

# 韓半島 沃川帶에 分布하는 舍우라늄層의 地質構造規制 및 組成鑛物과 우라늄分布와의 相關關係研究

朴 奉 淳\*, 蘇 七 燮\*

## Structural control, and Correlation of Uranium Distribution and Mineralogy of Meta-pelites in Ogcheon Terrain, Korea

Bong-Soon Park\* and Chil-Sup So\*

**Abstract:** The rock units of Goesan area in the Ogcheon metamorphic terrain established on the basis of field criteria should be redefined into following sequence. Based on shear senses in secondary small structures which are usually observable in the investigated area, the stratigraphy can be lithologically divided into the lower pelite, pebbly mudstone, upper pelite, quartzite and psammite unit in ascending order. This conclusion is in discordance with a previous opinion; Munjuri formation and Guryongsan formation may be equivalent to upper pelite unit, Iwonri formation and Hwanggangri formation to pebbly mudstone. From this, it may be inferred that isoclinal overturned folds repeatedly occur in the area. The uranium bearing coaly thin layers in upper pelite unit have relatively broad exposures in Deogpyeongri block of Goesan area along culmination zone in the central part of the investigated area. It is believed that structural feature in the block recognized complexly refolded synform plunging to southwest.

Mineralogical and radiometric studies were made on 135 representative samples from the Ogcheon Group of Korea. The mineralogy of all black slate samples is qualitatively similar but quantitatively different. The uranium distribution in the studied area show approximately log normal. Uranium in the black slates of the Ogcheon Group was deposited together under same physico-chemical environmental conditions. The chemical and geological factors that controlled the abundance of organic carbon and iron oxides also controlled the uranium content. The relationship of the major components to uranium can be expressed by the following regression equation:  $\text{Log}(U \times 10^4 + 1) = 1.70999 - 0.00367(\text{quartz}) - 0.00512(\text{micas}) - 0.00930(\text{other silicates}) + 0.01911(\text{iron oxides}) - 0.03389(\text{other opaques}) + 0.02062(\text{organic carbon})$ .

### 1. 序 言

우라늄鑛은 核燃料資源으로서 그 需給이 날로 增加되고 있는데 韓半島의 中部地帶에 놓인 沃川帶에 넓게 分布하는 炭質變成泥岩層內에는 오래 전부터 低品位의 우라늄이 舍우되어 있는 사실이 알려져 있고 있었다. 本

格的인 探查研究作業이 着手된 數年前부터 주로 賦存 상태와 鑛量確認만을 위주로 하였다. 舍우라늄層準의 地質構造的인 規制性과 우라늄成分과 母岩中の 組成鑛物과의 相關關係는 富鑛帶의 探鑛開發에 指標가 될수 있는 研究로서 現在까지 資源開發研究所가 主管하여 局地的인 調査研究가 실시되었었다. 鑛物學的, 地化學的基礎研究는 극히 制限된 試料에 의하여 地域別 特性을 고려하지 않은채 1977년에 資源開發研究所의 學術

\*高麗大學校 理科學部 地質學科  
Dept. of Geology, College of Science, Korea Univ.

用役으로 研究된 바 있고 이때 槐山地域의 構造規制도 豫備調査研究가 遂行되었다.

本研究의 目的은 沃川帶의 代表的인 우리늪부준지로 알려진 槐山地域의 地質構造規制를 파악하고 沃川層群內의 舍우라늪炭質變成泥岩層의 分布區域을 忠州, 槐山, 新灘津-報恩, 大田-錦山地域으로 4 區分하여 광범하게 채취한 試料를 바탕으로 鑛物組成이 우리늪分布에 미치는 相關性을 全體地域과 區分한 地域別로 유출하므로써 探鑛, 開發 및 成因究明에 關係되는 기초자료를 제공하리는데에 있다.

舍우라늪層의 構造規制性의 一般樣相을 究明하기 위해서는 富鑛部位에 관한 沃川帶 全般的의 調査研究가 補完되어야 하며 相關關係의 研究에서 얻어진 資料는 試料數의 제한으로 그 신빙성이 완전할수는 없기 때문에 좀더 精確性을 기하기 위하여 앞으로 연구를 계속 확대하여 더욱 많은 試料를 채취하여 處理해야 할 것이다.

本研究는 1979年度 文敎部政策課題研究費로 수행되었고 地質構造規制에 관한 것은 朴奉淳이, 組成鑛物과 우리늪分布와 的 相關關係에 관한 것은 蘇七燮이 研究를 擔當하였다.

2. 舍우라늪層의 地質構造規制

2.1. 地質

概要: 調査地域으로 選定한 槐山郡 靑川面 北部一帶는 德坪里를 中心으로 舍우라늪炭層이 비교적 잘 발달된 곳으로 過去로부터 炭을 對象으로한 探炭作業이 실시되었었다. 最近 이 炭層중에 우리늪이 舍우된 것이 알려져 집중적인 探查作業이 進行되었고 基本的인 資料는 李鍾革等(1971)에 의하여 調査發刊된 槐山地質圖幅이 있다.

研究地域은 沃川帶를 構成하는 層중에서 最下部層을 除外하고는 모두 分布하며 東端部에 花崗岩이 貫入露出하고 있다. 沃川帶의 中北部에 놓인 本地域一帶의 層序構造는 槐山圖幅에서 設定한 것이 適用되어 왔으나 이번 調査研究 結果 전면적으로 재조정하였다.

本域을 구성하는 變成堆積岩類는 礫質泥岩기원의 舍礫千枚岩, 泥質岩기원의 黑色 내지 灰色 및 綠灰色 千枚岩을 주체로 하여 이에 협재된 炭層, 砂質岩層, 石灰岩層과 珪質岩 및 變成砂質岩등으로 대표된다. 舍우라늪層은 黑色千枚岩에 협재된 炭層 또는 炭質泥岩層이다(Fig. 1).

이들 堆積岩은 弱한 廣域變成作用과 함께 深成岩의 貫入으로 熱變成되어 重複變成作用을 받았고 下部層들은 강력한 褶曲作用을 받아 심하게 變形되고 있다(Fig. 1).

層序: 既調査發刊된 槐山圖幅에서는 層序를 다음과 같이 設定하였다. 下部로부터 雲橋里層(變成砂質岩), 米東山層(珪質砂岩), 花田里層(石灰質相), 九龍山層(泥質岩相), 泥院里層(礫質泥岩), 文周里層(泥質岩相) 黃江里層(礫質泥岩)으로 區分하였다. 이러한 岩相層序는 위에 놓인 層들을 “下位帶”로, 아래의 것을 “上位帶”로 봄으로서 全體的으로 逆轉된 것임을 전체로 하였고 層들의 分布樣相으로 보아 米東山層이 isoclinal overturned anticline 을 구성하고 米東山層과 花田里層이 不整合으로 접해야하며 九龍山層의 동익부에 분포하는 雲橋里層도 overturned fold 로서 冠部가 노출된 것으로 보았다.

그러나 이번에 실시한 精밀조사결과 ①泥院里層보다 上部에 놓인 層들은 逆轉되지 않았고, ②米東山層도 單斜構造이며 ③花田里層은 層(formation)으로서의 구분할 만한 岩相的인 특징이 없고, ④泥院里層과 黃江里層은 별개의 것이 아닌 褶曲으로 반복되는 同一層이며, ⑤文周里層과 九龍山層도 同一層이고 “九龍山層” 동익부의 “雲橋里層”도 overturned anticline 구조로 노출된 것이 아닌 挾在된 單斜層임을 밝혀냈다. 재조정된 層序를 과거의 層序와 對比하여 table 1 에 대략 나타내었다.

Table 1. 槐山地區 沃川帶 變成堆積岩 對比表

槐山·曾坪圖幅		本調査研究		
Ⓢ	雲橋里層	←→	變成砂質岩層	Ⓢ
	米東山層	←→	珪質砂岩層	
	花田里層	←	泥質岩層 (砂質岩挾在)	
	九龍山層	←		
	泥院里層	←		
	文周里層	←	礫質泥岩層	
Ⓣ	黃江里層	←		Ⓣ

各層別로 各說하던 다음과 같다.

