 대하여 간단히 言及한다. 우리금광물은 앞에서 설명한 바와 같이 흑색슬레이트층 중 炭質-흑연질슬레이트層準에만 농집되어 있다. 우리금광물은 미립으로 된 uraninite로 구성되어 있음이

EPMA 분석법을 이용 李東鎭(1984), 李大聲의(1983)에 의해 검정되었다. 우리금광물은 uraninite, torbernite, metatorbernite, tyuyamunite, metatyuyamunite, autonite, metaautonite 등으로 구성되어 있다(李東鎭, 1984). 李大聲의(1983)에 의해 coffinite, haiweeite, magniosilite 등도 추정되었다.

습우리금 炭質-흑연질슬레이트는 황철석이 많이 包含되어 있다. 또한 우리금광물은 李政成의(1978), 이 동진·상기남(1981)에 의해 지적되었듯이 石英細脈이

Table 3 The isotopic composition of carbonaceous matter in the uranium bearing black (graphitic) slates from the Deogyongri district of the Okcheon metamorphic belt.

Sample No.	Description	CO ₂ yield (%)	δ ¹³ C(‰)	Δ ¹³ C CaCO ₃ -C	Temp. (°C)		
D19	Black slate	1.86	-24.6				
D20	Graphite	1.77	-21.2				
D21	Graphite slate with pyrites	0.65	-24.1				
D22	Graphite slate	1.68	-21.7				
D23	Phyllite	0.36	-19.8				
D24	Black slate	0.36	-21.8				
D25	Grey crystalline limestone	0.72	-13.9	13.5	384		
D20-1	Graphite slate	0.08	-24.1				
D22-0	Graphite slate	2.89	-19.8				
D22-1	Graphite slate with pyrites	0.10	-22.2				
D22-2	Black slate	0.12	-22.4				
D12	Graphite slate with pyrites	2.14	-24.5				
D17	Black slate	1.10	-24.8				
D1	Graphite slate	1.39	-23.0				
D2	Graphite slate	3.92	-22.7				
D4	Graphite slate	1.63	-20.8				
KH-94	Graphite-chert-sulfide layered rock	0.4	-21.7				
				U(ppm)*	Fe**	U**	Mo**
KH-91	U-bearing graphite	3.43	-24.0	80~120	1.63	44.15	0.32
KH-92	Nodule (inner part) intermediate part	2.17	-23.4	620~1,500	4.78	47.32	1.30
KH-93	Outer part (matrix)	1.78	-23.1	27.7		5.33	15.16

* Lee et al.(1980). ** Number of count in spectrum (X.R.F).

많이 발달하는 層準에 높게 나타나며 石英細脈과 함께 황철석이 다량 수반된다(사진 a). Autoradiograph에 의하면 石英細脈內에는 우라늄광물이 산출되지 않으며 續成作用(diagenesis)에 의해 형성된 石英細脈은 슬레이트층중 特定層準에 많이 발달하며 既存 우라늄堆積構造를 절단하고 있다. 또한 흑연질層과 처트박층이 互層을 이루며 堆積後 構造變化를 받아 심하게 變形되어 있다(사진 b). 여기에도 우라늄품위가 비교적 높게 나타나며 황철석이 다량 수반되고 있다.

德平地域에서 산출되는 graphite 노들의 autoradiograph에 의하면 우라늄광물은 기질보다 노들에 농집되어 있으며 특히 노들의 외연부에 많이 농집되어 있다(사진 c, d). 이같은 현상은 李東鎭에 의해 graphite-apatite 노들에서 발표되었다. 노들의 외연부에서 내부로 갈수록 炭素安定同位元素比(δ¹³C)의 값이 작아지고, 철, 물리브데늄, 우라늄함량이 감소하는 경향이 있다.

續成作用時에 형성된 石英細脈이 많은 層準에 우라늄이 부화되어 있는 현상과 노들내에서의 成分變化는 續成作用동안에 우라늄 및 기타금속원소의 移動을 가

트켜 주고 있다.

그러나 花崗岩과의 接觸部에서는 함우라늄 層中에서 우라늄과 기타성분의 變化가 나타나지 않았다. 즉 變成作用時 우라늄의 移動은 인정되지 않았다.

습우라늄 흑연질슬레이트중 미량성분과 우라늄, 탄소와 우라늄의 상관관계 연구에서 과거 연구자들 모두 정(positive)의 상관관계에 있음을 보고하였다. 그러나 既存資料를 재종합 도시해본 결과 그림 3,4에서와 같이 흑연질슬레이트層中에만 우라늄이 농집되어 있음에도 불구하고 고정탄소의 함량과 우라늄의 함량 사이에 관계성을 찾아보기 어렵다(Fig. 4b). 그러나 Mo-U 사이에는 다소 관계성을 가지는 傾向이 있다(Fig. 3a). 이는 우라늄이온이 堆積時 Mo과 함께 有機源炭素 및 炭質物에 吸着된 후 續成作用時에 再移動 uraninite化되었기 때문인 것으로 해석된다. Nakashima et al. (1984)에 의해 lignite에 가용성 우라닐이온이 lignite에 吸着되고 120~400°C에서 이들이 환원되어 uraninite가 형성됨이 보고되었다. 우리나라 무연탄 試料에 우라늄이온의 吸着實驗에서도 저탄화도의 石炭에 우라늄

