

상동 중석-몰리브덴 광상의 광화관련 상동화강암의 Nd-Sr 동위원소비 및 가스 성분

김규한* · 신유희*

Nd-Sr Isotope and Gas Composition for the Sangdong Granites Related to the Tungsten-Molybdenum Ore Mineralization

Kyu Han Kim* and Yu Hee Shin*

ABSTRACT: Tungsten skarn mineralization of the Sangdong mine is localized in the interbedded limestone layers of the Myobong Slate Formation and in the limestone of the Pungchon Limestone Formation of Cambrian age. Fluid inclusion, gas composition and Nd-Sr isotope for granites and skarns have been investigated. Gas compositions show CO₂ rich in the Sangdong granite and CH₄ rich in the Nonggeori and Eopyeong granites. The initial ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ratios of the Sangdong granites have 0.714~0.716($\epsilon_{\text{Sr}} = 138 \sim 162$) and 0.51173~0.51178($\epsilon_{\text{Nd}} = -14.4 \sim 15.5$), respectively. And their two stage model ages range from 1687 to 1764 Ma. The granite characterized by high strontium initial ratios and negative ϵ_{Nd} value could have originated from the old continental crust source. Low homogenization temperature of the Sangdong granite having 203~296°C with 1.9~9.2 NaCl equiv. wt% indicates the post-magmatic hydrothermal alteration temperature. Skarn ore fluid responsible for tungsten mineralization has been evolved from CH₄ rich fluid of early pyroxene garnet skarn to CO₂ rich later quartz-mica skarn.

서 언

상동 중석-몰리브덴 광상은 중석과 몰리브덴, 비스무스, 금등을 생산하여 온 세계적인 규모의 중석 광상이다. 상동 중석-몰리브덴 광산은 거도(Cu-Fe-Zn)광상, 이목(Zn-Pb)광상, 신예미(Pb-Zn-Fe)광상, 연화(Pb-Zn)광상, 순경(Sn)광상등과 함께 태백산광화대의 주요광화대를 형성하고 있다.

본 광상은 중석, 몰리브덴 생산의 경제적인 중요성뿐만 아니라 광상의 성인도 흥미있는 광상이다. 국내의 기타 스카른 광상에서와는 달리 지표나 광체와의 접촉부에 화성암체가 발견되지 않고 광체가 고생대 퇴적층인 묘봉층의 층리와 평행하게 발달하고 있어 광상의 성인이 동시성 퇴적기원(So, 1968; Kim, 1976), 동시성 퇴적 후 열변성작용(이창우외, 1985; Jang, 1988)등으로 해석된 바 있다. 그리고 광상의 성인이 열수 교대 스카른(김옥준, 박희인, 1970; Kim, 1971; Moon, 1983; Kim *et al.*, 1988)광상으로 연구된 바 있다. 시추탐사 결과 화강암체가 중석광체의 약 500m 하부에서 발견되어 선캠브리아기의 변성퇴적암층을 관입하고있는 사실이 밝혀졌으며 상동 화강암에 관한 암석화학적 연구 및 암

석질대연대측정이 실시되었다(윤석규, 신정숙, 1985; 윤현수, 1985; Kim, 1986). Kim *et al.*(1988)의 안정동위원소분석연구에서 스카른 광화시에 순환수의 기여가 확인되었다.

본 연구에서는 상동 중석광상의 광화유체의 특성과 관계 화성암의 기원을 규명하기 위하여 야외지질조사, 상동화강암과 주변화강암의 Nd, Sr 동위원소비 분석, 연구등을 실시하였다. 그리고 상동화강암과 스카른 광석에 대하여 가스를 추출하여 정량하였다.

연구를 위해 20개의 화강암 시추코아시료에 대하여 Nd, Sr 동위원소와 XRF 분석은 일본 쓰꾸바 대학 지구과학과에서 각각 실시하였다. 그리고 가스분석은 일본 나고야대학에서 실시하였으며 유체포유물 분석은 이화여자대학교 지구과학 연구실에서 실시하였다. 이 논문은 1993년도 한국 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었다. 그리고 전략광물연구센터의 부분지원에 의해 이루어졌다. 관계기관에 사의를 표한다.

