

懷南地域 沃川累層群의 變成泥質岩內에 分布하는 바나듐을 含有한 炭層의 地球化學的 特徵

李讚熙* · 李鉉具* · 申美愛*

Geochemistry of Vanadium-bearing Coal Formation in Metapelite of the Ogcheon Supergroup from the Hoenam Area, Korea

Chan Hee Lee*, Hyun Koo Lee* and Mi-ae Shin*

ABSTRACT : The vanadium-rich coal formations in metapelites are interbedded along foliation of the Koogsabong Formation in the Ogcheon Supergroup at the Hoenam area. This coal formations consisted of 6 layers in host metapelites which are developed discontinuously several hundreded meters. The thickness of coal formations are variable swelling of 10 to 300 cm along the bedding. Although the formation is mined for coal, and the vanadium, uranium and molybdenum has a higher grade in formations than the host metapelites. Geochemistry of major elements in coal formations, Al contents increase with increasing Ti and K contents, but have not any trend of other major element. In minor and trace elements in coal formations of metapelites show not regular variations of each elements against the Al and V contents. The content of vanadium, uranium and molybdenum in coal formations are analysed as V; 123 to 8112 (average 2125) ppm, based on V_2O_5 , range from 0.02 to 1.45 (average 0.38) wt.%, U; 0.5 to 280 (average 56) ppm, and Mo; 1 to 870 (average 214) ppm, respectively. Possible source for the vanadium, uranium and molybdenum in this coal formation is shown that the formed by high pressure and temperature from regional metamorphism originated during the diagenesis at the density-stratified interface between a basinal brine and organic matter.

序 言

바나듐 (vanadium, V)은 製鋼用, 無公害 乾電池用, 合金, 化學 觸媒劑 및 添加劑등으로 利用되는 附加價値가 높은 元素이다. 특히 1998년 부터 美國 市場의 自動車 輸出에는 無公害 自動車의 일정 比率이 요구되고 있기 때문에 國內 自動車 生産業界에서는 NiV 배터리 製造 연구에 박차를 가하고 있다. 그러나 世界의 바나듐 市場을 2개 會社에서 獨占하고 있어 原料의 長期的인 안정적 확보가 대단히 어려운 실정이므로 國內 바나듐 資源의 確保對策이 절실히 요구되고 있다.

바나듐은 堆積 및 變成堆積鑛床과 정마그마광상에서 부산물로 産出되는 稀土類元素 및 우라늄鑛物과 함께 産出되거나, 이들의 置換元素로 産출되는 것들이 대부분이

다 (Northrop *et al.*, 1990a, 1990b; Goldhaber *et al.*, 1990). 南韓의 바나듐鑛床으로는 慶北 奉化의 將軍鑛山 周邊에 分布하는 壯山珪岩層內에 胚胎된 것과, 沃川累層群의 變成泥質 堆積岩에 狹在하는 低品位 炭層內에 分布하는 것으로 잘 알려져 있다. 將軍鑛山 주변에 분포하는 바나듐에 關하여는 産出狀態, 化學組成, 成因 등이 比較的 상세히 연구되어 있으나 (Imai, Lee, 1980; 安建尙, 李鉉具, 1995; 申美愛, 1996), 沃川累層群에서 産출되는 바나듐에 關하여는 개략적인 보고만 있을 뿐이다 (李政成, 全孝澤, 1980).

懷南地域의 沃川累層群에는 低品位 炭層이 變成泥質岩 內에 狹在되어 있으며 이를 대상으로 開發한 韓道炭鑛, 三星第一炭鑛, 富國炭鑛 및 報恩第一炭鑛이 있다. 이 炭層에는 바나듐 이외에 우라늄과 몰리브데늄이 産出되는 것으로 알려져 있다. 沃川累層群에 分布하는 우라늄을 包含한 炭層에 關한 地質學的 및 地球化學的 研究은 많이 있으나 (金玉培, 田溶元, 1980; 朴奉淳, 蘇七燮, 1980; 李政

* 忠南大學校 地質學科 (Department of Geology, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

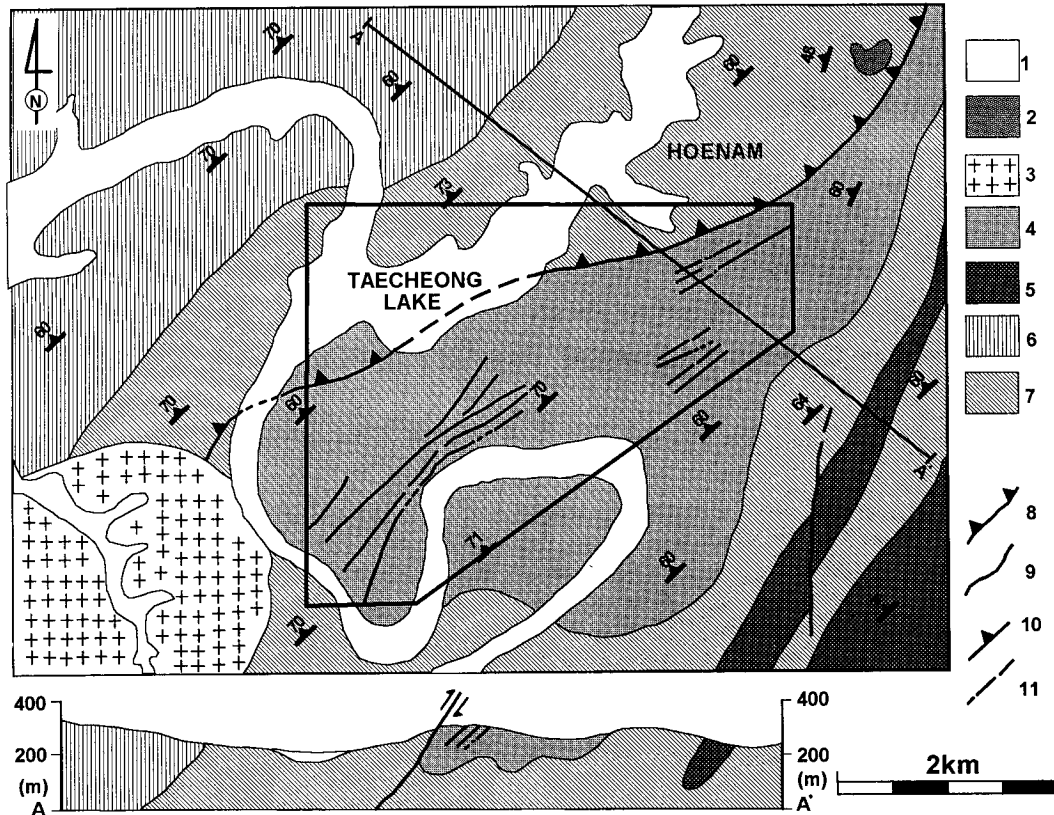


Fig. 1. Geologic map of the Hoenam area (modified from Kim *et al.*, 1977). 1; alluvium, 2; basaltic rock, 3; granitic rock, 4; Koogsabong Formation, 5; Hwangkangri Formation, 6; Changri Formation, 7; Munjuri Formation, 8; thrust fault, 9; geologic boundary, 10; foliation, 11; coal formation. Boxed area is presented in Fig. 2.