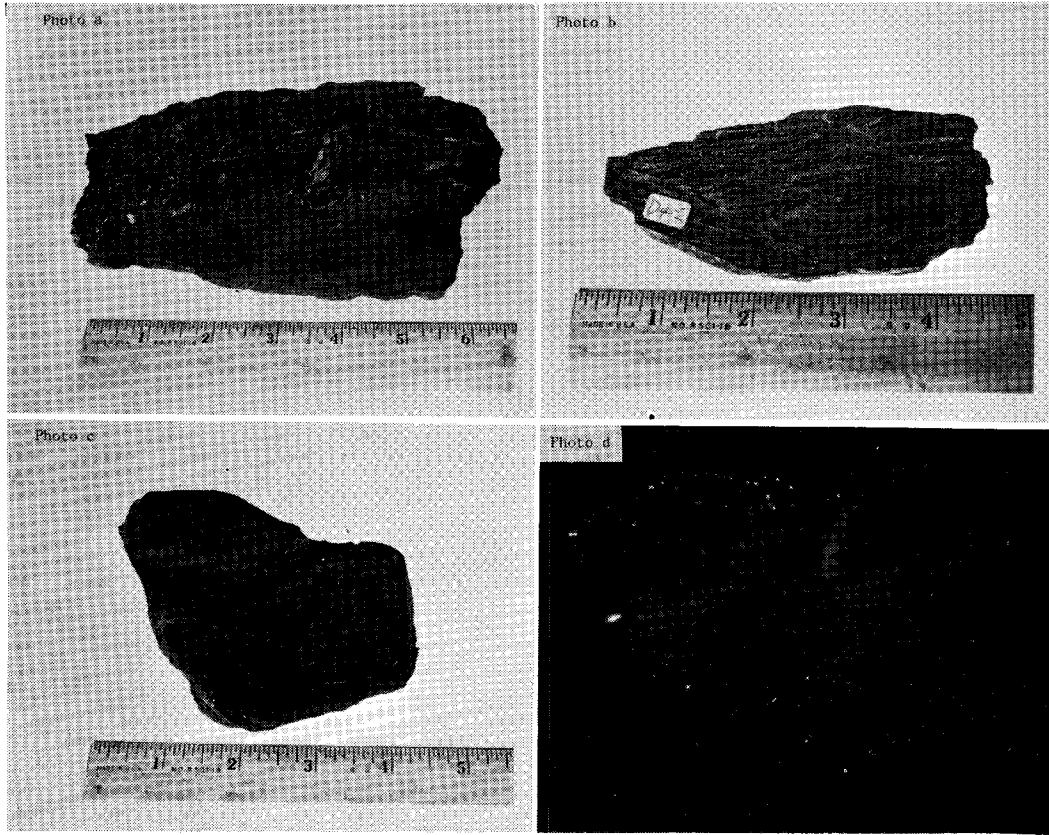


Photo a. Uranium bearing graphite slate. Quartz and sulfides veinlets are closely associated with high grade uranium ore.

Photo b. Alternation of graphite and cherty lamina.

Photo c. Graphite nodule at Deogyyeongri

Photo d. Autoradiograph of photo c sample. Photo scale same as Photo c.

이 吸着되었음을 指摘했다(金玉培, 田溶元, 1980).

금산 도장골 지역과 미원지역의 한성향試料는 炭素—우라늄간의 다소간의 관계가 있는 傾向을 나타내나 (Fig. 4a), P_2O_5 와 U과 관계에서도 關聯性을 찾아보기 어렵다. 이와같이 U과 各成分간에 상관관계가 없는 것은 우라늄이온이 炭質物 및 有機物質에 吸着堆積된 후 續成作用시에 再移動이 있었기 때문인 것으로 해석된다.

有機源炭素의 同位元素比: 沃川地向斜帶內的 變成堆積岩類中的 유기원탄소의 炭素安定同位元素比는 $\delta^{13}C = -15.2 \sim -26.1\%$ 로 平均 -23.5% 이다. 一般的으로 千枚岩이나 片岩中の graphite는 ^{13}C 이 enrich되어 있고 石灰岩 試料中の graphite는 방해석($CaCO_3$)과 同位元素 교환에 의해 현저히 ^{13}C 이 enrich되어 있다(表 2, 3). 마전리—추부터널—하소리 地域에서 보면 우라늄품위가 높은 層準에 ^{13}C 이 deplete된 傾向이 있다(Fig. 5).

유기원탄소의 同位元素研究는 有機源炭素의 기원과 堆積環境解釋을 위해 많이 이루어졌다.