광상부근의 지질

본 광상 주위에는 선캠브리아기의 태백산통의 울리층군의 지층을 하부로 하여 장산규암층, 묘봉 슬레이트층, 풍촌 석회암층, 화절층, 막동석회암층등의 고생대 캄브로-오오도비

*이화여자대학교 과학교육과(Dept. Science Education, Ewha Womans Univ., Seoul 120-750, Korea)

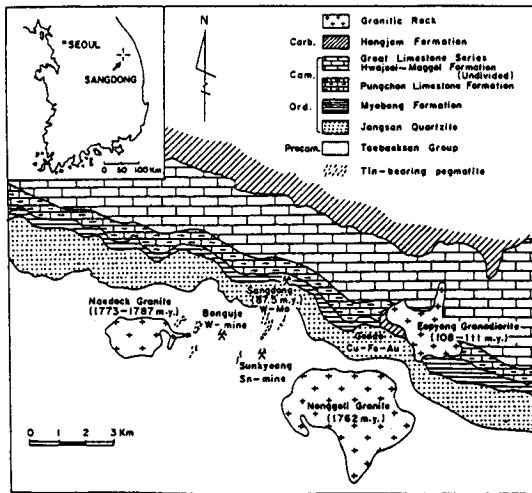


Fig. 1. Location and geological map of the Sangdong mine (modified from Moon, 1983).

스기의 조선계 지층들과 석탄기-페름기의 평안계 홍점동 지층들이 분포하고 있다. 고생대 지층들이 선캄브리아기의 변성퇴적암류인 태백산통의 지층을 부정합으로 덮고 있다. 이들 지층의 대체적인 주향 경사는 $N60^{\circ}\sim 80^{\circ}W, 20^{\circ}\sim 30^{\circ}NE$ 이다 (Fig. 1).

광상 부근에 분포하는 관입암으로는 선캄브리아기의 내덕화강암, 농거리화강암(1767 Ma), 백악기의 어평 화강섬록암(108 Ma), 상동화강암(87.5 Ma)과 기타 맥암류들이 분포하고 있다. 광상의 모양이 되고 있는 대표적인 지층에 대하여 간략히 기술한다.

장산규암층

태백산통의 지층을 부정합으로 덮으며 묘봉층에 의하여 정합으로 덮여있으며 회색 내지 백색 또는 담갈색의 규암으로 이루어져 있다. 이들 지층의 주향은 $N70^{\circ}\sim 80^{\circ}W$, 경사 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}NE$ 이다. 본 광산 갱내 시추에 의해 본 층과 묘봉층 경계부에 몰리브덴 광체가 분포함이 밝혀졌다.

묘봉층

장산규암층을 정합으로 덮고 풍촌석회암층에 의하여 정합으로 덮힌다. 주로 암회색, 회갈색 슬레이트로 구성되며 상부와 하부에 수매의 석회암이 협재하고 있다. 석회암 협층은 묘봉층 최상부에서 20~30 m 하위층준에 폭 4.5~8.0 m와 0.5 m 내외의 석회암 협층을 교대한 텅스텐 스킨 광화대가 발달하고 있다. 그리고 이 광체 하위 35~40 m 위치

하는 7~8조 이상의 세맥상 석회암층이 협재되고 있으며 주로 석회암 협층을 교대 광화하므로 모암의 층리와 평행한 층준교대광체(stratiform orebody)를 형성하고 있다.

풍촌석회암층

본층은 대석회암통의 최하부층으로 주로 결정질 석회암 또는 돌로마이트질 석회암, 돌로마이트등이 호층을 이루고 있다. 본층의 하부는 회색 내지 회백색의 세립결정질 석회암과 돌로마이트의 호층대이고 상부는 주로 큰 결정의 백색 방해석으로 된 백색 석회암층으로 되어 있다. 중석-몰리브덴의 스킨 광체가 본층의 하부에 주로 발달하고 있다.

상동화강암

지표에는 노출되어 있지 않지만 광체 하부에서 확인된 백악기 상동화강암(87.5 Ma, Kim, 1986)은 석영, 칼리장석, 사장석, 백운모등으로 구성되어 있다. 사장석은 일부 견운모화되었고 백운모는 녹니석화된 열수변질을 받고 있다. 상동화강암에 관한 암석지화학적 연구는 Kim(1986), 문건주(1984), 고경희(1986) 등에 의해 이루어졌고 안정동위원소 분석연구는 Kim *et al.*, (1988)에 의해 이루어진 바 있다. 상동화강암 주위에는 중 석광화작용과 무관한 어평 화강섬록암, 농거리 백운모 화강암, 내덕 화강암체등이 분포하고 있다.

