

沃川帶 含우라늄地層中の 우라늄과 他成分과의 相關關係

李 旼 成*, 全 孝 澤**

Geochemical Correlations Between Uranium and Other Components in U-bearing Formations of Ogcheon Belt

Min Sung Lee* and Hyo Taek Chon**

Abstract: Some components in uranium-bearing formations which consist mainly of black shale, slate, and low grade coal-bearing formation of Ogcheon Belt were processed statistically in order to find out the geochemical correlations with uranium. Geochemical enrichment of uranium, vanadium and molybdenum in low grade coal-bearing formations and surrounding rocks is remarkable in the studied area.

Geochemical correlation coefficient of uranium and molybdenum in the rocks displays about 0.6, and that of uranium and fixed carbon about 0.4. Uranium and vanadium in uranium-bearing low grade coals denote very high correlation with fixed carbon, which is considered to be responsible for enrichment of metallic elements, especially molybdenum.

Close geochemical correlation of uranium-molybdenum couple in the rocks can be applied as a competent exploration guide to low grade uranium deposits of this area.

1. 序 論

우리나라에 核燃料 鑛物인 우라늄과 토륨을 含有하는 鑛物이 알려진 것은 1910年代부터이며 鑛物의 種類는 모나자이트(monazite), 세마스카이트(samaraskite), 페르저소나이트(fergusonite), 토마나이트(torbernite), 오토나이트(autunite), 유시나이트(euxenite), 콜럼바이트(columbite), 알라나이트(allanite), 제노타임(xenotime), 및 지어콘(zircon), 등이었으며 當時에는 高品位의 鑛物인 우라나이트(uranite), 피치블랜드(pitchblende), 카노타이트(carnotite) 및 토리아나이트(thorianite). 등은 發見되지 않았다.

核燃料 鑛物資源으로서의 調査는 解放前 2年間に 처음 이루어 졌으며 解放以後는 部分的인 調査가 施行되었었다. 組織的인 調査는 1956年初부터 中央地質

鑛物研究所에 의하여 國內 原子力鑛物資源 探查計劃으로 Geiger counter와 scintillation에 의한 調査와 砂鑛 試錐調査가 이루어졌다.

1956年 中央地質鑛物浸究所の 探查主業으로 忠淸北道 米院·報恩地區를 包含한 全國 11個 調査地域을 對象으로 이대성, 이종혁, 윤상규에 의해 주로 Model 11SB Super Scintillator, Model 111 Standard Scintillator, Model 2750 Berkeley Survey Meter 및 Model 2610A portable gamma survey meter를 使用하여 徒步自動車 및 汽車 測定調査를 하였다.

1958年 中央地質鑛物研究所의 調査計劃에 의거 김중수, 황인진, 상기남에 의하여 우라늄 探查地域과 모나자이트 砂鑛調査 地域으로 나누어 調査가 實施되었었다.

1959年 孫致武, 元鍾寬은 모나자이트의 根原岩을 밝히기 위하여 全羅南道 潭陽 및 井邑地區를 小象으로 調査研究하였다. 中央地質鑛物研究所가 國立地質調査所로 機構改編이 된 後 1968年 박병철, 이점구는 1956年 부터 施行하여 온 모나자이트 鑛床에 對한 調査結果를 綜合하였다.

*서울대학교 사범대학 지구과학과
Dept. of Earth Science, Seoul Nat. Univ.

**서울대학교 공과대학 자원공학과
Dept. of Mineral and Petroleum Engineering, Seoul Nat. Univ.

1968年 以前까지는 美國의 Mount sopris 社製 測定器 Model 150A 를 使用하여 調査가 繼續되어 왔으나 1968년에 이르러 國內의 原子力發電 建設計劃이 具體化되자 이와 관련하여 國立地質調査所는 基本事業으로 우리나라 調査事業을 計劃하였으며 이에 따라 이흥규, 이경덕, 유한서는 五臺山地域의 우리나라 鎭川帶 調査를 實施하였다.