礫質泥岩層—本域 東端部에 넓게 분포하며 습곡으로 반복되어 배사(Anticline)의 구조로 다시 좁은 노출을 하고 있다. 화강암과 관입 접촉하기 때문에 심하게 열 변질하여 호온펠스가 되어 암갈색부분과 유백색 부분이 불규칙한 대상구조를 띠고 있다. 細脈의 石炭이 雁行狀으로 배열되고 剪斷절리(shear joint)가 흔히 관찰된다. 礫은 약간 伸張되어 있고 珪岩이 우세하고 석회암, 화강암질암, 천매암류가 포함된다. 黃江里層相이며 이 岩相을 한때 君子山統으로 별도로 區分된적이 있다.

泥質岩層—本域의 主體가 되는 이層은 多樣한 岩相을 띠우고 있다. 本域의 中央을 北北東方向으로 從走

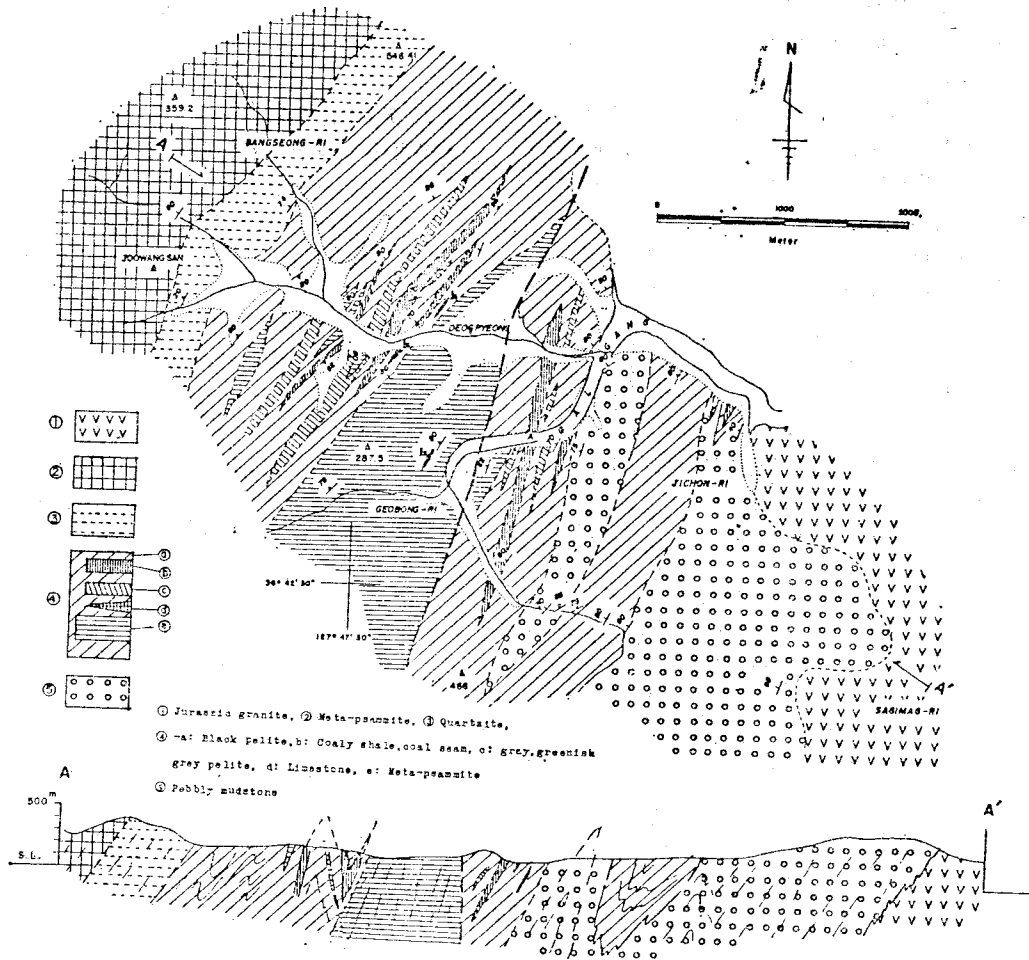


Fig.1 槐山 德坪里地區 地質圖

①花崗岩 ②鷄鳴山層相(砂質岩) ③大香山珪岩層相(珪岩) ④文周里層相(②黑色礫質岩 ⑥炭質層 ③灰色, 綠灰色泥質岩 ④石灰岩 ⑤砂質岩) ⑤黃江里層相(礫質泥岩)

하는 斷層을 境界로 分布地域이 東西로 兩分된다. 東側部의 것은 礫質泥岩層과 接하며 地層의 동쪽의 향사 구조부에서는 심하게 변형이 되고 있다. 西側部는 斷層線에 연하여 砂質岩이 비교적 두껍게 分布한다. 과거에는 이 砂質岩層을 別途의 層(雲橋里層)으로 設定하였으나 泥質岩層中の 한 層員으로 간주된다.

주구성암석은 黑色千枚岩, 黑色슬레이트, 灰色 내지 綠灰色 千枚岩과 暗褐色砂質岩이며 炭質泥岩 또는 炭層과 石灰岩이 薄層으로 挾在한다. 斷層 以東部는 複向斜를 形成하고 있다.

珪質砂岩層一本城 西側에 分布하며 地形的으로 凸部

를 形成하여 돌출하고 있다. 再結晶된 珪岩으로 구성되며 층간에 數枚의 이질암층이 挟在한다. 사층리가 드물게 관찰되며 과거에 이 層을 最下部로 보아 同斜 過背斜로 해석하였으나 過褶曲脚 (overturned limb)의 증거가 전혀없는 單斜構造를 形成하고 있다.

砂質岩層一本城 西端部에 분포하는 이 層은 暗褐色의 粗粒한 암석으로 構成되어 육안상으로는 호운펠스에 유사한 것이 특징이다. 흑운모가 다량 포함되고 자철석이 간간 배대되어 있다. 砂質部와 泥質部가 交互하는 곳에서는 層理面이 잘 인치되고 곳에 따라 벽개면이 발달한다.

**構造** : 大構造의 特性은 沃川褶曲帶의 一般의인 양상을 잘 반영하고 있다. 즉 岩質과 層序의 位置에 따라 褶曲의 形式과 變形樣相을 달리하고 있으며 泥質部에서는 岩石의 靑피덴시(competency)에 따라 變形의 규모가 다르다.

本域의 構造區分은 中央部의 北北西方向性의 斷層에 따라 兩分할 수 있다. 下部層들이 分布하는 東側帶는 半波長 약 500m 의 습곡이 形成되어 礫質泥岩層의 背斜部와 泥質岩層의 向斜部가 形成되어 심한 變形構造가 보인다. 특히 泥質岩層中에는 大褶曲에 수반된 작은 규모의 小褶曲이 수반되었고 적어도 3 단계의 變形過程이 확실히 인정된다. 반면에 斷層의 西側帶는 上部層들이 分布하고 있어 전체적으로는 덕평리의 炭質泥岩帶를 軸으로하는 複向斜構造를 形成하나 東側帶보다는 變形度가 낮은 편이다. 그러나 岩質에 따라 炭質層은 심히 變形되어 流動습곡(flow fold)을 形成하나 東側帶에서 볼수 있는 킹크습곡(kink fold)은 흔하지 않은 것이 특징이다.

大褶曲의 규모는 波長이 數백메터에 달하고 습곡축은 낮은 각도로 南軸斜하고 있으나 局部的으로 南西 또는 北東方向으로 軸斜된 culmination 이 形成된 곳에 炭質層이 대규모로 노출하고 있다.

**2.2. 構造要素의 解析**

**層理面 및 岩石劈開面** : 沃川帶를 구성하는 變成堆積岩類는 層理面을 뚜렷하게 남긴 경우가 극히 드물다. 泥質部와 砂質部가 교호하던지 협재된 石炭岩중이나 礫質泥岩中의 礫의 배열상태를 잘 관찰하므로써 측정 이 가능하다.

