

龍化-雪川 地域에 분포하는 백악기 斑狀花崗岩의 岩石化學 및 流體包有物에 관한 研究

尹錫台* · 朴喜寅**

Petrochemical and Fluid Inclusion Study on the Porphyritic Granite in the Yonghwa-Seolcheon Area

Seok-Tai Youn* and Hee-In Park**

ABSTRACT: The petrochemical data of the porphyritic granites of Cretaceous age in the Yonghwa-Seolcheon area show the trend of subalkaline magma, calc-alkaline magma, I-type granitoid and magnetite series. This granite is the relevant igneous rock of gold-silver mineralization in this mining district. Fluid inclusions have been studied in phenocryst quartz from the Cretaceous porphyritic granite. Three main types of fluid inclusion were found : liquid-rich inclusion(I type), gas-rich inclusion(II type) and solid-bearing inclusions(III-A, III-B). The solid-bearing inclusions(III-A,B) represent the earliest trapped fluids. They have salinities between 41.0 and 67.5 wt.% equivalent to NaCl. These are high saline inclusions containing NaCl and KCl daughter crystals. Homogenization temperature inferred from the fluid inclusion study ranges from 650 to 750°C Type I and II inclusions were observed within the same fracture. This cause for these differences in degree of filling is evidence of boiling. Salinities of type I and II inclusions range from 9.87 wt.% to 15.29 wt.%, from 8.40 wt.% to 14.64 wt.% NaCl equivalent, respectively.

序 言

충청북도 영동군 용화면 지역과 全羅北道 茂朱郡 雪川面 地域에는 분홍색을 띠는 長石 斑晶을 특징적으로 갖는 斑狀花崗岩이 분포하고 있다. 이 斑狀花崗岩은 黑雲母의 K-Ar 절대 연령 측정 결과 白堊紀 花崗岩에 속한다(윤석태 등, 1991).

研究 地域에 대한 기존의 研究 발표된 자료는 地質에 관하여는 雪川圖幅(윤석규 등, 1968), 茂朱圖幅(홍승호 등, 1980)이 발간되어 있다. 광상에 대한 연구로는 Gallagher (1963)에 의하여 鑛床에 대한 개략적인 研究가 수행되어 졌다. 鑛床의 成因에 대한 研究는 윤석태 등(1991, 1993)에 의하여 자세하게 研究되었고, 永同郡 龍化面 地域에 분포하는 花崗岩 속에 포함된 流體包有物에 대하여는 윤석태 등(1994)의 研究가 있으나 茂朱 地域에 대하여는 研究가 전무한 상태이다.

따라서 이 研究에서는 全羅北道 茂朱郡과 충청북도 영동군에 걸쳐서 분포하고 있는 白堊紀 斑狀花崗岩에 대한

岩石의 產出狀態, 鑛物造成, 岩石化學, 反상화강암내에 포함되어 있는 유체포유물 연구 등을 실시하여 금은광화작용과 斑狀花崗岩과의 성인적 관계를 검토하고자 한다.

一般地質

研究 地域의 地質은 先캄브리아紀의 小白山 片麻岩 複合體에 속하는 片麻岩類, 片麻岩類내에 협재되어 있는 雲母片岩 그리고 片麻岩類를 후기에 관입한 角閃岩, 白堊紀의 斑狀花崗岩, 그리고 이를 후기에 관입한 鹽基性 및 酸性 脈岩類로 구성되어 있다(Fig. 1). 각 암석에 대하여 기재하면 다음과 같다.

小白山 片麻岩 複合體는 花崗岩質 片麻岩, 미그마타이트質 片麻岩, 縞狀 片麻岩 등으로 구성되어 있다. 이 片麻岩類에는 수개처에서 소규모의 矽岩, 雲母 片岩 등이 협재되어 있다. 花崗岩質 片麻岩의 분포는 NE-SW 방향으로 연장되는 帶狀을 이루며, 현미경하에서 관찰하면 粒狀石理를 보여준다. 이 암석은 石英, 斜長石, 正長石, 白雲母, 黑雲母로 구성되어 있으며, 부성분 광물로는 綠簾石 및 磁鐵石이다.

雲母 片岩은 片麻岩類에 발달하고 있는 葉理의 주향방향과 거의 비슷한 방향으로 발달하고 있는 것이 특징이다.

* 전남대학교 지구과학교육과 (Dept. of Earth Science Education, Chonnam National Univ., Kwangju 500-757, Korea)

** 서울대학교 지질과학과 (Dept. of Geological Science, Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea)

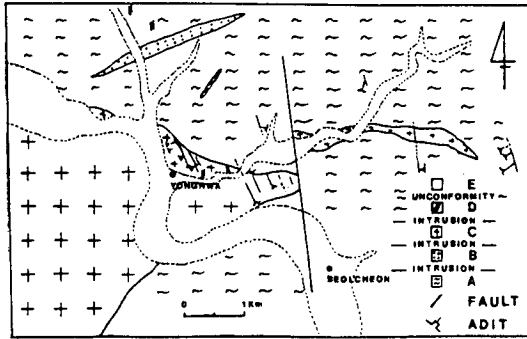


Fig. 1. Geological map of the Yonghwa-Seolcheon area. A: Gneiss, B: Amphibolite, C: Porphyritic granite, D: Dike, E: Alluvium.

이 암석은 石英, 長石, 黑雲母, 白雲母, 絹雲母, 綠泥石, 方解石 등으로 구성되어 있는 암석이다. 白雲母는 편리 방향으로 길게 신장되어 있으나 가끔 굴곡된 모양을 보이며 黑雲母는 거의 綠泥石化 되어 있다.

角閃岩은 창골마을 근처에서 북동-남서 방향으로 신장된 렌즈상으로 분포하고 있는 암체가 가장 큰 암체이며, 이외에도 수개처에서 소규모로 분포하고 있다. 이 암체는 중앙부는 조립질이며 입상조직을 보이나, 주변부로 갈수록 세립질 광물이 증가한다. 이 岩石은 주위에 분포하고 있는 片麻岩類를 관입하였고 부분적으로 편리 같은 것이 보이는 것은 注入에 따르는 결과라고 생각된다. 현미경하의 관찰에 의하면 구성광물은 角閃石과 斜長石을 주로하고 黑雲母, 輝石, 石英, 絹雲母, 綠泥石, 綠簾石, 불투명 광물 등이 소량 함유되어 있다.

斑狀 花崗岩은 研究地域의 남서부에 발달되어 있으며 茂朱圖幅으로 연장된다. 이 斑狀 花崗岩은 많은 石英脈 및 硅長岩脈 등에 의하여 관입당하고 있다. 이 암석의 표품에서 전체적으로 분홍색을 띠는 正長石, 백색을 띠는

斜長石, 비교적 투명한 石英 등이 斑晶을 구성하고 있는 것이 특징적이며, 石基를 이루고 있는 광물들은 세립질의 石英, 長石 및 雲母가 대부분이고 소량의 綠泥石, 黑雲母, 綠簾石, 角閃石, 燐灰石, 저어콘 및 불투명광물 등을 포함하고 있다.