1970年 國立鎭業研究所에 의하여 沃川層群 地層을 中心으로 舍우라늄-바나듐 調査가 김선억, 정창순, 박석환, 배용찬, 임춘탁, 강양평에 의하여 이루어 졌다.

國內에서 原子力 發電所 第一號가 1977年 完成될 것이 豫想되자 이에 關連되어 國內 우리나라 賦存 狀況의 調査가 時急해지게 되어 日本의 動力爐, 核燃料開發 事業團과의 共同 調査가 沃川系 中部와 洛東統의 南部 分布 地域을 對象으로 이루어졌다. 國立地質調査所는 다시 國立地質鎭物研究所로 改編되고 核燃料鎭物 調査가 重要한 事業으로 計劃되었으며 沃川層群의 舍우라늄 地層中 우리나라 成分의 濃集이 비교적 높은 忠淸北道 槐山地域에 對한 精密調査가 實施되고 1974年 김중환, 조규장, 김선억, 정현욱, 조진동은 1972年과 1973年에 걸쳐 2年間 調査된 資料를 綜合報告하였다.

1976년에는 國立地質鎭物研究所에서 우리나라 探査 16 個年 事業이 計劃되었고 1977年 國立地質研究所가 財團法人 資源開發研究所로 機構가 改編되고 國內 原子力 發電所이 增設計劃이 樹立되자 急激하는 앞으로의 核燃料 鎭物의 需要에 對處하기 위하여 重要 事業으로 推進하게 되었다.

本 研究는 既 發表된 沃川系 地層中의 舍우라늄 黑色 세일, 粘板岩 및 炭의 分析資料(김선억 以外 5人, 1970)를 對象으로 電子計算機로 統計處理하여 成分 相互間의 相關關係를 考察하고 그 結果를 基礎로 探査에의 活用性을 提示함에 있다.

2. 一般地質

2.1. 沃川帶 廣域地質; 韓國 中部 地方에 分布하고 있는 沃川層群은 主로 堆積源 低度 變成岩으로 構成되며 韓半島의 重要 構造區의 하나인 沃川帶는 變成帶를 形成하고 있다. 이 地尙斜帶의 非 變成帶인 石灰岩層 및 非海性 碎屑岩層이 우세한 古生層과는 極히 制限된 地域에서 接하고 있으며 周邊部는 大部分 中生代의 深成岩類로 貫入되어 있어 다른 中古生層과의 相互 關係를 把握하기는 곤란하다. 地層을 對比할 수 있는 示準化石도 아직 發見되지 않아 沃川層群의 各 層間의 關係도 不明한 점이 많다. 지금까지 岩相層序의인 分層

方法이 試圖되어 왔고 各 地層의 廣域의 分布樣相과 古期 貫入岩(角閃岩)의 被貫入 與否에 따라 不整合의 有與를 學論하여 왔다.

沃川層群의 主構成岩은 泥質起源의 粘板岩, 千枚岩, 雲母片岩, 砂質起源의 低度 變成岩, 硅質砂岩 起源의 硅岩, 및 薄層이고 連續性이 不良한 石灰岩, 돌로미틱 石灰岩과 含礫 石灰質 泥岩 起源의 含礫 千枚岩質岩등 이고, 中生代의 花崗岩이 貫入한 接觸部는 甚히 變質되어 있다. 一部 地域에서는 下部地層만을 貫入내지 注入하고 있는 角閃岩이 分布하고 있는 것이 特徵이다.

이러한 沃川帶의 構成岩 岩相에 따라 分層한 層命은 調査 研究者마다 設定한 層의 上下限, 地質構造의 解析, 起源岩에 對한 解析, 地質時代의 見解차이가 있고, 地域別로 各 岩相의 差異, 分布의 差異로 因해 全體의 인 層序가 統合되어 있지 않다.