成, 金相旭, 1985; 李相萬等, 1981; Chi *et al.*, 1985), 바나듐과 우라늄의 産出狀態 및 鑛物組成등은 아직도 많은 研究를 필요로 하고 있다. 이 研究에서는 懷南地域의 沃川累層群內에 狹在하는 炭質 變成泥質岩內에 함유되어 있는 V, U 및 Mo의 含量과 地球化學의 特徵을 밝혀 이들의 産出狀態 및 鑛物學的 生成過程을 解析할 수 있는 資料를 提供하고자 한다.

地質 및 鑛床

地質

研究地域은 大清湖 上流의 忠北 報恩郡 懷南面 新谷里, 龍湖里, 分蘆里, 板藏里, 烏谷里 일대에 속하는 地域으로서 上水源 保護區域內에 位置한다. 이 地域의 地質은 沃川累層群의 變成堆積岩에 해당하는 文周里層을 基底로, 倉里層이 整合的으로 分布하고 이를 黃江里層의 岩石이

不整合으로 被服하며, 平安累層群에 屬하는 것으로 보이는 國師峰層이 不整合 및 斷層으로 文周里層과 接하고 있다 (金玉準等, 1977). 이 層의 岩石들은 鈣라기의 黑雲母 花崗岩과 時代未詳의 玄武岩質岩에 의하여 貫入되어 있다 (Fig. 1).

文周里層은 層理, 斜層理 및 片理의 발달이 상당히 불량한 變成砂質岩으로서 大部分의 nodules에서 견고하고 치밀한 暗灰色을 보인다. 이 層에는 部分的으로 變成泥質岩이 狹在하고 있으며 片理의 走向은 N10-45°E에 48~73°NW로 傾斜한다. 倉里層을 구성하는 變成泥質岩은 暗灰色 또는 暗黑色을 띠는 千枚岩質岩으로서 片理의 走向은 N25~35°E이며, 傾斜는 60~70°NW 이다. 이 層準에는 連續性이 불량한 黑煙質 셰일과 돌로마이트질 石灰岩이 狹在하며 波浪壁開 또는 小習谷 構造들이 잘 發達되어 있다.

黃江里層의 岩石은 暗灰色의 含礫泥質岩으로 구성된 千枚岩이다. 礫의 직경은 수mm-30 cm 程度이나 대부분

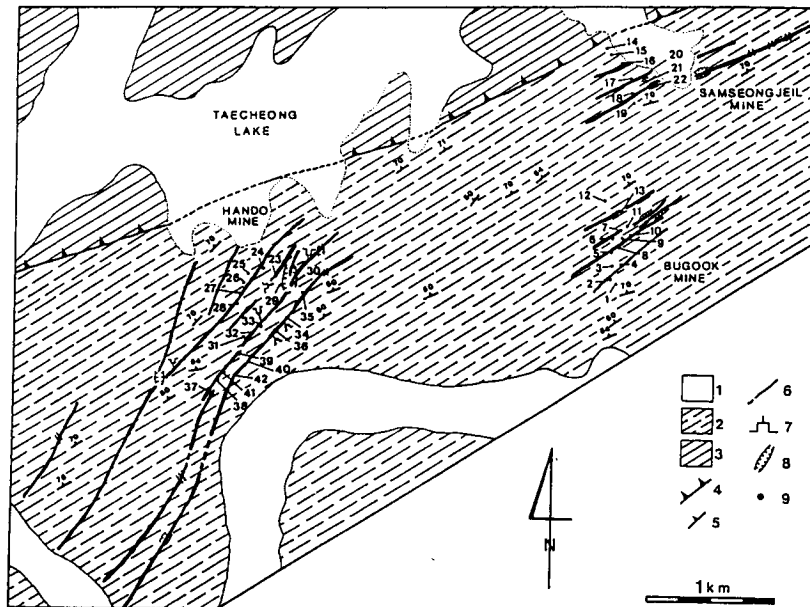


Fig. 2. Distribution pattern of coal formations in metapelite of the Koogsabong Formation and sample locations from the Hoenam area. 1; alluvium, 2; Koogsabong Formation, 3; Munjuri Formation, 4; thrust fault, 5; foliation, 6; coal formation, 7; adit, 8; trench, 9; sampling location.

은 10 cm 미만의 不均質한 크기를 보인다. 礫의 圓摩道도 상당히 불균질 하며 成分은 珪岩, 千枚岩, 石灰岩, 片麻岩 등이 관찰되나 대부분은 珪岩이다. 이 層準에는 양호한 延長性을 갖는 薄層의 石灰質岩이 掺杂하며 片里의 走向은 N30°E에 70°NW로 傾斜한다.

國師峰層은 주로 黑色 粘板岩내지 千枚岩으로 構成되어 있으며 薄層의 石灰質岩과 黑煙質 세일 및 炭層이 掺杂한다. 炭層은 斷續的으로 발달하며 보통 3-6枚 程度이며 幅은 10-300 m의 範圍를 보이나 대부분은 100 cm 내외이다. 이 層의 片理는 N5-45°E의 走向과 45-78°NW의 傾斜를 갖고 있으나 수 많은 小褶谷 및 壁開의 발달로 인하여 상당히 攪亂되어 있다. 이 層은 원래 沃川累層群의 倉里層으로 認定되었던 地層이나 報恩圖幅에서는 平安累層群에 對比되는 層으로 설정하고 國師峰層으로 命名하였으며, 下部는 文周里層을 不整合으로 被服하며 上部는 文周里層과 드러스트 (thrust) 斷層으로 접한다 (金玉準等, 1977).

黑雲母 花崗岩은 이 地域의 南西部에 分布하며 中粒質의 粒狀組織을 갖는다. 主成分鑛物은 斜長石, 石英, 微斜長石, 正長石, 黑雲母 등이며 角閃石, 스펀, 磷灰石등이 包含되어 있다. 이 花崗岩體 주변의 石灰岩質岩과 泥質岩들은 스카른 또는 호온펠스화 되어 있어 柵榴石, 透輝石, 綠廉石, 綠泥石등의 變質鑛物이 産出된다. 이 花崗岩의 全岩

K-Ar 年齡은 166 Ma 로서 侏羅기에 해당한다 (金玉準等, 1977). 玄武岩質岩은 鳥谷里의 報恩第一鑛山 부근에 分布하며 橄欖岩 및 外來 岩片이 胞獲되어 있다. 玄武岩은 灰色 내지 暗綠色의 塊狀으로 산출되며 橄欖石, 輝石 및 斜長石으로 구성된 알카리암질암이다. 胞獲岩은 橄欖石의 團塊가 大部分으로 1-30 cm 程度의 크기로 産出된다. 顯微鏡下에서는 橄欖石, 斜長石, 輝石, 磁鐵石이 관찰된다. 이는 920-990°C의 平衡溫度와 30-55 km의 生成深度를 갖는 상부 맨틀 구성물질의 일부인 것으로 解析하였다 (金允圭等, 1988).

