

慶北 봉화군에 分布하는 壯山矽岩層의 岩石學的 및 地球化學的 研究

안건상* · 이현구*

Petrological and Geochemical Studies on Quartzite from the Jangsan Quartzite Formation in the Bonghwa-Gun, Korea.

Kun Sang Ahn* and Hyun Koo Lee*

ABSTRACT: The Jangsan Quartzite is a basal unit of the Cambro-Odovician sequence, in Socheon-Myeon, Bonghwa-Gun, Gyeongsangbug-Do, South Korea, was petrologically and geochemically investigated. The quartzite consists mainly of quartz and muscovite, associated with tourmaline and graphite. The quartzite shows white and/or gray color and various green color in hand specimens. The white and gray colored rocks have very low vanadium contents, but a dark green colored rock contains 8960 ppm vanadium. The muscovites in the quartzite show colorless and green color, of which green ones range from pale blue green to pale green. The dark green colored muscovites have above 8 wt. % vanadium and pale green ones have 1-3 wt. % vanadium. Vanadium contents in muscovite increase with decreasing Al^{VI} contents. It suggests that vanadium substitutes for octahedral aluminium in muscovite. In general, it tends to large volumes of muscovite (up to 14 modal %) in deep green colored rocks, and high vanadium contents in their muscovites. Most of the muscovite flakes occur along the quartz boundaries and some are enclosed by quartz grain. The muscovite grains intergrowth each other in the former. The muscovite aggregates are divided into two types on the basis of their intergrowth(cut) times. Two cut times and one cut time are named T type and D type, respectively. The T type is mainly distributed at western part (near of the Chunyang granite), whereas the D type is distributed from middle to eastern part(near the Janggunbong) of the formation. The boundary is consistent with metamorphic isograd between andalusite and sillimanite zone by Ahn et. al. (1993).

서 론

慶北 봉화군에 위치한 將軍鎭山 북측에는 古生代 하부에 해당하는 壯山矽岩層이 分布된다. 이 층은 NW-SW 방향의 대상으로 分布되는데, 일부 矽岩 테일러스 중에는 바나듐이 다량으로 함유되어 있음이 이현구(1980)와 Imai et. al.(1980)에 의해 보고된 바 있다. 바나듐은 稀有元素로서 製鋼用, 무공해 자동차 배터리 제조용, 合金 觸媒劑, 合金鐵, 添加劑 및 化學工業用 觸媒劑 등 경제적으로 부가가치가 아주 높은 광물이다. 안건상 등(1993)은 이 지역의 變成作用을 연구하여, 矽岩層을 포함한 古生代 地層이 累進變成作用을 받았음을 밝혔다. 최근까지 바나듐을 포함하는 雲母의 生成原因, 즉 바나듐이 어떤 과정을 거쳐 矽岩내의 雲母에 배대되었는가에 대하여 관심이 집중되어 왔다. 이 연구는 바나듐의 생성원인에 대한 기본적인 연구로서 바나듐을 포함하는 矽岩과 포함하지 않는 矽岩으로 나누어, 그 野

外産狀과 岩石學的, 鑛物學的 특징을 중점적으로 고찰하고자 한다. 이를 위하여 矽岩層의 하부 礫岩層의 기질부 및 역, 테일러스와 노두에서 함바나듐 矽岩의 연장성을 추적하여 그 육안적 특징을 기재하고, 雲母類의 顯微鏡的 特徵과 化學組成을 비교 연구한다. 이 연구결과는 다른 지역에서 함바나듐 矽岩을 육안적으로 감별할 수 있는 지침이 될 것이며, 아울러 資源開發의 효과를 極大化하는데 寄與할 것이다.

주변 지질

본 연구지역은 嶺南陸塊의 동북단에 위치하며, 경상계의 북쪽에 인접한 지역이다. 연구 대상인 壯山矽岩層의 남측에는 斗音里層, 將軍石灰岩層, 東水谷層, 才山層이 矽岩層을 정합으로 피복하고 있으며, 북측에는 소규모의 花崗岩體와 栗里層이 分布한다. 서측은 중생대의 春陽花崗岩類(쥬라기)가 넓게 分布한다(Fig. 1). 古生代 누층군의 층리면과 片理面은 대부분 EW-NW의 주향을 가지고 分布하고 있다. 주변 지역의 층서, 지질시대 및 지질구조는 이현구(1980)의 논문을 인용하였다.

*충남대학교 지질학과 (Department of Geology, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea)