NE 走向으로 놓인 沃川層群은 部分的으로 甚히 變形되어 있고 小構造의 解析에 따라 3回의 變形作用이 있었음이 報告되었다(A. J. Reedman et al, 1974). 特히 構造의 問題가 되는 점은 古生層과의 關係로서 不整合說(孫致武), 衡上斷層說(金玉準), 逆轉說(Reedman, 1974)이 있어 結論의 沃川帶가 中古生代層의 變質物이라는 것과 先캄브리아系라는 時代論의 對立으로 맞서고 있다. 또 key bed가 될 수 있는 硅岩層과 이와 흔히 같이 分布하는 石灰岩層을 基準으로 하여 나눈 忠州層群과 沃川層群도 調査 研究者에 따라 地質學의 概念이 크게 다르다.

그의 많은 問題點이 討議되고 있으나 本 研究의 主題에 크게 接하고 있지 않기 때문에 論外로 한다.

本 研究의 主 對象物인 舍우라늄 炭質層은 泥質岩 起源의 暗黑色 千枚岩 乃至 粘板岩中에 狹在된 것으로 一部 地域에서는 石炭鎭으로 開發되었다. 이層은 層序의 沃川帶의 北部地域에서는 最下部層인 西倉里層으로, 中部地域에서는 中部層인 龍九山層으로, 南部地域에서는 中部層인 倉里層으로 設定 命名되고 있는데 이러한 層序의인 差異點은 廣域의인 地質構造의 解析 差異에 起因한 것이다.

이 黑色 泥質 變成岩에 狹在된 舍우라늄 炭質層은 北部로부터 南部에 이르기까지 延長은 不良하나 同一 層準에서 斷續의인 分布를 보이며, 槐山地域과 大田-錦山地域에 賦存 狀態가 比較의 良好하다.

2.2. 德坪里地區의 地質; 1:50,000 槐山圖幅 中西部 地域에 該當하는 德坪里地區는 이미 우리나라 鎭床이 富化되어 있는 곳으로 注目되어 探査를 위한 調査가 進行되어 왔다. 이 地域은 이종혁(1972)이 定義한 沃川層群의 “上位帶”의 全層이 分布하고 “下位帶”의 一部가

西測에 놓이며 東端에는 白堊期の 深成岩類가 貫入하여 있다.

이 上位帶와 下位帶의 概念은 沃川層群의 北部分布地에서는 前者만을 沃川層群으로, 後者를 忠州層群으로 부르고 있으며 中部地域에서는 下位帶를 白峰里層群, 座龜山層群으로 다시 2分하고 있다.

本 調査의 主對象層인 솜우라눔 黑色 泥質岩은 上位帶, 즉 從來의 狹義의 沃川層群에 該當하는 地層으로서 地質時代, 層序등의 諸 問題가 아직도 未解決된 채 남아 있다. 이 層準을 北部地域에서는 西倉里層, 中部地域에서는 九龍山層, 南部地域에서는 倉里層으로 부르는데 黑色 千枚岩相으로 代表되며 低質의 炭層이 狹在되고 下部에 石灰岩의 薄層이 狹在되기도 한다.

德坪里地區의 沃川層群(면의상 低變成 堆積岩을 모두 沃川層群으로 부름)은 NE方向으로 支配되며 硅質岩, 砂質岩, 泥質岩, 含礫泥質岩層이 復雜한 褶曲構造를 이루며 分布한다.

3. 既存 分析資料의 統計的 解析

既 調査 資料中 김선억 以外 5人(1970)이 調査發表한 '沃川系 地層을 中心으로 솜우라눔-마나눔 黑色 세일과 粘板岩에 對한 調査 研究' 報告書에 掲載된 化學分析值를 電子計算機에 依해 統計處理하였다. 使用된 相關關係 program은 全孝澤(1978)에 收錄되어 있으며, 資料로 利用된 成分은 V₂O₅, U₃O₈, Mo, 輝發成分(V.M.=volatile matter), 固定炭素(F.C.=fixed carbon) 등이었고 資料數(既 分析된 黑色 세일 및 粘板岩 試料數)는 174個였으며 再精密調査에서 分析된 98個 資料는 別途로 處理되었다.

