

부평 은광산 지역의 유문암질암과 화강암류의 K-Ar연령과 Nd, Sr 동위원소

金奎漢* · 田中剛** · 長尾敬介***

Nd and Sr Isotopes and K-Ar Ages of the Granitic and Rhyolitic Rocks from the Bupyeong Silver Mine Area

Kyu Han Kim*, Tsuyoshi Tanaka** and Keisuke Nagao***

ABSTRACT : Volcanic rocks including rhyolitic tuff, rhyolite and welded tuff in the Bupyeong silver mine area form a topographic circular structure known as a resurgent caldera. Granitic rocks are emplaced inside and outside area of the circular structure. K-Ar dating and Nd-Sr isotope studies were carried out to investigate the origin and petrogenetic evolution of the rhyolitic and granitic magma in the Bupyeong silver mine area. Whole rock K-Ar age ranges from 208 to 131 Ma for rhyolitic rocks. Radiometric ages for the granitic rocks are 167.6 Ma for pink feldspar biotite granite from inside granitic pluton of the circular volcanic body, 178.8 Ma for the Kimpo hornblende biotite granite and 111.8 Ma for the Songdo foliated granite from outside granitic plutons of the volcanic body. The radiometric age data indicates that the volcanic activities which are partly overlapped by granite plutonic activities in the Bupyeong mine area had recorded early Jurassic and early Cretaceous in age. Initial Sr and Nd isotopic ratios of the rhyolitic rocks ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710\text{--}0.719$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.5115\text{--}0.5118$) are similar to those of granitic rocks ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.709\text{--}0.716$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.5115\text{--}0.5116$) from inside granite stock. This means that similar source materials of felsic magma responsible for the Bupyeong volcanic rocks and inside plutonic rocks. Based on the Nd and Sr isotopic compositions, rhyolitic and granitic magmas in the Bupyeong area originated from the partial melting of the old continental crust which has Nd model age ranging from 1500 to 2900 Ma. This is analogous to those of the other Jurassic granitoids in South Korea.

서 론

유문암질 화산암류가 부평지역을 중심으로 계양산에서 철마산, 만월산을 거쳐 장수동에 이르는 직경 약 10 km의 환상구조로 산출되고 있다. 그리고 그 환상구조 내·외부에 화강암류가 관입하고 있다. 부평 은광상이 환상 유문암체 남서부의 유문암체 내에 발달하고 있다. 이 지역의 지질 광상에 대해서는 박노영, 정경식 (1968), 신명식 (1970), 전효택, 전용원 (1973), 서규식 (1985), 서규식, 박희인 (1986, 1987), 최위찬 등 (1995a) 등에 의해 조사

연구된 바 있다. 부평 은광산 지역의 유문암질암과 화강암류에 대한 광물, 암석화학적 연구 (하우영, 1996)와 유체포유물 및 가스 분석에 의한 후마그마 열수변질연구가 최근에 수행되 바 있다 (김규한, 하우영, 1997).

본 연구에서는 환상 구조로 산출되는 유문암질암의 산출상태와 이와 관련되어 환상 화산암체 내외부에서 산출되는 화강암류들과의 관입 시기적 상호 관련성과 암석의 성인을 규명하기 위하여 이 지역의 화산암류와 화강암류의 시료에 대하여 K-Ar 절대연령 측정과 Nd, Sr 동위원소 분석을 실시하였다.

지질개요

조사지역의 지질은 선캠브리아기의 경기 편마암복합체의 변성암류와 중생대 화성암류 및 맥암으로 구성되어 있다. 변성암류는 편마암, 편암, 규암, 대리암 등으로 구성되

* 이화여자대학교 과학교육과 (Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea)