Phanerozoic의 여러 地層의 有機源炭素는 $\delta^{13}C = -21 \sim -32\%$ 이며(Degen, 1969) 堆積기원의 有機源炭素는 $\delta^{13}C = -26 \sim -20\%$ 범위를 가진다(Fry et al., 1977). 이 범위중 가벼운同位元素는 陸成起源, 무거운 同位元素쪽은 海成起源으로 구별했다. 데본기의 세일층의 탄소중 non-marine 起源의 것은 -25% , basinal의 것은 -30.5% 로 現生堆積物에서와 반대의 傾向도 얻어졌다(Maynard, 1981). 선캄브리아의 gunflint iron formation의 有機物源炭素의 경우에도 철해의 algal chert facies($-25 \sim -30\%$) 보다 심해의 chert-carbonate facies($-15 \sim -20\%$)쪽이 더 무거운 탄소의 동위원소값을 나타냈다(Barghoorn et al., 1977). 變成岩類中の 炭質物은 變成作用을 받은 것이 $\delta^{13}C$ 증가하는 傾向이 나타났다. 즉 變成度가 증가함에 따라 무거운 同位元

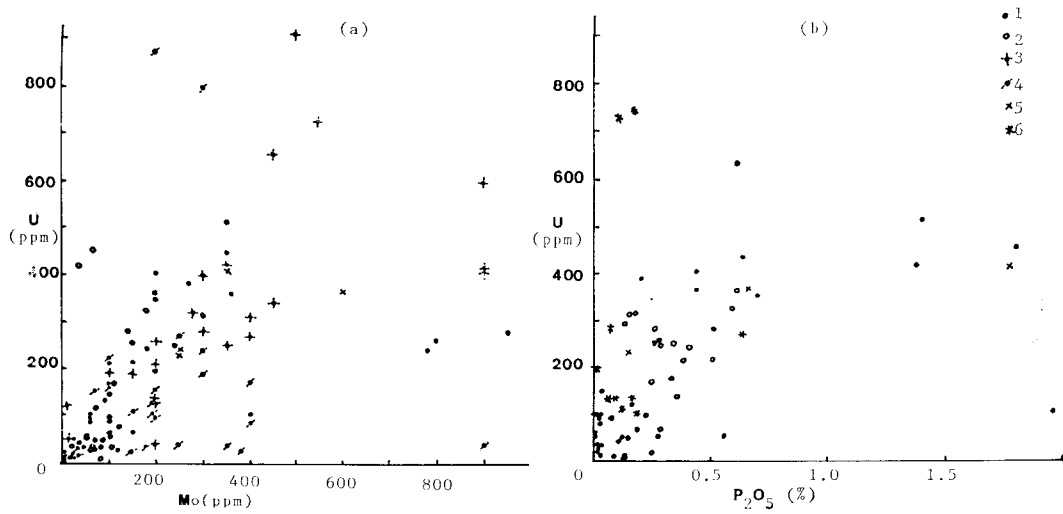


Fig. 3 Relationship between uranium and molybdenum, uranium and P_2O_5 in graphitic black slate of the Okcheon metamorphic belt. Analytical data from: 1. The Miwon district; Hansung-hang (Park et al., 1983). 2. Jinsan district (Kim et al., 1984). 3. Keumsan district; Dojang-gol (Kim et al., 1980). 4. Okcheon (Lee et al., 1983). 5. Boeun district; Jinchon (Kim et al., 1981). 6. Boeun coal mine (Kim et al., 1981).