화강암류의 Nd-Sr 동위원소

니오디미움 동위원소비($^{143}Nd/^{144}Nd$)와 스트론튬 동위원소비($^{87}Sr/^{86}Sr$)의 초생치와 ϵ_{Sr} , ϵ_{Nd} 값은 화강암질 마그마의 기원과 지각의 진화 연구에 이용되어오고 있다. 맨틀기원의 마그마는 해령 현무암에서와 같이 LREE, LIL이 결핍되고 정(+)의 ϵ_{Nd} 값과 부(-)의 ϵ_{Sr} 값을 가지며 지각기원물질의 마그마는 부(-)의 ϵ_{Nd} 값과 정(+)의 ϵ_{Sr} 값을 가진다(O'Nions *et al.*, 1977; Depaolo and Wasserburg, 1976). 상동화강암, 농거리 화강암 및 어평 화강암의 화강암질 마그마의 기원추정을 위하여 $^{143}Nd/^{144}Nd$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 동위원소비 분석을 실시하였다. Sr, Nd 동위원소는 Depaolo and Wasserburg(1977)에 의해 정의된 $\epsilon_{Sr}(T)$ 와 $\epsilon_{Nd}(T)$ 로 표시하였다.

단일 스테이지 모델연령(T_{DM}^{Nd})과 2 스테이지 모델연령(T_{2DM}^{Nd})은 Jacobsen(1988)의 계산식에 의해 계산하였다.

위 계산을 위해 상동화강암은 Kim(1986)의 백운모의 K-Ar 연령인 87.5 Ma를 사용하였고 농거리 화강암과 어평 화강섬록암은 윤현수(1985)의 백운모의 K-Ar 연령인 1767 Ma, 거도 화강암의 흑운모 K-Ar 연령인 108 Ma를 각각 사용하

Table 1. Sr-Nd isotope data and calculated model ages for Sangdong, Nonggeori and Eopyeong granitic rocks.

	Sangdong granite		Nonggeori granite	Eopyeong granodiorite	
	S-647.1	S-711	01	02	08
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$	0.727728 ± 12	0.721645 ± 11	1.045003 ± 17	0.711094 ± 11	0.711064 ± 10
$^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	0.511804 ± 5	0.511857 ± 5	0.511739 ± 5	0.512106 ± 5	0.512102 ± 6
Rb(ppm)	332.8	273.5	339.8	107.8	119.4
Sr(ppm)	100.7	131	88.2	445.8	499.6
Rb/Sr	3.305	2.088	3.853	0.242	0.239
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	9.5805	6.0497	11.5143	0.6999	0.6917
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$	0.7158	0.7141	0.7524	0.7100	0.7100
$\epsilon(\text{Sr})$	162	138	713	80	80
Sm(ppm)	4.7	5.1	4.6	4.8	3.7
Nd(ppm)	22.0	26.0	16.0	21.0	19.0
Sm/Nd	0.214	0.196	0.288	0.229	0.195
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.1300	0.1194	0.1750	0.1391	0.1195
$^{147}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}^*$	0.51173	0.51178	0.50970	0.51200	0.51201
$\epsilon(\text{Nd})$	-15.5	-14.4	-12.7	-9.6	-9.4
$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	-0.34	-0.39	-0.11	-0.29	-0.40
$T_{\text{DM}}^{\text{Nd}}(\text{Ma})$	2163	1862	4408	1849	1488
$T_{\text{DM}}^{\text{Nd}}(\text{Ma})$	1764	1687	2858	1375	1363
Age(Ma)	87.5	87.5	1767	108	108

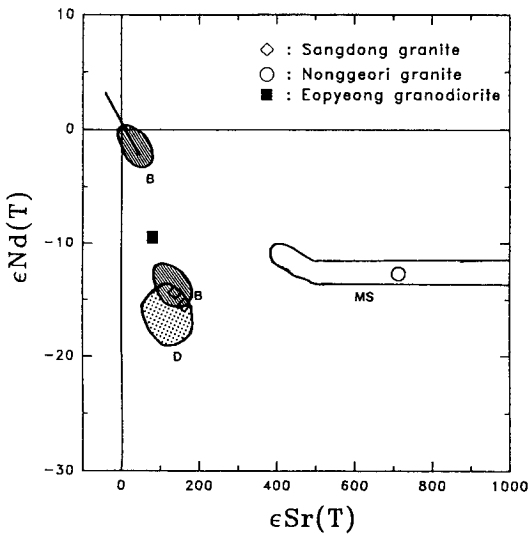


Fig. 2. ϵ_{Sr} vs. ϵ_{Nd} plot of the Sangdong, Nonggeori and Eopyeong granitic rocks. B: Bulguksa granite, D: Daebo granite(Kim et al., 1994), MS: meta-sediments(Na, 1994).

였다.