** Department of Earth and Planetary Science, Nagoya University, Nagoya 464-01, Japan

*** Laboratory for Earthquake Chemistry, Faculty of Science, University of Tokyo, Tokyo 113, Japan

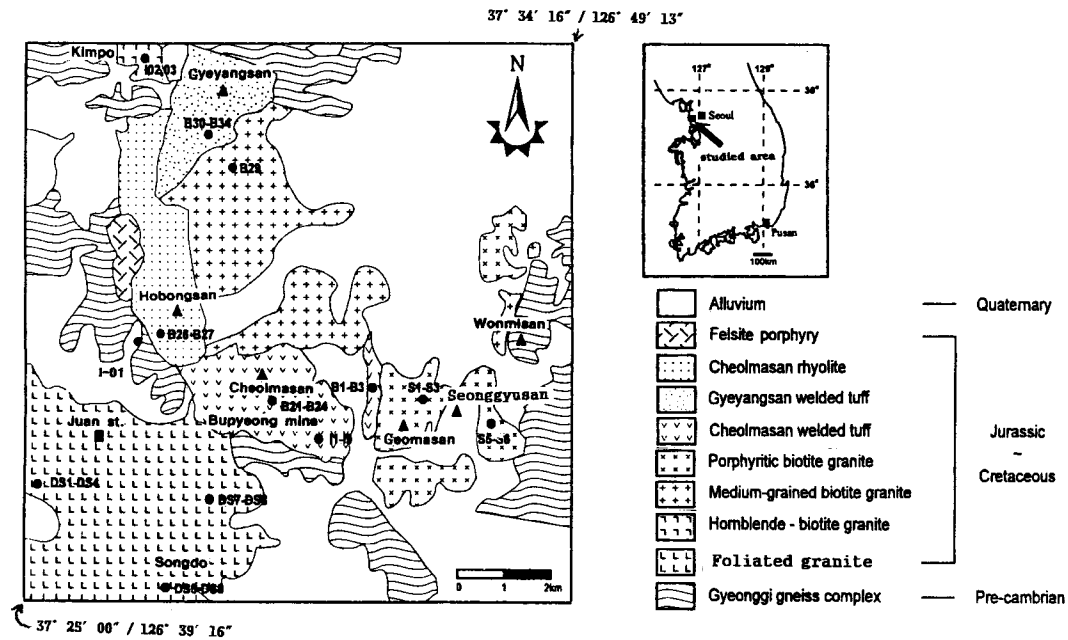


Fig. 1. Geologic and sampling map of the Bupyeong silver mine area (Kim, 1975; Seo, Park, 1986; Choi *et al.*, 1995a, 1995b).

어 있다. 중생대 화성암류는 유문암질 화산암류와 화강암류로 구성되어 있다 (Fig. 1).

화산암류의 분포는 계양산, 철마산, 원미산으로 잇는 환상의 지형 구조를 이루고 있다. 이 같은 환상구조의 분포 특징과 화산암류와 화강암류의 성인 연구에 의해 resurgent caldera model이 제안된 바 있다 (서규식, 1985, 서규식, 박희인, 1986). 화산암류는 주로 유문암질 용결응회암, 응회암, 유문암 등으로 구성되어 있다. 환상구조 내부는 지형적으로 저지대를 이루고 있다. 화강암류는 중립질 분홍색 장석 흑운모 화강암, 조립질 반상 흑운모 화강암, 각섬석 흑운모 화강암, 엽상 화강암 등으로 구성되어 있다. 이중 중립 내지 조립질 홍색장석 흑운모 화강암과 반상 흑운모 화강암은 환상구조 내측에 분포하고 있다 (Fig. 1).

화산암류

유문암질암

부평광산 부근에서 철마산, 거마산, 원미산에 이르기 까지 유문암질 용결응회암, 유문암, 응회암 등이 넓게 분포하고 있다. 용결응회암의 기질의 색은 밝은 회색, 녹회색~회색을 띄고 있다. 기질은 대부분 석영과 장석 및 유리사드로 되어 있다. 2 mm 정도 크기의 커다란 석영 반

정과 정장석, 방해석 반정을 포함하기도 하고 장석 반정의 경우 일부가 방해석으로 치환된 것도 있다 (김규한, 하우영, 1977). 장석류는 상당 부분이 견운모화 되어 있다. 철마산지역의 용결 응회암은 소량의 사장석 반정과 인회석, 녹염석을 함유하며 유문암과 소량의 점토광물 암편을 포함한다. 점토광물의 암편 크기는 대략 0.5 mm로 비교적 작지만 드물게는 2~3 mm 정도의 큰 것도 관찰된다. 사장석 반정의 변질 받지 않은 부분의 성분은 거의 순수한 알바이트 (An_{0-4.3}) 조성을 갖는다. 유문암질 응회암은 암적색 부분과 밝은 부분이 교호되는 유상구조를 갖는다.

철마산과 호봉산지역에는 주로 유문암이 분포하고 있다. 유문암에는 암편은 거의 발견되지 않고 붉은색을 띄는 회색 내지 담회색의 색대에 의해 뚜렷한 유상구조가 나타난다. 정장석 반정이 대부분이지만 사장석 반정도 함유되어 있다.

화강암류

흑운모 화강암

환상구조의 내측에 분포하며 분홍색의 장석을 많이 함유함에 따라 담홍색을 띤다. 중립질의 정장석과 피어사이트가 많이 관찰된다. 사장석은 자형~반자형의 결정을 이

루며 주로 알바이트 쌍정과 누대구조를 나타내기도 한다. 사장석은 주로 올리고클레이스 (An_{4-23})이다 (김규한, 하우영, 1977).

반상 흑운모 화강암

거마산 남쪽 및 성규산 동쪽 일대에 관입되어 있다. 홍색을 띠는 정장석은 대부분이 변질을 받았다. 퍼어사이트와 미사장석도 관찰이 된다. 알바이트 쌍정을 보이는 사장석이 자형으로 산출된다. 사장석은 주로 올리고클레이스 (An_{13-23})이다.

각섬석 흑운모 화강암

김포지역인 계양산의 서쪽에서 편마암류와 화산쇄설암류의 경계를 따라 소규모로 관입 분포하고 있다. 흑운모와 각섬석을 많이 함유한다. 흑운모는 자형으로 산출되는 것이 많으며 각섬석은 0.5~1 cm 정도의 크기를 나타내며 일부는 녹니석화되었다. 정장석과 사장석의 반정을 다량 포함하며 석영이 소량 관찰된다. 사장석 (An_{28-39})은 자형으로 대부분이 누대구조를 보인다. 각섬석 지질압력계와 각섬석-사장석 지질온도계에 의해 이 암체의 생성 압력은 4.8~5.4 kbar이며 온도는 786~823°C로 얻어 졌다 (김규한, 하우영, 1977).