벽개는 대부분이 슬레이터벽개(Slaty cleavage)이고 泥質岩中에서 주름벽개(crenulation cleavage)가 잘 관찰되고 變形을 심하게 받은 곳에서는 斷裂(fracture) 내지 剪斷벽개(shear cleavage)가 발달한다.

本域에서 측정한 諸 面構造를 統計的으로 처리하여 Fig. 2의 contour diagram 을 구하였다. maximum의 attitude는 S50°W, 50°와 13.5%의 것으로 代表面이 N

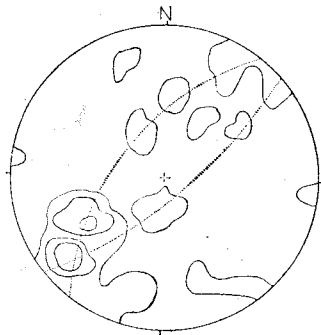


Fig. 2 面構造  
(1-3.5-6-8.5-11-13.5% 135 points, L. H.)

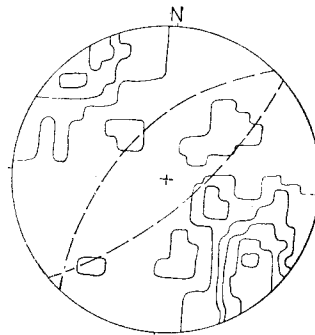


Fig. 3 小褶曲軸  
(2-6-12-18%, 51points, L. H.)

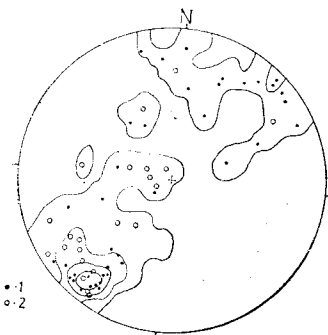


Fig. 4 線構造  
1.5-6.5-11.5-16.5-21.5%, L. H.)  
1 : crenulation cleavage  
2 : 면의 교차선

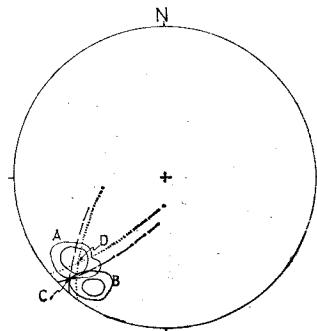


Fig. 5 構造要素의 綜合  
A : 소습곡축, B : 선구조,  
C : 층리편리면, D : 습곡포락면

40°E, 65°NW 입을 지시하고 있다. 이와같이 NE 주향에 NW 경사의 面構造외에 SE 경사의 것도 6-8.5%의 집중부분(N30°W, 85°SE)을 보여 주고 있는데 이 경향의 代表面은 N46°E, 75°SE로 표시된다.

이 두 代表面의 大圓은 이 지역을 지배하는 大습곡의 脚部로 간주되며 이를 자료로 구한 습곡의 굳힘정도(tightness)는 습곡각(interlimb angle)이 35° 내외의 tight fold~closed fold이며 두 大圓의 交叉線으로 구한 습곡축의 attitude는 S44° W, 10°로 추정할 수 있다.

**小褶曲軸** : 岩質과 層序의 深度 및 變形時期的 階度(order)에 따라 小褶曲의 形態(style)를 달리하고 있다. 또 大褶曲의 hinge 부분에서는 變形도가 매우 심하다. 小습곡의 형태는 단연 유동습곡이 지배적이고 生成시기를 달리하는 킹크습곡(kink fold), 유사습곡(similar fold) 등이 관찰되고 규모도 波長이 cm 단위로 부터 m 단위에 이르는 다양성을 보여준다.

測定한 小褶曲軸을 立體投影하였다(Fig. 3). S 48°W, 20°와 S 58°W, 40°의 두 최대치가 얻어지나 前者의 것을 이 지역의 습곡축을 대표하는 것으로 보고있다. 포인트圖(point diagram)에서 뚜렷한 띠(girdle)이 形成되지는 않았으나 低密度等高線이 斷續的이나마 두 大圓上에 놓이는 경향을 볼 수 있다. 이 大圓들은 습곡의 包絡面(enveloping surface)로 間接的인 해석이 가능하기 때문에 大습곡구조의 兩翼部에서의 包絡面의 경향을 유도하였다. 즉 東翼部의 包絡面은 N48°E, 80°SE이고 西翼部의 것은 N35°E, 65°NW로서 이 두 大圓의 交叉線은 大褶曲軸에 해당된다고 볼 수 있다. 구해진 大습곡축의 attitude는 S 50°W, 20°이다.

소습곡축의 분산은 습곡작용의 시기적 차별에 기인하는 것으로 보며 이를 세밀히 分析하기 위해서는 형태별 연구가 필요하나 이번 연구중에는 자료가 충분치 못하였다.

**線構造** : 本域에 발달하는 선구조는 crenulation lineation이 가장 우세하고 礫質泥岩層中的 礫의 長軸方向, 雲母類의 定向配列등을 들 수 있겠으나 本項에서는 crenulation lineation과 層理-slaty cleavage의 交叉線단을 處理하였다. Crenulation은 泥質岩의 slaty cleavage를 교란하여 生成되었으며 時期를 달리하는 두 crenulation이 중복된 현상도 관찰하였다. 1次的 面구조와 2次的 面구조의 교차선은 立體投影法으로 구하였다.

이 線構造를 Fig. 4로 表示하였다. Crenulation lineation은 SW 방향에 비교적 많이 집중되어 있으나 NE 방향에도 산재하고 1次적 面구조와 2次적 面구조의

교차선은 단연 SW 방향이 우세하다. Contour diagram의 maximum은 S 35°W, 15°로 구해지는데 本域에 SW의 線구조로 크게 지배되나 대칭방향인 NE의 것과 함께 第1時階(1st stage)의 것을 斜切하는 NW 상향에 산재하는 것은 第2時階(2nd stage)의 것들이다. 소습곡축의 분포경향에서도 이러한 산재 경향은 확인되었는데 本域을 교란시킨 變形作用은 적어도 方向과 時間을 달리하여 2회 이상이 있었다는 것을 반영하고 있다.

**考察** : 測定한 諸 構造要素를 해석하여 本域의 大構造를 유추하였다. 大褶曲은 翼間角(interlimb angle)이 30°내외의 tight~closed fold이며 中央部의 斷層을 경계로 以西部는 upright 하나 以東部는 inclined 하여 Overturned anticline과 syncline이 반복한다.

面構造로 구한 立體投影圖의 maximum과 이를 極으로 하는 大圓(Fig. 4의 Cw, Ce)는 비대칭적인 大습곡의 兩翼部의 面構造를 나타낸다. 소습곡축의 girdle을 잇는 大圓(Fig. 4의 Dw, De)도 前述한 Cw, Ce와 대략 일치한다. Cw와 Ce는 本域의 大습곡 양익부에서의 褶曲包絡面이므로 이들이 이루는 角은 약간 크지 않을 수 없다. 이들의 交叉點 C, D와 소습곡축의 maximum A, 線構造의 maximum B의 attitude를 정리하면 table 2와 같다.

Table 2. 構造要素로 구한 大습곡축의 attitude

maxi- mum 교차점	大圓	Attitude		비 고
		면	선	
A	—	—	S48°W, 20°	소습곡축
B	—	—	S35°W, 15°	선 구조
C	Cw	N40°E, 65°NW	S44°W, 10°	층리, 편리면
	Ce	N46°E, 75°SE		
D	Dw	N35°E, 65°NW	S50°W, 20°	습곡포락면
	De	N48°E, 80°SE		

위의 表에서와 같이 大습곡은 양익부의 주향은 대략 N 35°~50°E이고 翼部의 경사는 65°NW와 75°~80°SE로 대표되며 습곡축은 S 35°~50°W의 trend를 갖고 10°~20° plunge해 있다고 볼 수 있다.