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 분석결과와 계산된 ϵ_{Sr} , ϵ_{Nd} 및 모델 연령은 Table 1과 같다. 스트론튬 및 니오디미움 동위원소비 분석결과에서 계산된 상동화강암의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초생치는 0.714~0.716이며 농거리 화강암은 0.752, 어평은 0.710으로 이들 화강암은 모두 초생치가 대단히 높은 값을 나타내어 지각

기원물질의 부분용융산물의 특징을 나타내고 있다. 각 화강암의 스트론튬 초생치는 선캄브리아기의 홍제사 화강암의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초생치(0.7229, Kim et al., 1978; 0.7174, Choo and Lee, 1980)와 유사한 값의 범위를 가지며 백악기 화강암의 초생치(0.704~0.707, Jin, 1980)의 값보다는 큰 값을 가진다. ϵ_{Sr} 은 농거리 화강암이 713으로 매우 높은 값을 나타내고 어평 화강암은 두 시료 모두 80, 상동화강암은 138~162의 값을 갖는다(Table 1). 상동화강암의 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 의 초생치는 0.51173~0.51178이며 농거리 화강암이 0.50970, 어평 화강암은 0.51200의 값을 가진다. ϵ_{Nd} 값의 경우 상동화강암은 -14.4~-15.5로 어평화강암(-9.4~-9.6)과 농거리 화강암(-12.7)과도 차이가 있다.

ϵ_{Nd} 과 ϵ_{Sr} 값에서 상동 화강암, 농거리화강암과 어평 화강암은 Sr 초생치에서와 마찬가지로 각 화강암이 상이한 기원에서 유래하였음을 의미하여 주고 있다.

$\epsilon_{\text{Sr}} - \epsilon_{\text{Nd}}$ 그림에서 상동 화강암, 농거리 화강암과 어평 화강암은 상이한 영역에 도시된다(Fig. 2). 상동화강암과 어평 화강암은 모두 고기하부지각기원물질의 부분용융산물로 해석되며 농거리 화강암은 상부지각물질에서 유래한 것으로 추정된다. 남동위원소연구(박계현외, 1993)에서 내덕리 화강암과 농거리화강암이 연령을 같다고 가정하였을 때 맨틀의 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 비에 비해 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 비가 높은 고기에 형성된 상부지각의 일반적 특징을 보인다고 해석한 바 있다. Na(1994)의 옥천대에 분포하는 일부 중생대 화강암들을 연구

결과와 비교하여 보면 상동화강암은 옥천대내의 중생대 화강암류의 ϵ_{Sr} , ϵ_{Nd} 값과 일치하며 어평화강섬록암은 맨틀기원과의 이들과의 중간에 도시되며 농거리 화강암은 meta-sediment 기원영역에 도시된다(Fig. 2).

Rb-Sr계나 Sm-Nd계에서 콘드라이트질 맨틀이나 결핍된 맨틀과 같은 초기의 Sr과 Nd 동위원소비를 가진 중간 과정에서 변화없이 지금까지 도달하였다고 가정했을 때 얻어진 연령 즉, 맨틀유래연령을 모델연령이라 한다.

초생지각이 결핍된 맨틀에서 유래하였다는 가정하에 맨틀과 지각의 분리된 연령을 단일스테이지모델연령(T_{DM}^{Nd})이라 한다. 계산한 화강암질 마그마의 기원암의 단일 스테이지 모델 연령은 각각 상동화강암 1862~2163 Ma, 농거리 화강암 4408 Ma, 어평화강섬록암 1488~1849 Ma이다. 이들의 2 스테이지 모델연령(T_{2DM}^{Nd})은 농거리 화강암이 2858 Ma, 어평 화강섬록암이 1363~1375 Ma, 상동 화강암은 1687~1764 Ma로 단일스테이지 (T_{DM}^{Nd})와 유사하지만 농거리 화강암은 매우 큰 차이를 보여준다.

상동화강암의 모델연령은 우리나라 중생대 대보화강암류의 모델연령인 1.6~3.4 Ga(김규한외, 1994)와 유사하고 농거리 화강암의 지각형성연대는 한반도의 선캄브리아기 기반암의 값인 2.1~2.6 Ga(Na, 1994)와 유사하다(Fig. 3). 어평화강섬록암은 대보화강암과 불국사 화강암의 중간에 도시된다. 이것으로 상동화강암은 류라기의 대보 화강암과 유사한 기원에서 유래한 것으로 해석할 수 있으며 농거리 화강암의 모델연령은 이들보다 훨씬 고기지각기원을 나타내고 있다. 상동화강암과 어평화강섬록암의 모델연령은 서로 유사하지만 이들 화강암의 관입시기와 지화학특징에 현저한 차이가 있다.