엽상 흑운모 화강암

인천 남측 송도지역에 소규모로 분포하며 많은 양의 흑운모가 관찰되며 일부는 2차적으로 녹니석화되었다. 엽리구조가 잘 발달한 엽상 화강암 (foliated granite)이다. 결정의 크기는 세립~중립에 걸쳐 다양하며 지역에 따라 조립질도 산출된다. 부분적으로는 페그마타이트질 화강암도 있다. 주로 정장석, 미사장석으로 구성되어 있고 퍼어사이트도 관찰된다. 사장석 (An_{21-35})과 석영결정의 연장으로 된 밀메카이트 구조도 관찰된다 (김규한, 하우영, 1977).

분석방법

K-Ar 연령측정을 위해 유문암류는 전암을 사용하였고 화강암류는 흑운모를 분리 하여 이들을 60~80 mesh로 파쇄하였다. 알곤 동위원소분석은 일본 오카야마대학 지구내부연구소 (Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University)에 설치된 새롭게 설계된 ^{39}Ar 스파이크를 사용한 동위원소 희석법 (Nagao *et al.*, 1996)으로 실시하였다. 질량분석은 변형된 VG 5400 질량분석기로 실시하였으며 측정가능 연령범위는 0.01~1500 Ma이다.

K함량은 원자흡광분광분석과 X선형광분석법으로 일본 나고야대학에서 측정되었으며 오차는 $\pm 2\%$ 이다. Nd, Sr 동위원소분석을 위한 시료처리와 질량분석은 나고야대학 지구행성과학과에서 실시하였으며 보통 사용되는 열이온화 질량분석기 (Thermal Ionization Mass Spectrometry) 분석법 (Doss, Murthy, 1980, Tatsumoto *et al.*, 1987)으로 Nd와 Sr의 동위원소비를 측정 하였다. $\epsilon_{Nd(T)}$, $\epsilon_{Sr(T)}$ 계산시 사용된 모델 파라미터값은 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}=0.512638$, $(^{143}Sm/^{144}Nd)_{CHUR}=0.1967$, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{UR}=0.7045$, $(^{87}Rb/^{86}Sr)_{UR}=0.0827$ (Jacobsen, Wasserburg; 1980, Wasserburg *et al.*, 1981)이다.

K-Ar 절대연령 측정결과

부평지역 환상 화산암체와 화산암체 내외부 주변부의 심성암류와의 상호관계 및 관입시기 해석은 한반도 중부 지역에서는 드물게 일어난 화산활동 및 심성활동사 해석에 중요하다. 뿐만 아니라 유문암질 화산암체 내에 발달하고있는 부평 은광상의 광화시기 및 성인해석에도 중요한 정보를 제공하게 될것이다.

부평 은광산 부근의 화강암류와 화산암류의 K-Ar 연령 측정에서 화산쇄설암류 및 화강암류는 주라기에 관입하였고 부평 은광화작용 (137 \pm 7 Ma 전후)은 화산쇄설암류의 형성과 화강암류의 관입 이후에 일어났음을 보고하였다 (서규식, 1985). 또한, 유문암의 분출 시기는 121 \pm 6 Ma로 보고하였다.

그러나 서규식 (1985)은 산출상태와 연령 측정자료 해석에서 화산 쇄설암류가 주라기 이전에 형성된 것으로 추정하였다.

서규식에 의해 측정된 화산암류의 연령은 부평 은광상의 갱내 용결 응회암시료 중에서 산출된 변질광물인 견운모 (sericite)의 연령 137 \pm 7 Ma와 유문암 (전암) 121 Ma로 resurgent caldera 모델 해석을 지지하는 주라기 이전의 화산활동 산물의 연령측정 결과는 얻어지지 못하였다.

따라서 이 지역의 화산활동과 심성 화성활동의 상호 시-공간적인 관련이 미해결의 문제점으로 남아있게 되었다.

때문에 본 연구에서는 환상 화산암체 내부 (시료번호 B29) 및 외부의 심성암류 (시료번호 I-O2, DS-3)내의 흑운모의 K-Ar연령 측정과 철마산지역 화산암류 (유문암류, I-1, I-2, I-3)의 분출 또는 관입 시기와 상호 시-공간적인 관계를 규명하기 위하여 전암시료의 K-Ar연령을 측정하였다 (Table 1, Appendix 1). Table 1에서와 같이 환상 화산암체 내부의 부평지역 화강암류의 K-Ar 흑운모

Table 1. K-Ar ages of the granitic and rhyolitic rocks from the Bupyong silver mine area.