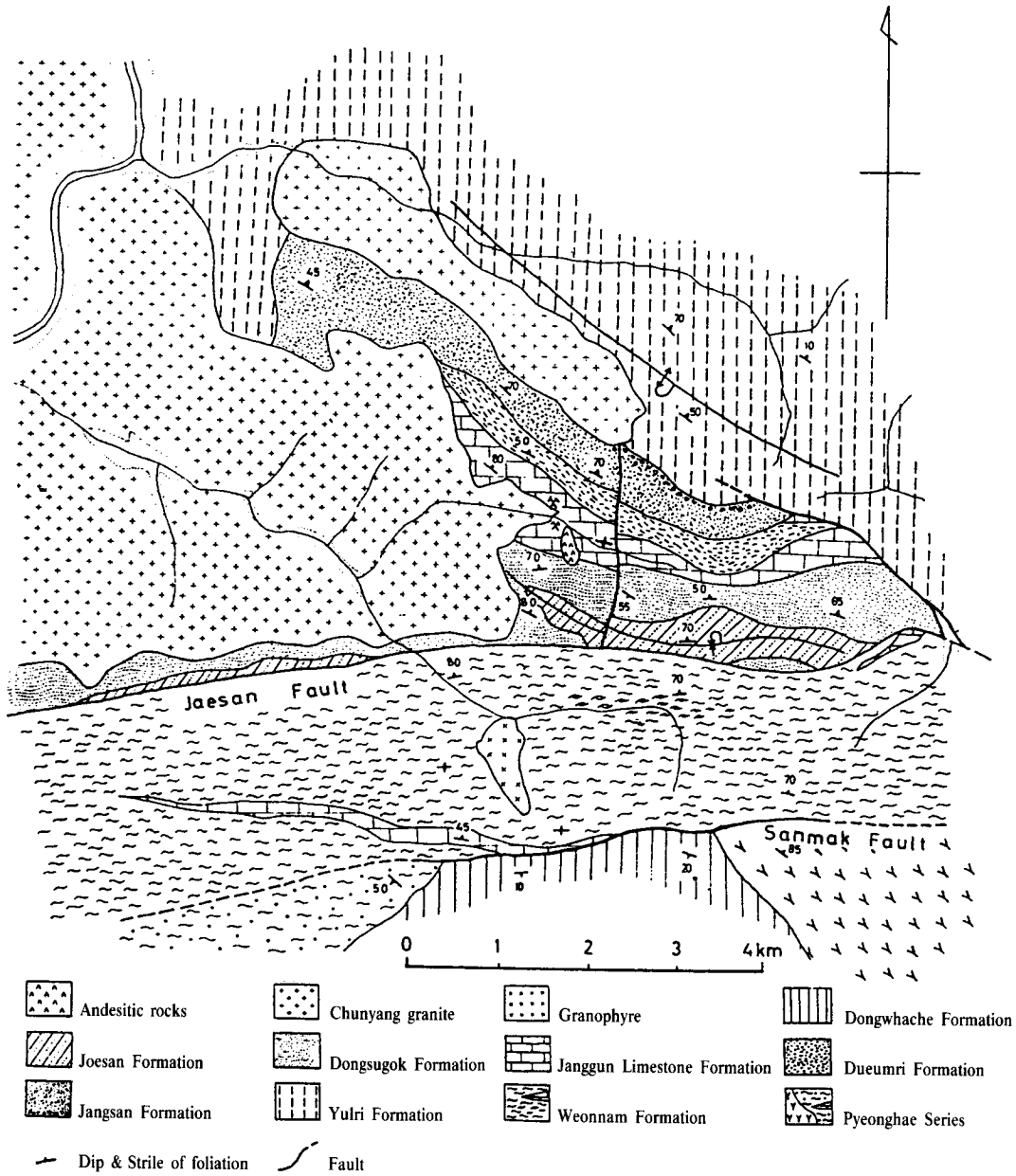


Fig. 1. Geologic map around the Jangsan quartzite formation (after Lee H.K, 1980).

壯山硅岩層의 북측 일부에서 부정합으로 피복되어 나타나는 중부 원생대의 울리층군은 북쪽에서 동쪽에 걸쳐 넓게 分布하며, 서측 일부는 春陽花崗岩과 접촉하고 있다. 構成岩類는 주로 砂質岩, 泥質岩이 變성된 千枚암이며, 再結晶된 石灰岩박층이 疊재되어 있다. 花崗岩體와의 接觸部 근처에서는 長徑이 10 수 mm 까지 成長한 紅柱石의 斑狀變晶이 관찰된다. 壯山硅岩層을 正합으로 皮복하고 있는 두음리층의 構成岩類는 이질 또는 사질원

片岩이며 두께가 얇은 수 매의 結晶質石灰岩이 疊재되어 있다. 構成鑛物은 石英, 白雲母, 黑雲母이며 곳에 따라 紅柱石, 十字石이 산출된다. 장군 연, 아연, 은광상을 배태하고 있는 將軍石灰岩층은 전반적으로 再結晶作用을 받고 있어, 結晶質石灰岩, 돌로마이트 및 돌로마이트질石灰岩 등으로 構成되어 있다. 동수곡층은 將軍石灰岩층을 평행부정합으로 덮고있는 석탄기 지층이다. 이 지층은 평안계의 홍점동에 대비되며, 構成岩類는 비교적 조립의

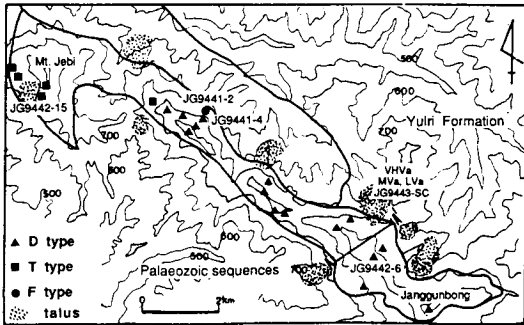


Fig. 2. Sample location, types of mica texture and talus distribution of the Jangsan quartzite formation. D type(triangle) distribute in western part and T type(square) distribute in western part (near large granite mass). One circle mark(F type) is a pebble in the quartzite formation.

이질 片岩이다. 주 構成 광물은 石英, 白雲母, 黑雲母이며 石榴石, 紅柱石, 十字石의 반정들이 관찰된다. 이 층에서는 藍晶石의 잔 유물이 관찰된다. 동수곡층을 정합으로 피복하는 재산층은 폐 립기에 해당하고, 평안누층군의 사동통에 대비되며(김옥준의, 1962), 1 매의 無煙炭層이 협재되어 있다. 본층의 構成岩類는 규질-이질암 기원의 變成岩류로서, 黑鉛-石英片岩, 白雲母片岩, 十字石-石英-白雲母片岩등으로 되어 있다.

주변 지역의 화성암류로는 서측에 광범위하게 발달한 春陽花崗岩체와 북측의 두음리, 울리에 이르는 계곡을 따라 NW-SE방향으로 관입한 소규모의 花崗岩體, 염기성암맥 및 그라노파이어등이 있다. 상기의 두 花崗岩體는 모두 白雲母를 이용한 K-Ar年代는 $136 \pm 4.2 \sim 147 \pm 4.5$ Ma(이현구의, 1992)로서 侏羅기의 大寶花崗岩에 해당된다. 이들 花崗岩類는 조립 내지 중립질의 複雲母花崗岩과 우백질 白雲母花崗岩, 그리고 세립의 角閃石花崗岩으로 構成되어 있다.

壯山矽岩層의 產狀

본 층의 構成岩類는 야외관찰시 백색, 담황색, 담갈색을 띠며, 白雲母를 함유한 견고한 괴상의 矽質岩이다. 그러나 이러한 암색은 풍화면의 색으로서, 절단된 면에서는 대부분 백색, 유백색, 회색을 나타내며, 깨진 틈을 따라서는 풍화면과 유사한 담황색, 담갈색을 부분적으로 나타낸다. 또한 전체적으로는 괴상의 矽質岩이나 곳에 따라서는 片理의 발달이 현저한 白雲母-石英片岩이 分布한다. 構成鑛物은 주로 石英과 白雲母이고, 때로는 電氣石, 黑鉛을 수반하며 소량의 자철석, 저어론을 함유한다. 본층의 하부에는 綠色雲母를 함유하여 전체적으로 綠色을 띠는 矽質岩이 발달한다. 矽岩層의 북동쪽 사면의 울리층군의 경계부근에는 몇 개의 층준에 렌즈상으로 신장된 역(최대 장축 20 cm)들이 발달한다. 역은 矽質岩으로서 회색과 유백색이 대부분이지만 드물게

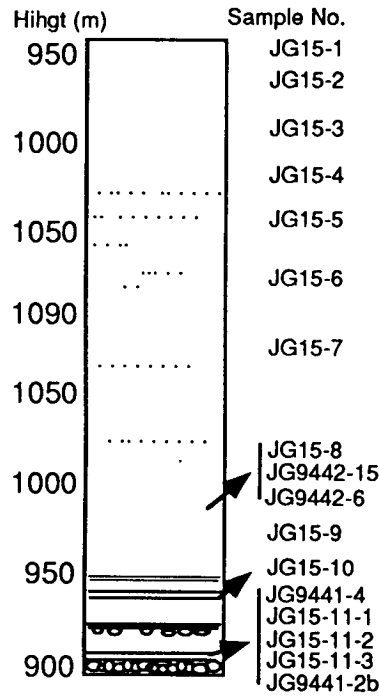


Fig. 3. A columnar section of the Jangsan quartzite formation.