各 資料들은 成分마다 平均 및 標準偏差가 計算되고 成分 相互마다 相關數를 求하여 相關關係가 良好한 成分은 圖面으로 作成되었다.

既 分析된 黑色 세일 및 粘板岩 174個 試料中에 含有된 V₂O₅, U₃O₈, Mo, 輝發成分 및 固定炭素의 平均 및 標準偏差가 table 1에, 그리고 各 成分相互間의 相關係數가 table 2에 收錄되어 있다. 再精密調査에서 分析된 98個 試料의 同一 成分에 對한 平均과 標準偏差가 table 3에, 各 成分 相互間의 相關係數가 table 4에 收錄되어 있다.

Table 1과 3, table 2와 4에서 볼 수 있듯이 處理된 2種類 試料의 各 成分의 平均 標準偏差 및 成分相互의 相關係數는 서로 거의 類似함을 알 수 있다.

全體 試料의 V₂O₅ 平均含量은 2300-2900 ppm, U₃O₈는 70-80 ppm(우라눔은 低質이긴하나 炭層에 局限된 試料에서 檢出되었음), Mo는 100-130 ppm이다. 相

Table 1. Average and standard deviation of or chemical compositions of 174 samples

composition	V ₂ O ₅ (%)	U ₃ O ₈ (%)	Mo (%)	V. M. * (%)	F. C. ** (%)
Average	0.231	0.007	0.010	3.907	8.122
Standard deviation	0.242	0.015	0.014	0.991	9.900

*V. M. =volatile matter

**F. C. =fixed carbon

Table 2. Correlation coefficients for chemical compositions of 174 samples

	V ₂ O ₅	U ₃ O ₈	Mo	V. M.	F. C.
V ₂ O ₅	1				
U ₃ O ₈	0.28501	1			
Mo	0.45390	0.57999	1		
V. M.	0.24724	0.16910	0.33232	1	
F. C.	0.38464	0.42409	0.44878	0.32913	1

Table 3. Average and standard deviation for chemical compositions of 98 samples.

Composition	V ₂ O ₅ (%)	U ₃ O ₈ (%)	Mo (%)	*V. M. (%)	*F. C. (%)
Average	0.290	0.008	0.013	3.969	10.009
Standard deviation	0.245	0.016	0.016	0.841	11.792

Table 4. Correlation coefficients for chemical compositions of 98 Samples.

	V ₂ O ₅	U ₃ O ₈	Mo	V. M.	F. C.
V ₂ O ₅	1				
U ₃ O ₈	0.18507	1			
Mo	0.32864	0.67708	1		
V. M.	0.25831	0.15858	0.41224	1	
F. C.	0.25690	0.37636	0.36767	0.42563	1

關係數는 U₃O₈-Mo가 0.57999(Fig. 1)와 0.67708(Fig. 2)로 가장 높으며, V₂O₅-Mo가 0.32864와 0.45390을 보이고 있다. 사실상 U-V-Mo는 地球化學的인 聯關係를 갖고 있으므로 (Hawkes, 1962, p. 19; Levinson, 1974, p.60) 相互 相關關係를 想定하기에는 無理가 없다. U₃O₈과 固定炭素 사이에는 0.37636과 0.42409의 相關係數를 보이므로 어느 정도의 關聯性을 考慮할 수는 있다.