Sample	Type	Mineral	K (wt%)	³⁶ Ar (×10 cm/g)	⁴⁰ Ar (rad) (×10 cm/g)	K-Ar age (Ma)	Atm. ⁴⁰ Ar (%)	Remark
B29	Pink feldspar biotite granite	Bt	4.99	29.12±0.56	3402.79±34.30	167.636±5.066	2.4	This study
I-O2	Hornblende-biotite granite	Bt	6.44	122.59±1.37	4698.88±47.42	178.802±5.388	7.1	
DS3	Foliated granite	Bt	6.25	58.65±0.79	2799.58±28.32	111.852±3.433	5.8	
I-1	Rhyolite	WR	3.72	9.33±0.21	1992.08±20.32	132.932±4.061	1.4	
I-3	Purple rhyolite	WR	4.72	10.49±0.22	2493.39±25.13	131.198±4.005	1.2	
I-4	Rhyolite	WR	0.37	9.17±0.11	316.80±3.20	208.093±6.221	7.9	
	Biotite granite (Kyeongsan)	Bt				162 Ma		Kim (1997)
	Porphyritic biotite granite (Keomasan)	Bt				148±7 Ma		Seo (1985)
	Sericitized welded tuff (Bupyong mine-220 m)	WR				137±7 Ma		Seo (1985)
	Rhyolite (Cheolmasan)	WR				121±6		Seo (1985)

Abbreviations: Bt Biotite, WR; Whole rock

연령은 167.6±5.1 Ma로 Kim (1971)의 측정결과 (162 Ma)와도 유사하다. 그리고 화산암체 외부 김포지역 각섬석-흑운모 화강암의 K-Ar 흑운모 연령은 178.8±5.4 Ma로 쥬라기 대보 화강암류에 해당되고 있다. 그러나 인천 송도지역 엽상 화강암의 K-Ar 흑운모 연령은 111.8±3.4 Ma로 얻어졌다. 그리고 3개의 유문암시료 (I-1, I-3, I-4)의 K-Ar 전암연령은 각각 132.9±4.1 Ma, 131.2±4.0

Ma, 208.1±6.2 Ma로 얻어졌다. 측정시료 I-4의 분포 위치는 철마산 용결 응회암층에 해당한다. 그러나 본연구에서 암상에 따라 세분되지 못하였다. 208 Ma로 측정된 유문암 시료는 철마산 용결 응회암내에 잔존하는 초기 화산활동의 잔류암으로 생각된다. 이는 화산활동이 쥬라기 초와 백악기 초에 각각 일어났음 의미하고 있다. 즉, 쥬라기 초의 유문암질 화산활동이 시작된 후 화강암질 심성암의

Table 2. Nd and Sr isotopic compositions of some granitic and rhyolitic rocks from the Bupyong silver mine area in South Korea.

Sample	Type	Age (Ma)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Rb/Sr	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	εSr (T)
B29	Pink feldspar biotite granite	167.6	166	94	1.77	5.1113	0.727755±7	160.1
B29-1	Hornblende-biotite granite	167.6	274	96	2.85	8.2610	0.729192±18	73.9
S-1	Pink feldspar-biotite granite	167.6	148	51	2.90	8.3993	0.720160±8	-59.0
S-3	Pink feldspar granite	167.6	101	87	1.16	3.3601	0.719450±7	101.4
S-5	Aplite	167.6	154	368	0.42	1.2112	0.713464±9	89.0
I-O2	Hornblende-biotite granite	178.8	107	551	0.19	0.5621	0.711440±7	81.2
I-O3	Hornblende-biotite granite	178.8	66	554	0.12	0.3448	0.711482±8	89.7
DS1	Foliated granite	111.9	116	478	0.24	0.6946	0.714861±6	134.2
DS3	Foliated granite	111.9	136	323	0.42	1.2187	0.713386±8	100.6
DS5	Foliated granite	111.9	nd	nd	nd	nd	0.712890±8	121.0
DS7	Biotite granite	111.9	108	684	0.16	0.4570	0.711482±9	90.7
DS8-1	Diorite	111.9	84	876	0.10	0.2775	0.709754±7	70.1
DS8-2	Pink feldspar granite	111.9	129	452	0.29	0.8260	0.712260±7	93.4
B1	Rhyolite with phenocryst	131.2	193	172	1.12	3.2477	0.720033±6	136.7
B2	Rhyolite with pyrite	132.9	184	255	0.82	2.3669	0.718022±8	130.7
B22	Rhyolite	132.9	223	53	4.21	12.1782	0.737216±8	140.2
B27	Rhyolite	132.9	193	27	7.15	20.6894	0.757751±8	203.4
B32	Rhyolite with phenocryst	132.9	240	82	2.93	8.4713	0.726627±7	89.2
B35	Welded tuff	132.9	132	83	1.59	4.6031	0.726877±7	196.5
I-2	Rhyolite	132.9	249	111	2.24	6.4928	0.725401±7	124.8
I-3	Purplish rhyolite	131.2	221	117	1.89	5.4671	0.723386±7	125.6
I-5	Welded tuff	132.9	122	142	0.86	2.4867	0.720175±7	158.2
I-7	Welded tuff	132.9	243	83	2.93	8.4739	0.728989±7	122.7
I-9	Welded tuff	132.9	234	193	1.21	3.5092	0.725591±9	207.5
I-O1	Biotite gneiss	nd	nd	nd	nd	nd	0.721782±7	nd

Table 2. Continued.