열은 綠色을 띠는 試料도 산출된다. Fig. 2는 矽岩層 주변을 확대하여, 테일러스의 위치와 試料채취 위치 등을 표시하였다.

構成岩類의 야외산출상태를 설명하기위하여 모식적인 주상도(Fig. 3)를 그렸으며, 이는 주로 그림 2의 횡단관측선 A-A'를 참고하였다. 주상도의 좌측 수치는 해발고도를 나타내며, 우측 번호는 試料 번호이다. 주상도에서 최하부에 해당하는 부분은 礫岩層으로서 역의 장경은 3~15 cm이며, 대부분 원마도가 높고, 소량의 雲母를 포함한 백색, 회색의 矽質岩이다. 그러나 試料 JG15-11-3은 綠色의 역으로 片理가 발달하여 있으며, 이 역을 둘러싸고있는 기질부에는 2cm의 綠色띠가 나타나는데 역에서 멀어질수록 색은 옅어진다. 이와 유사하게 열은 綠色을 띠는 규질역(JG9441-2b, 장경 12cm, 단경 6cm)이 제비산과 장군봉 사이의 중간 지점인 표고 710 M 부근에서도 산출된다. 이 함역층을 덮고 있는 암석(JG15-11-2)은 白雲母를 다량 포함한 백색 矽質岩이며 片理가 잘 발달하여 있다. 그 상부는 우백질의 견고한 矽質岩이 산출된다(JG15-11-1). 이와 유사한 試料로서 전암분석에 이용한 試料가 JG9441-4이다. 표고 930 M 부근에는 片理가 발달한 밝은색 암석(JG15-10-2)이 폭 약 50 cm로 산출하는데, 열은 綠色이 우세한 부분과 담황색이 우세한 부분이 있으며 그 경계선은 불규칙하다. 이의 상부는 백색-회색을 띠는 괴상의 矽質岩(JG15-10-1)이다. 표고 950 M에서 능선의 북쪽 1070 M 까지는 유백색 내지 백색의 암석으로 미약한 片理를 보인다. 또한 크기가

Table 1. Major and trace element analyses of the Jangsan quartzites (by XRF).

	VHVa	9443-SC	9441-4	9442-6	9442-15
SiO ₂	88.88	45.16	93.14	93.42	93.41
TiO ₂	0.07	0.38	0.00	0.05	0.03
Al ₂ O ₃	5.07	36.86	2.30	3.06	2.67
Fe ₂ O ₃	0.20	0.43	0.46	0.33	0.38
MnO	0.00	0.84	0.00	0.02	0.00
MgO	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
CaO	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	1.53	10.93	0.77	0.87	0.77
P ₂ O ₅	0.00	0.09	0.62	0.00	0.00
Total	95.77	95.09	97.31	97.77	97.28
Ba	0.00	1625.00	0.00	0.00	0.00
Rb	19.00	317.00	13.00	11.00	9.00
Sr	40.00	663.00	60.00	28.00	28.00
Th	2.00	6.00	4.00	4.00	2.00
Y	3.00	36.00	1.00	0.00	3.00
Zr	63.00	150.00	61.00	25.00	63.00
Lu	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
Yb	0.19	0.92	0.07	0.10	0.16
Tm	0.01	0.09	0.00	0.00	0.01
Er	0.17	0.85	0.07	0.11	0.14
Ho	0.07	0.34	0.03	0.05	0.06
Tb	0.09	0.38	0.06	0.06	0.06
Gd	0.95	2.48	0.95	0.71	0.58
Eu	0.23	1.19	0.23	0.20	0.12
Sm	1.57	5.30	1.57	1.39	0.71
Nd	9.16	43.45	9.16	10.10	2.85
Pr	2.88	12.30	2.88	3.48	0.87
Ce	26.31	107.42	26.31	40.34	5.00
La	13.51	48.50	13.51	17.82	3.25
*V	1759.99	8959.99	15.79	18.29	30.69
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.717917	0.978566	0.717917	0.735499	0.738412

*V; vanadium contents of separated muscovites. (analysis by ICP)

0.5 mm 이하인 電氣石들이 분산 分布하거나, 폭 1 mm 내외로 집중되어 나타나기도 한다(試料JG15-7, 8, 9). 이와 유사한 試料로서 電氣石 분석과 EPMA 분석에 이용한 試料가 JG9442-6(장군봉 근처)와 JG9442-15(제비산 근처)이다. 능선에서 서쪽으로 가면서 암석이 회색으로 바뀌는데, 이는 회색의 石英을 다량으로 함유하고 있기 때문이다. 이들은 약한 片理를 나타내며, 白雲母의 含量이 적고 電氣石이 집중되어 나타나는 부분이 많다(JG15-6, 5, 4-3). 試料JG15-4-2를 경계로 암색은 백색 내지 유백색으로 바뀌어 산출된다(JG15-4-1, JG15-3, 2, 1). 이 지역에는 지질도에 표시할 수 있을 정도의 면적을 가진 테일러스가 여러곳 있다. 전석들의 크기는 수십 m 에서 수 cm에 이르기까지 다양하며, 대부분은 유백질 내지 회색이다. 그러나 북쪽에서 울리층과의 경계부에 있는(試料 VHVa, MVa, LVa, JG9443-SC 채취 장소) 테일러스의 전석들은 綠色을 나타낸다. 이들 綠色을 띠는 試料는 암색에 따라 편의상, 엷은 綠色 試料를 VLVa, 중간정도의 綠色

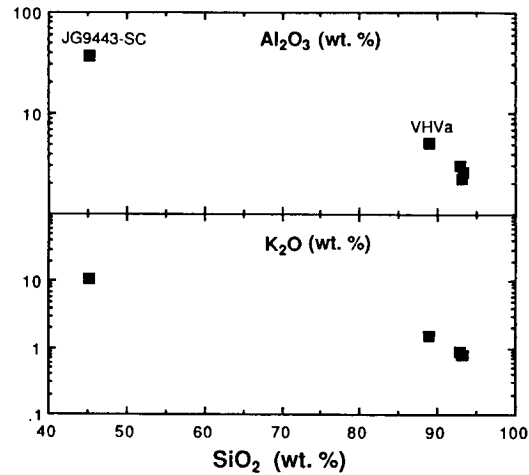


Fig. 4. Variation diagrams of Al₂O₃ and K₂O versus SiO₂ in the quartzites.