酸性岩脈으로는 石英斑岩, 케그마타이트脈 및 半花崗岩이 대부분이다.

斑狀 花崗岩의 鑛物 및 化學組成

鑛物組成

野外地質調査를 실시하여 채취한 암석 시료 중에서 암석의 특징을 가장 잘 나타내는 시료를 선택하여 박편을 제작하였다. 이렇게 제작된 박편 중에서 11개의 박편을 선택하여 편광 현미경하에서 관찰하여 구한 광물의 모드 조성은 Table 1과 같다. Table 1에서 Y-1~Y-5은 실천지역의 시료이고, Y6~Y-11은 용화지역의 시료이다.

각 암석의 모드조성 결과는 石英, 알칼리 長石, 斜長石이 주구성 광물이고, 黑雲母, 角閃石, 저어콘, 燐灰石, 綠泥石, 綠簾石, 方解石, 絹雲母 그리고 불투명 광물 등이 소량 함유되어 있다. 불투명 광물은 주로 磁鐵石과 赤鐵石이다. 斑狀花崗岩에 있어서 斑晶을 이루는 광물은 石英, 正長石, 斜長石이 대부분이다. 斑狀組織을 이루는 암석의 모드 조성을 구할 때는 斑晶과 석기를 구분하여 구한 다음 종합하여 구하였다. 이 암석 중에 들어 있는 광물의 함량은 石英이 평균 27.7%, 正長石이 30.9%, 斜長石이 38.1%로서 斜長石의 함량이 제일 많다. 모드조성 결과에서 Q-A-P 三角圖에 도시하면 이 斑狀花崗岩은 花崗岩 領域에 해당한다(Fig. 2).

Table 1. Modal compositions of the porphyritic granite from the Yonghwa-Seolcheon area.

Mineral	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Average
Quartz	25.2	27.9	27.2	25.9	31.1	25.8	34.9	23.6	24.9	27.2	31.1	27.7
K-feldspar	29.8	30.7	30.4	31.4	33.5	29.2	29.2	30.9	30.4	30.0	34.5	30.9
Plagioclase	42.1	38.4	39.0	39.2	32.1	42.5	33.0	41.5	41.2	39.4	30.6	38.1
Biotite	2.0	1.2	2.8	2.0	1.7	1.6	1.2	3.2	2.0	1.8	1.7	1.9
Hornblende	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1
Zircon	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
Apatite	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
Chlorite	0.4	0.2	0.4	0.6	0.5	0.4	0.2	0.0	0.6	0.5	0.1	0.3
Epjdote	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
Calcite	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.8	0.2
Sericite	0.4	0.6	0.2	0.4	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3
Opaque	0.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.5	0.3

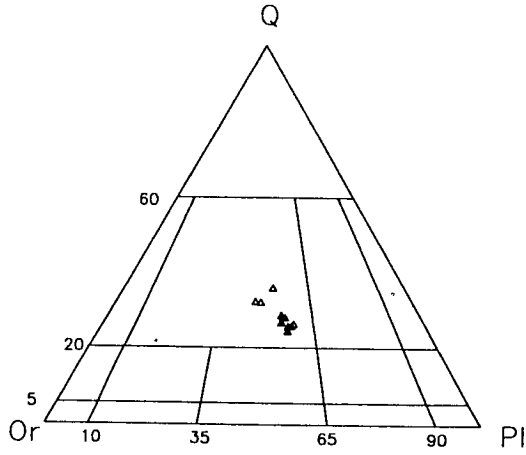


Fig. 2. Q-A-P diagram of modal compositions of the porphyritic granites based on IUGS classification.

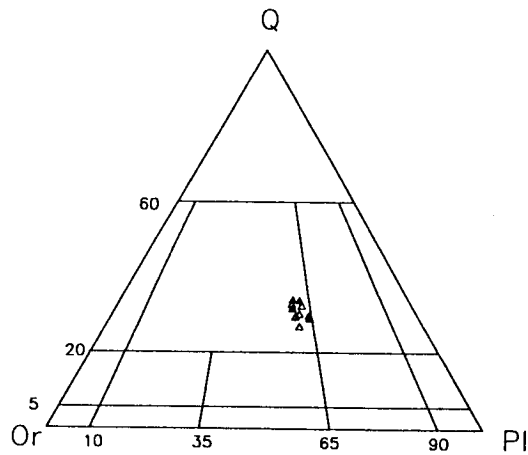


Fig. 3. Triangular diagram of normative Q-Or-Pl for the porphyritic granites based on IUGS classification.

岩石化學

모드 조성을 구한 암석시료 12개를 선정하여 각 암석의 化學的인 특성을 검토하기 위하여 主成分 元素, 微量元素, 稀土類 元素를 分析하였다. 주성분 원소의 分析値와 이를 바탕으로 하여 구한 CIPW 노름値는 Table 2와 같다. Table 2에서 Y-1~Y-5 시료는 설천지역의 시료이고, Y-6~Y-12의 시료는 용화지역의 시료이다. 斑狀花崗岩의 SiO₂ 함량은 71.35~77.42 wt.%이며 평균값은 73.97 wt.%이다. 분화지수(Differentiation index)는 81.34~91.05로서 암질의 변화가 심하지 않다. Al₂O₃의 함량은 13.49~14.94 wt.%로서 중앙부로 가면서 증가하는 경향을 보인다. 화학분석치로부터 암석의 노름값 중에서 Q, Or, Pl의 양의 백분율을 구하여 삼각도에 도시하면 花崗岩 領域에 도시된다(Fig. 3).

화성암류를 형성한 마그마의 유형은 알칼리암과 비알칼리암으로 구분할 수 있다. 斑狀花崗岩을 형성한 마그마의 유형을 알아보기 위하여 化學分析値 중에서 SiO₂와 Na₂O+K₂O의 함량을 이용(Irvine and Barager, 1971)하여 도시한 결과 研究地域의 花崗岩類는 모두 비알칼리암 계열에 속한다(Fig. 4). 化學分析値를 이용하여 구한 노름 Pl(plagioclase)의 값과 分析値 중에서 Al₂O₃의 함량을 가지고 칼크알칼리암과 쉐라이트로 구분할 수 있다(Irvine and Barager, 1971). 이 方法을 이용하여 도시하면 研究地域의 斑狀花崗岩은 모두 칼크알칼리암에 해당한다(Fig. 5). 花崗岩類는 花崗岩을 형성한 기원물질의 차이에 따라 I-type granitoid와 S-type granitoid로 분류할 수 있다(White and Chappell, 1977). I-type granitoid는 화성 기

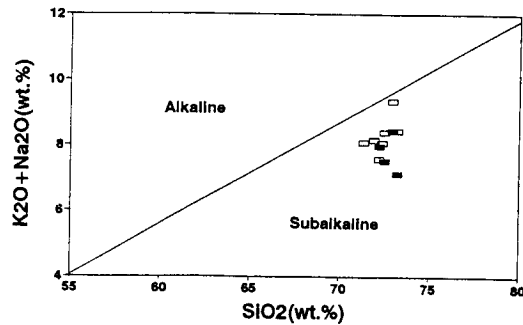


Fig. 4. Plots of Na₂O+K₂O vs SiO₂ in wt.% for the porphyritic granites. The boundary line is based on Irvine and Barager (1971).