김규한외(1994)에 의하면 대보화강암의 ϵ_{Nd} 값은 -13.6~-21.0, ϵ_{Sr} 은 97.3~165.8이고 불국사 화강암의 ϵ_{Nd} 은 -4.4~+0.4(경상퇴적분지), -13.7~-14.9(옥천지향사대), ϵ_{Sr} 은 -25.5~33.5(경상퇴적분지), 114.5~183.7(옥천지향사대)의 값을 갖는다. 우리나라 현생 화강암질암에 관한 동위원소 연구(권성택, 1990)에서는 경상분지 안쪽의 화강암은 ϵ_{Nd} 값이 0~+3, 경상분지 바깥쪽의 값은 -12~-21, 지각형성연대는 경상분지 바깥쪽의 화강암은 주로 15~23 억년으로 경상분지안쪽의 불국사 화강암이 다른 지역보다 훨씬 더 젊은 것으로 보고된 바 있다. 이것으로 보아 백악기 화강암인 상동 화강암과 어평 화강섬록암중 상동 화강암은 대체적으로 Na(1994)의 옥천지향사대 화강암류(ϵ_{Nd} ; 74~215, ϵ_{Sr} ; -14.8~-20.90, 모델연령: 1.7~2.2 Ga)와 김규한외(1994)의 대보화강암류의 ϵ_{Nd} , ϵ_{Sr} , 모델연령의 값과 비슷하나 어평 화강섬록암은 모델연령은 비슷하지만 상동화강암의 ϵ_{Nd} 값보다 더 높은 ϵ_{Nd} 값과 대보화강암과 비슷한 ϵ_{Sr} 을 갖는다.

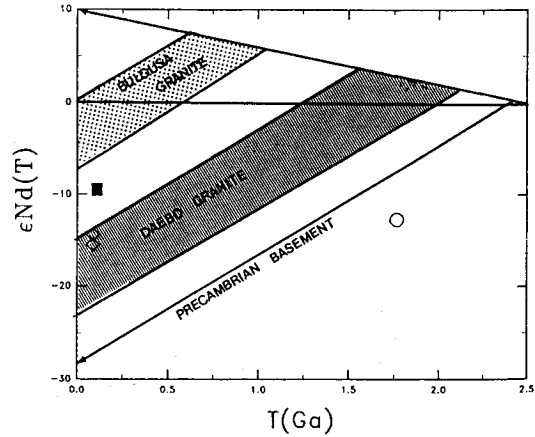


Fig. 3. Nd isotope evolution diagram showing possible ranges of source material ages derived from Sm-Nd model ages. Symbols are the same as in Fig. 2.

상동화강암의 유체포유물

상동화강암중의 석영에 대한 유체포유물에 대하여 균일화 온도와 염농도를 측정하였다(Table 2). 측정대상광물은 주로 반정으로 된 석영내의 포유물로 주로 Type I의 포유물이다. 포유물의 크기는 5.0~35.0(평균 16.0 μm)이다. 균일화 온도는 203~296°C(평균 245°C)이고 염농도는 1.9~9.2(평균 4.7) NaCl equiv. wt.%이다(Fig. 4). 이들 포유물은 모두 화강암 관입후 후기 열수변질과정에서 형성된 2차 포유물로 열수 변질온도로 해석된다. 화강암중의 유체포유물의 균일화 온도는 문 건주(1985)에 의한 유체포유물의 균일화 온도 범위 360~550°C 보다는 낮게 나타나고 있다. 화강암중 유체포유물의 염농도는 평균 4.7 NaCl equiv. wt.%로서 유사한 온도의 석영-각섬석 스카른 중의 석영내의 유체포유물의 염농도 3.4 NaCl equiv. wt.%와 유사하다.

상동화강암의 균일화온도는 평균 245°C로서 동위원소지질 온도계에 의한 860°C(Kim et al., 1988)와 비교하면 현저히 낮은 온도로 상동화강암의 균일화온도는 광화작용을 수반한 후기 열수변질온도로 추정된다. 상동화강암중의 유체포유물의 염농도는 평균 4.7 NaCl equiv. wt.%이다.

상동 화강암과 텅스텐 스카른 광석내의 가스성분

상동 화강암, 어평 화강섬록암 및 농거리 화강암과 상동 텅스텐 스카른 광체의 스카른 분대중 대표적인 스카른 광석 시료에 대하여 가스성분을 분석하였다. 가스성분 분석방법은 Welhan(1988)과 Andrawes and Gibson(1979)의 추출방법에 의해 추출된 가스를 가스크로마토그래프로 분석하였다. 가

Table 2. Fluid inclusion data of the Sangdong granite.