그러나 inclined overturned fold의 경우에는 overturned limb의 attitude를 세밀히 관측하여 앞으로 더욱 대구조의 해석에 자료를 보완할 필요가 있다.

전체적으로는 南西方向으로 軸斜되어 있으나 局部的으로 北東方向으로 軸斜하는 소습곡도 形成되었는데 再褶曲하면서 culmination을 이루고 있다. 이러한 현

상은 中央의 斷層을 경계로 東側帶의 南側은 南西軸斜로, 北側은 北東軸斜하는 경향이 있다.

2.3. 솜우라늄층의 構造規制

分布規制: 沃川帶에서 우라늄이 低品位로 含有된 層은 炭質 泥質 岩層이다. 本調査 地域에서 이를 炭質層을 挾在하는 部位는 黑色 泥質層으로서 槐山圖幅資料의 九龍山層과 大략 같은 層相을 갖고 있으며 文周里層으로 설정한 층중에도 이번 조사로 炭質이 인정되었다.

槐山地區의 솜우라늄 炭質層은 德坪里地區가 鐵層의 數, 幅 및 延長이 가장 優越하다(Fig. 6). 그러나 德坪里 西側陵線을 中心으로 南北方向으로 추적해 보면 延長은 斷續되다가 絶된다.

이와같은 분포양상의 존양상을 Fig. 7에서 모식적으로 표시하였다.

炭質層의 수가 가장 많고 장이 비교적 긴 德坪里 地區의 산능부에서는 NE 방향으로 軸斜한 습곡이 세한 반면에 北部와 南部에서는 SW 방향으로 軸斜한 습곡이 지배하고 있어 中央의 부광대는 구조적으로 culmination 에 해당하는 부분이다. 전체적으로는 向斜構造를 形成하고 있으나 이러한 synformal 한 구조는 多분히 再褶曲의 양상을 띠우고 있다. 이 synform 의 西翼部는 2매의 炭質層이 인정되나 東翼部에서는 4~6枚가 존되고 있어 synformal anticline 일 가능성이 크고

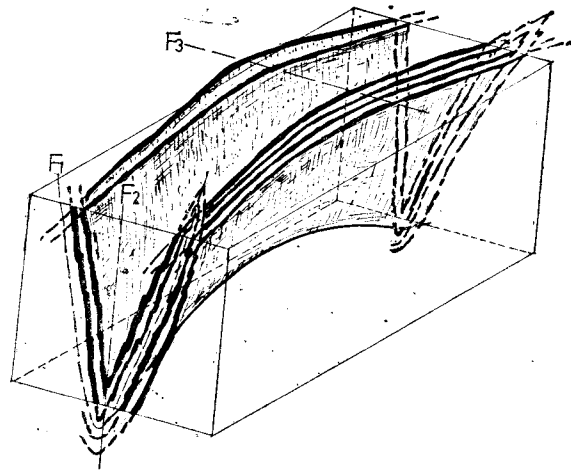


Fig. 7 德坪里지역 탄질층의 존양상

이 구조가 다시 層에 交叉하는 方向으로 재습곡되어 culmination 을 形成하였다. 이 culmination 의 冠部가 비교적 넓게 노출된 것으로 본다.

中央의 斷層을 경계로 東側帶는 德坪里지역과는 달리 炭質層의 1次의 규모도 작으며 單斜構造를 形成한다. 東側帶의 대습곡은 대부분 SW 方向으로 軸斜하고 있어 北部의 존가능성은 극히 희박하다. 지층리 북부의 강변에서 빈약한 탄질층이 심한 同斜습곡을 이루며 배태된다.

대습곡구조의 hinge 부분은 탄질층이 팽대하여 두꺼우며 翼部는 薄化하여 層의 膨縮現象이 심하다.

深部發達狀況에 관한 考察: 調査지역중에서 가장 솜우라늄탄질층이 우수하게 존된 德坪里지역의 경우 synform 한 구조를 이루고 있어 兩翼部의 attitude 로 算定한 最下部層의 深度는 500m 로 豫상된다. 그러나 transverse 한 方向으로 再褶曲되어 culmination 을 形成하였기 때문에 冠部에서의 深度는 더 감소하여 350~400m 정도로 豫상할 수 있다.

Synform 구조의 東翼部에서는 anticlinal 한 第1階의 습곡形態가 保存되어 炭質層의 枚數가 증가되어 있고 그중 일부 層準은 單斜구조로 深部에 까지 延長될 가능성도 배제할 수 없다.

이와같이 本域의 솜우라늄 炭質層은 黑色 泥質 岩層中에 鑲재되어 심히 變形되어 있는데 變形의 過程을 크게 3段階로 區分할 수 있다. 첫째 Slaty cleavage 를 形成시킨 段階, 이 시기에 第1階의 褶曲이 발달하였다. 두번째 crenulation cleavage 를 형성시킨 단계, 이때에 第2階의 습곡(cleavage fold)를 이루었다. 마지막 단계로는 culmination 을 이룬 것으로 小구조요소로는