원의 물질이 부분용융되어 형성된 花崗岩類이나 S-type granitoid는 퇴적기원의 물질이 부분용융되어서 생성된 花崗岩類이다. 두 花崗岩類의 化學組成上의 특징을 살펴 보면 다음과 같다. I-type granitoid는 Na₂O의 함량이 3.2 wt.% 이상으로 상대적으로 높고, Molal Al₂O₃/Na₂O+K₂O+CaO의 비가 1.1 이하로 낮으며, Ca의 함량이 풍부하다. 특히 CIPW 노름치 가운데 Corundum의 함량이 1% 이하이며 Atomic K/Na+K의 비율이 낮은 특징을 갖는 花崗岩類이다. 반면에 S-type granitoid는 I-type granitoid와 비교하여 상대적으로 Na₂O의 함량이 3.2 wt.% 이하로서 낮고, Molal Al₂O₃/Na₂O+K₂O+CaO의 함량비가 1.1 이상이며, CIPW 노름치 가운데 Corundum의 함량이 1% 이상이며, Ca의 함량이 낮으며 Atomic K/Na+K의 비율이 높은 특징을 갖는 花崗岩類이다. 화학분석치 중에서 Fe₂O₃ 함량과 FeO 함량을 가지고 Hine 등(1978)이 제안한 方法을 이용하여 도시하면 이 花崗岩은 I-type gra-

Table 2. Chemical analyses (wt.%) and norms of the porphyritic granite in the Yonghwa-Seolcheon area.

Oxides	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12	Average
SiO ₂	73.19	72.50	72.20	72.92	71.35	71.89	72.36	71.58	71.60	71.85	71.90	77.42	73.97
Al ₂ O ₃	13.97	14.07	14.36	14.47	14.94	14.86	14.23	14.86	14.83	14.63	14.65	13.49	14.14
FeO	0.97	1.30	0.85	0.79	1.05	0.71	0.50	0.93	1.30	1.00	0.85	0.76	0.88
Fe ₂ O ₃	1.53	1.10	0.98	0.94	0.73	0.91	1.51	0.80	0.64	0.92	0.98	0.85	0.97
MgO	0.68	0.76	0.64	0.50	0.68	0.61	0.79	0.63	0.73	0.74	0.67	1.12	0.82
CaO	1.62	1.68	2.10	0.79	1.82	1.63	1.94	1.77	1.86	1.88	1.99	1.29	1.56
Na ₂ O	2.28	3.62	3.96	4.01	3.94	3.92	3.92	3.81	4.11	3.85	3.85	0.05	2.48
K ₂ O	4.85	3.90	4.00	4.43	4.50	4.48	3.66	5.53	3.97	4.30	4.22	3.91	4.20
TiO ₂	0.21	0.34	0.30	0.24	0.27	0.26	0.31	0.28	0.31	0.31	0.27	0.21	0.26
P ₂ O ₅	0.07	0.11	0.09	0.07	0.09	0.09	0.10	0.08	0.10	0.10	0.09	0.08	0.09
MnO	0.06	0.07	0.08	0.06	0.05	0.05	0.07	0.04	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06
H ₂ O(+)	0.14	0.25	0.19	0.26	0.05	0.18	0.26	1.21	0.16	0.14	0.19	0.35	0.29
H ₂ O(-)	0.21	0.27	0.25	0.29	0.23	0.29	0.32	0.27	0.31	0.25	0.20	0.17	0.23
Total	99.78	99.97	100.00	99.79	99.70	99.88	99.97	99.97	100.00	100.05	99.93	99.92	99.95
Q	31.94	31.63	28.51	30.24	25.56	28.14	30.66	28.14	27.36	29.22	30.36	58.02	31.65
Or	24.67	23.15	23.66	26.16	26.69	26.69	21.68	26.13	23.35	25.58	25.02	22.80	24.63
Ab	28.30	30.63	33.51	33.93	33.54	33.01	33.01	31.96	34.58	32.49	32.49	0.52	29.83
An	8.57	7.60	9.57	4.45	8.34	7.23	8.62	7.78	8.34	8.62	4.17	5.56	7.41
C	1.19	1.01	0.00	0.81	0.51	1.02	0.61	1.02	0.71	0.41	2.34	7.14	1.40
Fs	0.28	1.04	0.37	0.38	1.85	0.13	0.13	0.53	1.45	0.66	0.40	0.40	0.64
En	1.70	1.90	1.51	1.24	1.70	1.00	2.00	1.60	1.80	1.80	1.70	2.80	1.73
Mt	2.22	1.60	1.41	1.37	0.93	1.39	0.70	1.16	0.93	1.39	1.39	1.39	1.33
Il	0.39	0.65	0.58	0.46	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.46	0.33
Ap	0.17	0.27	0.20	0.00	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.30
Ht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
Sum	99.43	99.48	99.54	99.21	100.00	99.56	99.99	99.99	99.99	100.00	99.99	99.99	99.57
Salic	94.84	94.29	95.45	95.59	94.98	96.43	94.92	95.37	94.68	96.66	94.62	94.38	95.18
Femic	4.59	5.19	3.87	3.45	5.09	3.13	4.40	3.90	4.79	4.46	3.11	5.05	4.25
D.I.	85.40	85.86	86.08	91.05	85.79	87.84	85.35	86.23	85.29	87.29	87.87	81.34	86.28

*Y-12: Altered porphyritic granite.

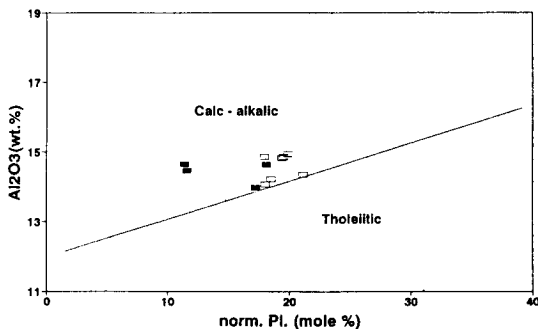


Fig. 5. Plots of Al₂O₃ (wt.%) vs normative Pl of the porphyritic granites. The boundary line is based on Irvine and Barager (1971).