Core sample (Depth)	Mineral	Size(μm)	Type	Th(°C)	Salinity (NaCl eq. wt%)	
647.1	quartz	10.0	I	220.7	2.9	
	"	35.0	"		4.3	
	"	15.0	"	295.7	6.6	
	"	17.5	"	235.5	3.6	
	"	20.0	"	227		
	"	20.0	"	285.1		
	"	22.5	"	203.2	3.2	
	"	10.0	"	216.1		
	"	7.5	"	240.2	5.5	
	"	12.5	"	223.6		
	"	13.8	"	206.7	1.9	
	"	10.0	"	235.1		
	741.9	"	10.0	"	235.1	
		"	20.0	"	218	3.6
"		12.5	"	279.2	9.2	
"		12.5	"	282.2	7.6	
"		15.0	"	253.3	4.2	
"		20.0	"	245.8	5.2	
691.7	"	5.0	"	261.6		
734.9	"	15.0	"	282.9	3.1	

Table 3. Gas composition of granitic rocks and tungsten skarn ores from the Sangdong mine($\times 10^{-6}$ ml/cm³).

Sample No	Description	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	C ₃ H ₈
S-647	Sangdong granite	3.8	0	24	0.099	104	0
02	Eopyeong granodiorite (Hornblende granite)	7.0	0.052	39	0.11	0	0
01	Nonggeori granite (Two mica granite)	11.0	0.036	38	0.27	0.91	0
33	Pyroxene-garnet skarn ore	2.9	0	53	0.071	1.4	0
S-5	Quartz-amphibole-mica skarn ore	7.9	0	2.4	0	0	0
S-4	Quartz-amphibole skarn ore	6.5	0	2.2	0	0	0
23	Quartz-mica-skarn ore	7.9	0	21.0	0.76	31	0.36

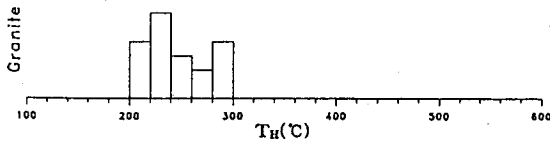
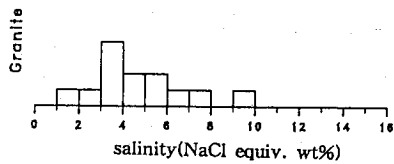


Fig. 4. Histogram of homogenization temperature and salinity of fluid inclusions for the Sangdong granite.

스분석은 일본 나고야대학 행성지구과학과에서 실시하였다. 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서와 같이 상동화강암은 CH₄ 함량보다 CO₂ 함량이 높으며 어평 화강섬록암과 농거리 화강암은 CH₄ 함량이 CO₂ 함량보다 높다.

Sugisaki *et al.* (1994)에 의하면 티탄철석계(ilmenite series) 화강암은 CH₄ 함량이 높고 자철석계(magnetite series) 화강암은 CO₂ 함량이 높은 경향이 얻어졌다.

어평 화강섬록암과 농거리 화강암은 티탄철석계 화강암의 특징을 나타내고 상동화강암은 자철석계 화강암의 특징을 나타내고 있다(Fig. 5). 상동 중석-몰리브덴 스키른 광체는 광물조합에 의해 휘석-석류석대, 각섬석-운모대, 석영-운모

대 등의 누대분포를 나타낸다(Moon, 1983).

상동 텅스텐 스키른 광석중 각 스키른 분대의 대표적인 시료에 대하여 가스성분분석을 실시하였다. 그 결과는 표 3과 같다. 분석시료수가 적어 해석의 제한점이 있으나 스키른화 초기에는 CH₄/CO₂의 비가 높은 CH₄가 우세한 환원광화환경이었음을 알 수 있다. 그러나 문건주 외(1991)에 의하면 휘석 광물중의 유체포유물에서는 CH₄가 전혀 검출되지 않고 CO₂는 2.0 mole %가 검출되었다. 본 연구에서 분석된 시료는 광물시료가 아니며 휘석-석류석 스키른 광석 전암중에서 추출된 가스로서 CH₄이 53×10^{-6} mol/cm²가 검출되었다. 그리고 휘석-석류석 스키른대에서 석영-각섬석-운모스카른대, 석영-각섬석스카른대, 석영-운모대로 감에 따라 H₂, CO₂, CH₄ 등의 함량의 변화의 경향성은 시료수의 제한성 때문에 말하기 어렵다. 그러나 CH₄/CO₂ 비는 점진적으로 증가하는 경향이 있다. 그리고 중석광화작용이 가장 우세한 석영-운모대의 광석이 CH₄/CO₂ 비가 낮은 CO₂ 함량이 비교적 높기 때문에 보다 산화환경(*f*_{O₂}가 높은 조건)에서 다량의 회중석이 침전된 것으로 추정된다. 그러나 석영-각섬석-운모 스키른대와 석영-각섬석 스키른대의 중석침전환경해석에 제한된 시료의 분석결과로 측정된 것이므로 금후 더 많은 분석연구가 요구된다.