(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i	Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm/Nd	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	eNd (T)	(¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd) _i	T(DM)(Ma)
0.71558	6.6	34	0.19	0.1173	0.511743±5	-16.6	0.511614	1989
0.70951	5.1	25	0.20	0.1233	0.511693±5	-17.8	0.511558	2186
0.70015	6.1	28	0.22	0.1317	0.511528±4	-21.2	0.511384	2662
0.71144	7.2	31	0.23	0.1404	0.511543±4	-21.0	0.511389	2916
0.71057	6.3	39	0.16	0.0976	0.511708±4	-16.9	0.511601	1718
0.71001	8.9	64	0.14	0.0840	0.511712±5	-16.4	0.511614	1546
0.71060	9.7	68	0.14	0.0862	0.511714±4	-16.4	0.511613	1568
0.71321	5.4	34	0.16	0.0960	0.511768±4	-15.5	0.511698	1625
0.71145	9.6	60	0.16	0.0967	0.511732±4	-17.1	0.511661	1677
0.71289	nd	nd	nd	nd	0.511738±4	-15.6	0.511738	945
0.71075	3.9	26	0.15	0.0907	0.511756±4	-16.6	0.511690	1573
0.70931	6.1	37	0.16	0.0996	0.511906±4	-13.8	0.511833	1502
0.71095	5.2	32	0.16	0.0982	0.511587±4	-20.0	0.511515	1874
0.71397	5.9	32	0.18	0.1114	0.511785±5	-16.1	0.511689	1826
0.71355	5.7	32	0.18	0.1077	0.511797±4	-15.8	0.511703	1752
0.71422	5.9	27	0.22	0.1321	0.511688±4	-18.3	0.511573	2406
0.71867	10.9	57	0.19	0.1156	0.511660±4	-18.6	0.511559	2075
0.71063	5.4	26	0.21	0.1255	0.511724±4	-17.5	0.511615	2187
0.71818	5.5	27	0.20	0.1231	0.511704±4	-17.9	0.511597	2165
0.71314	6.0	34	0.18	0.1067	0.511774±4	-16.2	0.511681	1767
0.71320	4.0	19	0.21	0.1272	0.511781±5	-16.4	0.511672	2135
0.71548	6.2	30	0.21	0.1249	0.511792±3	-16.2	0.511683	2068
0.71298	5.9	35	0.17	0.1019	0.511773±5	-16.2	0.511684	1698
0.71896	5.9	32	0.18	0.1114	0.511776±4	-16.3	0.511679	1839
nd	nd	nd	nd	nd	0.511089±4	nd	nd	nd

관입이 일어나고 또 다시 백악기 초에 유문암질 화산활동이 재개 되었다. 이 같은 화산활동의 시기와 화산암의 분포 특징은 resurgent caldera model (서규식, 1985)의 화산활동의 시간적인 가능성을 지지하여 주고 있다.

Nd-Sr 동위원소 분석결과

부평지역 유문암과 화강암류를 형성시킨 유문암질 및 화강암질 마그마의 기원 및 진화를 연구하기 위하여 Nd, Sr 동위원소비를 분석하고 Rb, Sr 함량을 정량하였다 (Table 2, Appendix 1).

화산암류의 Nd, Sr 동위원소비

유문암질암의 Nd, Sr 동위원소비

계양산, 철마산, 호봉산 등지의 유문암과 용결응회암 등의 Rb 함량은 122~243 ppm이며 Sr은 27~225 ppm이다. Rb/Sr비는 0.82~4.21로 Rb/Sr비가 높은 특징을 가진다. 이들 암석의 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr비는 0.720175±7~0.757751±8이며 스트론튬의 초생치 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i는 0.71063~0.71896 이다.

그리고 Sm과 Nd의 함량은 각각 4.0~10.9 ppm과 19~57

ppm이며 Sm/Nd비는 0.17~0.22로 변화 범위가 매우 작다. 유문암질암의 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd값은 0.511089±4~0.511797±4 ($\epsilon_{Nd(t)} = -15.8 \sim -18.6$)이며 네오뮴의 초생치는 (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_i = 0.511559~0.511703이다. 단일 스테이 모델연령 (T_{DM})은 1698~2406 Ma로 계산되었다.

유문암질암이나 용결응회암 등 암상에 따른 이들 동위원소비의 차이는 나타나지 않는다. 그러나 이들 유문암질암의 Sr 동위원소비의 변화가 크다. 이는 기원 물질의 동위원소 불균질 때문으로 해석된다. 높은 Rb/Sr비와 높은 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 동위원소비, 낮은 Sm/Nd비 및 부의 ϵ_{Nd} 값 등의 특성은 보편적인 상부 지각물질 기원암의 동위원소 특성 (Depaolo, Wasserburg, 1979)과 일치하고 있다.

화강암류의 Nd-Sr 동위원소비

환상 화산암체 내부의 화강암류

환상 화산암체 내부의 주라기 화강암류는 계양산과 철마산 사이에 분포하는 홍색 장석-흑운모 화강암과 거마산, 원미산 부근에 분포하는 반상 흑운모 화강암으로 대분된다.