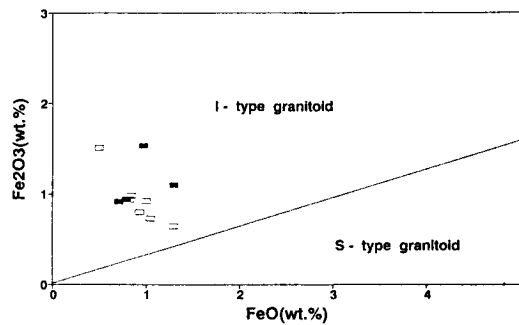


Fig. 6. Plots of Fe₂O₃ vs FeO in wt.%. The boundary line is based on hine *et al.* (1978).

nitoid에 해당한다(Fig. 6).

化學分析值 중에서 TiO₂-FeO-Fe₂O₃ 양의 백분율을 구하여 Tsusue and Ishihara(1974)가 제안한 삼각도를 이용하여 자철석 계열과 일메나이트 계열로 구분할 수 있다.

研究地域의 斑狀 花崗岩은 白堊紀 佛國寺 花崗岩類와 동일하게 자철석 계열에 해당한다(Fig. 7).

Table 3은 主成分 元素를 分析한 암석 시료에 대한 微量元素의 分析치이다. Table 3에 의하면 분석한 미량 원소의 함량 대부분이 불규칙한 경향을 보인다. 鑛化作用

Table 3. Trace elements analyses of the porphyritic granite in the Yonghwa-Seolcheon area (in ppm).

Element	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12	Average
Ba	735	694	441	762	828	964	681	921	760	735	927	202	720
Co	6	7	7	5	1	1	1	1	1	1	1	1	3
Cr	12	13	17	14	10	9	13	9	11	11	10	9	11
Cu	5	3	3	3	5	4	5	55	7	7	6	4	9
Li	11	18	21	19	6	10	19	3	9	2	6	32	13
Nb	16	18	19	18	14	13	14	14	15	15	12	11	14
Ni	9	12	10	9	9	9	11	10	11	10	10	10	10
Sc	3	4	3	2	2	2	4	2	3	3	2	2	3
Sr	116	335	343	284	340	361	354	365	366	341	359	72	303
V	21	27	25	18	23	21	27	22	25	25	24	21	23
Y	11	19	15	15	14	14	17	15	16	15	14	10	15
Zn	24	33	44	70	31	29	40	29	41	40	43	33	38
Zr	39	18	35	37	20	20	22	26	24	26	21	28	26
D.I.	85.40	85.86	86.08	91.05	85.79	87.84	85.35	86.23	85.29	87.29	87.87	81.34	

*Y-12: Altered porphyritic granite.

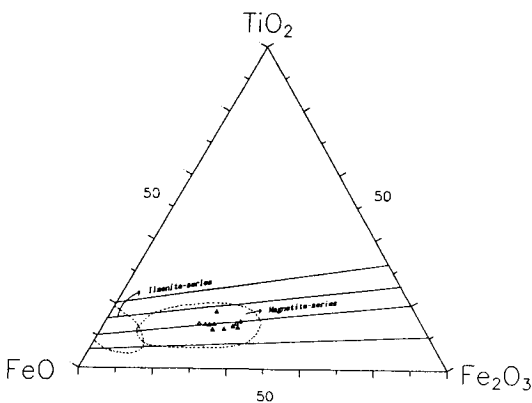


Fig. 7. TiO₂-FeO-Fe₂O₃ (mole%) diagram of the porphyritic granites. The boundary lines are based on Tsusue and Ishihara (1974).

기간 동안 微量元素의 거동은 탐광에 있어서 매우 중요하다. 그러나 광맥 주변 시료에 대한 체계적인 시료 채취가 되지 않아서 鑛化作用과 관련된 특징은 확인하지 못하였다.

발표된 문헌에 의하면 屯田鑛山 부근의 驛屯花崗岩 (박희인 등, 1987), 동원광산 부근의 沒雲花崗岩(박영록, 1990), 慶南 咸安 地域의 花崗岩類(최석원, 1986), 二木 花崗岩(이민성 등, 1990), 龍化주변에 분포하는 斑狀花崗岩 (윤석태 등, 1991) 에 들어 있는 微量元素와 鑛床과의 관련성에 대하여 보고된 바 있다. Table 4는 소위 關係火成岩으로 알려진 地域에 분포하는 화성암 중의 微量元素의 함량과 研究 地域의 微量元素를 비교하여 金銀鑛化作用과의 관계를 검토하기 위하여 비교한 표이다. 이 표에서 보여지는 바와 같이 研究地域은 일반적으로 金銀鑛化作

Table 4. Comparison of trace elements of granitoids from different locality (in ppm).

Element	Dunjeon	Dongweon	Haman	Imog	Study area
Ba	773	908	463	667	720
Co	-	-	6.6	-	3
Cr	85	67	320	9	11
Cu	5.5	95	183	6	9
Li	-	-	9	-	13
Nb	12	13	10	11	14
Ni	28	21	23	4	10
Sc	11	8	-	8	3
Sr	470	518	363	336	303
V	58	67	59	52	23
Y	16	15	20	21	15
Zn	37	40	1236	41	38
Zr	184	226	130	149	26

Dunjeon: Mean values of 2 granites in Dunjeon area (Park, 1990); Dongweon: Porphyritic granite in Dongweon area (Park, 1990); Haman: Mean values of 3 granodiorites in Haman area (Choi, 1986); Imog: Mean values of 11 granitoids in Imog area (Lee, 1990).

用과 관련이 있는 屯田, 동원 지역 등과 포함된 함량의 경향이 비슷하다.

主成分 元素와 微量 元素를 分析한 12개의 시료에 대하여 稀土類 元素를 分析하였으며 分析值를 정리한 것이 Table 5이다. Table 5에서 보여지는 바와 같이 研究地域의 斑狀花崗岩 속에 들어있는 稀土類 元素의 함량과 지각속에 들어있는 稀土類 元素의 평균함량(Taylor, 1964)을 비교하면 研究 地域의 斑狀花崗岩에는 La, Ce과 같은 가벼운 稀土類 元素가 많이 농집되어 있으나, 다른 稀土類 元素들은 지각의 평균 함량보다 적게 들어 있다. 또 稀土類

Table 5. Rare earth elements analyses of the porphyritic granite in the Yonghwa-Seolcheon area (ppm).