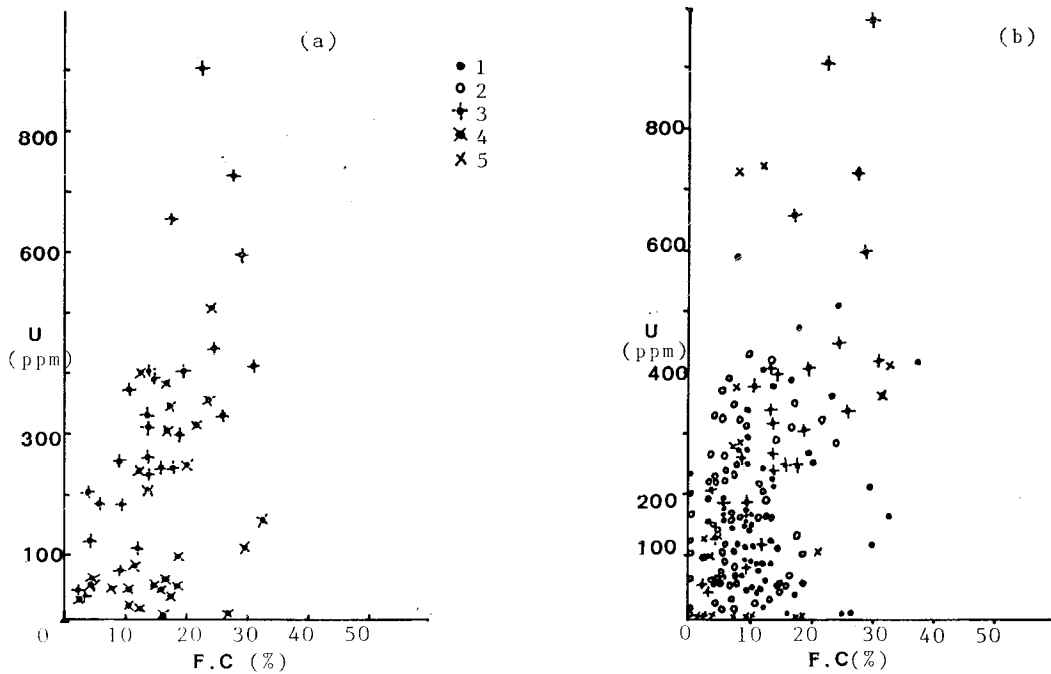


Fig. 4 Relationship between fixed carbon and U in graphite and black slates of the Okcheon metamorphic belt. Symbol same as Fig. 2.

素를 가지게 된다 (McKirdy and Powell, 1974; Hoefs and Frey, 1976). 이처럼 堆積環境과 變成作用에 의해 有機源炭素의 同位元素比의 값이 變化함을 알 수 있다.

南韓의 古生代 여러 炭田의 石炭과 炭質셰일중의 有機源炭素는 $\delta^{13}C = -19.7 \sim -24.0\%$ 로 平均 -22.5% 이다 (김규환외, 1983, 表 4). 同位元素 頻度에 따른 古

Table 4 Carbon isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) of coal and coaly shale from some coalfields of South Korea.

Sample No.	Coal field	Description	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	Remark
1	Kyongjoo-Yongil(Pohang)	Lignite	-25.3	Tertiary
2	Choongnam(Sungju)	Anthracite	-22.8	Mesozoic
3		Coal shale	-23.9	Mesozoic
4	Kyounggi(Dongduchon)	Coaly shale with plant fossil	-23.6	Mesozoic
5	Moonkyong(Eunsung Mine)	Coal shale	-24.4	Mesozoic
6		Anthracite	-23.8	Mesozoic
7	Honam(Whasoon Mine)	Coal shale	-19.7	Paleozoic
8		Anthracite	-20.8	Paleozoic
9	Samchok(Dogea Mine)	Coaly shale	-21.9	Paleozoic
10		Anthracite	-21.7	Paleozoic
11	Samchok(Jangsung Mine)	Anthracite	-23.1	Paleozoic
12		Coal shale	-23.9	Paleozoic
13	Jeongsun(Najeun Mine)	Anthracite	-21.8	Paleozoic
14		Anthracite	-21.2	Paleozoic
15	Yongweol(Hamback Mine)	Coal shale	-23.1	Paleozoic
16		Anthracite	-23.6	Paleozoic
17	Yongweol (Yongweol Mine)	Anthracite	-23.5	Paleozoic
18	Kangneung	Coal shale (Chiastolite bearing)	-19.7	Paleozoic
19	Boeun(Jinsan)	Coaly shale	-16.3	Precambrian(?)

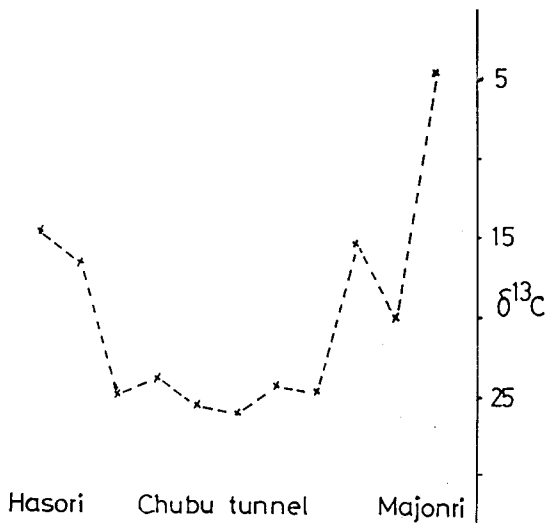


Fig. 5 $\delta^{13}\text{C}$ variation of the metasedimentary rocks from the Majonri to Hasori in Okcheon metamorphic belt.

生代炭質物의 $\delta^{13}\text{C}$ 과 沃川系 흑연질슬레이트의 graphite의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 대단히 유사하다(Fig. 6).

炭酸鹽岩의 同位元素比: 沃川地向斜帶內 變成堆積岩類中에 협제된 石灰岩 및 마전리층의 石灰岩은 $\delta^{13}\text{C}$ =

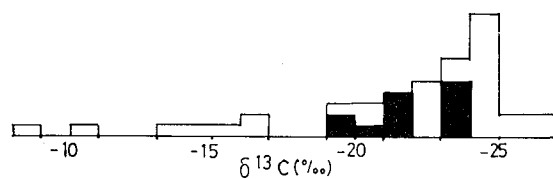


Fig. 6 $\delta^{13}\text{C}$ distribution diagram of carbonaceous matter from the Taebaegsan coal field (black) and the Okcheon metamorphic belt (white).