鑛床

分蘆里 일대에는 日帝時代에 金을 對象으로 稼行하던 分蘆里鑛山과 龜龍鑛山이 알려져 있으며, 北西部의 文義面 일대에는 鹽時藍晶石鑛山이 있었다고 하나 (金玉準等, 1977), 現在는 痕迹조차 찾아 볼 수 없다. 그러나 變成泥質岩의 層準에 胚胎된 石炭을 대상으로 개발하던 韓道(龜龍)炭鑛, 富國炭鑛, 三星第一(懷南)炭鑛이 분포하고 있으며, 炭層의 走向延長을 따라 노두의 여러 곳에서는 坑道와 地表探掘跡이 散在한다 (Fig. 2). 또한 이 地域의 북동부 鳥谷里 일대에는 報恩第一炭鑛이 분포한다.

龍湖里 일대의 約 1,064 m² 林野에 분포하는 變成泥質

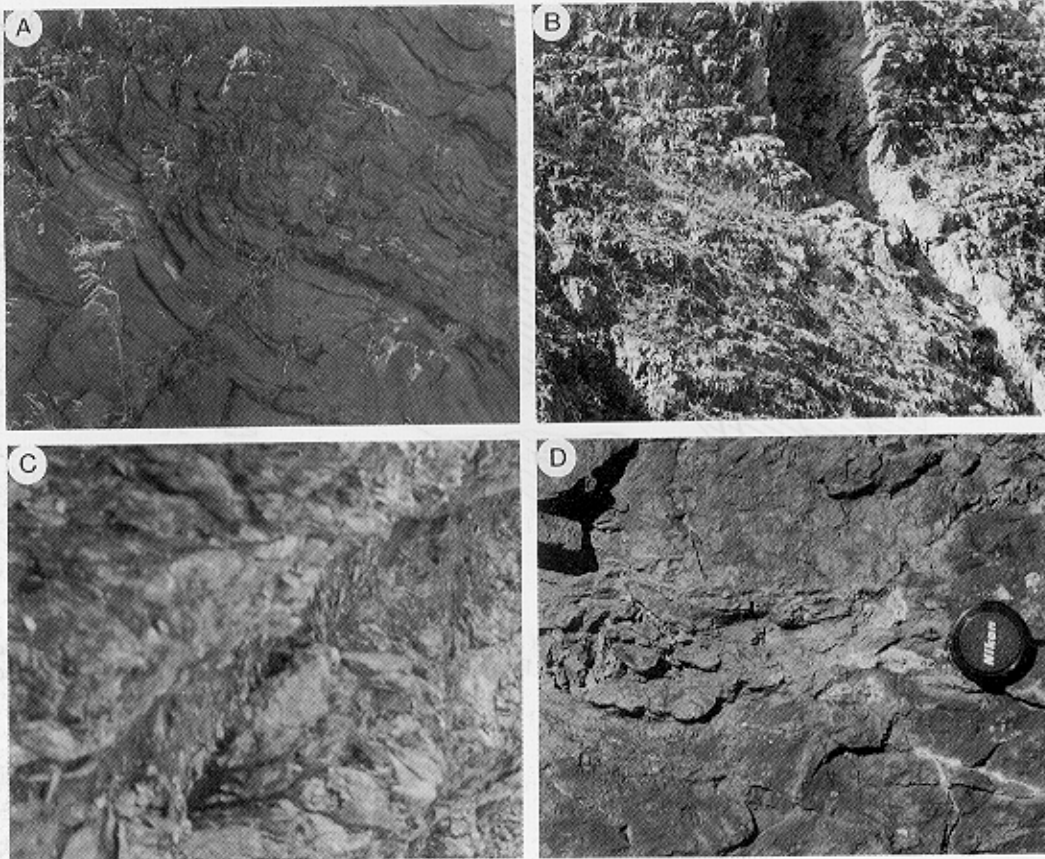


Fig. 3. Photographs of coal formation in metapelite of the Koogsabong Formation from the Hoenam area. A; Representative lithology, asymmetric folds, crenulation cleavage and fold in the Koogsabong Formation. B; Coal formation between phyllite and brittle shear zone in the Koogsabong Formation. C; Coal formation array of en echelon in the Koogsabong Formation. D; Yellow green spots indicating supergene halos of uranium-rich horizon in the Koogsabong Formation.

岩内の炭層에는 V_2O_5 가 1.54 wt.% (大韓鑛業振興公社, 1991), 또는 0.29-7.25 wt.% (韓國動力資源研究所, 1991) 정도로 함유되어 있는 것으로 報告하였다. 이에 따라 바나듐을 함유한炭層의走向과傾斜는 $N30^{\circ}E$ 와 $60^{\circ}NW$, 平均脈幅 30 m, 走向延長 300 m, 深度延長 200 m 정도이며, V_2O_5 의 平均品位는 4.0 wt.% 로서 確定鑛量 1,125만 톤, 推定鑛量 1,575만 톤으로 計算하였다. 1991년에는 위 자료를 根據로 이 地域 ($36^{\circ}25' - 36^{\circ}26'N$, $127^{\circ}31' 10.4'' - 127^{\circ}32' 10.4''$, 報恩地籍 115, 116호)을 대상으로 바나듐을 개발하기 위한 鑛權이 登錄되어 探查와 採鑛을 준비한 바 있다.

炭層을 狹在하는 國師峰層의 岩相은 小褶谷 및 波浪壁開가 발달하는 千枚岩質岩으로서 (Fig. 3A), 炭層은 走向 및 傾斜方向으로 膨縮이 심하며 連續性이 불량하다. 韓道炭鑛의 노두에서 관찰되는 炭層은 垂直 20 m 내외에서

10 cm~300 cm의 幅을 보이고 있으며 이들은 斷續적으로 産出되어 全體적으로 雁行狀 構造를 보이기도 한다 (Fig. 3B, C). 炭層의 走向延長은 보통 수십~수백m 정도이나 이를 追跡하면 斷續적으로 약 3 km 정도 延長된다. 炭層內에는 植物化石의 破片을 볼 수 없으며 反射度와 硬度가 상당히 높아 밝은 灰色의 光澤을 보인다. 일부 주변암에서는 黃鐵石과 ウラン의 2차광물로 보이는 약 5 cm 정도의 크기를 갖는 黃色의 斑點들이 관찰된다 (Fig. 3D).

試料 및 分析

이 地域의 變成泥質岩에는 平均 100 cm의 幅을 갖는 6枚의 炭層이 狹在하며 斷續적으로 分布한다. 이 중에서 炭을 대상으로 開發되었던 富國炭鑛에는 4枚의 炭層이 노출되어 있으나 膨縮이 심하며 連續性이 불량하다. 三星第

Table 1. Content (wt.%) of major elements of coal formations in metapelites of the Koogsabong Formation from the Hoenam area.