試料는 MVa, 아주 진한 綠色試料는 VHVa로 기재하였다. 試料 LVa에는 작은 石英맥들이 골고루 分布하며, 試料 VHVa에는 직경 2 cm 정도의 역들이 존재한다. 동일 테일러스의 전석인 JG 9443-SC은 미세한 片理가 발달하고 雲母의 양이 현저히 많아 쉽게 부스러진다. 이 지역의 矽岩層에서 綠色을 띠는 암석은 일부 테일러스의 전석에 집중되며, 礫岩層을 피복하고 있는 층에서 산출되나 그 연장성은 불량하다.

矽岩의 지구화학적 특징

본 지역에서 산출되는 대표적인 矽岩 全岩에 대한 主成分과 稀土類 元素를 포함한 미량元素는 일본 Tsukuba대학의 나츠키 박사에게 의뢰하여 分析하였다. 전암성분은 XRF법으로, 미량元素는 HPLC 및 Cation Exchange Column Method로 결정하였다. Table 1은 그 결과 값과 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr의 비를 나타냈다. 전암分析을 위한 試料로는 綠色을 띠는 암석 중에서 VHVa와 JG9443-SC를, 백색 내지 유백색을 띠는 암석은 지역적 특성을 고려하여 JG 9442-6(동측-장군봉 근처), JG9441-4(중간지점), JG9442-15(서측-제비산 근처)를 선정하였다.

矽質岩에서 主成分의 특징은 SiO₂가 含量이 현저히 높으며, Al₂O₃가 2~3 wt.%, K₂O가 1wt.% 내외이며 나머지 성분은 미미한 含量을 보이고 있다. 이 화학분석치는 構成礦物 중 SiO₂는 석영의 존재를, Al₂O₃와 K₂O는 白雲母의 구성량과 밀접히 관련된 것을 의미한다. 그러나 녹색 백운모가 전체의 98%를 차지하는 암석 JG9443-SC는 높은 SiO₂(45.15 wt.%), Al₂O₃(36.9 wt.%), K₂O(10.9 wt.%)로 전자와는 뚜렷이 구분된다. Fig. 4는 SiO₂과 Al₂O₃, K₂O의 관계를 나타낸 것인데, SiO₂ 含量이 높을수록 다른 성분의 含量도 높음을 보여준다. 유사한 광물조성을

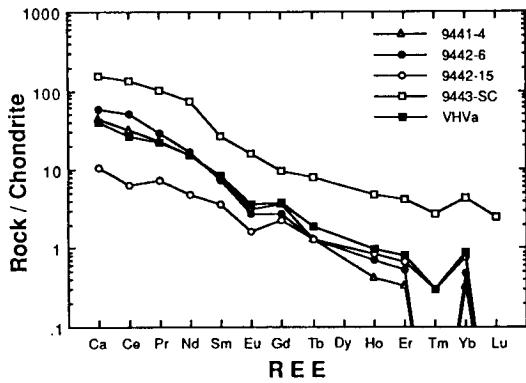


Fig. 5. Chondrite-normalized REE abundances pattern of the quartzites.

가진 VHVa와 유백색 試料사이에서도 전암조성상 차이가 있음을 보여준다. 稀土類 元素의 含量 역시 JG9443-SC가 다른 암석에 비해 높은 含量을 나타낸다. 또한 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 비에 있어서도 JG9443-SC가 0.25 정도 높다. 이는 다른 암류에 비해 보다 고기에 만들어진 암석의 잔류물임을 암시한다. Fig. 5는 콘드라이트 값 (Henderson, 1984)으로 표준화(normalize)한 稀土類 元素의 含量변화를 나타낸 것인데, HREE에 비해 LREE가 더 부화된 패턴을 보인다. JG9443-SC綠色片岩의 REE는 다른 암류에 비해 상당히 부화되어 나타난다. JG9442-15는 다른 矽質岩에 비해 LREE가 결핍되어 있으나, HREE는 유사한 패턴을 갖는다. 이러한 패턴의 차는 矽岩의 生成환경을 해석할수 있는 중요한 자료로 보여지며, 지속적인 검토가 요청된다.

試料VHVa에서 분리된 白雲母들은 1760 ppm의 바나듐을 함유하고 있다. 이러한 수치는 백색 내지 유백색을 나타내는 矽岩의

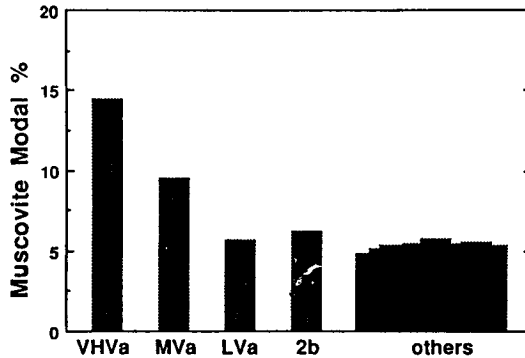


Fig. 6. Modal percent of muscovites in the Jangsan quartzites. VHVa, MVa and LVa are green colored rocks. 2b(specimen JG9441-2b) is a pebble. Others are white and/or gray colored rocks.

白雲母에 비하면 대단히 높은 값이다. 즉, 이들 밝은색 암류의 白雲母가 가진 바나듐 含量은 16~18 ppm으로서 아주 미미한 값이다. (JG9441-4 : 16 ppm, JG9442-6 : 18 ppm, JG9442-15 : 30 ppm) 한편, 98 모달%가 雲母로 構成된 JG9443-SC에서 분리된 雲母에는 약 8960 ppm의 바나듐이 함유되어 있어, 이 지역에서 산출되는 암류 중에서 최대값을 나타내며, VHVa의 白雲母 보다 5배 이상이다. 높은 바나듐含量, 產狀과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 비를 고려할때, JG9443-SC와 같은 운모편암류가 이지역 矽質岩에 바나듐 成分을 공급했을 가능성도 있다.