0.0~-3.8‰, $\delta^{18}\text{O}$ =+12.0~+18.4‰이다. 馬田里地域의 花崗岩과 接觸한 附近의 결정질석회암은 $\delta^{18}\text{O}$ =+4~5.6‰로 接觸變成作用에 의해 7~8% 정도 oxygen shift를 나타내고 있다(Fig. 6). 舍우라늬슬레이트 층中에 산출되는 방해석의 동위원소비의 값과 비교하기 위해 有機源炭素가 수반되지 않는 단장광산지역의 열수성 方解石脈의 方解石과 모암인 石灰岩의 試料도 採取 分析했다. 그결과 石灰岩은 馬田里層의 기타지역의 석회암의 값(金奎漢, 1985)과 유사하며 해성석회암이었다. 한편 方解石은 $\delta^{13}\text{C}$ =-3.7~-4.3‰, $\delta^{18}\text{O}$ =+8.1~+9.4‰이었다. 德平里地域 舍우라늬 흑연질슬레이트層內에 발달한 方解石은 $\delta^{13}\text{C}$ =-13.4~-15.4‰, $\delta^{18}\text{O}$ =+11.3~+15.1‰로 열수성 방해석과는 현저히 다른 값을 나타냈다(Fig. 7). 이는 炭素의 유래가 다른 것을 의

비한다. 일반적으로 CH_4 가 존재하는 경우 CH_4 가 산화될 때 C^{12} 가 많은 CO_2 가 생성되어 그때 만들어진 方解石에는 가벼운 炭素가 enrich된다. 그러나 沃川帶의 함우라늄 흑연질슬레이트層内에는 황화광물이 다량 수반되며 graphite가 존재하는 還元環境이므로 graphite($\delta^{13}C = -23.5\%$ 内外)와 同位元素交換에 의해 -15% 정도의 값을 나타내는 것으로 해석된다. 즉 方解石의 炭素의 기원은 有機源의 炭質物에서 유래된 것으로 추정된다. 또, 단일 이 方解石이 續成作用, 또는 變成作用時에 형성된 것이라 가정할 경우 Bottinga(1969)의 calcite-water fractionation factor와 槐山地域 지하수(水案堡部近 $\delta^{18}O = -7.7\%$, 金奎漢·中井信之, 1981)의 동위원소비를 이용하여 구한 同位元素交換平衡時의 溫度는 약 $240\sim 300^\circ C$ 이다.

함우라늄지층중의 황철석등 黃化鑛物의 황동위원소비($\delta^{34}S = -13.0\sim +18.7\%$, 이대성의, 1983)는 대체로 $+12\sim +18\%$ 가 지배적이다. 이 값의 범위를 보면 황의 기원이 海水의 SO_4^{2-} 의 황(海水의 SO_4^{2-} 의 $\delta^{34}S$ 는 $+20.0\%$ 임)에서 유래된 것으로 해석되어 石灰岩의 同位元素값과 함께 이들 함우라늄 흑색슬레이트와 이와 수반되는 기타 變成堆積岩類가 海成堆積起源임을 가르켜 주고 있다.

變成作用時의 溫度: Wada and Oana(1975), Valley and O'Neil(1981), Wada and Suzuki(1983), Kreulen and Van Beek(1983), Morikiyo(1984) 등에 의해 變成岩中에 共存하는 方解石과 흑연 광물쌍 사이에 炭素同

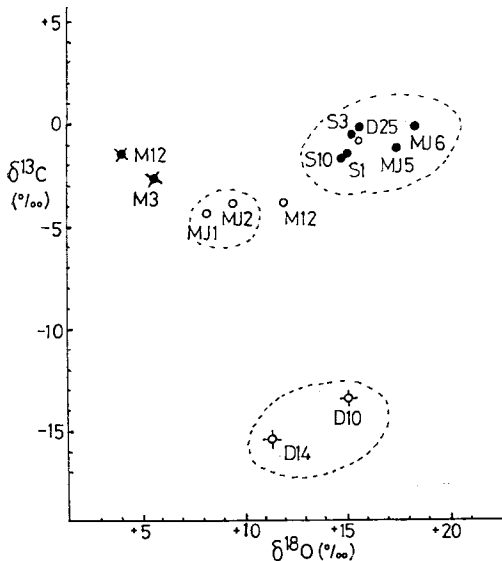


Fig. 7 Analytical data for calcite from limestone and vein calcite. The data suggest the different source of carbon.

位元素交換平衡이 이루어짐을 이용하여 變成作用時의 溫度를 추정할 수 있는 calcite-graphite 地質溫度計를 설정하였다.