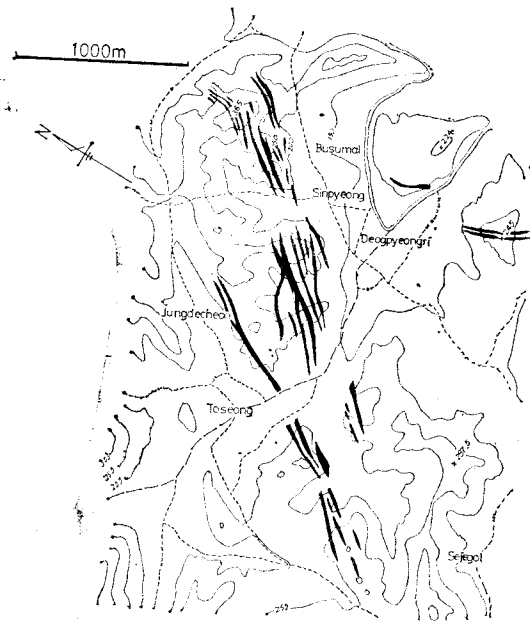


Fig. 6 德坪里 지역 의 탄질층 분포도

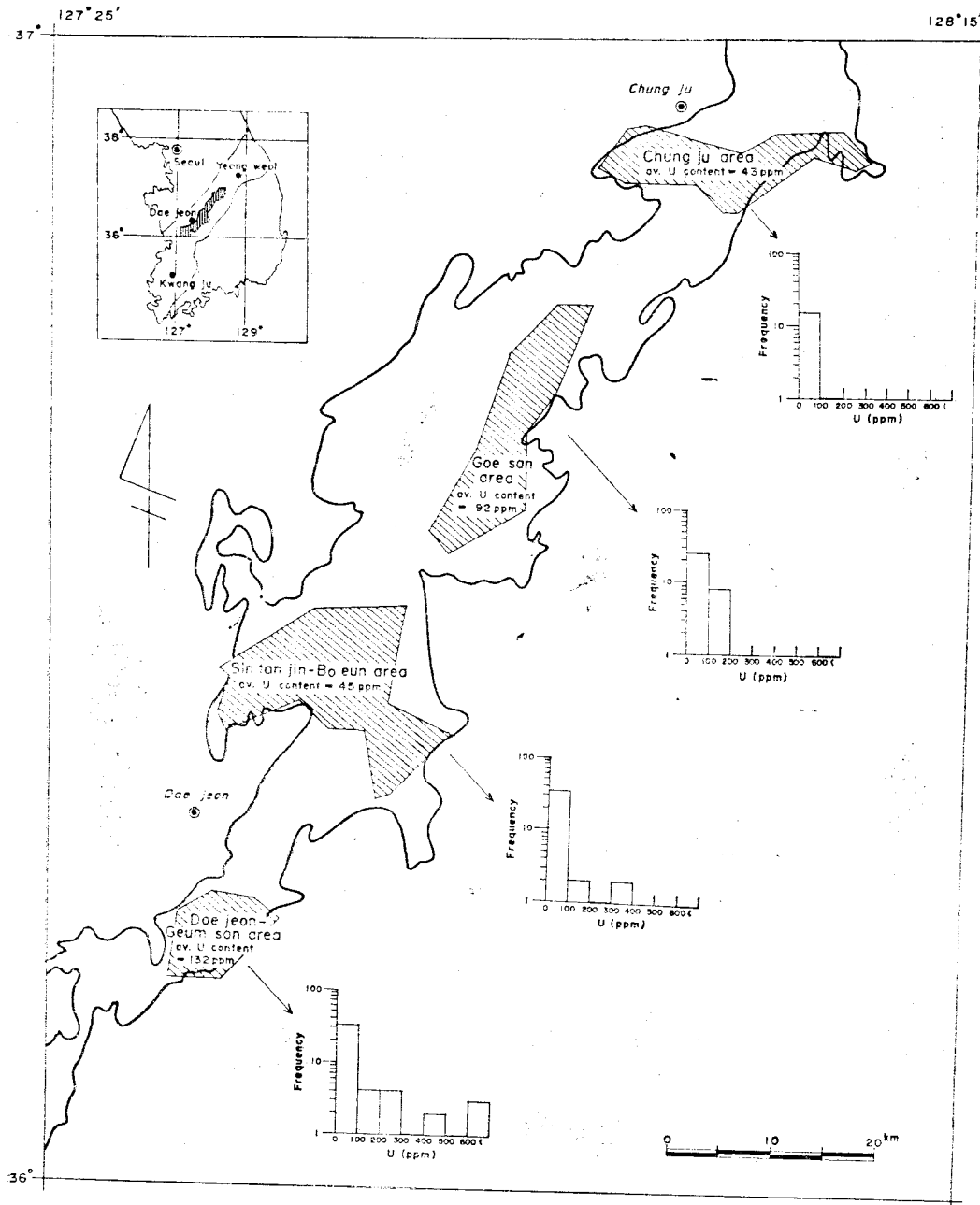


Fig. 8 沃川層群의 分布地域과 舍우라늄炭質變成泥岩層中 各試料採取區域의 우라늄含量에 따른 試料의 頻度

국부적인 線구조로 반영되고 있다.

따라서 舍우라늄炭質層의 最低 深度는 superimpose synform structure 의 trough 부분에 해당하기 때문에 매우 불규칙한 것이며 炭質層準에서도 우라늄 品位의 均 齊성을 精밀하게 파악하여 開發이 가능한 深度를 算定하는 것은 試誰를 수반한 精밀한 地下地質(subsurface geology)의 탐사를 요한다.

3. 組成鑛物과 우라늄分布와의 相關關係

3.1. 試料採取

沃川帶에 넓게 분포하는 沃川層群중 저품위 우라늄을 함유하는 炭質變成泥岩을 대상으로 忠州地域에서 大田地域에 걸쳐, 組成鑛物로 판단하여 각각의 구역에서 표준이 될수 있는 試料를 100여개 채취하였다. 野外作業에서는 항상 portable radiological survey meter 와 UV lamp 를 사용하여 우라늄성분과 우라늄광물의 有無를 확인하고 신선한 부분을 대상으로 試料採取를 수행하였다.

3.2. 試料處理 및 分析

各 採取된 試料는 실내에서 Decade scaler model 181B 와 Scintillation counter XTB beta crystal 을 이용하여 우라늄의 有無를 확인하고 忠州地域에서 18개, 槐山地域에서 32개, 新灘津—報恩地域에서 39개, 大田—錦山地域에서 46개를 최종적으로 선택하여 모두 135개 試料를 本 研究에 사용하였다(Fig. 8).

위의 선택된 각 시료로부터 組成鑛物의 定性定量的인 확인을 위하여 薄片과 일부 鍊磨片을 제작하였으며,

그의 바로 對應하는 부분은 우라늄과 有機炭素의 分析을 위하여 微粉碎(100 mesh)하였다. 薄片과 研磨片의 製作過程에서는 細粒質이고 특히 結合力이 낮은 組成鑛物들이 제거되지 않도록 계속 試料의 固化作業을 屢수적으로 수행하였다.

舍우라늄母岩을 구성하는 透明, 不透明 鑛物의 組成比는 Swift automatic point counter 를 Ortholux-pol 偏光顯微鏡에 부착시켜 個個 薄片上에서 1/6×1mm 간격으로 平均 1,000점을 세어 구하였다.

우라늄성분은 Spectrophotometer 를 이용하여 Standard 와 비교 檢량하였고, 有機炭素의 分析에는 C-H-N Corder (YANAGIMOTO 의 MT-2 Model)를 사용하였다.

위에서 얻은 모든 자료는 IBM 370 컴퓨터를 이용한 多元回歸分析(multivariate statistical analysis)으로 處理되었다.

3.3. 岩石記載의 特性

本 研究에서는 우선 연구대상으로 선택된 개개 舍우라늄炭質母岩 試料의 우라늄성분과 有機炭素 및 主組成鑛物, 隨件鑛物의 定性定量的인 內容을 밝히고 各地域別 差異를 圖示 對比하였다(Fig. 9).

舍우라늄變成泥岩層의 主成分광물은 微褶曲되거나 群集된 상태 또는 他 隨件鑛物을 被覆 充填하며 matrix 를 형성하는 炭質物(av. 31.4 vol. %)과, 그중 散點狀 또는 二次的인 침전에 의한 것으로 고려되는 細脈狀의 石英(av. 29.0 vol. %), 不規則한 藥理構造를 이루거나 散點되는 微粒의 雲母類(av. 29.6 vol. %)이고, 수반광물로

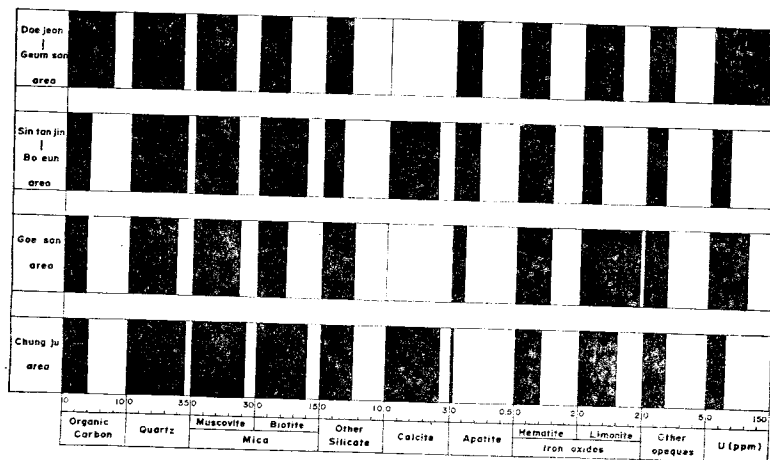


Fig. 9 地域別 舍우라늄炭質岩중의 重要鑛物, 有機炭素 및 우라늄의 平均含量對比  
 Other silicates= titanite+tourmaline+penninite+zircon+chloritoid+idocrase  
 +oithoclase+epidote+actinolite+sericite  
 Other opaques=ilmenite+pyrite+bismuthinite+native bismuth+magnetite  
 +chalcopyrite+pyrrhotite.  
 Organic carbon and U in weight percent.



서 기타 珪酸鹽鑛物(av. 4.43 vol.%)은 產出頻度順으로 티탄석(av. 1.3 vol. %), 전기석(av. 0.8 vol. %), 페니다이 트(av. 0.4 vol. %), 크로리토이드(av. 0.7 vol. %), 그리고 매우 드물게 저어콘(av. 0.04 vol. %), 아이도크레스(av. 0.04 vol. %), 경장석(av. 0.3 vol. %)와 극비량의 배수비 아나이트(vesuvianite)가 산출된다. 二次鑛物로 녹염석 (av. 0.3 vol. %), 양기석(av. 0.1 vol. %), 견운모(av. 0.7 vol. %)와 粘土鑛物(av. 0.02 vol. %)이 미량 산출된다. 그의 인회석(av. 0.1 vol. %)가 수반광물로 존재하며 二次의인 沈澱에 의한 calcite (av. 1.7 vol. %)는 細脈狀으로 극히 제한된 지역에서만 산출한다.