矽岩에서 白雲母의 조직

矽岩을 構成하는 광물은 주로 石英과 白雲母이며, 電氣石과 저어콘을 수반하는 경우도 있다. 드물게 소량의 黑雲母가 산출

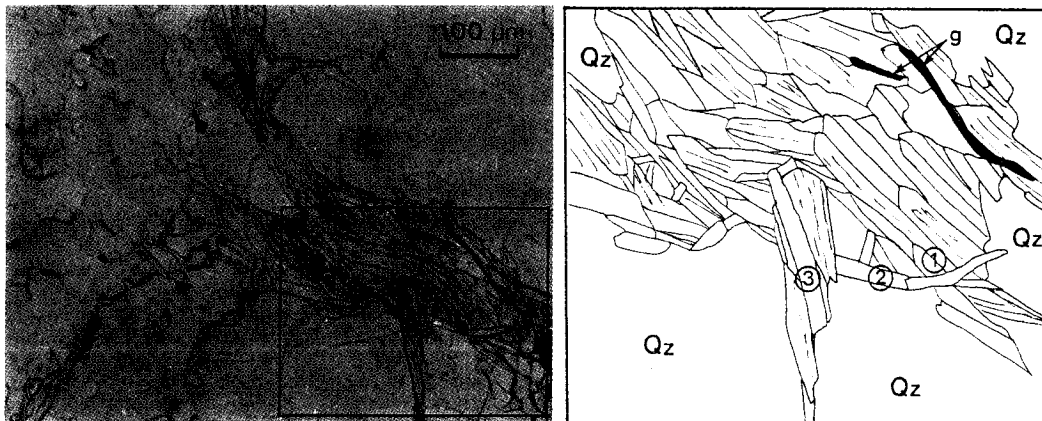


Fig. 7. A photomicrograph of the quartzite(JG9442-15) and a petrographic sketch of muscovite and coexisting mineral. Numbers in the sketch are order of mineral formation. Two black bands are graphites. A small grain in upper right part of sketch is quartz inclusion.

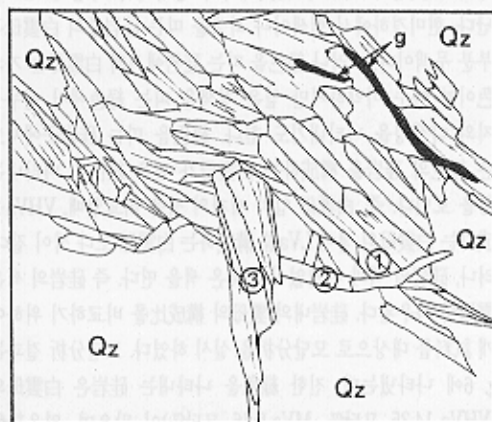
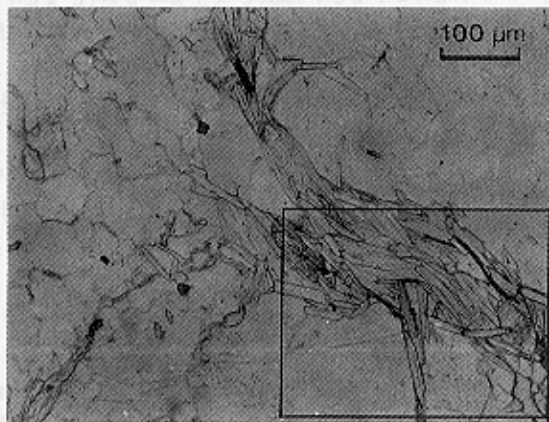


Fig. 7. A photomicrograph of the quartzite(JG9442-15) and a petrographic sketch of muscovite and coexisting mineral. Numbers in the sketch are order of mineral formation. Two black bands are graphites. A small grain in upper right part of sketch is quartz inclusion.

Table 2. Representative electron microprobe analyses of muscovites in the Jangsan quartzite.

	VHVa					MVa				
	1	2	3	5	6	21	22	25	26	27
SiO ₂	44.93	45.26	45.60	44.69	45.78	45.59	46.43	46.26	46.61	46.73
TiO ₂	0.13	0.09	0.17	0.06	0.14	0.34	0.21	0.27	0.20	0.21
Al ₂ O ₃	27.08	27.30	27.40	26.84	26.94	31.67	32.16	32.38	32.87	32.27
FeO	0.52	0.97	0.26	0.54	0.58	0.96	0.49	0.63	0.68	0.91
MnO	0.21	0.06	0.14	0.00	0.00	0.04	0.15	0.00	0.07	0.02
MgO	0.34	0.87	0.88	0.93	0.94	0.21	0.18	0.29	0.46	0.52
Cr ₂ O ₃	0.13	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.11	0.12	0.00	0.13
V ₂ O ₅	9.60	8.88	8.79	8.95	8.77	2.51	2.68	2.25	2.16	2.10
CaO	0.01	0.00	0.05	0.10	0.00	0.10	0.04	0.07	0.00	0.13
Na ₂ O	0.21	0.25	0.31	0.21	0.29	0.38	0.29	0.26	0.28	0.43
K ₂ O	8.77	9.99	9.69	8.91	9.84	9.95	10.02	10.38	10.31	10.14
Total	91.93	93.67	93.28	91.23	93.37	91.76	92.76	92.91	93.64	93.59
Cations per 22 oxygens										
Si	6.314	6.287	6.323	6.322	6.354	6.321	6.348	6.324	6.314	6.343
Al(IV)	1.686	1.713	1.677	1.678	1.646	1.679	1.652	1.676	1.686	1.657
Al(VI)	2.799	2.757	2.801	2.796	2.761	3.496	3.53	3.541	3.562	3.506
Ti	0.013	0.01	0.017	0.006	0.015	0.036	0.022	0.027	0.021	0.021
Fe	0.061	0.113	0.031	0.064	0.067	0.111	0.056	0.072	0.077	0.104
Mn	0.024	0.007	0.016	0	0	0.005	0.017	0	0.008	0.002
Mg	0.071	0.179	0.181	0.196	0.195	0.044	0.037	0.060	0.094	0.104
Cr	0.015	0	0	0	0.011	0	0.012	0.013	0	0.014
V	1.081	0.989	0.977	1.016	0.976	0.279	0.294	0.247	0.234	0.229
Ca	0.002	0	0.007	0.015	0	0.015	0.005	0.011	0	0.019
Na	0.058	0.069	0.085	0.057	0.079	0.103	0.078	0.069	0.073	0.112
K	1.572	1.77	1.715	1.608	1.742	1.76	1.748	1.810	1.781	1.756
Total	13.698	13.893	13.831	13.759	13.845	13.848	13.799	13.849	13.851	13.867

*Total Fe as FeO.