Element	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Average	Taylor
La	40.77	38.26	37.80	30.75	36.90	33.90	50.90	41.80	39.70	41.90	39.00	40.6	30.0
Ce	69.55	69.28	66.24	52.72	66.15	61.75	90.17	77.19	72.43	76.87	71.63	73.7	60.0
Pr	6.73	7.66	6.27	5.34	6.41	6.02	8.48	7.52	6.95	7.12	6.91	7.1	8.2
Nd	21.66	25.01	22.18	18.77	22.10	21.20	28.20	26.10	23.70	24.80	24.20	24.3	28.0
Sm	3.50	4.35	3.63	3.15	3.63	3.37	4.43	4.38	3.95	3.76	4.03	3.9	6.0
Eu	0.62	0.47	0.72	0.62	0.73	0.74	0.78	0.80	0.80	0.72	0.75	0.8	1.2
Gd	2.74	3.32	2.96	2.63	2.78	2.66	3.33	3.31	3.05	2.66	3.14	3.0	5.4
Dy	2.47	2.92	2.67	2.43	2.67	2.54	3.02	3.09	2.76	2.50	2.91	2.8	3.0
Ho	0.47	0.51	0.48	0.46	0.49	0.46	0.56	0.57	0.51	0.45	0.54	0.5	1.2
Er	1.48	1.83	1.24	1.40	1.19	1.15	1.30	1.37	1.26	1.17	1.37	1.2	2.8
Yb	1.51	1.80	1.65	1.42	1.34	1.35	1.54	1.62	1.43	1.29	1.55	1.4	3.0
Lu	0.28	0.27	0.21	0.25	0.18	0.19	0.21	0.22	0.19	0.17	0.21	0.2	0.5
ΣREE	151.78	155.68	146.05	119.94	144.57	135.33	192.92	167.97	156.73	163.41	156.24	159.60	149.3
La/Yb	27.00	21.26	22.91	21.65	27.54	25.11	33.05	25.80	27.76	32.48	25.16	28.12	10.0
Ce/Yb	46.06	38.49	40.15	37.13	49.36	45.74	58.55	47.65	50.65	59.59	46.21	51.11	20.0
ΣCe	142.83	145.03	136.84	111.35	135.92	126.98	182.96	157.79	147.53	155.17	146.52	150.41	133.4
ΣY	8.95	10.65	9.21	8.59	8.65	8.35	9.96	10.18	9.20	8.24	9.72	9.18	15.9

ΣCe: Sum of light REE (La to Eu), ΣY: Sum of heavy REE (Gd to Lu).

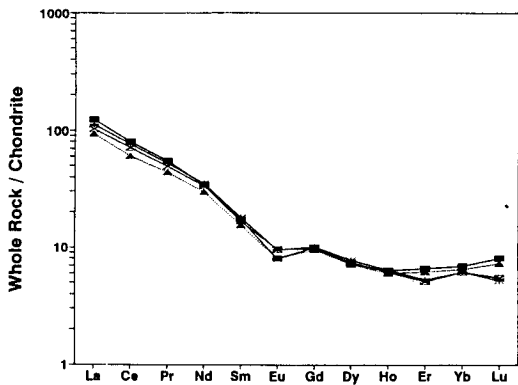


Fig. 8. Chondrite-normalized REE patterns of the porphyritic granites.

元素의 변화 경향을 보면 가벼운 稀土類 元素의 총량이 평균 150.41 ppm으로서 무거운 稀土類 元素 총량의 평균 값인 9.18 ppm에 비하여 상당히 富化되어 있다.

稀土類 元素의 함량을 가지고 chondrite normalized 된 양을 로그尺度로 도시하면 Fig. 8과 같다. 研究 地域에 분포하고 암석 중의 稀土類 元素의 변화 경향은 白堊紀 佛國寺 花崗岩에 속하는 彦陽花崗岩, 榆川花崗岩 그리고 龍化 地域에 분포하고 있는 花崗岩과 비슷한 경향을 보여 주어 마그마 기원의 화성물질로부터 분화되어 형성된 花崗岩임을 시사한다.

斑狀花崗岩에 포함된 流體包有物

流體包有物의 분류

研究地域에 분포하는 斑狀花崗岩 중에 포함된 石英 斑晶을 대상으로 하여 비교적 투명한 부분을 선택하여 流體包有物 研究를 수행하였다. 石英 斑晶속에 들어있는 流體包有物은 silicate melt가 고화될 때 포획된 melt inclusion과 斑晶이 생성된 후에 열수용액이 포획되어 생긴 流體包有物이 공존할 가능성이 있다. Roedder(1984)는 동일 結晶내에서 melt inclusion과 aqueous inclusion이 공존하면 包有物이 포획될 때 두 유체간에 不混化 現象 때문이라고 보고하였다. 그러나 研究 地域에서는 유리질의 結晶이 성장한 melt inclusion을 아직 확인하지 못하였으므로 측정된 것은 모두 2次 包有物로 간주하였다.

2차 포유물은 본 연구의 대상이 되는 2次 包有物 I과 후기에 생성되어 선상 배열을 하거나 石英의 미세한 틈을 따라 포획된 包有物 II가 존재한다. 따라서 본 研究에서는 深處에서 石英 斑晶이 생성된 후 石基가 생성되는 시기 또는 그 이후에 捕獲되었을 것으로 추정되는 2차包有物 I의 均一化 溫度와 鹽濃度를 측정하여 斑狀花崗岩이 생성된 후기의 latest magmatic fluid의 성분과 진화상태를 검토하였다.

斑狀花崗岩체 중앙부에 분포하고 있는 암석 중의 石英 斑晶에 포함된 流體包有物과 chilled margin에 해당하는 암석에 포함된 石英斑晶의 流體包有物을 비교하면 流體包有物의 크기, 빈도, 유형 등이 비슷하다. 그러나 전체적으로 石英 斑晶이 클수록 流體包有物의 빈도수가 높은

경향이 있다. 流體包有物의 크기는 대부분이 5~10 μ 정도이나 急冷帶의 암석속에 들어있는 流體包有物 중에서 固相을 포함한 流體包有物은 10~20 μ 정도되는 것도 관찰된다.

石英 중에 포함된 流體包有物 중에서 2次 包有物 I을 실온에서 관찰하여 상의 종류, 充塡度 및 가열 실험과 냉각 실험시 包有物의 변화에 따라 I형, II형 및 III형 包有物로 분류하였다.

I형 包有物은 상온에서 液相과 氣相으로 구성되어 있으며 가열실험시 液相으로 균일화된다. 液相의 充塡度는 약 70~80% 정도이며 실온이나 냉각 실험시 액체 CO₂와 CO₂ 수화물의 생성이 관찰되지 않는다.

II형 包有物은 液相과 氣相으로 구성된 包有物이며 가열실험시 氣相으로 균일화된다. 液相의 充塡度는 30~40% 정도이며 실온이나 냉각 실험시 액체 CO₂나 CO₂ 수화물의 생성이 관찰되지 않는다.

III형 包有物은 液相, 氣相 및 固相으로 구성되어 있는 包有物로서 液相의 充塡度는 50~60%이며 固相 중에서 광학적으로 등방성이며 정육면체 모양의 압염 結晶을 갖는 包有物을 III-A형, 압염 結晶과 둥근 모양을 하는 카리암염 結晶을 동시에 포함하고 있는 包有物을 III-B형으로 분류하였다.