Sample No.	Al	Ti	Fe	Mg	Ca	K	Na	P	Ba
HN9542-1	5.64	0.07	3.96	3.43	0.16	1.32	0.08	0.12	0.65
-2	0.81	0.01	7.24	0.05	0.02	0.31	0.04	0.16	0.13
-3	10.26	0.30	1.63	0.71	0.01	4.16	0.21	0.03	2.30
-4	8.08	0.20	1.54	0.55	0.01	3.10	0.15	0.03	2.10
-5	6.02	0.14	3.31	2.23	0.14	1.86	0.10	0.16	1.10
-6	5.30	0.22	1.54	0.61	0.02	2.03	0.12	0.04	1.50
-7	6.99	0.17	3.86	1.43	0.86	2.53	0.08	0.46	1.40
-8	3.40	0.09	5.63	0.44	0.26	1.31	0.06	0.29	0.86
-9	5.78	0.15	3.44	1.72	0.32	1.81	0.10	0.24	1.10
-10	6.23	0.19	1.49	0.56	0.13	2.09	0.11	0.09	1.60
-11	6.94	0.35	2.71	2.66	0.19	2.11	0.10	0.22	1.70
-12	5.70	0.13	1.72	0.78	0.01	2.28	0.13	0.06	1.10
-13	9.17	0.17	1.43	1.54	0.07	3.55	0.68	0.00	0.35
-14	10.57	0.32	0.49	0.75	0.01	4.32	0.20	0.00	3.40
-15	6.51	0.22	2.99	0.45	0.01	2.71	0.12	0.02	2.30
-16	7.49	0.23	0.48	0.58	0.01	3.19	0.12	0.00	2.40
-17	8.00	0.30	0.44	0.58	0.01	3.29	0.13	0.00	2.90
-18	10.04	0.26	0.62	0.81	0.01	4.31	0.18	0.00	2.70
-19	4.97	0.21	0.38	0.39	0.02	1.97	0.09	0.02	4.50
-20	7.35	0.28	7.09	0.53	0.01	3.66	0.10	0.00	0.99
-21	7.80	0.19	0.41	0.56	0.01	4.01	0.11	0.01	0.74
-22	7.97	0.28	1.09	0.58	0.01	3.23	0.11	0.01	4.60
-23	8.68	0.22	0.31	0.42	0.01	4.83	0.14	0.01	2.10
-24	10.20	0.31	2.73	0.67	0.01	4.64	0.18	0.02	2.60
-25	9.54	0.45	3.14	0.65	0.01	4.61	0.19	0.01	1.30
-26	10.98	0.32	3.35	0.88	0.01	5.04	0.19	0.02	2.20
-27	5.95	0.17	0.69	0.50	0.05	2.55	0.13	0.06	1.80
-28	6.08	0.35	2.39	1.44	0.13	2.46	0.10	0.14	1.70
-29	2.75	0.08	0.89	0.12	0.05	0.68	1.81	0.18	1.40
-30	9.56	0.47	5.05	1.75	1.32	3.47	0.93	0.06	0.39
-31	5.44	0.10	6.21	1.46	0.19	1.81	0.08	0.40	1.80
-32	5.09	0.17	0.75	0.39	0.01	2.35	0.10	0.01	1.00
-33	10.45	0.25	2.13	0.87	0.01	4.10	0.19	0.01	1.40
-34	6.92	0.18	4.66	0.33	0.03	1.87	0.09	0.28	1.90
-35	6.22	0.15	0.50	0.43	0.03	2.45	0.13	0.09	1.60
-36	6.28	0.18	2.91	0.40	0.04	2.32	0.12	0.44	2.60

Sample numbers indicate in Fig. 2.

—鑛山에는 3枚의 炭層이 개발되어 있으며 주로 한 層을 대상으로 地表와 坑道에서 採掘한 광산이다. 韓道炭鑛에는 6枚의 炭層이 狹在되어 있어 상당히 활발한 採鑛이 있던 곳이다. 炭層에 隨伴되는 대부분의 石炭은 反射度가 높아 유리질 광택을 띠고 있으며 아주 단단한 물성을 가지고 있다.

變成泥質岩에 隨伴되는 炭層에 含有된 바나듐, 우라늄, 몰리브데늄의 含量과 炭層의 地球化學的 組成을 檢討하기 위하여, Fig. 2에 제시된 바와 같이 總42個(富國炭鑛: 13, 三星第一炭鑛: 9개, 韓道炭鑛: 20개)의 炭質 세일을 대상으로 캐나다의 ACTLABS에서 유도분극 플라즈마 分光分析器(ICP)를 이용하여 56元素를 定量分析하였다.

이 중에서 元素分布의 過異常置를 보이는 6개 試料를 제외한 36개 試料의 主成分 9元素와 일부 微量元素(14元素)의 含量은 Table 1, 2와 같다.

分析結果

主成分 및 微量元素

國師峰層內에 賦存하는 炭層의 化學組成을 檢討하고자 總36개 試料에서 Si를 제외한 9종의 主成分 元素를 分析하였다(Table 1). 이 炭層을 구성하는 主成分 元素와 微量元素들은 位置 및 鑛床에 관계없이 상당히 不均質하여

Table 2. Content (ppm) of trace elements of coal formations in metapelite of the Kooksabong Formation from the Hoenam area.

Sample No.	As	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	U	V	W	Zn
HN9542-1	3.4	56	110	108	77	354	16	100	44	5.3	66	1497	6	806
-2	2.0	57	50	65	150	76	13	33	13	2.0	62	631	3	597
-3	3.4	510	183	9	200	12	30	260	92	18.0	62	7771	10	34
-3	3.3	170	149	9	140	97	31	160	82	14.0	25	1869	10	130
-4	23.0	82	134	73	86	71	27	110	54	12.0	33	834	<1	255
-5	1.9	65	31	28	66	32	21	110	75	13.0	32	786	7	166
-5	11.0	190	246	624	440	1038	46	120	90	11.0	32	3266	11	2661
-6	22.0	190	154	57	690	231	57	75	36	8.6	35	4280	20	376
-7	5.2	100	96	99	120	168	49	81	165	14.0	170	788	9	451
-7	2.9	85	24	41	7	28	27	100	78	16.0	170	207	6	79
-8	1.6	93	50	125	50	33	97	100	101	17.0	280	266	10	67
-9	5.6	110	200	15	40	107	16	130	63	11.0	50	1367	7	154
-10	<0.5	130	8	122	17	9	23	190	103	7.3	7	123	8	111
-10	2.7	140	7	10	8	2	11	190	120	6.9	7	300	<1	29
-11	31.0	230	870	21	356	8	38	180	54	6.5	41	4200	19	90
-12	3.0	260	210	15	42	2	19	190	73	8.7	26	5765	12	12
-14	2.1	460	29	13	17	2	29	170	63	7.1	3	6637	11	14
-15	1.1	110	23	5	39	3	18	190	100	5.2	3	232	9	18
-15	4.6	150	370	5	3	7	35	120	233	14.0	3	1123	12	19
-16	17.0	520	310	56	326	73	18	190	35	12.0	44	7823	10	936
-17	4.6	380	220	7	2	2	17	230	44	6.8	18	4734	9	17
-17	5.0	720	790	9	173	6	33	150	108	16.0	18	8112	18	32
-18	7.9	290	70	47	14	2	5	170	771	5.7	10	2223	10	8
-19	3.2	130	10	38	31	2	7	210	100	8.3	3	280	<1	41
-20	43.0	110	<1	23	20	2	14	200	87	4.8	16	134	<1	9
-20	1.8	130	23	30	213	20	6	230	79	5.4	16	261	14	207
-21	12.0	160	110	11	57	9	21	140	66	9.7	22	834	11	23
-22	6.2	230	280	63	49	24	30	110	48	10.0	5	1568	9	291
-23	9.4	140	260	11	38	39	12	80	141	13.0	150	2551	14	17
-23	<0.5	120	17	273	37	49	18	200	186	15.0	150	135	<1	126
-24	16.0	71	68	214	87	99	50	69	75	12.0	6	174	10	400
-25	0.8	200	3	62	23	2	8	170	75	15.0	<0.5	827	<1	18
-25	5.3	210	<1	34	79	15	13	220	53	16.0	<0.5	290	<1	21
-26	24.0	140	250	65	54	114	38	100	99	16.0	<0.5	1681	13	462
-28	4.4	130	60	23	30	12	13	130	218	10.0	9	1344	11	34
-29	49.0	150	180	49	114	67	18	110	204	13.0	47	1066	16	171

Sample numbers indicate in Fig. 2.