휘발성 物質은 平均含量이 3.907-3.969%이고 標準偏差는 0.841-0.991%이므로 岩石試料 全般에 걸쳐 거의 均一하게 含有되어 있음을 알 수 있다. 固定炭素는 平均 8.122-10.009%, 標準偏差 9.900-11.792%로서 岩

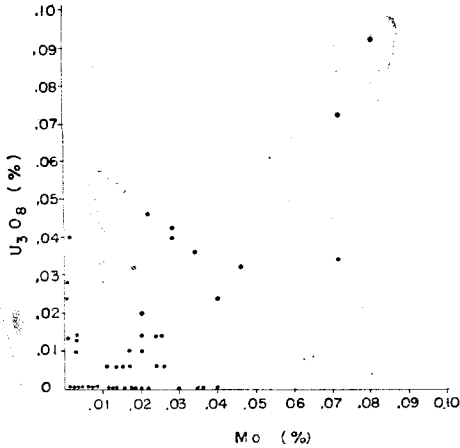


Fig. 1 Correlation diagram of U_3O_8 and Mo in 174 samples of black shales and slates at Goesan area. (correlation coefficient, $r=0.57999$)

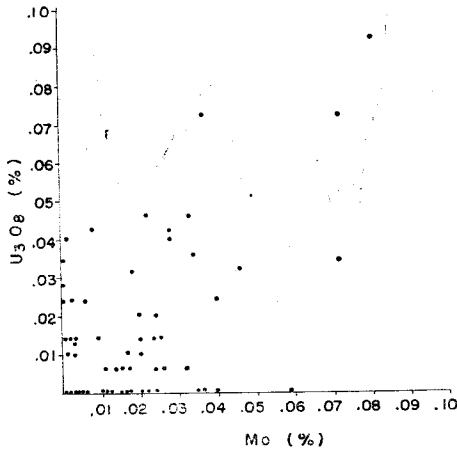


Fig. 2 Correlation diagram of U_3O_8 and Mo in 98 samples at Goesan area (correlation coefficient rechecked area $r=0.67708$).

石試料에 따라 그含量이 매우多樣함을 보이고 있다.

Table 5와 table 6은 槐山地域 보성鑛業所 “꽃봉” 坑內에서 確認되는 幅 0.3m-1m 정도인 炭層의 南北走向 延長을 따라서 5m의 等間隔으로 採取한 7個의 試料의 U_3O_8 , V_2O_5 , 휘발성물질, ash含量, 固定炭素의 平均含量과 標準偏差 및 成分 相互間의 相關係數를 나타낸 것이다.

Table 5에서 보듯이 炭層試料中에 含有된 휘발성物質(V. M.)은 세일이나 粘板岩 試料 (table 1, table 3)의 平均含量과 마찬가지로 약 4%의 平均含量과 0.8-0.9%의 標準偏差를 보이므로 그含量이 均一함을 알 수 있다. 固定炭素(F. C.)는 炭層試料가 세일(또는 粘板岩)試料보다 약 2倍以上을 含有하고 있으며 U_3O_8 은

Table 5. Average and standard deviation for 7 sampler at Kotbong adit, Boseong coal mine.

Composition	U_3O_8 (%)	V_2O_5 (%)	V. M. (%)	Ash(%)	F. C. (%)
Average	0.038	0.424	4.100	72.257	23.657
Standard deviation	0.019	0.164	0.845	5.176	5.322

Table 6. Correlation coefficients for chemical compositions of 7 samples at Kotbong adit, Boseong coal mine.

	U_3O_8	V_2O_5	V. M.	ash	F. C.
U_3O_8	1				
V_2O_5	0.80643	1			
V. M.	-0.38238	-0.50656	1		
ash	-0.65180	-0.85065	0.09465	1	
F. C.	0.69033	0.90884	-0.25549	-0.98621	1

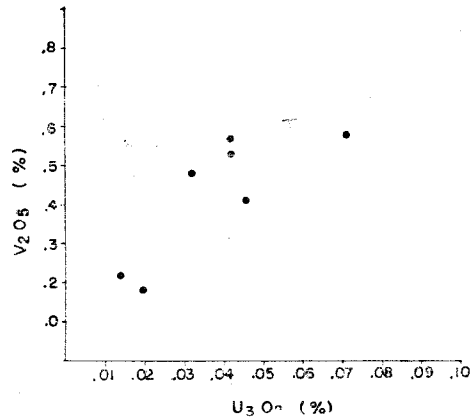


Fig. 3. Correlation diagram of U_3O_8 and V_2O_5 in 7 samples at Kotbong adit, Boseong coal mine. (Correlation coefficient, $r=0.80643$)