Morikiyo(1984)는 $270\sim 650^\circ C$ 사이에 fractionation 이 $\Delta C^{13} = 8.9 \times 10^6 T^{-2} - 7.1$ (T in K) 관계에 있음을 얻었다. 錦山部近 추부터널지역 德平里지역에서 採取한 石灰岩에 共存하는 calcite-graphite pair를 얻어 炭素同位元素比를 分析 Morikiyo(1984)식에서 溫度를 계산하였다(表 2, 3). 德平里地域의 石灰岩의 變成溫度는 $384^\circ C$, 가목정지역의 것은 $433^\circ C$ 로 $384\sim 433^\circ C$ 의 범위를 나타내고 있고, 한편 馬田里지역의 花崗岩과 接觸한 部近의 試料(M3)는 $730^\circ C$ 로 높은 溫度를 나타내고 있다. 花崗岩과의 接觸部以外의 지역의 溫度는 $384\sim 433^\circ C$ 로 Miyashiro(1973)의 變成相 그림에 의하면 綠色片岩相(green-schist facies)에 속하며 이 溫度는 李商萬의(1981), Kim(1971)의 變成鑛物에 의해 추정된 變成相과도 잘 일치하고 있다.

平安系와 沃川系 含炭質物地層의 堆積環境:李大聲의(1983)는 咸白山지구 含炭帶와 沃川帶의 흑색슬레이트의 堆積環境과 地化學의 성질 비교에서 두 지역은 서로 분리되었던 지대에서 형성된 堆積環境으로 우라늄의 鑛化도 이때문에 차이가 있는 것으로 해석했다. 필자는 역으로, 우라늄의 鑛化의 有無가 좋은 堆積環境의 지시자가 된다고 생각하고 있다. 咸白山지구 含炭帶 뿐만 아니라 沃川帶를 除外한 기타 炭田에서 우라늄의 鑛化가 조사되었다.

含炭質物地層과 수반되는 地層의 構成岩石, 炭素同位元素比, 黃同位元素比, 우라늄 및 기타 중금속의 鑛化有無등을 비교하여 추정된 두 지역의 堆積環境은 表 5와 같다.

앞에서 言及한 바와 같이 沃川帶와 南韓의 기타 지역의 古生代炭田의 炭質物의 炭素同位元素比가 대단히 유사하면서 두 지역의 堆積環境의 차이때문에 우라늄의 鑛化에도 차이가 있는 것이다.

平安系 含炭帶의 堆積環境이 terrestrial near shore environment, 湖沼性, fluvial(이대성의, 1983)이었음에 반해 沃川帶의 흑색 슬레이트, 탄질흑연슬레이트地層의 堆積環境은 炭質物의 根源地에서 보다 멀리 떨어진 marine epicontinental environment(off shore)의 還元環境에서 堆積된 것으로 해석된다(表 5).

還元環境에서 堆積되고 있는 현생 黑海堆積物中에서도 플랑크톤에 우라늄이 吸着되고 있음이 알려졌다(Degen et al., 1977).

平安系는 陸成酸化環境이 炭質物의 根源地 部近에서 堆積되었고 沃川帶의 것은 炭質物의 根源地에서 다소

Table 5 Depositional environment of carbonaceous sediments in the Okcheon geosynclinal zone and the Taebaegsan Basin.

Okcheon Geosynclinal Zone	Taebaegsan Basin
Associate rocks: fine grained carbonaceous black shale. Black slale, tillite (Turbidite?) limestone, chert	Coal shale, conglomerate, lithic sandstone, reddish shale
No land plant fossil and animal fossil(Toxic environment) Relatively high content of U. 78~1,563ppm (average 200~250ppm)	Many land plant fossils. Low content of U 5~10ppm (Lee et al., 1983).
$\delta^{13}C = -15.2 \sim -26.1\%$ (aver. -23.5%) Reduced environment (off shore)	$\delta^{13}C = -19.7 \sim -23.9\%$ (aver. -22.5%) Oxidized environment near shore. Fluvial, Lacustrine(Lee et al., 1983).
Marine epicontinental environment	Terrestrial transition environment.

멀리 떨어진 보다 深海인 還元環境에서 堆積된 것으로 해석된다.

沃川帶內의 우라늄광물은 還元環境에서 Mo 등의 금속원소와 함께 一次的으로 有機物, 炭質物등에 吸着堆積된 후 續成作用 동안 二次的으로 移動 英細脈이 우세하게 발달하는 層準에 우라늄의 富化가 이루어진 것으로 해석된다. 續成作用時에 urano-organic complex에서 uraninite化 되었으며 變成作用이나 構造運動에 따른 우라늄의 remobilization은 인지되지 않았다.

結 論

1) 우라늄은 沃川變成帶의 變成堆積岩中 炭質-흑연질슬레이트層에만 鑛化되어 있으며 특히 石英 및 黃化鑛物細脈이 많이 발달하는 層準에 富鑛化되어 있으며 흑연 노듈에서는 노듈의 외연부에 우라늄이 부화되어 있다. 이는 續成作用時의 우라늄의 移動을 가르켜 주고 있다.

2) 습우라늄 흑연질 슬레이트내의 有機源炭素의 炭素安定同位元素比는 $\delta^{13}C = -15.2 \sim -26.1\%$ (平均 -23.5%)이다. 太白山 炭田地域의 平安系 古生代 炭質物의 탄소동위원소비는 $-19.7 \sim -23.9\%$ (平均 -22.5%)로 이와 대단히 유사한 값의 범위를 가진다.