일정한 傾向을 보이지 않는다. 이 중에서 Ti (0.01~0.45 wt.%), Ca (0.01~1.32 wt.%), Na (0.04~1.81 wt.%), P (0.00~0.46 wt.%) 등의 含量은 比較的 낮은 組成의 變化幅도 낮음을 보여준다. 그러나 Al (0.81~10.98 wt.%), Fe (0.38~7.24 wt.%), Mg (0.05~3.43 wt.%), K (0.31~5.04 wt.%), Ba (0.13~4.60 wt.%)의 含量은 比較적 넓은 範圍의 變化를 보인다. 顯微鏡觀察에 의하면 Al과 K의 含量이 높은 試料에서는 다른 試料에 비하여 比較적 많은 양의 白雲母가 産出되며, Fe와 Mg 및 Ba의 양이 많은 試料에서는 炭質物質이 많이 觀察되는 특징이 있다.

主成分 元素의 組成을 가지고 일반적으로 堆積岩에서 이용되는 Al의 含量을 基準으로 각 元素의 變化圖를 檢討

하였다 (Bell, 1978). 이 結果 Fig. 4에서 보는 바와 같이 Al의 含量이 增加함에 따라 Ti와 K의 含量도 增加하는 傾向을 잘 보여주며, Ba와 V는 미약한 正의 상관關係를 갖는다. 그러나 Al의 增加에 따라 Fe와 Mg의 含量은 미약한 負의 상관關係를 보일 뿐이다. 한편 Al을 基準으로 할때 Ca, Na 및 P의 含量은 아무런 傾向을 갖지 않는다. 또한 堆積起源 岩石의 指示元素인 Ba를 基準으로 하여 각 元素의 相關圖를 작성하여 보아도 특별한 傾向을 찾을 수 없었다.

炭層의 微量元素를 檢討하기 위하여 分析된 試料에서 主要 14元素의 含量은 Table 2와 같다. 이 중에 U (<0.5~280 ppm), V (123~8112 ppm), Mo (<1~870 ppm), Mn

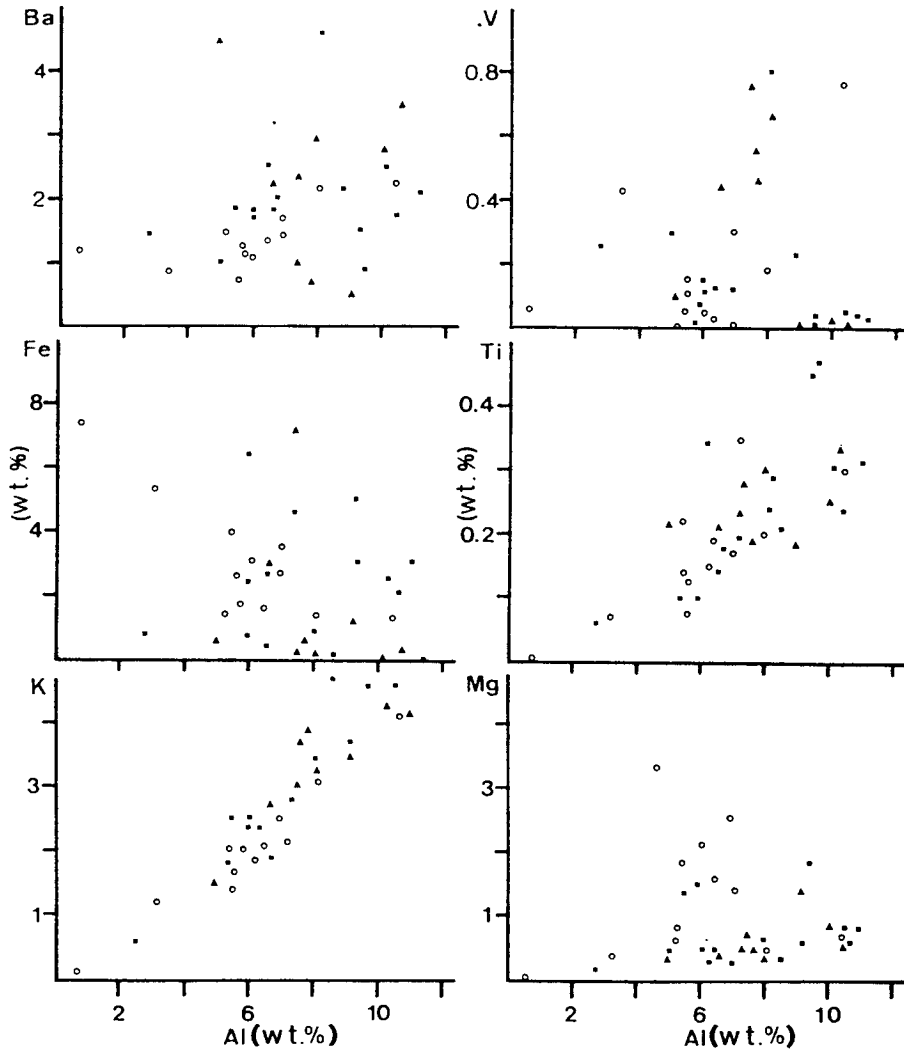


Fig. 4. Diagram showing variations of Al contents versus Ba, V, Fe, Ti, K and Mg contents of coal formation in metapelite of the Koogsabong Formation from the Hoenam area. Open circles; samples from the Bugook mine area, full triangles; samples from the Samsongjeil mine area, full squares; samples from the Hando mine area.

(5~624 ppm) 및 Ni (2~1038 ppm)을 除外한 Pb (5~97 ppm), Th (2.0~18.0 ppm), W (<1~20 ppm), Rb (33~260 ppm) 및 Sr (35~233 ppm)의 含量은 비교적 낮으며 組成의 變化幅도 낮음을 보여준다. 한편 後生鐵化作用의 徵候를 判別하는데 많이 이용되고 있는 As (<0.5~49.0 ppm), Cr (56~520 ppm), Cu (2~356 ppm) 및 Zn (8~2661 ppm)의 含量 (Wanty *et al.*, 1990)은 炭層에서 월등히 높음을 보여준다.

全岩分析置의 Al의 含量을 基準으로 각 원소의 含量變化를 檢討한 結果 Fig. 5에서 보는 바와 같이 Al의 含量이 增加함에 U, Mo, As, Cu의 含量은 특별한 關係를 보이지

않는다. 또한 Ba를 基準으로 하여 각 元素의 相關圖를 作成하여 보아도 아무런 傾向을 찾을 수 없었다. 한편 V의 含量에 따른 U, Mo, Ba, Fe의 含量도 어떠한 傾向을 보여주지 않으며 As와 Cu의 含量에도 특별한 影響을 미치지 않은 것으로 보인다. 일반적으로 堆積岩內의 V는 U, Mo, Ba, Al등의 堆積起源 岩石에서 相對적으로 높은 元素들과 舉動特性을 같이 하고 있으며 (Breger, 1958), As, Cu, Ni, Zn 등과는 負의 相關關係를 보여야 한다 (Bell, 1978; Szilagy; 1971). 그러나 일부 炭質의 含量이 높은 試料에서는 위와 같은 傾向을 보이나 全體的으로는 아무런 傾向이 없었다 (Fig. 5, 6).