不透明鑛石鑛物(av. 4.0 vol. %)로는 鐵酸化物(hematite, av. 1.0 vol. %), 鐵水酸化物(limonite, av. 1.2 vol. %)이 石英과 함께 炭質物에 밀접하게 수반되며 흔히 탄질석 기(coaly matrix)내에 불규칙하게 발달하는 微細한 龜裂部를 이차적으로 증진하고 가끔 올리틱(oolitic) 組織을 보여준다. 드물게 赤鐵石이 群集된 炭質物의 주변부에 콜로이드상태로 침전한 조직도 관찰된다. 그의 주변부가 류록신(leucoxene)으로 變質된 微粒의 티탄철 석(av. 0.1 vol. %)과 흔히 再結晶된 自形의 황철석과 散點狀의 비스무티나이트(bismuthinite), 자연비스무스(native bismuth), 자철석, 황동석, 자류철석이 대부분 미립상으로 珪酸鹽 脈石鑛物을 부분적으로 置換하며 微量 共生한다.

含우라늄地層의 各 地域別 試料의 組成鑛物은 定性的으로는 매우 類似하나 炭質物과 有機炭素는 大田—錦山地域에서 他 地域에 비해 1.5-2 배 많이 함유되고 鐵酸化物은 槐山地域에서 그리고 他不透明鑛石鑛物은 忠州地域에서 특히 많이 산출됨이 특징이다. Calcite는 新灘津—報恩地域에서는 6개 試料에서 0.1-64.5%(av. 15.13%) 산출되나 大田—錦山地域에서는 극히 드물게 단지 2개 시료에서 0.1%와 52.8%, 槐山地域에서는 1개 시료에서만 0.7% 忠州地域에서도 1개 시료에서 88.4% 存在함은 우라늄성분의 抽出을 위한 化學的 工程에서 溶濟의 선택에 참고가 될수 있다.

本 研究地域의 岩相은 局部的으로 褶曲된 葉理構造面을 잘 보여 주며, 組成鑛物들은 모두 炭質物과 結合되어있고 불규칙한 接觸面을 가진다. 그중 雲母類는 흔히 極微粒의 炭質物을 흡착 및 포유하고 있으며 특히 鐵酸化物은 炭質物에 매우 치밀하게 수반된다.

調査地域別 試料採取數와 採取된 시료의 우라늄 및 有機炭素의 平均含量은 table 3에 기재하였다.

Fig. 9에서 各 地域의 有機炭素 및 組成鑛物의 定量的 內容을 우라늄含量과 비교하면 大田地域에서는 有機炭素만이 우라늄과 比例하고, 槐山地域에서는 褐鐵鑛

Table 3. 地域別 試料採取數와 採取된 試料의 우라늄 및 有機炭素의 平均含量

地 域	試料數	平均우라늄含量 (ppm)	平均有機炭素含量 (wt. %)
大田—錦山地域	46	132	11.47
新灘津—報恩地域	39	45	3.68
槐山地域	32	92	3.84
忠州地域	18	43	3.16

이 우라늄에 比例하는 수반경 향을 현저하게 보여주며, 다른 組成鑛物들은 우라늄과 뚜렷한 關係를 갖지 않는 것으로 고려된다.

3. 4. 우라늄鑛物의 產出狀態

本 研究地域內에 분포하는 低品位含우라늄變成泥岩層에 賦存되는 우라늄鑛物은 극히 제한된 區域에서만 관찰될 수 있는데 이들은 극히 적은 양과 微粒子로 산출되므로 야외에서의 실내 시료처리과정에서 肉眼鑑識과 함께 UV lamp를 사용한 螢光色에 의해서만 식별이 가능하였다.

蘇七燮(1980)에 의하면 本地域에 부존하는 우라늄鑛物은 강한 黃綠 螢光色을 띠고 엷은 黃綠色의 투명한 變성우라노커사이트(meta-uranocircite)와 綠色의 토바나이트(torbernite), 그리고 黃綠色의 오토나이트(autunite)類이다. 이들은 주로 炭質母岩 내에 발달하는 節理面과 壓碎帶 및 그에 수반되는 裂隙 그리고 葉理構造面을 따라 그 表面部에 1mm 이하의 散點狀 또는 엷은 막의 斑點狀으로 부존된다. 그중 變성우라노커사이트와 오토나이트류는 가끔 탄질석기내의 鐵酸化物에 피복 산출됨이 현미경관찰에서 확인될 수 있었다(Fig. 10).

3. 5. 沃川層群 內의 우라늄의 地化學的 分布狀態

沃川層群 中 炭質母岩에 부존되는 低品位 우라늄의

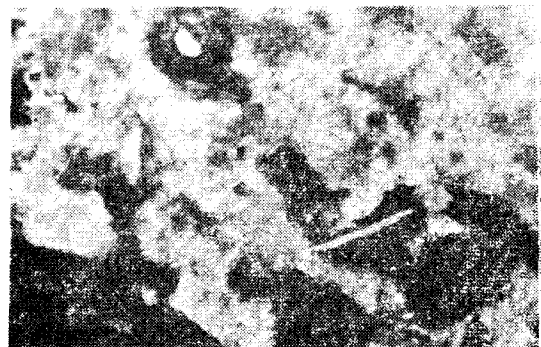


Fig. 10 탄질석기내에 치밀하게 미립의 우라늄광물(meta-uranocircite)이 부분적으로 석영과 수반산출됨(대전—금산지역)

Transmitted light, 150X 1 Nicol.

Table 4. 川帶 含우라늄母岩시료의 有機炭素 및 主要 조성 광물과 우라늄과의 相關關係

	Log U	Quartz	Micas	Other Silicates	Iron Oxides	Other Opaques	Organic Carbon
Log U	1.000	-0.2721	-0.3399	-0.1226	0.1082	-0.2134	0.5304
Quartz		1.000	0.1319	0.0559	0.0793	0.1283	-0.3122
Micas			1.000	-0.2448	0.0261	0.1326	-0.4277
Other Silicates				1.000	-0.1323	-0.0660	-0.0209
Iron Oxides					1.000	-0.0295	-0.0953
Other Opaques						1.000	-0.0750
Organic Carbon							1.000

Table 5. 大田-錦山地域에서의 組成礦物 및 有機炭素와 우라늄과의 相關關係

	Log U	Quartz	Micas	Other Silicates	Iron Oxides	Other Opaques	Organic Carbon
Log U	1.000	-0.478	-0.607	-0.182	-0.185	-0.480	0.752
Quartz		1.000	0.287	0.199	0.182	0.282	-0.411
Micas			1.000	-0.259	0.203	0.291	-0.554
Other Silicates				1.000	-0.092	0.043	0.057
Iron Oxides					1.000	-0.054	-0.167
Other Opaques						1.000	-0.258
Organic Carbon							1.000

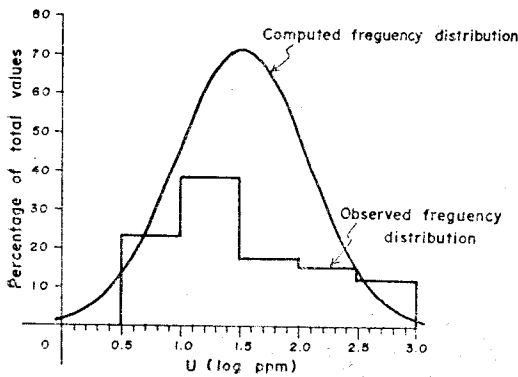


Fig. 11 沃川層群 中の 우라늄의 地化學的 分布狀態

地化學的 分布狀態를 밝히기 위하여 本研究試料 우라늄값의 標準偏差와 平均값을 이용하여 正規分布曲線을 얻었다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 실제로 있어서의 우라늄對數값으로 구한 度數分布와 比較하면 本研究對象 地域의 우라늄分布狀態는 右側으로 歪곡된 log normal distribution을 보여준다.