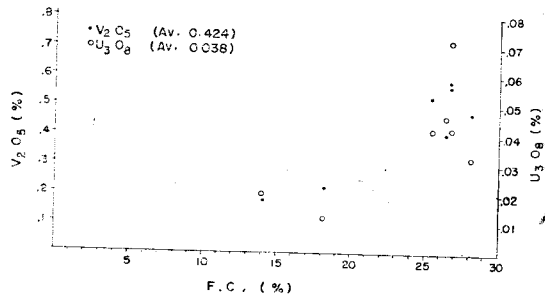


Fig. 4. Correlation diagram of U_3O_8 -F. C ($r=0.69033$) V_2O_5 -F. C ($r=0.90884$) in 7 samples at Kotbong adit, Boseong coal mine.

約 5倍, V_2O_5 는 約 1.5倍 內外를 含有하고 있어 炭層試料中에 固定炭素, U_3O_8 , 및 V_2O_5 의 含量이 높음을 알 수 있다.

Table 6에서 가장 큰 相關係數는 V_2O_5 -F.C.로서 0.90884이며, U_3O_8 - V_2O_5 는 0.80643, U_3O_8 -F.C.는 0.69033으로서 F.C.-U-V의 密接한 關聯性을 보이고 있다(Fig. 3, Fig. 4).

固定炭素와 ash含量은 相關係數 -0.98621 로서 負의 相關關係를 보이며, 따라서 U_3O_8 및 V_2O_5 도 ash含量과 負의 相關關係를 보이고 있다.

4. 考 察

黑色세일中에 含有된 우라늄 以外的 微量元素 含量에 關한 가장 綜合的인 資料는 Bell(1978)에서 찾아볼 수 있는데, table 7은 Bell(1978)의 含우라늄 黑色세일中에 含有된 微量元素에서 발췌한 資料와 本文에서 言及된 沃川帶 含우라늄 岩石中에 含有된 微量成分을 比較한 것이다.

Table 7에서 볼 수 있듯이 沃川帶 含우라늄 岩石中에 含有된 顯著한 微量元素는 V, Mo, U 및 Zn이며 黑色세일中의 平均보다 V는 8.6倍, Mo는 10倍, U는 3倍(metal rich black shale보다), Zn는 約 3倍의 含量을 보이고 있다. 沃川帶에서는 特히 含우라늄 低質炭層에서 特히 顯著한 V 및 U의 增加를 보임을 table 7로부터 알 수 있다. 卽 V는 低質炭中에 다른 沃川帶岩石보다 約 2倍, U는 約 6倍가 含有되어 있어 炭層과의 密接한 關聯性을 보이고 있다.

含우라늄 黑色세일이 形成되기 위한 重要한 環境條件으로서 有機炭素 含量이 높아야 한다는 要素가 만드

시 包含되는데(Bell, 1978), 黑色세일中의 炭素와 우라늄은 密接한 地球化學的 關聯性을 가지고 있고 地化學 探査에의 指針임이 이미 알려져 있다(Fix, 1958). 우리나라 沃川帶의 含 우라늄 變成地層에서도 우라늄과 良好한 相關關係를 갖는 成分은 炭素이며 其他의 造岩鑛物과는 無關함이 統計的으로 立證된 바 있다(蘇七燮·姜正極, 1978).