3) 습우라늄탄질-흑연슬레이트層 및 이와 수반되는 變成堆積岩類에 협재되어 있는 石灰岩은 海成石灰岩이며 이와 수반되는 變成堆積岩類가 海成堆積 기원이다. 습우라늄 흑색슬레이트내에 발달하는 방해석의 同位元素比는 $\delta^{13}C = -13.4 \sim -15.4\%$, $\delta^{18}O = +11.3 \sim +15.1\%$ 로 炭素는 還元環境에서 黑鉛質物의 炭素와 同位元素交換에서 이루어진 有機源炭素 起源이다.

4) 方解石-黑鉛同位元素地質溫度計에 의하면 錦山, 塊山部近에 分布하는 沃川變成堆積岩類의 變成作用時의 溫度는 $384 \sim 433^{\circ}C$ 로 綠色片岩相에 해당된다.

5) 우라늄鑛床의 成因은 海岸에서 떨어진 off shore, marine epicontinental environment의 還元環境에서 Mo 등의 중금속과 함께 二次的으로 有機物 및 炭質物에 吸着된 후 續成作用동안 organouranium으로 이동 石英細脈이 우세하게 발달한 層準으로 uraninite 富化 되었으며 變成作用時의 우라늄의 이동은 인지되지 않았다. 그리고 비교적 terrestrial near shore 酸化環境인 平安系 함탄층에서 오는 달리 off shore 海成 還元環境인 沃川系 黑鉛質地層內에만 우라늄이 堆積 富化된 것으로 해석된다.

參 考 文 獻

구자학, 민성식, 구본성, 성기성(1981) 錦山 도장골 및 추부터널지역 방사능검층 연구. 동력자연연구소, 우라늄 7, p. 109-133.
 金奎漢, 中井信之(1981) 韓國의 溫泉水의 水素, 酸及硫黃同位體比. 地球化學, v. 15, p. 6-16.
 金奎漢, 中井信之, 박미령(1983) 남한의 石炭의 石炭化作用 및 炭素安定同位元素比. 鑛山地質, v. 16, No. 2, p. 130.
 金奎漢(1985) 南韓의 一部石灰岩의 炭素 및 酸素安定同位元素比. 利大韓國生活科學研究院論叢, 第35輯, p. 133-142.
 金善億, 정창순, 박성환, 임춘탁, 강양평(1970) 습우라늄 바나듐흑색세일과 점판암에 대한 조사연구보고. 광산조사연구보고, 제 4호, p. 232-292.