한다. 珪岩에 발달한 약한 片理에 수직으로 절단한 片理에서, 雲母 결정들은 대부분 좁고 긴 주상의 결정들이 거의 평행하게 밀집되어 石英 입자 사이를 충전하여 나타난다. 또한 짧은 판상의 결정들이 밀집되어 산출하기도 하며, 작은 주상 내지 판상의 결정이 石英입자 내부나 石英사이의 경계에서 독립적으로 나타난다. 현미경하에서 백색이나 회색을 띠는 珪岩중의 白雲母는 대부분 무색이다. 그러나 綠色을 띠는 珪岩에서의 白雲母는 거의 綠色이며 아주 미약하지만 열은 청색을 띠는 綠色에서 연두색까지의 다색성을 나타내기도 한다. 綠色을 띠는 珪岩중에서도 짙은 綠色의 珪岩을 構成하는 白雲母가 짙은 綠色을 나타내는 경향을 보인다. 즉, 白雲母 입자 개개의 색을 비교할 때, VHVa를 構成하는 白雲母의 색이 LVa를 構成하는 白雲母 보다 색이 짙다. 그러나, 珪岩의 색과 관계없이 石英은 색을 띠다. 즉 珪岩의 색은 白雲母에 좌우된다. 珪岩내의 雲母의 構成比를 비교하기 위하여 20개 試料를 대상으로 모달分析을 실시 하였다. 모달分析 결과는 Fig. 6에 나타냈는데, 진한 綠色을 나타내는 珪岩은 白雲母의 량(VHVa-14.35 모달%, MVa-9.46 모달%)이 많으며, 열은 綠色이나 백색 내지 회색을 띠는 珪岩에서 白雲母 량(5-6 모달%)은 적다. 요약하면, 백색이거나 열은 綠色을 띠는 珪岩과 비교할 때,

짙은 綠色을 띠는 珪岩에서는 白雲母 단일 결정의 색도 짙으며, 白雲母가 차지하는 構成比도 높다.

珪岩 내에 발달한 白雲母 결정들은 石英 내에 포획된 것과 雲母들 끼리 서로 절단하며 成長한 것이 있다. 후자의 경우 Fig. 7과 같이 2회 절단하며 成長한 것이 있으며, 1회만 절단하며 成長한 경우가 있다. 동일 片理내에서 石英 내에 포획된 白雲母 결정이 白雲母들 끼리 절단하며 成長된 경우, 어느 결정과 같은 시기 일 수도, 전혀 별개의 시기일 수도 있으나 여기서는 판단이 어렵다. 그러나 白雲母들은 적어도 3회(2회 절단의 경우) 또는 2회(1회 절단의 경우)에 걸쳐 成長한 것이 확실하다. 여기서 편 의상 전자를 T 타입, 후자를 D 타입으로 기재하며, 그 지역적 分布를 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2에서 T 타입은 서측의 춘양 화강암체와 가까운 제비산을 중심으로 分布하며, D 타입은 층의 중간에서 장군봉근처의 동측까지 分布함을 볼 수 있다. 흥미로운 사실은 이들 사이의 경계가, 안건상 등(1993 - Fig. 4)이 제시한 變成分帶의 紅柱石帶(Andalusite zone)와 珪線石帶(Sillimanite zone) 사이의 아이소그라드(Isograd)와 일치한다는 점이다. 紅柱石帶는 이 지역에서 가장 고온의 변성정도를 나타내며, 珪線石帶는 珪線石帶 보다는 낮은 변성도를 나타낸다. 이 사실은 타

Table 2. continued.

	LVa					JG9442-15				
	29	32	34	38	39	12	13	14	15	19
SiO ₂	46.86	45.97	46.51	46.44	46.75	45.63	46.04	46.19	46.42	46.76
TiO ₂	0.46	0.02	0.20	0.03	0.42	0.28	0.32	0.45	0.28	0.42
Al ₂ O ₃	32.92	33.45	32.63	32.74	32.81	32.93	32.97	33.42	34.04	33.36
FeO	0.61	0.45	0.55	0.76	0.75	2.29	1.93	1.63	2.10	1.65
MnO	0.00	0.00	0.07	0.17	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.48	0.27	0.33	0.33	0.47	0.18	0.07	0.22	0.10	0.17
Cr ₂ O ₃	0.03	0.16	0.00	0.02	0.00	0.25	0.00	0.24	0.00	0.06
V ₂ O ₅	1.30	1.06	1.11	1.26	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.12	0.00	0.05	0.00
Na ₂ O	0.27	0.35	0.32	0.37	0.42	0.92	0.96	0.90	0.95	0.75
K ₂ O	10.32	10.00	9.99	10.20	10.10	9.94	10.28	9.70	10.26	9.81
Total	93.24	92.72	91.71	92.33	92.93	92.45	92.68	92.75	94.19	92.97
Cations per 22 oxygens										
Si	6.352	6.318	6.394	6.366	6.358	6.288	6.324	6.305	6.271	6.358
Al(IV)	1.648	1.682	1.606	1.634	1.642	1.712	1.676	1.695	1.729	1.642
Al(VI)	3.612	3.737	3.680	3.655	3.618	3.637	3.661	3.682	3.69	3.704
Ti	0.047	0.002	0.021	0.003	0.043	0.029	0.033	0.046	0.028	0.043
Fe	0.069	0.051	0.064	0.088	0.085	0.264	0.221	0.186	0.238	0.188
Mn	0	0	0.008	0.02	0.01	0.004	0	0	0	0
Mg	0.098	0.055	0.068	0.066	0.096	0.038	0.014	0.045	0.019	0.034
Cr	0.003	0.018	0	0.003	0	0.027	0	0.026	0	0.007
V	0.141	0.117	0.122	0.139	0.123	0	0	0	0	0
Ca	0	0	0	0.003	0	0	0.018	0	0.007	0
Na	0.071	0.094	0.085	0.098	0.111	0.246	0.254	0.237	0.249	0.197
K	1.784	1.753	1.751	1.784	1.753	1.748	1.802	1.690	1.768	1.701
Total	13.826	13.827	13.800	13.857	13.839	13.992	14.003	13.911	14.000	13.875
JG9442-6										
	50	51	52	53	55	JG9441-2b				
						62	63	64	65	68
SiO ₂	46.18	46.76	45.61	45.98	46.54	46.81	46.85	45.66	45.64	45.72
TiO ₂	0.19	0.37	0.17	0.22	0.10	0.29	0.51	0.64	0.28	0.36
Al ₂ O ₃	33.77	33.03	32.74	33.56	33.38	32.30	32.87	32.54	31.57	31.68
FeO	1.38	1.14	1.35	0.83	0.87	2.20	2.24	2.21	2.20	2.11
MnO	0.00	0.00	0.05	0.10	0.07	0.05	0	0	0.08	0.19
MgO	0.31	0.30	0.46	0.24	0.43	0.14	0.26	0.33	0.29	0.27
Cr ₂ O ₃	0.00	0.08	0.02	0	0	0.37	0.59	0.24	0.77	0.19
V ₂ O ₅	0.00	0.00	0	0	0.04	0	0	0	0.23	0.22
CaO	0.00	0.04	0	0.11	0	0	0.21	0.06	0	0
Na ₂ O	0.54	0.48	0.54	0.48	0.51	0.85	0.72	0.85	0.57	0.73
K ₂ O	10.43	10.20	9.80	10.09	10.04	9.80	9.64	9.66	9.71	9.84
Total	92.81	92.42	90.73	91.59	91.89	92.79	93.90	92.18	91.33	91.29
Cations per 22 oxygens										
Si	6.304	6.390	6.350	6.331	6.377	6.406	6.338	6.299	6.363	6.376
Al(IV)	1.696	1.61	1.65	1.669	1.623	1.594	1.662	1.701	1.637	1.624
Al(VI)	3.738	3.71	3.724	3.778	3.769	3.616	3.579	3.59	3.551	3.583
Ti	0.02	0.038	0.018	0.023	0.100	0.03	0.052	0.066	0.029	0.037
Fe	0.157	0.131	0.157	0.095	0.090	0.251	0.253	0.255	0.256	0.246
Mn	0	0	0.006	0.011	0.008	0.006	0	0	0.009	0.023
Mg	0.064	0.062	0.095	0.050	0.089	0.028	0.053	0.068	0.06	0.055
Cr	0	0.008	0.002	0	0	0.040	0.063	0.026	0.085	0.021
V	0	0	0	0	0.004	0	0	0	0.026	0.024
Ca	0	0.006	0	0.016	0	0	0.03	0.008	0	0
Na	0.142	0.128	0.145	0.127	0.134	0.226	0.189	0.229	0.154	0.197
K	1.817	1.778	1.741	1.772	1.756	1.711	1.664	1.700	1.728	1.75
Total	13.938	13.861	13.888	13.872	13.859	13.908	13.884	13.941	13.898	13.936