결 론

상동중석광상은 고생대 풍촌 석회암층과 묘봉 슬레이트층에 협제한 석회암층을 교대한 다수의 석영맥을 수반한 괴상, 렌즈상 중석 스키른 광상이다. 상동중석광상의 광화환경, 광화용액의 화학조성연구를 위하여 상동화강암과 주위 화강암의 Nd·Sr 동위원소분석, 유체포유물추정, 가스성분분석 등을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

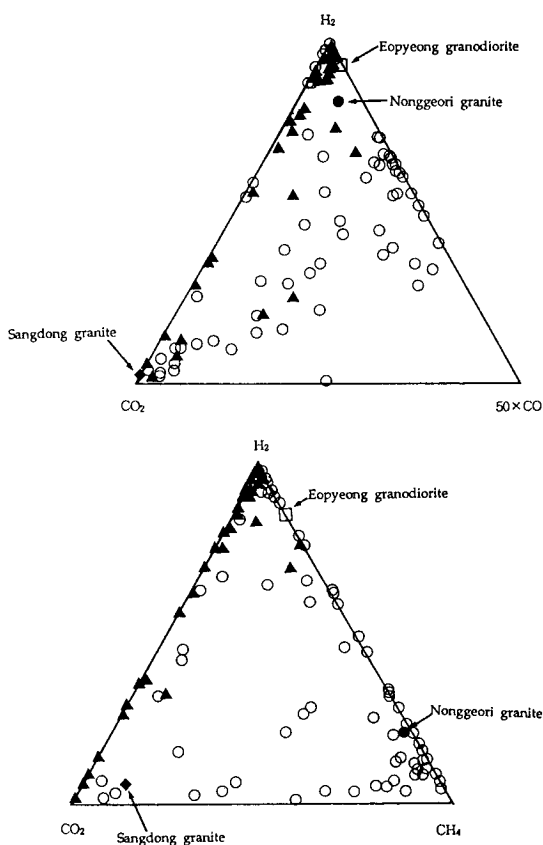


Fig. 5. Comparison of ilmenite series granite vs. magnetite series granite on H₂-CO₂-CO and H₂-CO₂-CH₄ plots(Sugisaki et al., 1994). ▲; magnetite series granite, ○; ilmenite series granite, ●; Nonggeori granite, □; Eopyeong granodiorite, ◆; Sangdong granite

1. 상동화강암은 CO₂ 함량이 높은 자철석계 화강암의 특징을 나타내고 어평화강섬록암 및 농거리 화강암은 CH₄ 함량이 높은 티탄철석계 화강암의 특징을 나타낸다.
2. 상동 화강암, 농거리 화강암 및 어평 화강섬록암의 Nd · Sr 동위원소분석결과 상동화강암의 스트론튬 동위원소비의 초생치(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i는 0.714~0.716이고 니오디미움 동위원소비의 초생치(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_i는 0.50970~0.51201로서 지각물질 기원의 특징을 나타내고 있다. 2 스테이지 모델연령(T_{DM}Nd)은 농거리화강암이 2858 Ma, 어평화강섬록암이 1363~1375 Ma, 상동화강암은 1687~1764 Ma로 백악기 화강암인 상동 화강암과 어평 화강섬록암의 모델연령은 유사하지만 화강암의 관입시기와 지화학특징은 현저한 차이가 있다. 농거리 화강암은 이들보다 더 고기의 연령으로 선캄브리아기의 기반암과 비슷한 모델 연령이 얻어졌다. ε_{Sr}-ε_{Nd}값에서 상동 화강암은 대보 화강암과 유사한 기원인 고기하부지각의 부분

용융산물로 해석이 된다. 어평 화강섬록암은 맨틀기원과 지각기원의 혼합으로 농거리 화강암은 변성퇴적암으로 형성된 지각기원의 물질로 해석할 수 있다.

3. 상동화강암중의 석영내의 유체포유물 균일화 온도는 203~296℃(평균 245℃)이며 염농도는 1.9~9.2(평균 4.7) NaCl equiv. wt.%이다. 이중 상동화강암의 비교적 낮은 온도는 열수변질온도로 추정된다.

4. 가스성분 분석에 의하면 중석 스카른 광화용액은 CH₄ 함량이 높은 초기 휘석-석류석 스카른 광화유체에서 CO₂ 함량이 높은 후기 석영-운모대로 진화된것으로 해석된다.

참고문헌

고경희(1988) 상동중석광상의 광화작용과 스카른 광물의 광물학적 연구. 이화여자 대학교 교육대학원, 45p. 미간행.

권성택(1990) 우리나라 현생이인 화강암질암에 대한 사마리움-니오디미움 동위원소 연구. 지각의 성인 및 구조 고찰. 46차 대한지질학회 학술발표.