均一化 溫度와 鹽濃度

가열 실험 결과 I형 包有物의 均一化 溫度는 용화 지역이 398.5~460.2°C에 해당하며 실천 지역은 402.5~462.1°C에 해당한다. Roedder(1963)의 方法에 따라 구한 I형 包有物의 NaCl 相當 鹽濃度는 용화 지역이 10.24~13.44 wt.%, 실천 지역이 9.87~15.29 wt.% 해당한다(Table 6). 임계 온도 이상에서는 氣相과 液相의 구분이 모호하므로 均一化 溫度를 유체가 포획될 당시의 온도로 간주할 수 없다. 그래서 Olsen and Griffin(1984a, b)이 제시한 그림을 이용하여 측정된 均一化 溫度와 NaCl 相當 鹽濃度를 이용하여 유체가 포획될 당시의 온도를 추정할 것이 Fig. 9이다. Fig. 9에 의하면 유체가 순수한 H₂O-NaCl계라고 가정하고 압력을 1,500 bar로 고정시킨 다음 균일화 온도와 鹽濃度를 이용하여 포획될 당시의 온도를 추정할 수 있다. 이때 실선은 液相으로 균일화될 때의 곡선이고, 점선은 기상으로 균일화될 때의 곡선이다. I형 包有物의 均一化 溫度와 鹽濃度를 이용하여 실험실에서 포획될 당시의 온도를 구하였으며 이때 임계곡선은 Sourirajan and Kennedy(1962)가 구한 값을 이용하였다. 이렇게 하여 구하여진 I형 包有物의 포획 온도는 용화 지역이 560~670°C,

Table 6. Summary and interpretation of microthermometry results on type I and II inclusion from porphyritic granite in the Yonghwa-Seolcheon area.

Type	Locality	Homo. Temp.	Sali. (NaCl equi. wt.%)	Trapping Temp.	
I	Yonghwa	444.9	12.19	660	
		433.3	13.44	650	
		442.6	10.24	640	
		398.5	10.60	600	
		456.1	10.74	670	
		460.2	12.38	660	
		400.3	11.24	560	
		Seolcheon	435.2	12.14	625
			411.8	13.67	580
	449.1		11.67	649	
	455.0		12.08	658	
	462.1		15.29	630	
	402.5		9.87	580	
	408.4		10.00	590	
	423.6		11.40	615	
	429.8		11.61	620	
	431.6	11.72	625		
	II	Yonghwa	465.0	11.23	
477.3			8.40		
431.3			11.48		
425.7			9.47		
395.0			9.12		
Seolcheon		472.1	12.54		
		469.0	11.89		
		454.2	13.43		
		452.4	13.01		
		419.3	11.08		
		424.5	10.95		
		429.8	12.56		
		437.1	14.20		
		448.5	13.68		
		459.3	14.61		
		462.9	14.64		

실천 지역이 580~658°C에 해당한다(Table 6). I형 包有物의 포획 온도를 가지고 Olsen and Griffin(1984a, b)이 제시한 P-T diagram에 도시한 것이 Fig. 10이다. 이 그림에 의하면 I형 包有物을 형성한 유체는 latest magmatic fluid에 해당하며 이때의 대체적인 압력은 800~1050 bars에 해당한다.

II형 包有物은 石英 斑晶내에서 I형 包有物과 밀접한 관련이 있으며 공존하는 것으로 보아 aqueous solution의 沸騰현상에 의한 것으로 생각된다. 가열 실험 결과 氣相으로 균일화 되는데 균일화온도는 용화 지역은 395.0~477.3°C, 실천 지역은 419.3~472.1°C에 해당한다. 냉각 실험 결과를 가지고 Roedder(1963)의 方法에 따라 구한

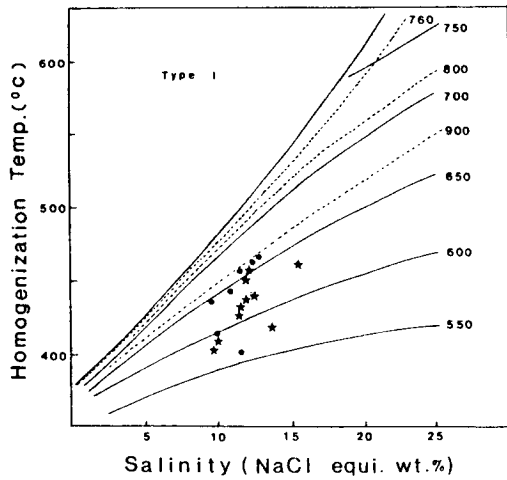


Fig. 9. Microthermometry results on type I inclusions in the porphyritic granites. *Solid curves: temperature of trapping assuming a total pressure at trapping of 1,500 bars for the pure H₂O-NaCl systems, when homogenization occurs in the liquid phase. **Broken curves: trapping temperature when homogenization occurs in the gas phase.

NaCl 相當 鹽濃度는 용화 지역은 8.40~11.48 wt.%, 설천 지역은 10.95~14.64 wt.%에 해당한다(Table 6). Sourirajan and Kennedy(1962)는 沸騰이 일어날 때 液相과 氣相 사이에 salt의 분배를 보면 液相에 농집이 일어난다고 보고하였다. 실제로 液相으로 균일화되는 I형 包有物의 鹽濃度는 9.87~15.29 wt.%인데 반하여 氣相으로 균일화되는 II형 包有物의 鹽濃度는 8.40~14.64 wt.%로서 氣相 包有物이 약간 낮다. 그러나 포획된 온도와 압력은 I형 包有物과 비슷할 것으로 생각된다.

III형 包有物은 가열 실험시 자세한 관찰을 하여 氣相, 암염 및 카리암염 등이 소실되는 온도를 측정하였다. 가열 실험시 암염은 보통 250°C 정도에서 가장자리가 녹아 약간 둥근 모양을 하나 완전히 용해되는 온도는 400°C 이상이다. 그러나 카리암염은 160°C를 전후하여 용해되므로 양자의 구별이 가능하다. 암염과 카리암염 외에 다른 종류의 daughter mineral은 확인되지 않았다.

III-A형 包有物은 가열실험시 氣相이 먼저 균일화되고 최종적으로 암염이 용해되어 완전히 균일화 된다. III-A형 包有物에 대하여 Sourirajan and Kennedy(1962)의 균일화 온도에 따른 NaCl 상당 鹽濃度 곡선으로부터 鹽濃도를 추정한 결과 용화 지역은 41.0~50.0 wt.%, 설천 지역은 45.2~52.0 wt.%에 해당한다(Table 7). 이 包有物은 상온에서 암염을 포함하고 있으나 카리암염은 포함하고 있지 않다. III-B형 包有物은 가열실험시 카리암염이 먼저 용

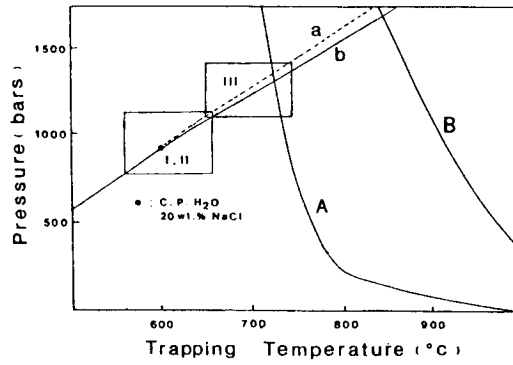


Fig. 10. Isochores for the latest magmatic fluids as observed in the fluid inclusions. A: granite solidus, B: granite liquidus, a: isochore for critical composition of fluids, b: homogenization in the gas-phase.