石炭(또는 炭質物)이 우라늄을 어떻게 吸收하여 保有하고 있느냐에 關한 報告를 綜合해 보면 一般的으로 吸着(adsorption), 이온交換, organo-uranium 混合物의 形成, UO_2^{+2} 이온이 還元되어 UO_2 가 colloid 狀態로 沈澱한다는 理論等(Breger, 1958; Vine, 1962)이 包含되는데, 가장 效率的인 우라늄 抽出劑로는 炭中에 含有된 humic acid 또는 humic acid로부터 形成된 鹽이라고 提示되어 있다(Vine, 1962). 金玉培·田溶元(1980)도 沃川系 含우라늄 炭層中에 賦存하는 우라늄의 成因에 關한 實驗으로부터 우라늄은 石炭이 泥炭이나 褐炭 등의 단계일때 炭中에 含有된 humic acid에 依해 吸着되었을 것으로 約論되고 있다.

Fig. 4에서와 같이 沃川系含우라늄 炭層中의 固定炭素와 U_3O_8 은 相關係數 0.69의 良好한 關係를 보며 上記事實과 一致하고 있다. Fig. 1과 Fig. 2의 相關圖에서 볼 수 있듯이 우라늄과 가장 良好한 相關關係를 보이는 岩石中의 成分이 Mo인데(相關係數 0.58과 0.68), 이러한 約果는 金玉培(1980)의 沃川帶의 低品位·우라

Table 7. Trace elements in average shale, black shale(Bell, 1978) U-bearing formations of Ogcheon Belt(in ppm).

Element	Average shale	Black shale		U-bearing formations of Ogcheon Belt (average)*	
		(median)	(metal rich)	black shale, slate, phyllite	low-grade coal
V	130	150	700	1,293	2,374
Cr	90	100	500		
Mn	850	150	700		
Co	19	10	20		
Ni	68	50	200	267	
Cu	45	70	150	95	
Zn	95	<300	1,000	948	
Ze	0.6	—	—		
Zr	160	70	150		
Mo	2.6	10	—	100	
Ag	0.07	<1	5	0.13	
Ba	580	300	700		
Pb	20	20	70	40	
Th	12	—	—		
U	3.7	—	>20	59	322

*Source; V, Mo, and U (

1970); Ni, Cu, Zn, Ag and pb (

1979):

늄·釷床 地域에 分布된 土壤의 分析結果와도 잘 一致하고 있다.

Szilagyi (1971)는 炭中에 含有된 Mo, V, Cr 含量에 關한 研究에서 V와 Cr는 炭中의 炭素 含量의 一定 限度까지는 거의 比例的으로 增加하나 그 限度 以上에서는 오히려 減少하는 反面, Mo는 炭素含量과 거의 比例的으로 增加하는 傾向을 提示하여 炭中의 Mo含量은 有機成分 卽 炭素含量과 密接한 關聯이 있음을 證明한 바 있다. 따라서 沃川帶 舍우라늄 黑色셰일, 粘板岩 및 低質炭에서 나타나는 U-Mo-炭素含量의 密接한 相關關係는 이 地域의 地化學探査에의 重要한 指針이 될 수 있으며 그 밖에도 V, Cu, Pb(金玉培, 1980) 및 Zn-Cd(金乙秀, 1979) 등의 地球化學的 分散 特性도 考慮하여야 할 것이다.

5. 結 論

本 研究에서는 既 調查된 沃川系 地層地中의 黑色셰

일과 粘板岩 및 低質炭中의 U_3O_8 , V_2O_5 , Mo, 輝發成分 및 固定炭素 分析值를 統計處理하고 成分 相互間의 地球化學的 特性을 考察한 結果 다음과 같은 約論을 얻을 수 있었다.

1) 上記 岩石中에서 우라늄과 가장 良好한 相關關係를 보이는 것은 Mo이며 (相關係數 約 0.6內外) 우라늄과 固定炭素는 相關係數 0.4內外의 比較의 良好한 關係를 보였다.

2) 舍우라늄 低質炭層에서는 U_3O_8 - V_2O_5 -F.C. 相互間에 相關係數 0.69-0.91의 높은 相關關係를 보여 우라늄 및 바나듐 異常帶에서는 固定炭素와의 密接한 關聯性을 알 수 있다.