김규환, 박성숙, 나춘기(1994) 남한의 중생대 화강암류의 Nd, Sr 동위원소 및 유체 포유물 연구. 제 49차 대한지질학회 학술발표회.

김옥준, 박희인(1970) 상동광산 지질광상 조사보고. 광산지질, v. 3, p. 25-34.

문건주(1984) 상동 중석 광상의 주맥석 광물에 대한 지화학. 광산지질, v.17, p.

문건주(1985) 상동 텅스텐 스카른 광상의 유체포유물 연구. 광산지질, v.18, p. 205-216.

문건주, 김성재, 박기화, 지세정(1991) 암석광물내 유체포유물의 회수 시험 연구. 과학기술처 연구보고서. 143p.

박계현, 정창식, 이광식, 장호완(1993) 태백산지역의 고기화강암 및 화강 편마암 류에 대한 납 동위원소연구. 지질학회지, v. 29, p. 387-395.

윤석규, 신정숙(1985) 상동화강암의 암석화학적 특징과 열수변질. 지질학회지, v. 21, p.319.

윤현수(1985) 함백분지 남부 및 기반 지역에 분포하는 화강암질 암류의 암석화학적 연구. 연세대학교 대학원 지질학과 박사학위논문.

이창우, 김수진, 김광호, 장세원(1985) 상동광상산 광물들의 생성시기와 생성 기구에 관한 연구. 지질학회지, v. 21, p. 332.

Andrews F. F. and Gibson E. K. (1979) Release and analysis of gases from geological samples. Am. Min., v. 64, p. 453-463.

Choo, S.H. and Lee, D.J. (1980) A Rb/Sr age determination on a Precambrian granite in the Korean peninsula. KIGAM, unpub.

Depaolo, D.J. and Wasserburg, G.J. (1976) Nd isotopic variations and petrogenetic models. Geophys. Res. Lett., v. 3, p. 249-252.

Depaolo, D.J. and Wasserburg, G.J. (1977) The source of island arcs as indicated by Nd and Sr isotopic studies. Geophys. Res. Lett., v. 4, p. 465-468.

Jacobsen, S.B. (1988) Isotopic constraints on crustal growth and recycling. Earth. Planet. Sci. Lett., v. 50, p.139-155.

Jang, S.W. (1988) Mineralogy of the tungsten ores from Sangdong mine. Ph.D. thesis, Seoul National University, 287p.

Jin, M.S. (1980) Geological and isotopic contrasts between the Jurassic granites and the Cretaceous granites in Southern Korea. J. Geol. Soc. Korea., v. 16, p. 205-215.

- Kim, D.H., Choo, S.H. and Lee, D.J. (1978) Rb/Sr age of Hongjesa granite distributed in Seogpo-ri area. Rept. Geosci. and Mineral Resources, v. 4, p. 83-101.
- Kim, K.H. (1986) Petrology and petrochemistry of Sangdong granites: Unpub. M.S. thesis, Gyeongbuk National Univ. 80p.
- Kim, K.H., Kim, O.J., Nakai Nobuyuki and Lee, H.J. (1988) Stable isotope studies of the Sangdong tungsten ore deposits, South Korea. Mining Geology, v. 38, p. 473-487.
- Kim, O.J. (1971) Geologic structure and ore deposits of Sangdong scheelite mine. Soc. Mining Geologists Japan Spec. Issue 3, p. 144-149.
- Kim, S.Y. (1976) Geology, mineralogy, and geochemistry of tungsten deposits of the Sangdong-Ogbang area, Southern Korea. Ph.D. thesis, University of Leeds, U.K., 349p.
- Moon, K.J. (1983) The genesis of the Sangdong tungsten deposit, the Republic of Korea. Ph.D. thesis, Tasmania Univ., Australia, 366p.
- Na, C.K. (1994) Genesis of granitoid batholiths of Okchon zone, Korea and its implications for crustal evolution. Univ. Tsukuba. Unpub.
- O'Nions, R.K., Hamilton, P.J., and Evensen, N.M. (1977) Variation in $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in oceanic basalts. Earth Planet. Sci. Lett., v. 34, p. 13-22.
- So, C.S. (1968) Die Scheelite-Lagerstätte, Sangdong. Unpub., La- naug. Diss., Univ. Munich, 71p.
- Sugisaki, R., Araki, M. and K.Nagamine (1994) Distribution of carbon-bearing gas species in plutonic rocks and their behaviors in igneous processes. (in press)
- Welhan J.A. (1988) Methane and hydrogen in mid-ocean ridge basalt glasses: analyses by vacuum crushing. Can. J. Earth Sci. v. 25, p. 38-48.

1995년 2월 3일 원고접수