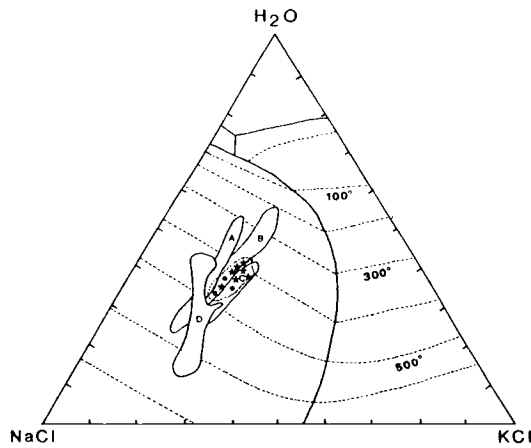


Fig. 11. Plot of microthermometric data for high salinity inclusions in the NaCl-KCl-H₂O system. A: panguna porphyry copper deposits (Eastore, 1978), B: Naica Pb-Zn-Ag limestone-replacement deposits (Erwood *et al.*, 1979), C: granisle and Bell porphyry copper deposits (Wilson, 1978), D: Drammen granite (K. I. Olsen, 1984), ●: Yonghwa, ★: Seolcheon.

해되고 나서 400°C 근처에서 氣相이 소실된 다음 최종적으로 암염이 용해되어 완전히 균일화된다. III-B형 包有物에 대하여는 암염과 카리암염이 녹는 온도를 이용하여 (Roedder, 1971, Cloke *et al.*, 1979) NaCl-KCl-H₂O 삼각도에 도시하여 NaCl과 KCl의 함량을 구하였다. 삼각도에서 구하여진 NaCl의 함량은 용화 지역은 42.5~48.0 wt.%, 설천 지역은 37.0~44.0 wt.%이며, KCl의 함량은 각각 19.5~22.0 wt.%, 19.0~22.0 wt.%에 해당한다(Fig. 11, Table 7).

Table 7. Summary of results on type III-A and III-B inclusions from porphyritic granite in the Yonghwa-Seolcheon area.

Type	Locality	Homo. temp.	T _{fNaCl}	T _{fKCl}	NaCl (wt.%)	KCl (wt.%)	K/Na	Trapping temp.
III-A	Yonghwa	327.6	409	—	46.0	—	—	—
		460.0	372	—	41.0	—	—	—
		356.2	418	—	46.8	—	—	—
		370.0	440	—	50.0	—	—	—
	Seolcheon	375.0	455	—	52.0	—	—	—
		348.4	412	—	46.2	—	—	—
		359.1	403	—	45.6	—	—	—
		387.5	427	—	47.8	—	—	—
		389.0	414	—	46.3	—	—	—
		335.9	395	—	45.2	—	—	—
		426.1	423	—	47.5	—	—	—
		435.8	436	—	49.8	—	—	—
		458.0	410	—	46.1	—	—	—
		376.1	405	—	45.7	—	—	—
382.1	406	—	45.8	—	—	—		
III-B	Yonghwa	473.6	495.0	167	48.0	19.5	0.32	650
		435.0	452.0	179	42.5	22.0	0.40	700
		388.3	452.7	153	43.0	20.0	0.36	660
	Seolcheon	465.2	468.1	162	44.0	21.0	0.37	670
		468.0	398.2	154	37.0	20.0	0.42	750
		424.8	412.5	171	38.0	19.0	0.39	690
		446.7	406.5	169	39.0	19.5	0.39	690
		456.0	428.3	158	40.0	20.5	0.40	700
		463.7	425.1	164	42.0	22.0	0.41	720
		433.0	418.2	158	38.0	20.0	0.41	720

고찰

金銀鑛床의 關係火成岩

白堊紀의 斑狀花崗岩에 대하여 斑狀花崗岩의 산출상태, 광물조성, 斑晶으로 들어있는 石英중의 流體包有物에 대한 研究를 수행하였다. 산출상태를 보면 斑狀花崗岩體 내나 주변부에 금은 광상이 밀집분포되고 있다. 이 斑狀花崗岩은 화학조성에서 비알칼리암계열, 칼크알칼리암에 속하며 또한 White and Chappell(1977)의 I형 花崗岩, Ishihara (1977, 1981)의 磁鐵石系列에 해당한다. 이러한 사실은 太白山 鑛化帶 내의 驛屯 花崗岩地域에 분포하는 金銀鑛床의 關係火成암이 I형 花崗岩이며 磁鐵石系列(박희인 등, 1987)에 속하는 것과 유사하다.

윤석태 등(1991)은 永同郡 龍化面 地域의 龍化鑛山에 대한 研究에서 이 斑狀花崗岩이 龍化鑛床의 關係火成岩임을 보고하였다. 지금까지 보고된 여러 研究 결과에 의하면 한국에 분포하는 광상중에서 白堊紀 火成활동에 수반되어 형성된 광상들의 關係火成암은 거의 대부분 I-type granitoid이며, 磁鐵石系列에 속한다. 따라서 암석의 화학

조성과 산출상태를 검토한 결과 이 斑狀花崗岩이 용화-설천 地域에 분포하는 광상의 關係火成岩일 것으로 생각된다.