3) 岩石中의 U-Mo-炭素含量의 密接한 相關關係는 地化學探査에의 훌륭한 指針이 될 수 있으며, 이러한 約果는 沃川帶 低品位 舍우라늄 鑛床 地域의 土壤分析 約果(金玉培, 1980)와도 잘 一致하고 있다.

參 考 文 獻

- Bell, R. T., 1978. Uranium in black shales (a review) in uranium deposits, their mineralogy and origin (ed. by M. M. Kimberley): University of Toronto Press, Toronto, pp. 307-329
- Breger, I. A., 1958. Geochemistry of coal: Econ. Geol., vol. 53, pp. 923-841
- Fix, C. E., 1958. Selected annotated bibliography of the geology and occurrence of uranium-bearing marine black shales in the United States: U. S. Geol. Survey Bull. 1059-F, pp. 263-325
- Reedman, A. J., Fletcher, E. J. N., Evoms, R. B., Workman, D. R., Yoon, K. S., Rhyn, H. S., Jeong, S. H., and Park, J. N., 1974. Geology of the Hwanggang-ri mining district, Republic of Korea: Report Geol. Min. Exploration, Part I, vol. 2, P pp. 1-117
- Szilagyi, M., 1971. The role of organic material in the distribution of Mo, V, and Cr in coal fields: Econ. Geol., vol. 66, pp. 1075-1078
- Vine, J. D., 1962. Geology of uranium in coaly carbonaceous rocks: USGS bull. 356-D
- 김선억, 정장순, 박석환, 배용찬, 임춘탁, 강양평, 1970. 舍우라늄 및 바나듐 黑色셰일과 粘板岩에 대한 調查 研究 報告: 광연보, 4호, pp. 232-292
- 金玉培, 1980. 韓國의 低質炭中에 賦存되어 있는 舍우라늄 鑛床의 地球化學探査를 위한 研究: 대한광산학회지, vol. 17, pp. 1-11
- 金玉培, 田裕元, 1980. 沃川系 舍우라늄 炭層中에 賦存하는 舍우라늄의 成因에 關한 實驗的인 研究: 대한광산학회지, vol. 17, pp. 57-66
- 金乙秀, 1979. 忠北 槐山地域 舍우라늄 鑛床의 地化學探査를 위한 統計學的 研究: 서울大學校大學院 碩士論文(未發表).
- 김종수, 황인전, 상기남, 1958. 원자력광물자원 탐사 보고(II): 지광연 지광조보, 제 2호, pp. 159-188
- 김중환, 조규장, 김선억·경현욱·조진동, 1974. 괴산 지역 舍우라늄 탐사 종합 보고: 지광연 지광조보, 제 2호, pp. 1-122
- 박명철, 이정구, 1968. 한국의 모나자이트 광산: 지조 지광조보, 제10호, pp. 133-154
- 蘇七燮, 姜正極, 1978. 沃川系 舍우라늄 變成地層의 鑛物學的 地球化學的 연구: 지질학회지, vol. 14, pp. 93-102
- 孫致武, 元鍾寬, 1959. 모나자이트의 根源岩에 關하여: 지광연 지광조보, 제 3호, pp. 116-137
- 이대성·이종혁·윤상규, 1956. 원자력광물자원 탐사 보고(I): 지광연 지광조보, 제 1호, pp. 48-68
- 이종혁, 1972. 괴산도록 및 설명서: 국립지질조사소
- 이흥규·이정덕·유한서, 1969. 오대산지역 舍우라늄 광화대 지질조사 보고서: 지조 지광조보, 제11호, pp. 85-96
- 全孝澤, 1979. 天安地區 舍金石英脈 鑛床의 鑛化作用과 關聯된 微量元素들의 分散에 關한 地球化學的 研究: 서울大學校大學院 博士學位 論文