3. 6. 有機炭素 및 組成礦物과 우라늄과의 相關關係와 回歸分析

各 地域別 含우라늄母岩의 組成礦物은 3.3項에서 기

술한 바와 같이 定性的으로는 유사하나 우라늄과 有機炭素 및 主要 조성 광물의 定量的 含量에는 비교적 큰 차이를 보여준다.

含우라늄母岩의 有機炭素 및 主要 조성 광물과 우라늄의 부존함량과의 關係를 밝히기 위하여 IBM 370-115를 이용한 統計的인 相關分析을 수행하였다. 沃川帶 전 연구지역에서 우라늄이 各개의 組成礦物 및 成分에 수반되는 비율은 表-4에 기재된 相關係數에서 알 수 있다. 즉 우라늄과 가장 높은 正의 相關關係를 갖는 것은 有機炭素이며, 有機炭素에 대한 우라늄의 수반경향은 약 53%가 된다.

地域別로 고찰하면 大田-錦山地域과 新灘津-報恩地域에서는 역시 有機炭素가 우라늄과 가장 큰 相關關係를 갖고 ( $r=0.752$ ,  $r=0.682$ ), 槐山地域<sup>1)</sup>과 忠州地域<sup>2)</sup>에서는 鐵酸化物이 有機炭素보다 더 큰 相關度를 보여준다( $r=0.425$ ,  $r=0.644$ ). 忠州地域에서는 鑛石鑛物도 우라늄과 높은 相關關係( $r=0.508$ )를 갖는데 이는 특히 黃鐵石에 의한 것으로 고려된다(Tab-5, 6, 7, 8).

炭質母岩의 기타 조성 광물은 대부분 우라늄의 부존

우라늄 부존함량과 철산화물에 대한 회귀방정식

註 1) 蔚山지역 :  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.45627 + 0.06632$  (Iron Oxides)

註 2) 충주지역 :  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.27793 + 0.09579$  (Iron Oxides)

Table 6. 新羅津一報恩地域에서의 組成鑛物 및 有機炭素와 우라늄과의 相關關係

	Log U	Quartz	Micas	Other Silicates	Iron Oxides	Other Opaques	Organic Carbon
Log U	1.000	-0.193	-0.306	-0.125	0.258	0.037	0.682
Quartz		1.000	-0.095	0.283	0.202	-0.050	-0.447
Micas			1.000	-0.115	-0.237	-0.071	-0.309
Other Silicates				1.000	-0.158	-0.014	-0.223
Iron Oxides					1.000	0.068	0.018
Other Opaques						1.000	0.006
Organic Carbon							1.000

Table 7. 槐山地域에서의 組成鑛物 및 有機炭素와 우라늄과의 相關關係

	Log U	Quartz	Micas	Other Silicates	Iron Oxides	Other Opaques	Organic Carbon
Log U	1.000	-0.228	0.058	-0.167	0.425	-0.180	-0.295
Quartz		1.000	0.110	-0.222	-0.373	0.158	0.011
Micas			1.000	-0.422	-0.126	0.081	-0.110
Other Silicates				1.000	-0.262	-0.201	-0.086
Iron Oxides					1.000	-0.209	0.064
Other Opaques						1.000	0.261
Organic Carbon							1.000

Table 8. 忠州地域에서의 組成鑛物 및 有機炭素와 우라늄과의 相關關係

	Log U	Quartz	Micas	Other Silicates	Iron Oxides	Other Opaques	Organic Carbon
Log U	1.000	0.185	0.421	0.374	0.644	0.508	0.176
Quartz		1.000	0.372	0.077	0.228	0.239	-0.261
Micas			1.000	0.193	0.315	0.082	-0.151
Other Silicates				1.000	-0.090	0.053	0.667
Iron Oxides					1.000	0.298	0.220
Other Opaques						1.000	-0.002
Organic Carbon							1.000

과 매우 미약한 관계를 갖거나 드물게 逆의 관계(大田地域의 경우 雲母類)를 보여준다.

또한 沃川帶 우라늄의 부존량과 有機炭素에 대한 回歸方程式은  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.35941 + 0.02548(\text{organic carbon})$ 로 표현될 수 있다(Fig. 12).

Fig. 12에서 各 研究地域別 有機炭素와 우라늄含量과의 回歸直線 또는 그의 平均값은 沃川帶 전체 연구지역에서의 回歸直線에 매우 접근하여 놓임을 볼 수 있고 이것은 沃川層群 중 탄질변성이암층내의 우라늄이 유사한 地質環境에서 침전되었음을 암시하여 주는 것으로 고려된다. 槐山地域의 경우에는 예외이나 回歸直線의 平均値는 역시 전 시료에 대한 회귀직선에 가까이 놓인다. 또한 沃川帶 각 지역에서 우라늄과 높은 正의 相關關係를 갖는 것은 有機炭素와 鐵酸化合物인 것으로

로 미루어 이들이 부존시키게 된 지질환경은 역시 우라늄침전에도 큰 영향을 주었음을 추측할 수 있다. 이러한 사실은 우라늄鑛物の 산출상태 확인을 위한 현지 景觀찰에서도 인지 할 수 있었다(Fig. 10).

한편 전 연구지역에서의 礫층우라늄母岩을 구성하는 有機炭素와 모든 主構成鑛物이 賦存 우라늄에 대하여 갖는 相關關係는  $r=0.61156$ 이고, 多變數回歸分析(multivariate regression analysis)를 통하여 구한 多元回歸方程式은  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.70999 - 0.00367(\text{quartz}) - 0.00512(\text{mica}) - 0.00930(\text{other silicates}) + 0.01911(\text{iron oxides}) - 0.03389(\text{other opaques}) + 0.02062(\text{organic carbon})$ 로 表示된다<sup>3)</sup>. 6次元의 回歸直線은 圖面上에 표시될 수 없기 때문에 回歸直線에 대한 개개시료의 편차는 數式으로 구하였다. ( $\sum(Y - \bar{Y})^2/N$ , Y=실제우라

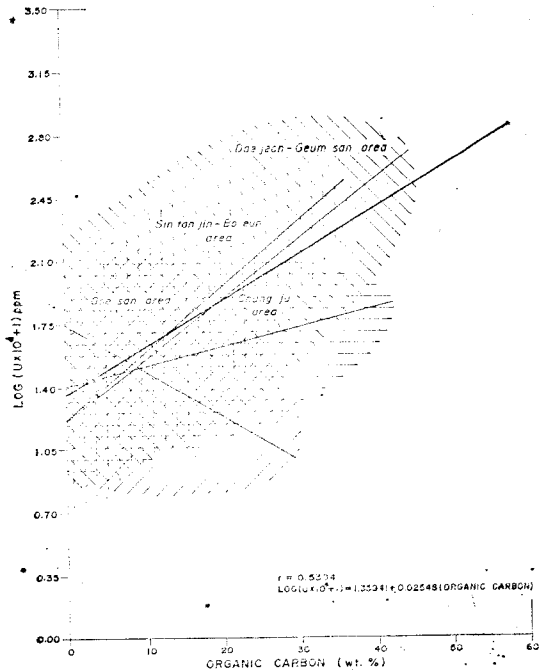


Fig. 12 우라늄과 有機炭素와의 相關度(붉은線은 지역별 시료의 回歸直線이고 검은線은 全地域試料에 대한 回歸直線) 지역별 우라늄 부존함량과 유기탄소의 회귀방정식: 대전-금산지역  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.21208 + 0.03338$  (organic carbon), 신탄진-보은지역  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.22135 + 0.03663$  (organic carbon), 괴산지역  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.74781 - 0.02524$  (organic carbon), 충주지역  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.40048 + 0.01094$  (organic carbon)

농의 함량,  $\bar{Y}$  위의 回歸方程式에서 구한 우라늄의 predicted content, table 9).