* Total Fe as FeO.

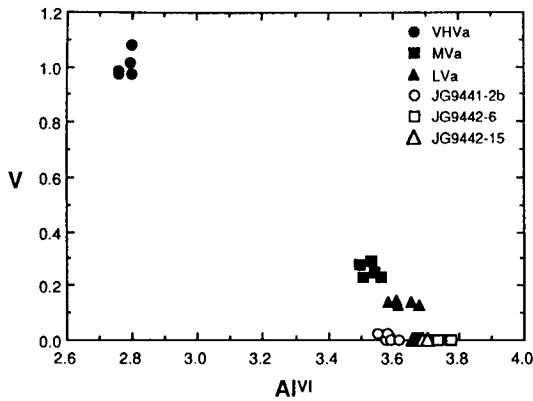


Fig. 8. Vanadium versus Al^{VI} diagram displaying vanadium contents in muscovite increase with decreasing Al^{VI} contents.

입의 변화는 변성작용의 회수를 지시한다기 보다는, 누진변성 작용시 열의 계속적인 상승에 따라 여러번에 걸쳐 결정이 성장한 것으로 해석할 수 있다. 그림에서 F 타입으로 표시한 것은 규암역인 試料 JG9441-2b로서, 白雲母의 절단 成長이 최대 4회까지 관찰된다. 여기서 가장 오래된 白雲母는 아마도 변성작용 이전에 만들어진 결정(역의 원암)의 잔류물로 판단된다.

白雲母의 化學組成

分析방법 및 조건

白雲母의 광물分析은 고려대학교 전라광물연구센터의 에너지분산형 JXA-8600SX 전자현미分析기를 이용하였다. 分析조건은 가속전압 15 kV, 試料전류는 2.0×10^{-8} A, 측정시간은 100 sec, calibration은 Ni, Tilt는 40°, 전자빔의 직경은 3 μ m이다. 元素의 표준試料는 다음과 같은 결정 내지는 금속을 사용하였다. Si; SiO₂, Fe; Fe₂O₃, Mg; MgO, Mn; MnSiO₃, K; KAlSi₃O₈(sanidine), Ca; MgCaSi₂O₆(diopside), Ti; TiO₂(rutile), Al; Plagioclase(15.10 wt.% Al), Na; albite(8.60 wt.% Na), Cr; PbCrO₄(crocoite), V; Vanadium metal.

硅質岩류에서 분리된 白雲母들의 含量은 충남대학교 지질학과에 설치된 Liman Labs.사의 ICP를 이용하여 측정하였으며, 그 결과는 표 1에 첨부하였다. 白雲母와 石英의 분리는 자성분리기(magnetic separator)를 이용하였다.

試料의 선택

EPMA 分析한 試料는 세 개의 綠色硅岩(VHVa, MVa, LVa), 백색 내지 회색을 띠는 두개의 硅岩(JG9442-15, JG9442-6)과 열은 綠色을 띠는 역(JG9441-2b)으로 모두 6試料이다. 세 개의 綠色硅岩들은 모두 전석이며, JG9442-15은 체비산 근처, JG9442-

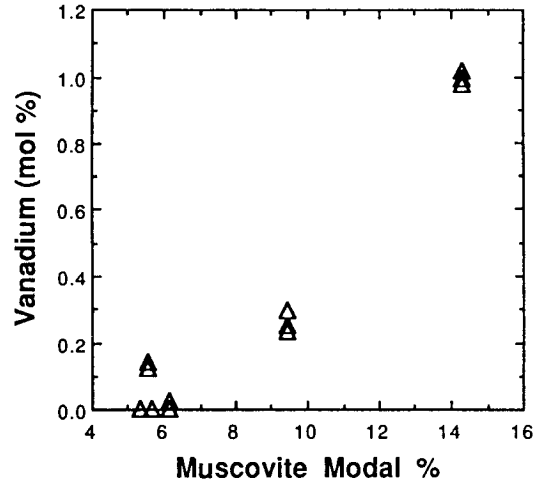


Fig. 9. Vanadium(wt. %) versus muscovite contents(modal %) in the quartzites.

6은 장군봉 근처에서 채취한 노두 試料이다. JG9441-2b에는 백색과 綠色의 雲母가 동일 박편 중에 공존하며, 백색 雲母의 양이 더 많다.