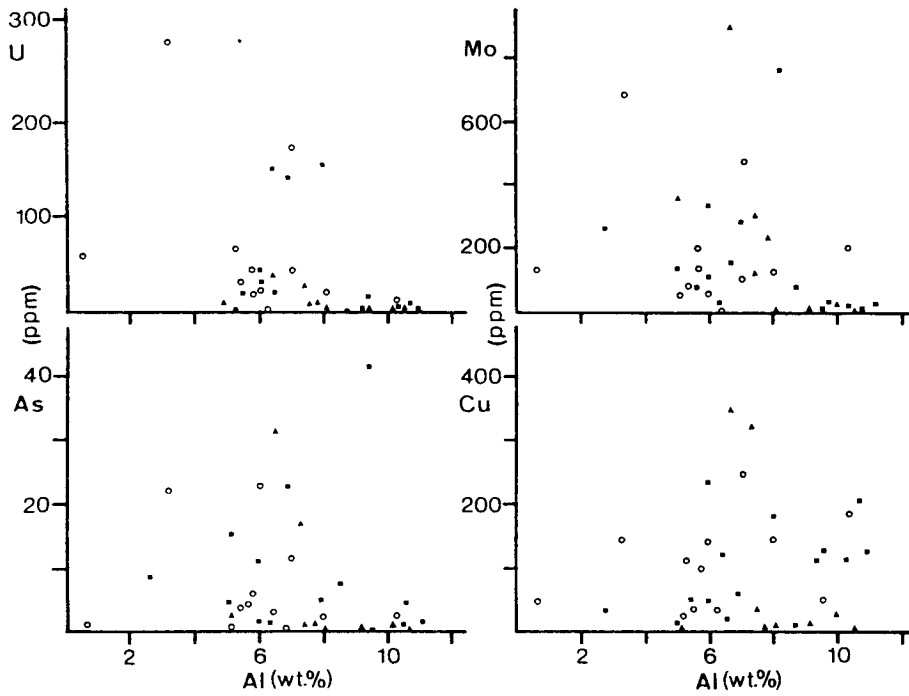


Fig. 5. Diagram showing variations of Al contents versus U, Mo, As and Cu contents of coal formation in metapelite of the Koogsabong Formation from the Hoenam area. Symbols are the same as in Fig. 4.

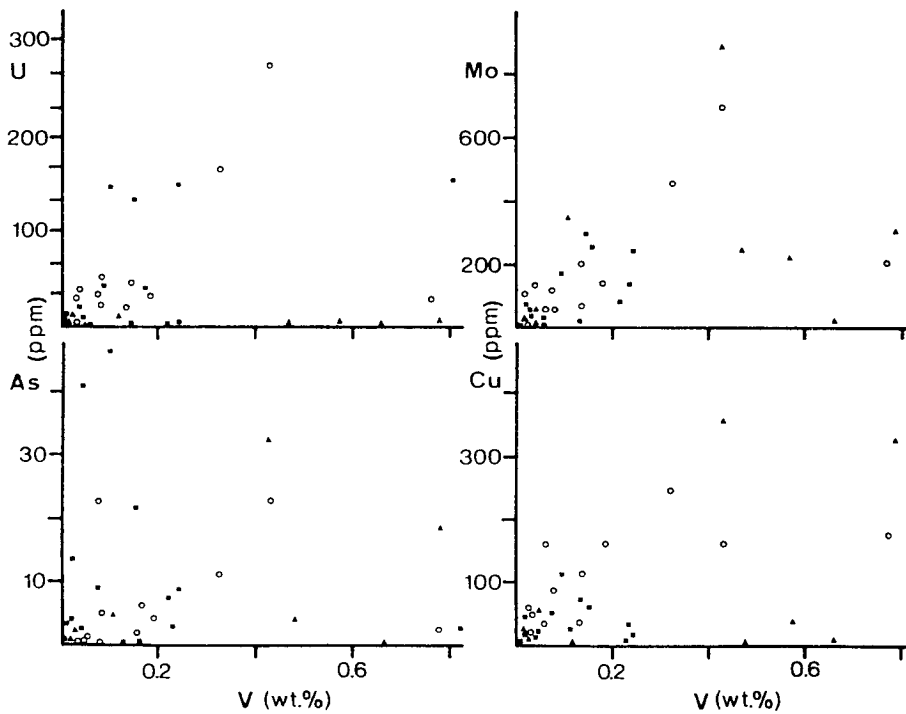


Fig. 6. Diagram showing variations of V contents versus U, Mo, As and Cu contents of coal formation in metapelite of the Koogsabong Formation from the Hoenam area. Symbols are the same as in Fig. 4.

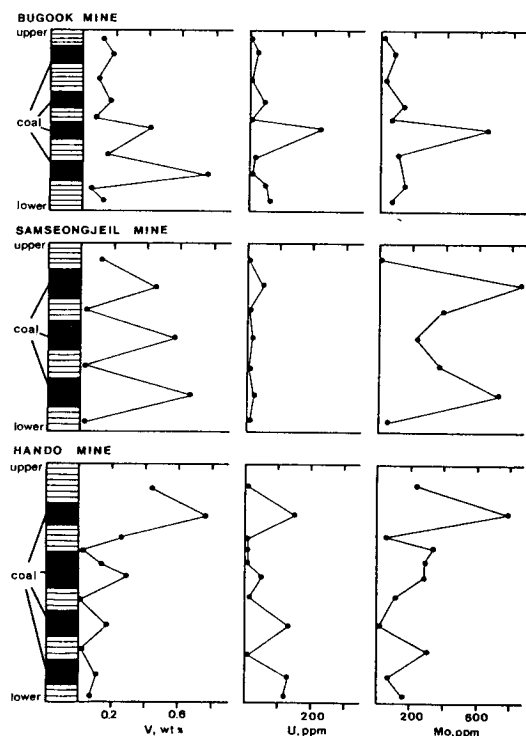


Fig. 7. Schematic columnar section and variation diagram of V, U and Mo contents of coal formation in metapelite of the Koogsabong Formation from the Hoenam area.

Table 3. U, Mo, V and V₂O₅ (wt.%) contents and Th/U ratio of coal formations in metapelite of the Koogsabong Formation from the Hoenam area.

Mine		Bugook	Samseongjeil	Hando	Total
U (ppm)	maximum	280	44	150	
	minimum	7	3	0.5	
	average	70	14	50	56
Mo (ppm)	maximum	690	870	880	
	minimum	7	7	7	
	average	186	227	152	214
V (ppm)	maximum	7771	7823	8112	
	minimum	207	123	134	
	average	1964	2578	1432	2125
V ₂ O ₅	maximum	1.39	1.40	1.45	
	minimum	0.02	0.02	0.02	
	average	0.35	0.46	0.26	0.38
Th/U	maximum	2.29	2.43	16.60	
	minimum	0.03	0.48		
	average	0.46	1.17	0.08	1.51

三星第一炭鑛에서 높은 含量을 갖는다. 바나듐의 含量을 V₂O₅를 기준으로 할때 富國炭鑛; 0.02~1.39 (平均 0.35) wt.%, 三星第一炭鑛; 0.021.45 (平均 0.46) wt.%, 韓道炭鑛; 0.02~1.45 (平均 0.26) wt.%의 含量을 가지며, 이들의 전체 平均置는 0.38 wt.% 이다.