註 3) 지역별 다원회귀방정식

대전-금산지역 ( $r=0.8750$ );  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.89474 - 0.00262$  (quartz) - 0.00991 (micas) - 0.02293 (other silicates) - 0.01009 (iron oxides) - 0.05879 (other opaques) + 0.02259 (organic carbon)

신탄진-보은지역 ( $r=0.73088$ );  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.12198 + 0.00142$  (quartz) - 0.00045 (micas) + 0.00333 (other silicates) + 0.02411 (iron oxides) + 0.00398 (other opaques) + 0.03823 (organic carbon)

괴산지역 ( $r=0.59583$ );  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.36234 - 0.00142$  (quartz) + 0.00585 (micas) + 0.00696 (other silicates) + 0.07786 (iron oxides) + 0.00556 (other opaques) - 0.02631 (organic carbon)

충주지역 ( $r=0.81677$ );  $\log(U \times 10^4 + 1) = 0.83978 - 0.00037$  (quartz) + 0.00540 (micas) + 0.00322 (other silicates) + 0.07972 (iron oxides) + 0.09035 (other opaques) + 0.01564 (organic carbon)

Table 9. 多元回歸方程式에서의 2乘偏差의 地域別 平均값

大田-錦山	0.1091
新灘津-報恩	0.0873
槐山	0.1598
忠州	0.0617

4. 結 論

4. 1. 舍우라늄層의 地質構造規制

(1) 沃川帶의 舍우라늄層이 가장 完善하게 발달된 槐山地域을 構造規制研究地로 定하여 層序를 下部로부터 礫質泥岩層, 泥質砂質岩層, 珪質岩層, 砂質岩層으로 設定하고 舍우라늄炭質層이 挾在된 泥質砂質岩層中の 黑色泥岩帶의 構造를 重點적으로 調査연구하였다.

(2) 調査地域의 中央을 從斷하는 斷層을 境界로 構造區를 東側帶와 西側帶로 兩分할 수 있고 西側帶는 複向斜構造로, 東側帶는 Overturned tight~closed fold가 半波長 약 500m의 규모로 발달한다.

(3) 습곡의 形態는 대부분이 flow fold 이고 階度가 다른 kink fold 가 수반된다.

(4) 層理面, cleavage, 小褶曲軸, 包絡面, crenulation lincation 및 層理-slaty cleavage의 交叉線으로 구한 大褶曲의 軸斜方向은 trend S35°~50°W, plunge 10°~20°이다.

(5) 덕평리지구의 富鑛帶에서의 舍우라늄炭質層은 synform 한 형태를 이루고 이 構造의 西翼部의 層數가 東翼部보다 적은 것은 synformal 한 anticline 을 이루고 다시 再褶曲되어 culmination 을 형성하기 때문이다.

(6) 重複變形의 過程은 slaty cleavage→crenulation cleavage→culmination 形成의 3段階를 거쳐 매우 복잡한 構造를 이루고 있다.

(7) 舍우라늄炭質層은 水平的으로 斷續的인 雁行狀分布를 하고 深度는 幾何學的으로 500m 정도로 예상되나 Superimposed fold 를 이루기 때문에 最深度는 장소에 따라 不規則할 것이다.

4. 2. 組成鑛物과 舍우라늄分布와 의 相關關係

(1) 沃川帶에 분포하는 저품위 舍우라늄탄질변성이암층을 대상으로 大田지역에서 충주일대에 걸쳐 채취선별된 135개의 표준시료에 대하여 舍우라늄, 有機炭素 및 組成鑛物의 定性·定量的 내용과 암석기재적 특성을 밝히고 각 지역별로 대비하였다.

각 지역별 舍우라늄炭質母岩의 조성광물의 내용은 정성적으로 매우 유사하나 產出頻度와 精量적으로는 비교적 많은 차이를 보여준다. 유기탄소 및 조성광물의 정량적 내용을 舍우라늄 함량과 비교하면 大田地域에

서는 유기탄소만이 우라늄과 비례하고, 槐山지역에서는 鐵酸化물이 우라늄에 비례하는 수반경향을 현저하게 보여주며, 다른 조성광물들은 우라늄의 함량에 뚜렷한 영향을 주지 않는다.

또한 新灘津—報恩지역을 제외하고 方解石이 극히 드물게 존재함은 우라늄의 추출을 위한 화학적 공정에서 용제의 선택이 고려되어야 한다.

(2) 本研究地域 중, 극히 제한된 구역에서 매우 적은 양과 극미립으로 산출되는 우라늄광물(meta-uranocircite, torbernite, autunite)은 주로 탄질모암내에 발달하는 節理面과 壓碎帶 및 그에 수반되는 裂隙 그리고 葉理構造面을 따라 그 표면부에 <1mm의 散點狀 또는 엷은 막의 斑點狀으로 부존된다. 가끔 이들은 coaly matrix 내의 鐵酸化물에 피복 산출됨이 확인되었다.

(3) 沃川帶 岩質母岩에 부존되는 저품위 우라늄의 지화학적 분포상태는 의욕된 log normal distribution을 보여준다.

(4) 舍우라늄모암의 有機炭素 및 組成鑛物과 우라늄의 부존함량과의 관계를 밝히기 위하여 IBM 370-115를 사용하여 통계적인 상관분석을 수행한 결과, 沃川帶 전 연구지역에서 우라늄과 가장 높은 正의 相關關係를 갖는 것은 有機炭素이며 우라늄의 수반경향은 약 53%이다. 地域別로 보면 大田—錦山지역과 新灘津—報恩지역에서는 有機炭素에 대한 우라늄과 수반경향이

더욱 높고 ( $r=0.75$ ,  $r=0.68$ ), 槐山지역과 忠州지역에서는 鐵酸化물이 우라늄과 더 큰 相關度( $r=0.43$ ,  $r=0.64$ )를 갖는다. 또한 忠州地域의 우라늄 부존은 黃鐵石( $r=0.51$ )에도 큰 영향을 받은 것으로 고려된다. 우라늄의 부존함량과 有機炭素에 대한 回歸方程式은  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.35941 + 0.02548(\text{organic carbon})$ 으로 표현된다.

(5) 각 지역별 有機炭素와 우라늄과의 回歸直線 또는 그의 平均값이 沃川帶 전체 연구지역에서의 回歸直線에 매우 근접하여 놓임은 沃川層群 중 炭質變成泥岩層 내의 우라늄이 유사한 지질환경에서 침전되었음을 암시하여 주는 것으로 고려된다. 또한 현미경관찰과, 우라늄과 높은 正의 상관관계를 갖는 것은 有機炭素와 鐵酸化물뿐인 것으로 미루어 이들을 부존시키게 된 지질환경은 우라늄 침전에도 영향을 주었음을 추측할 수 있다.

(6) 沃川帶 전 연구지역에서의 함우라늄炭質母岩을 구성하는 有機炭素와 主조성광물이 부존 우라늄에 대하여 갖는 관계를 알기 위하여, 重相關關係와 多變數回歸分析을 통하여 구한 多元回歸方程式은  $\log(U \times 10^4 + 1) = 1.70999 - 0.00367(\text{quartz}) - 0.00512(\text{micas}) - 0.00930(\text{other silicates}) + 0.01911(\text{iron oxides}) - 0.03389(\text{other opaques}) + 0.02062(\text{organic carbon})$ 으로 표시된다.

#### 參 考 文 獻

原子力爐核燃料開發事業團, 1970. 海外ウラン資源調査報告書—韓國.  
蘇七燮, 1980. 한국산 우라늄광의 지화학적 및 광물학적 연구(미발간).

李鍾革, 金貞煥, 1971. 한국지질도 피산도폭 및 설명서. 海外技術協力事業團, 1973. 大韓民國放射性鑛物探查技術協力報告書—放射能檢層技術