斑狀花崗岩을 形成한 流體의 進化

斑狀花崗岩을 이루는 石英斑晶에 들어있는 流體包有物 研究 결과 I형 包有物은 NaCl 상당 鹽濃度가 용화지역은 10.24~13.44 wt.%, 설천지역은 9.87~15.29 wt.%로 비교적 낮고, 石英 斑晶의 중앙부에 분포한다. 그리고 포획된 온도가 560~670°C로서 마그마 분화가 끝난 후에 압력이 750~1060 bar인 상태에서 마그마로부터 분리된 유체로부터 생성된 流體包有物로 생각된다. 斑晶이 생성된 다음 構造的인 運動에 의하여 裂隙이 생기고 마그마에서 유래된 magmatic fluid가 不混化現象에 의하여 aqueous fluid로 분리된 다음 石英斑晶의 미세한 틈을 따라 NaCl 相當鹽濃度가 41.0~67.5 wt.%에 해당하는 高鹽濃度의 III형 包有物을 형성하였을 것으로 생각된다. 이때의 온도와 압력 조건은 650~750°C, 1050~1420 bar에 해당한다. 전술한 바와 같이 I형 包有物과 II형 包有物은 밀접하게 공존하며

充填度の 차가 크므로 沸騰의 강력한 증거가 된다. 따라서 약 1050~1420 bar, 650~750°C의 온도와 압력조건하에서 마그마에서 분리된 aqueous fluid가 III형 包有物을 형성하고 온도와 압력이 약간 하강하면서 沸騰현상이 일어나 I형과 II형 包有物을 형성하였을 것으로 생각된다. 실제로 I형 包有物은 NaCl 相當 鹽濃도가 용화지역은 10.24~13.44 wt.%, 설천지역은 9.87~15.29 wt.%, II형 包有物은 용화지역은 8.40~11.48 wt.%, 설천지역은 10.95~14.64 wt.%로서 沸騰현상시 液相에 salt가 농집되어 I형 包有物의 鹽濃도가 상대적으로 약간 높음을 알 수 있다. I형과 II형 包有物이 생성될 당시의 온도는 약 560~670°C로 III형 包有物의 생성온도보다 낮으며 압력도 750~1060 bar로서 상당히 낮아졌으며 鹽濃도는 현저하게 낮아졌다.

結 論

1. 斑狀花崗岩의 화학조성을 검토한 결과 비알칼리암, 칼크알칼리암, I-type granitoid, 磁鐵石系列에 해당하는 암석으로 金銀鑛床의 關係火成岩으로 생각된다.
2. 암석속에 들어있는 微量元素와 稀土類元素를 검토한 결과 白堊紀 화성활동에 수반하여 생성된 佛國寺 花崗岩과 유사한 경향을 보인다.
3. 반상화강암의 석영반정에는 I형 포유물(액상포유물), II형 포유물(기상포유물) 그리고 암염 고상을 갖는 III-A형 포유물, 암염과 카리암염을 갖고 있는 III-B형 포유물을 포함하고 있다.
4. I형 포유물의 생성온도는 560~670°C, 생성압력은 750~1060 bar, NaCl 상당 염농도는 9.87~15.29 wt.%이다.
5. II형 포유물의 생성온도는 560~670°C, 생성압력은 750~1060 bar, NaCl 상당 염농도는 8.40~14.64 wt.%이다.
6. III형 포유물의 생성온도는 650~750°C, 생성압력은 1050~1420 bar이다. III-A형의 NaCl 상당 염농도는 41.0~52.0 wt.%, III-B형 포유물의 NaCl+KCl 함량은 57.0~67.5 wt.%로서 마그마 분화 후기에 마그마에서 분리된 유체로 생각된다.
7. 유체포유물 연구 결과 마그마 분화 후기에 마그마에서 분리된 고염농도의 유체가 III형 포유물을 형성한 다음, 비등이 일어나면서 보다 저염농도의 I, II형의 포유물을 형성하였을 것으로 생각된다.

參考文獻

- 학원, 이학석사학위논문.
- 朴喜寅, 禹榮均, 李讚熙 (1987) 屯田金鑛山 南鑛床의 鑛石과 流體包有物. 鑛山地質, 제 20권 제 2호, p. 107-118.
- 尹碩宰, 朴炳權 (1968) 雪川地質圖幅 說明書. 國立地質調查所.
- 尹錫台, 朴喜寅 (1991) 龍化鑛山의 金銀鑛化作用. 鑛山地質, 제 24권 제 2호, p. 107-129.
- 尹錫台, 朴喜寅 (1993) 月城鑛山의 金銀鑛化作用. 한국지구과학회지. 제 14권 제 3호, p. 263-273.
- 尹錫台, 朴喜寅 (1994) 龍化地域에 분포하는 白堊紀 花崗岩에 포함된 流體 包有物에 관한 研究. 資源環境地質, 제 27권 3호, p. 231-236.
- 李政成, 張浩完, 李龍峻 (1990) 韓半島 地殼의 進化 研究: 梨木花崗岩의 地球化學의 特徵. 地質學會誌, 제 26권 제 1호, p. 82-90.
- 최석원 (1986) 咸安地域 銅鑛床의 成因에 관한 研究. 서울대학교 대학원, 이학박사학위논문.
- 홍승호, 이병주, 김원영 (1980) 茂朱地質 圖幅說明書, 資源開發研究所.
- Cloke, P. L. and Kesler, S. E. (1979) The halite trend in hydrothermal solutions. *Econ. Geol.*, v. 74, p. 1823-1831.
- Gallagher, D. (1963) Mineral resources of Korea.
- Hine, R., Williams, I. S., Chappell, B. W. and White, A. J. R. (1978) Contrast between I-type and S-type granitoids of Kosciako batholith. *Jour. Geol. Soc. Australia*, v. 25, p. 219-234.
- Irvine, T.N. and Baragar, W. R. A (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. Jour. Earth Sci.*, v. 8, p. 523-548.
- Ishihara, S. (1977) The magnetite series and ilmenite series granitic rocks. *Mining Geol.*, v. 27, p. 293-305.
- Ishihara, S. (1981) The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol.*, 75th Anniv. vol., p. 458-484.
- Olsen, K. I. and Griffin, W. L. (1984a) Fluid inclusion studies of the Drammen granite, Oslo paleorift, Norway. I. Microthermometry. *Contr. Min. Petrol.*, v. 87, p. 1-14.
- Olsen, K. I. and Griffin, W. L. (1984b) Fluid inclusion studies of the Drammen granite, Oslo paleorift, Norway. II. Gas and leachate analyses of miarolytic quartz. *Contr. Min. Petrol.*, v. 87, p. 15-23.
- Roedder, E. (1963) Studies of fluid inclusion II: Freezing data and their interpretation. *Econ. Geol.*, v. 58, p. 667-708.
- Roedder, E. (1971) Fluid inclusion studies on the porphyry type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana and Climax, Colorado. *Econ. Geol.*, v. 66, p. 98-120.
- Roedder, E. (1984) Fluid inclusions. *Reviews in mineralogy*. v. 12, Mineral. Soc. America, p. 386-411.
- Sourirajan, S. and Kennedy, G. C. (1962) The system H₂O-NaCl at elevated temperatures and pressures. *Amer. Jour. Sci.*, v. 260, p. 115-141.
- Taylor, S. R. (1964) Abundances of chemical elements in the continental crust. *Geochem. et Cosmochim. Acta.*, v. 28, p. 1280-1281.
- Tsusue, A. and Ishihara, S. (1974) The Iron-Titanium oxides in the granitic rocks of south-west Japan. *Mining Geol.*, v. 24, p. 13-30.
- White, A. J. R. and Chappell, B. W. (1977) Ultrametamorphism and granitoid. *Tectonophy.*, v. 43, p. 7-22.