바나듐의 含量과 分布

이 地域의 炭層에 包含되어 있는 바나듐, 우라늄 및 몰리브데늄의 含量變化和 平均組成을 보면 V; 123-8112 (平均 2125) ppm, U; 0.5-280 (平均 56) ppm, Mo; 1-870 (平均 214) ppm 으로 比較의 높은 含量을 갖는다 (Table 2). 그러나 既存에 알려진 바와 같이 바나듐이 4-7 wt.% 程度를 갖는 炭層은 없는 것으로 보인다. 이들의 組成을 각 광상의 炭層 및 變成泥質岩의 分布와 관련지어 模式的으로 표현하면, 變成泥質岩에서는 모두 낮은 含量을 가지며 炭層에서 상대적으로 높은 含量을 갖는다 (Fig. 7, Table 3).

이를 각각의 鑛山에 따라 나누어 보면 우라늄의 含量은 富國炭鑛 (7~280, 平均 70 ppm)과 韓道炭鑛 (0.5~150, 平均 50 ppm)에서 특히 높으며 三星第一炭鑛에서는 아주 微量만 (3~44, 平均 14 ppm) 檢出되었다. 몰리브데늄의 含量은 變化가 相當히 甚하여 一般的인 傾向은 보이지 않으나, 三星第一炭鑛에서 높게 (7~870 平均, 227 ppm) 檢出된다. 바나듐의 含量은 거의 비슷한 傾向을 보이거나

討議 및 結言

大淸湖 上流, 忠北 報恩郡 懷南面 일대의 沃川累層群에 는 文周里層을 最下部로 하여 上部에는 倉里層이 整合的으로 分布하고 이를 黃江里層이 不整合으로 被服하며, 平安累層群에 屬하는 國師峰層이 不整合 및 斷層으로 文周里層과 接하고 있다 (金玉準 等, 1977). 그러나 전체적인 岩相과 層序의 特徵으로 보아 이 地域의 文周里層은 黃江里 및 槐山地域의 雲橋里層에 對比될 것으로 보이며, 실제 文周里層의 岩石은 國師峰層으로 命名되어진 地層이 여기에 包含될 것으로 推定된다. 한편 이 地域의 國師峰層은 원래 沃川累層群의 倉里層이나 文周里層의 일부로 解析함이 妥當할 것으로 보인다.

이 地域의 國師峰層내에는 石炭으로 開發되었던 6枚의 炭層이 分포하며, 이 炭層을 대상으로 개발하던 韓道炭鑛, 富國炭鑛, 三星第一炭鑛이 있어 炭層의 走向延長을 따라 노두의 여러 곳에 坑道 및 地表探掘跡이 산재한다. 이 炭層은 膨縮이 심하여 10~300 cm의 폭을 보이고 있으며, 走向延長도 斷續的으로 발달하여 수십-수백m 정도를 보이나 약 3 km 정도가 追跡된다. 여기에서 産出되는 炭은

反射도와 硬度가 높은 것으로 보아 黑煙質 無煙炭으로 보인다. 이 炭層에는 높은 含量을 갖는 바나듐, 우라늄 및 몰리브데늄이 含有되어 있다.

炭層을 구성하는 主成分 元素들은 Al의 含量이 增加함에 따라 K와 Ti의 含量은 增加하며, Fe와 Mg의 含量은 미약한 減少 傾向을 보인다. 그러나 다른 元素들은 Al, Ba 및 V의 含量變化와 무관함을 보인다. 바나듐, 우라늄 및 몰리브데늄의 含量은 相對的으로 炭質이 우세한 層準에서 높으며 이들의 含量은 각각 123~8112 (平均 2125) ppm, 0.5~280 (平均 56) ppm, 1~870 (平均 214) ppm 이다 (Table 3). Al과 K 및 Ti의 關係는 含炭層에서 産出되는 白雲母의 含量과 關係가 있는 것으로서 白雲母의 含量이 높을 수록 Al과 K의 含量이 높다. 일반적으로 堆積岩은 Al 또는 Ba와 다른 元素들의 關係는 일정한 傾向을 보여주나, 위 地域에 分布하는 岩石에서는 아무런 傾向을 보이지 않는 것으로 보아 變成作用時의 熱과 壓力으로 인하여 地球化學的 在平衡 狀態에서 元素의 移動과 置換이 있었던 것으로 推定된다 (Matsubara *et al.*, 1990).

바나듐, 우라늄 및 몰리브데늄이 炭素와 地球化學的 聯關性을 가지고 있다는 것은 이미 잘 알려진 사실이며, 바나듐의 含量이 높을 수록 U, Mo 및 C의 含量도 增加하는 것이 일반적이다 (Breger, 1958; Fix, 1958; 金玉培, 田溶元, 1980; 李政成, 全孝澤, 1980; Northrop *et al.*, 1990a, 1990b). 그러나 이 地域의 炭層에 함유되어 있는 V, U 및 Mo는 相互關係 및 다른 主成分과 微量元素와의 관계에서도 특별한 傾向을 갖지 않으며 다만 變成泥質岩에서 보다 炭層에서 위 元素의 含量이 월등히 높음을 보여준다. 일반적으로 海水起源 堆積物의 Th/U 비는 0.1 미만으로 상당히 낮으나 (Vine, Tourtelot, 1970; Vassiliou, 1980), 이 地域의 炭層內에 含有되어 있는 Th/U의 비를 보면 富國炭鑛: 0.03~2.29 (平均 0.46), 三星第一炭鑛: 0.48~2.43 (平均 1.17), 韓道炭鑛: 0.08~16.60 (平均 2.54) 로서 상당히 넓은 範圍를 갖는다 (Table 3).

V, U 및 Mo를 含有한 炭層이 형성되기 위한 중요한 條件으로는 우선 炭層을 형성할 수 있는 植生이 잘 발달되어 있어야 하고, 堆積物內에 有機物의 含量이 높아야 하며, 堆積物 또는 空隙水에 상당량의 元素가 溶解되어 있어야 한다. 위와 같은 條件이 形成되기에는 熱帶 또는 亞熱帶의 비교적 鹽濃도가 높고 藻類의 生産력이 높은 沿近海底 環境이 적합하다 (Hansley, Spirakis, 1992; Wanty *et al.*, 1990). 이들은 酸化狀態의 元素나 이온으로 존재하다가 植物性 有機物의 炭化中에 生成되는 humic acid의 還元作用에 의하여 生成된 着鹽에 吸着, 이온 交換, 交質物 및 有機物과의 化合物을 이루며 농집된다

(Vine, Tourtelot, 1970; Northrop *et al.*, 1990a; Goldhaber *et al.*, 1990).