- 金正澤, 朴重權, 金大業, 任顯哲(1980) 忠南錦山地域의 우라늄광상의 시추조사연구. 동력자원연구소, 우라늄-1, p. 5-50.
- 金正澤, 朴重權, 金大業(1981) 沃川系 우라늄광상조사연구(보은서부지역). 동력자원연구소, 우라늄-9, p. 7-82.
- 김중환, 김정택, 김대업, 임현철(1980) 大田東南部 우라늄광상조사연구. 한국동력자원연구소, 우라늄-2, p. 5-112.
- 김중환, 김길승, 정태진(1979) 우라늄鑛域地質調査研究報告. 第5號, p. 149-184.
- 김중환, 박중권, 김정택, 김대업, 임현철(1982) 忠州西南部地域 우라늄鑛床調査研究. 한국동력자원연구소, 제13호, p. 7-44.
- 김중환, 조규장, 김선역, 정현욱, 조진동(1974) 塊山地域우라늄探查綜合報告. 地質鑛物調査報告(II), 제2호, p. 1-122.
- 金玉培(1980) 韓國의 저질탄중에 부존되어 있는 우라늄광상의 地球化學的探查를 위한 研究. 鑛山學會誌, v. 17, No. 1, p. 1-17.
- 金玉培, 田溶元(1980) 沃川系 舍우라늄炭層中에 부존하는 우라늄의 成因에 관한 實驗的 研究. 鑛山學會誌, v. 17, No. 2, p. 57-66.
- 朴奉淳, 蘇七燮(1980) 한반도 沃川帶에 分布하는 합우라늄층의 地質構造規制 및 鑛物造成과 우라늄分布와의 상관관계 연구. 鑛山地質, v. 13, No. 4, p. 215-227.
- 박중권, 김중환, 김정택, 김대업, 임현철(1983) 미원 東北地域 우라늄鑛床調査研究. 동력자원연구소, 核燃料資料, v. 2, No. 14, p. 7-56.
- 蘇七燮, 강정국(1978) 沃川系 합우라늄 變成地層의 鑛物學的 地球化學的 研究. 地質學會誌, v. 14, No. 3, p. 93-102.
- 이대성, 윤석규, 이종혁, 김정택(1983) 沃川帶 우라늄鑛層의 構造規制 및 地球化學的 特性研究. 한국과학재단연구보고.
- 이대성, 이종혁, 윤상규(1956) 原子力鑛物資源 探查報告 I. 地質鑛床調査研究報告 1, p. 46-48.
- 李東鎭(1984) 沃川層群에 부존하는 우라늄광석에 대한 鑛物學的, 成因的 研究. 서울大 博士學位論文. 75p.
- 이동진, 상기남(1981) 黑鉛質 우라늄광석의 鑛物學的 研究. 調査研究報告 12, p. 119-134.
- 이동진, 상기남, 이성록(1982) 黑鉛質 점판암내 우라늄 및 造成鑛物에 대한 鑛物學的 研究. 調査研究報告, v. 13, p. 167-181.
- 李政成, 全孝澤(1980) 沃川帶 舍우라늄地層中의 우라늄과 他成分과의 相關關係. 鑛山地質, v. 13, No. 4, p. 241-246.
- 이상단, 김형식, 나기창(1980) 大田도폭 說明書(1: 50,000). 資源開發研究所.
- 이상단, 박희인, 김수진, 박봉순, 이상현(1981) 塊山郡德坪地域 變成 堆積岩內에 胚胎된 우라늄광상의 成因. 지질학회지, v. 17, No. 1, p. 53-68.
- Bottinga, Y. (1969) Calculation fractionation factors for carbon and hydrogen isotope exchange in the system calcite carbon dioxide graphite-methane-hydrogen-water vapor. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 33, p. 49-64.
- Coverney Raymond M. and Sharon P. Martin(1983) Molybdenum and other heavy metals of the Mecca quarry and Logan quarry shales. Econ. Geol., v. 78, p. 132-149.
- Degens, E.T. (1969) Biogeochemistry of stable carbon isotopes in G. Eglinton and MTJ Murphyeys Organic Geochemistry. New York Springer, p. 304-328.
- Degens, E.T., Francis Khoo and Walter Michaelis (1977) Uranium anomaly in Black sea sediments. Nature, v. 269, p. 566-569.
- Fry Brian, Rechar S. Scalan, Patrick L. Parker (1977) Stable carbon isotope evidence for two sources of organic matter in coastal sediments seagrass and plankton. Geochim. Acta., v. 41, p. 1875-187.
- Hoefs Jad M. Frey (1976) The isotopic composition of carbonaceous matter in a metamorphic profile from the Swiss Alps. Geochim. Acta., v. 40, p. 945-951.
- Kim, H.S. (1971) Metamorphic facies and regional Metamorphism of Ogcheon metamorphic belt, J. Geol. Soc. Korea, v. 7, p. 221-256.
- Kreulen R. Van Beek PCJM (1983) The calcite graphite isotope thermometer: data on graphite bearing marbles from Naxos Greece. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 47, p. 1527-1530.
- Maynard J.B. (1981) Carbon isotopes as indicators of dispersal patterns in Devonian-Mississippian shales of the Appalachian Basin. Geology, v. 9, p. 262-265.
- McCrea J.M. (1950) On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. J. chem.,

- v. 18, p. 846-857.
- Mckirdy D.M. T.G. Powell (1974) Metamorphic alteration of carbon isotopic composition in ancient sedimentary organic matter, New evidence from Australia and South Africa. *Geology*, v. 2, p. 591-595.
- Morikiyo Toshiro (1984) Carbon isotopic study on coexisting calcite and graphite in the Ryoke metamorphic rocks, northern Kiso district, central Japan. *Contrib. Min. Petr.*, v. 87, p. 251-259.
- Nakashima S., J.R. Disnar. A. Perruchot, J. Trichet (1984) Experimental study of mechanisms of fixation and reduction of uranium by sedimentary organic matter under diagenetic or hydrothermal conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 48, p. 2321-2329.
- Nash J.T., H.C. Granger (1981) Geology and concepts of genesis of important types of uranium deposits. *Econ. Geol.*, 75th Anniversary Vol., p. 63-116.
- Valley J.W. O'Neil J.R. (1981) $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ exchange between calcite and graphite: a possible thermometer in Grenville marbles. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 45, p. 411-419.

Photo a



Photo b

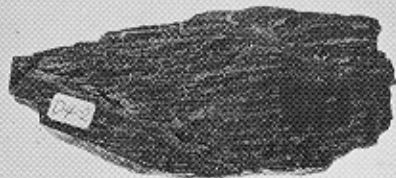


Photo c



Photo d

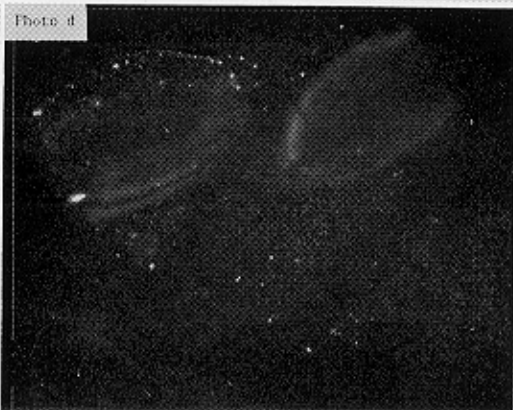


Photo e Uranium bearing graphite slate. Quartz and sulfide inclusions are closely associated with high uranium content.