반화강암 (aplite)을 제외한 이들 화강암류의 Rb과 Sr 함

량은 각각 101~274 ppm과 51~96 ppm (Rb/Sr=1.2~2.9)이다. 반상 흑운모 화강암 (시료번호, S-1)을 제외한 화강암류의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.7195~0.7292이며 스트론튬의 초생치 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)는 0.7095~0.7156로 초생치의 값이 변화하고 있다 (Table 2). Sm과 Nd함량은 5.1~7.2 ppm과 25~34 ppm (Sm/Nd=0.19~0.23)이다. 이들 암석의 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 값은 0.51154~0.51174 ($\epsilon_{\text{Nd}(T)}$ =-16.6~-21.2)이다. 계산된 모델연령은 1989~2916 Ma이다.

그러나 반화강암은 Sr함량 (368 ppm), Rb/Sr비 (0.42), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비 (0.7135)로 기타 화강암류의 이들 성분과 다소 차이가 있다.

환상 화산암체 외부의 화강암류

환상 화산암체 외부에 분포하고 있는 김포지역 각섬석-흑운모 화강암은 Sr함량 (551~554 ppm)이 화산암체 내부에 분포하고 있는 화강암류 (101~274 ppm)에 비해 높고 Rb/Sr비는 0.12~0.192로 내부의 화강암류 (1.16~2.90)에서 보다 낮다. 각섬석-흑운모 화강암의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초생치는 0.7100~0.7106이며 Sm/Nd=0.14, $\epsilon_{\text{Nd}(T)}$ =-16.4, $T_{\text{DM}}=1546\sim 1568$ Ma로 화산암체 내부의 화강암류와는 동위원소 특성이 다르다.

인천 송도지역 백악기의 엽상 화강암류는 Rb, Sr함량이 각각 84~136 ppm, 323~876 ppm (Rb/Sr=0.10~0.42)이다 (Table 2). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 측정치는 0.7097~0.7148 (초생치, 0.7093~0.7132)이다. 그리고 이들 화강암류의 Sm/Nd=0.15~0.16, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51158\sim 0.51176$ ($\epsilon_{\text{Nd}(T)}$ =-13.8~-20)이며 모델연령은 1502~1874 Ma이다.

Nd 모델연령

계산된 Nd 모델연령 ($T_{\text{DM}}^{\text{Nd}}$)은 Table 2와 같다. 모델연령 계산에 사용된 모델 파라미터는 ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_{DM, Today}=0.51235 (McCulloch and Black, 1984), ($^{147}\text{Sm}/^{148}\text{Nd}$)_{DM, Today}=0.225 (McCulloch *et al.*, 1983), $\lambda=6.54 \times 10^{-12}$ 이다.

부평 유문암질암과 환상 화산암체 내부의 흑운모 화강암의 모델연령은 각각 1700~2400 Ma과 1900~2100 Ma로 서로 유사하다. 그러나 거마산 지역의 반상 흑운모 화강암의 모델연령은 2600~2900 Ma로 이들보다 약간 고기의 연령을 나타내고 있다. 이는 이들 두 암군의 마그마의 근원 물질이 원생대초 (early Proterozoic)에 이미 진화되어 있었음을 의미하고 있다. 그리고 김포지역 흑운모 각섬석 화강암 (모델연령, 1546~1568 Ma)과 인천 송도지역 엽상 화강암류 (모델연령, 1502~1874 Ma)의 화강암질 마그마의 근원 물질은 다소 후기에 진화되었다.

부평지역의 화산암류와 화강암류의 근원 물질인 지각 물질의 모델연령은 1500~2900 Ma로 한반도 기타 지역의 주라기 대보 화강암류의 모델연령 $T_{\text{DM}}=1610\sim 2763$ (Kim *et al.*, 1996)과도 유사하다. 그리고 옥천대 내의 주라기 화강암류의 모델연령 (1580~1970 Ma)과도 유사한 연령 범위를 가진다 (Na, 1994; Cheong, Chang, 1977).

토 의

Nd, Sr 동위원소비는 마그마 분별과정에서도 그 비가 변화되지 않고 유지되는 동위원소적 특성에서 마그마 형성의 기원 지역 해석과 동위원소 특성이 서로 다른 기원 물질의 혼합 (mixing) 해석 등과 같이 화성암의 기원지역 물질의 진화 연구에 유용한 수단이 되고 있다 (DePaolo, Wasserbug, 1979; Hawkesworth, van Calsteren, 1984; Landoll *et al.*, 1994).

부평 은광산 지역의 환상 화산암체와 관련된 화산활동과 심성 화성활동 과정을 resurgent caldera model로 설명하고 있다 (서규식, 1985).

본 연구의 주요 목적은 부평지역의 환상 유문암질 화산암체와 이 암체의 내외부에 분포하고 있는 심성암류의 광물연령 (폐쇄온도) 규명과 유문암질 마그마와 화강암질 마그마의 기원과 진화 해석이다. 따라서 K-Ar 절대연령 측정과 Nd, Sr 동위원소비를 분석하였다. 또한 이들 암석에 대해 Rb, Sr, Sm, Nd 함량도 정량하고 비교 검토하였다.