分析된 白雲母의 化學組成 중에서 대표적인 5개씩의 分析값을 Table. 2에 요약하였다. 전체적으로 白雲母의 SiO₂ 含量은 45~47 wt.%, K₂O는 9~10 wt.%로 모두 유사하다. 그러나 Al₂O₃는 약 27 wt.%에서 34 wt.%까지 변하며, V₂O₅ 또한 9.6 wt.%에서 0 wt.% 까지 다양하다. 含量에 관한 한 가장 짙은 綠色을 띠는 硅岩(VHVa)의 雲母가 최대로서 다른 綠色岩(MVa, LVa)의 4~6배인 약 9 wt.% 정도이다. 그 외 성분들은 含量도 적을 뿐 아니라 변화폭도 적다.

전 절에서 白雲母 들은 서로 절단하면서 成長한다고 기재하였는데, 각각의 白雲母 결정 사이의 化學組成은 큰 차이를 보이지 않는다. 즉, 동일 박편 내의 백운모는 유사한 含量을 나타낸다. 이는 누진변성을 받는 동안 성분의 동일화가 일어난 것으로 해석할 수 있다. 그러나 試料 VHVa에서 石英 내에 포획된 白雲母는 石英들의 결정 경계면에서 밀집되어 있는 白雲母들보다 약간 많은 含量을 함유한다. 또한 JG9441-2b의 무색 투명한 雲母는 含量이 확인되지 않았으나, 약한 綠色을 띠는 雲母는 최대 0.3 wt.%의 含量을 함유한다.

Fig. 8에서 含量과 Al^{VI}사이에는 좋은 상관관계를 보여 주고 있는데, 이는 雲母의 2M₁ 구조내에서 含量이 알루미늄을 置換하였음을 의미한다. Fig. 9는 硅質岩에서 雲母 構成比와 白雲母 내의 含量과의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 雲母의 構成比가 높은 암석에서의 雲母 單一結晶 내의 含量이 높다. 요약하면, 노두에서 암석이 짙을수록, 포함된 개개의 白雲母의 색도 짙으며, 白雲母가 차지하는 構成比도 높고, 그

白雲母에서의 바나듐 含量도 높다.

결 론

矽岩을 構成하고 있는 雲母들의 조직으로 보아 적어도 운모 결정은 2회 이상 成長하였으며, 그 成長횟수로써 D타입과 T타입으로 나누었다. 成長횟수가 많은 T타입은 春陽花崗岩와 가까운(북측에 분포하는 소규모의 암체와 다름) 층의 서측의 矽岩에서 주로 나타나며, D타입은 층의 중간 부분에서 동부(장군봉근처)까지의 규암에서 주로 나타난다. 이러한 分布는 춘양화강암에 가까울수록 變성도가 증가하는 안건상(1993)의 變成分帶경계선과도 잘 일치한다.

가장 짙은 綠色을 띠는 矽岩이 가장 많은 바나듐을 함유하며, 이 矽岩을 構成하고 있는 雲母가 최다량의 바나듐을 함유하고 있어, 다른 綠色岩의 4~6배인 약 9 wt.% V₂O₅ 정도이다. EPMA 분석결과, 동일 片편내에 공존하는 개개의 雲母 結晶들이 갖는 바나듐함량은 그 조직과 관계없이 거의 유사하다. 綠色矽岩에서 巴나듐의 含量은 白雲母의 構成比와도 관계가 있다. 즉, 白雲母의 量이 많은 암석에서의 雲母 單一結晶내의 巴나듐含量이 높다. 雲母내의 巴나듐 含量은 Al^{VI}과 좋은 상관관계를 보여 주어, 巴나듐 成分이 Al 成分을 置換하였음을 보여준다. JG9443-SC의 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 비(0.9785)가 다른 綠色 矽岩들(0.7179~0.7384) 보다 현저히 높아, 巴나듐 矽岩의 生成 原因에 관한 열쇠일 가능성이 있다.

위와 같은 사실로 보아, 노두에서 고품위의 巴나듐矽岩을 육안적으로 판정하고자 할 때는 진한 綠色이며, 다량의 雲母 含量이 하나의 기준이 될 것이다.

감사의 글

이 연구는 韓國科學財團 後援 戰略鑛物資源研究 센터의 研究

費 支援에 의하여 이루어졌다. 연구 수행에 있어 야외조사, 실내작업, 電子顯微鏡分析에 이르기까지 모든 면에서 지원해준 忠南대학교 지질학과 김상중 석사와 이기주 군계 심심한 감사를 표한다. 바쁜 시간을 쪼개어 全岩分析을 하여준 나훈기 박사께 고마운 마음을 전하고자 한다. 실내 작업을 도와준 忠南대학 유봉철, 신미애 석사와 학부 학생들에게도 감사한다.

참고문헌

- 김옥준, 홍만섭, 김기태, 박희인 (1962) 1/50,000 삼근리지질도폭. 한국지질조사소.
- 김형식 (1975) 김천-울진 일대의 광역변성작용에 관한 연구. 고려대학교 이공논총, v. 16, p. 1-16.
- 안건상, 정현희, 이현구(1993) 將軍鑛山 주변의 변성이질암에서의 누진변성반응계열. 광산지질, v. 26, p. 473-487.
- 이대성 (1967) 장군 방간광산의 지질과 광상. 지질학회지, v. 3, p. 51-59.
- 이현구, 박노영, Imai, N. (1992) 將軍鑛山 주변의 지질과 변성작용. 이석남기상선생 논문집, p. 21-44.
- 황덕환, A.J Reedman (1975) 삼한將軍鑛山조사보고서. 한국지질광물연구소, 지질광물 조사보고서, p. 187-216.
- 황인천 (1968) 삼한將軍鑛山 조사보고서. 광산지질, v. 1, p. 9-30.
- 李鉉具 (1980) 韓國將軍鑛山における複雜硫化物. 硫鑛鑛石의鑛床學的 並びに鑛物學的研究. 早稻田大學博士學位論文, 328p.
- 岩松 暉 (1979) 岩石の劈開. 植松 武ほか編. [地球科學9] 岩波書店.
- Ahn, K.S. and Nakamura, Y. (1992) New biotite isograd and petrogenetic grid in pelitic system. abstract in 29th IGC. v. 2, 591p.
- 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 Sciences, v. 5, p. 221-236.
- Imai, N., Park, N.Y., Lee, H.K., Machida, M. and Higashihara, Y. (1982) Geology and metamorphic rocks in the environs of the Janggun Mine, Republic of Korea-with some comments Relating to the Unazuki metamorphic rocks in Japanese. Island Arc. In Geology of Japan Sea, p. 227-255, (in Japanese).
- Henderson, P. (1984) Rare earth element geochemistry. Elsevier, 510p.

1995년 1월 6일 원고접수