이 元素들은 續成作用 동안의 溫度와 壓力에 따라 自生하는 炭質物質, 粘土鑛物 및 層狀構造를 이루는 綠泥石, 雲母類등의 珪酸鹽鑛物內에 콜로이드 또는 元素狀態로 置換하거나 吸着되어 산출하며, 元素 또는 이온의 농도가 높을 경우에는 堆積物內에 농집되거나 퇴적물內에서 自生하는 鑛物로 산출된다 (Hansley, Spirakis, 1992). 한편 將軍鑛山 부근의 壯山珪岩層에 분포하는 바나듐은 珪岩의 造岩鑛物인 白雲母의 Al^(vi)를 置換하여 산출되는 것으로 알려져 있으나 (Imai *et al.*, 1980; 安建尙, 李鉉具, 1995), 이들의 生成過程에 관한 연구는 아직 不充分하다.

懷南地域의 炭層에서 산출되는 바나듐, 우라늄 및 몰리브데늄은 비교적 鹽濃도가 높은 盆地內에서 堆積物과 동시에 沈澱한 원소가 속성작용에 의하여 富化되었을 것으로 보이며, 廣域變成作用時의 높은 熱과 壓力에 의하여 黑煙質 炭質物에 흡착되거나 또는 雲母類의 특정원소를 置換하여 可能性을 시사하고 있다. 이 메카니즘에 관한 문제는 앞으로 이 지역의 廣域變成作用과 관련이 있는 鑛物의 化學的 연구를 통하여 檢討되어야 할 것으로 料된다.

辭 謝

이 연구는 韓國科學財團의 1996년도 前半期 研修支援 研究費에 의하여 이루어 졌음을 銘記하며 이에 感謝한다. 일부는 韓國科學財團 後援 戰略鑛物資源研究센터의 도움을 받았다. 原稿의 미비점에 관하여 세심한 指摘과 批評을 하여주신 高麗大學校의 崔善奎 教授께 깊이 感謝하며, 野外調査, 試料採取 및 分析에 많은 도움을 준 忠南大學校 地質學科의 金尙中, 庾鳳哲 碩士와 朴正喜 學士에게도 사의를 표한다.

參考文獻

- 金玉培, 田溶元 (1980) 沃川系 含우라늄 炭層中에 존재하는 우라늄의 成因에 관한 研究. 大韓鑛山學會誌, 17권, p.57-66.
- 金玉準, 李大聲, 李河榮 (1977) 韓國地質圖, 報恩圖幅 (1:50, 000) 및 說明書. 資源開發研究所, 35p.
- 金允圭, 李大聲, 宋允九, 金善億 (1988) 報恩地域 烏谷里 玄武岩에 含有된 超鹽基性 捕獲岩의 岩石學. 地質學會誌, 24권, 特別號, p.57-66.
- 大韓鑛業振興公事 (1991) V₂O₅ 成分分析結果書 (未發刊).
- 朴奉淳, 蘇七燮 (1980) 韓半島 沃川帶에 分布하는 含우라늄 層의 地質構造規制 및 造成鑛物과 우라늄 分布와의 相關關係 研究. 鑛山地質, 13권, p.215-227.
- 申美愛 (1996) 將軍鑛山 주변의 壯山珪岩層 中에 胚胎되는 바나듐 鑛床의 産狀과 오산화바나듐 (V₂O₅)의 제조 및 地

- 化學的 探查. 忠南大學校 大學院 地質學科, 理學碩士學位 論文, 74p.
- 安建尙, 李鉉具 (1995) 慶北 奉化郡에 分布하는 壯山珉岩層의 岩石學的 및 地球化學的 研究. 資源環境地質, 28권, p. 43-51.
- 李政成, 金相旭 (1985) 沃川系 含우라늄 炭質岩中の 우라늄의 存在狀態와 鑛物種. 鑛山地質, 18권, p.135-138.
- 李政成, 全孝澤 (1980) 沃川系 含우라늄 地層中の 우라늄과 他成分의 相關關係. 鑛山地質, 13권, p.241-246.
- 李商萬, 朴喜寅, 金洙鎮, 朴奉淳, 李相憲 (1981) 槐山郡 德平 地域 變成堆積岩內 胚胎된 우라늄鑛床의 成因. 地質學會誌, 17권, p.53-68.
- 韓國動力資源研究所 (1991) V_2O_5 成分分析成績表 (未發刊)
- Bell, R.T. (1978) Uranium in black shale (a review) in uranium deposits, their mineralogy and origin. University of Toronto Press, Toronto, p.307-329.
- Breger, I.A. (1958) Geochemistry of coal. Econ. Geol., v. 53, p.923-941.
- Chi, S.J., Kim, S.H. and Lee, P.K. (1985) Uranium occurrences in coaly meta-pelites in the Jinsan area. Jour. Kor. Inst. Mining Geol., v.18, p.1-9.
- Fix, C.E. (1958) Selected annotated bibliography of the geology and occurrence of uranium-bearing marine black shales in the United State. U.S.G.S., Bull., 1059-F, p.263-325.
- Goldhaber, M.B., Reynolds, R.L., Campbell, J.A., Wanty, R. B., Grauch, R.I. and Northrop, H.R. (1990) Genesis of the tabular-type vanadium-uranium deposits of the Henry basin, Utah. Part II, Mechanisms of ore and gangue minerals formation at the interface between brine and meteoric water. Econ. Geol., v.85, p.236-250.
- Hansley, P.L. and Spirakis, C.S. (1992) Organic matter diagenesis as the key to a unifying theory for the genesis of tabular uranium-vanadium deposits in the Morrison Formation, Colorado Plateau. Econ. Geol., v. 87, p.352-365.
- Imai, N., Lee, H.K. and Machida, M. (1980) Vanadium-bearing green mica from the Jangsan quartzite in the Janggun mine area, Republic of Korea. Clay Science, v.5, p.221-236.
- Matsubara, S., Saito, Y. and Kato, A. (1990) Vanadium minerals in siliceous sedimentary rocks from Unuma, Gifu Prefecture, Japan, with special reference to volborthite and roscelite. Jour. Min. Petro. Econ. Geol., v. 85, p. 522-530.
- Northrop, H.R., Goldhaber, M.B., Landis, G.P. and Unruh, J.W. (1990a) Genesis of the tabular-type vanadium-uranium deposits of the Henry basin, Utah. Part I, Geochemical and mineralogical evidence for the sources of the ore-forming fluids. Econ. Geol., v. 85, p.216-236.
- Northrop, H.R., Goldhaber, M.B., Whitney, G., Landis, G. P. and Rye, R.O. (1990b) Genesis of the tabular-type vanadium-uranium deposits of the Henry basin, Utah. Part III, Evidence from the mineralogy and geochemistry of clay minerals. Econ. Geol., v.85, p.250-269.
- Szilagyi, M. (1971) The role of organic material in the distribution of Mo, V and Cr in coal fields. Econ. Geol., v.66, p.1075-1078.
- Vassiliou, A.H. (1980) The form of occurrence of uranium in deposits associated with organic matter. Econ. Geol., v.75, p.609-617.
- Vine, J.D. and Tourtelot, E.B. (1970) Geochemistry of black shale deposits, A summary report. Econ. Geol., v.65, p.253-272.
- Wanty, R.B., Goldhaber, M.B. and Northrop, H.R. (1990) Geochemistry of vanadium in an epigenetic sandstone-hosted vanadium-uranium deposits, Henry Basin, Utah. Econ. Geol., v.85, p.270-284.