먼저 화산암류와 화강암류의 Rb, Sr, Sm, Nd의 지화학적 특성을 비교 하여본다. 유문암질암의 Rb과 Sr 함량은 각각 132~249 ppm, 27~225 ppm으로 Sr 함량의 변화가 심하다. 이들 암석의 Rb/Sr비 역시 0.86~7.15로 변화폭이 대단히 크다. 한편 화강암류의 Rb, Sr 함량은 66~274

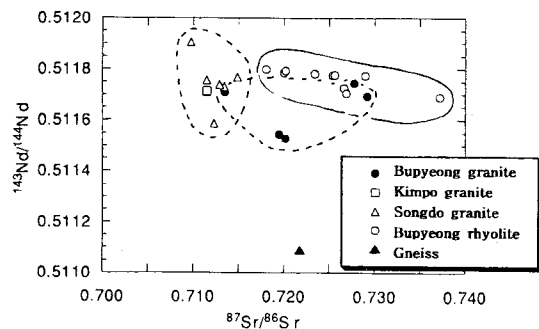


Fig. 2. Variations of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ for samples of the granitic and rhyolitic rocks in the Bupyeong mine area, Gyeonggido, Korea.

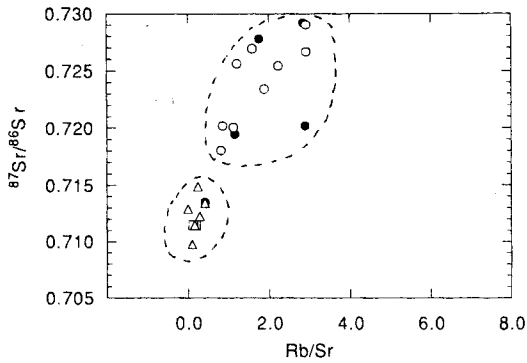


Fig. 3. Plot of Rb/Sr vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ for the rhyolitic and granitic rocks from the Bupyeong mine area. Symbols are the same as in Fig. 2.

ppm, 51~876 ppm으로 암체에 따라 Rb과 Sr의 함량의 변화가 크다. Rb/Sr비는 환상 화산암체 내부의 화강암은 1.16~2.90로 높은 반면 외부의 암체들은 0.10~0.42로 낮다. 화강암체 내부의 화강암류와 유문암류 사이에 Rb/Sr 비가 유사하다.

유문암류와 화강암류 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위원소비 (Fig. 2)를 보면 유문암류와 환상 화산암체 내부의 화강암류의 동위원소 특성은 서로 유사하나 화산암체 외부의 김포지역과 송도지역 화강암류와는 다르다. 그리고 유문암류는 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비의 변화폭이 크다. 이 같은 유문암의 스트론튬 동위원소비 변화는 마그마 기원물질의 동위원소 불균질성 때문으로 해석된다.

Rb/Sr- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 그림 (Fig. 3)에서도 유문암질암과 화산암체 내측의 화강암류는 유사한 특징을 나타내는 반면 인천 송도 및 김포지역 화강암류와는 현저히 다른 특징이 나타나고 있다. 그러나 Sr-Nd 초생치에서 이들 암석 그룹

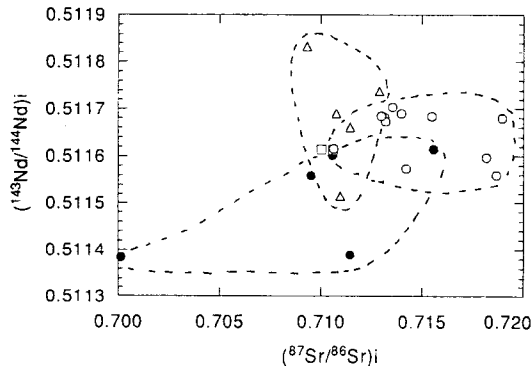


Fig. 4. The $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ variation diagram for granitic and rhyolitic rocks from the Bupyeong mine area. Symbols are the same as in Fig. 2.

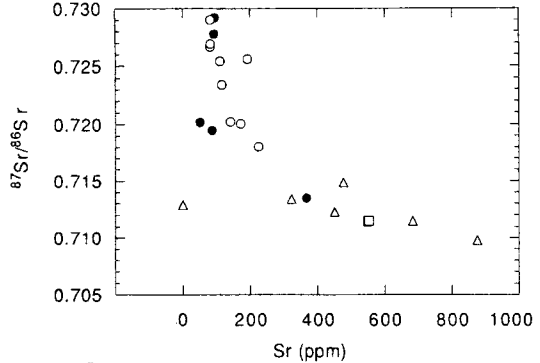


Fig. 5. Sr vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ for rhyolitic and granitic rocks from the Bupyeong mine area. Symbols are the same as in Fig. 2.

들은 불균질한 값을 나타내며 초생치의 값의 변화 폭이 크다. 이는 유문암질 및 화강암질 마그마의 기원지 물질의 이들 동위원소비의 불균질성을 의미한다.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Sr함량 관계 (Fig. 4)에서도 화산암과 화산암체 내부의 화강암류와 화산암체 외부의 화강암류와 현저히 구분된다. 그리고 유문암질암과 화강암류의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Sr 함량 간의 부의 상관성은 후마그마 열수변질에 기인한 것으로 해석된다 (Fig. 5).

Fig. 5의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비와 CH_4/CO_2 비의 관계에서 화산암체 내부의 화강암은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 변화가 있으나 CH_4/CO_2 비는 일정하다. 반면 화산암체 외부의 김포, 송도 지역의 화강암류는 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 변화가 적으나 CH_4/CO_2 비의 변화가 크다. 이는 전자는 후마그마 열수변질시 산소분압 (f_{O_2})의 변화가 적은 환경이었으며 후자는 열수변질시 산소분압의 변화가 큰 환경이었던 것으로 해석된다. 또는 김포지역과 송도지역 화강암의 CH_4/CO_2 비의 큰 변

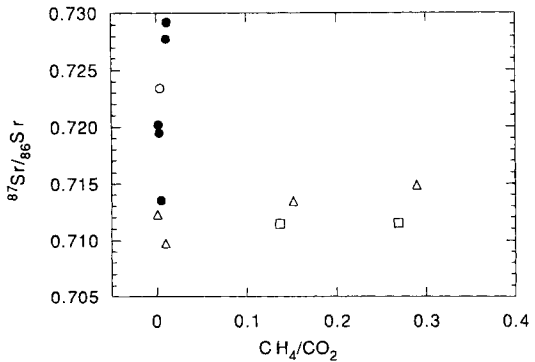


Fig. 6. A plot of CH_4/CO_2 vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ for granitic and rhyolitic rocks from the Bupyeong mine area. Symbols are the same as in Fig. 2. Data of gas chemistry after Kim, Ha (1997).

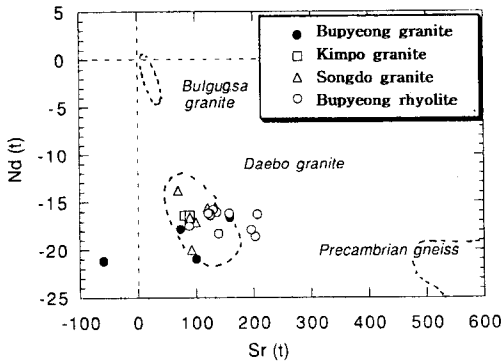


Fig. 7. Nd(t) vs. Sr(t) isotope correlation diagram of the granitic and rhyolitic rocks in the Bupyeong mine area. Symbols are the same as in Fig. 2. Isotopic data for Daebo and Bulguksa granites (Kim *et al.*, 1996) and Precambrian gneiss (Na, 1994).

화 원인은 기원암의 CH₄/CO₂의 존재량 차이 또는 마그마 진화시 산화·환원환경 차이에 기인한 것으로 생각할 수도 있다 (Fig. 6).

$\epsilon_{Nd(t)} - \epsilon_{Sr(t)}$ 그림 (Fig. 7)에서 한시료 (시료번호 S-1)를 제외한 모든 시료는 Kwon, Tilton (1992), Na (1994), Kim *et al.*(1996), Cheong, Chang (1977)의 남한의 중생대 화강암류 중 쥐라기 대보 화강암류의 성인적 특성인 고기 하부 지각 기원암의 동위원소 특성과 유사하다. 이는 부평지역과 김포지역 쥐라기의 화강암류의 화강암질 마그마의 기원이 모두 고기 지각기원의 부분용융 산물임을 의미하고 있다. 또한 이지역의 쥐라기 초기~백악기의 유문암질암과 인천 송도지역 백악기 화강암류의 마그마의 기원 역시 경상분지내의 불국사 화강암류에서와

달리 고기 지각기원임을 시사하고 있다. Fig. 7에서 부평 유문암질암의 ϵ_{Sr} 변화는 기원암의 동위원소 불균질성 특성으로 해석된다. Nd 모델연령에서도 유문암질암과 환상 화산암체의 내부의 화강암류는 서로 유사한 반면 화산암체 외부의 화강암류의 모델연령은 다소 차이가 있다.

부평지역 화강암류의 K-Ar에 의한 지질시대, Nd, Sr 동위원소의 특성 및 가스성분, 유체포유물 연구자료를 종합하면 Table 3과 같다.

결론

부평 은광상 부근의 환상 구조로 분포하고 있는 유문암질 화산암류와 이들 내외부에 분포하고 있는 심성암류들의 지질시대와 암석성인 등을 연구하기 위하여 K-Ar 연령측정, Nd, Sr 동위원소분석 연구를 실시하였다. 그 결과

1. 환상구조로 산출되는 유문암질 화산암 전암의 K-Ar 연령은 각각 208 Ma (쥐라기초), 131~132 (백악기초)로 화산활동이 쥐라기초와 백악기초에 각각 있었음이 밝혀졌다. 그리고 화산암체 내부의 화강암류의 흑운모 K-Ar 연령은 167.6 Ma, 화산암체 외부 김포지역 각섬석-흑운모 화강암은 178.8 Ma로 쥐라기의 대보 화강암류에 해당되고 있다. 그러나 인천 송도지역 엽상 화강암은 111.8 Ma로 얻어 졌다.
2. 유문암질암과 환상 화산암체내의 화강암질암의 Nd, Sr 동위원소 특성이 유사하다. 이는 유문암질 마그마가 유사한 근원물질의 부분용융에서 생성된 동원기원으로 해석된다. Nd, Sr와 미량원소 및 가스 지구화학 성분 변화는 마그마 발생 기원지 물질의 동위원소 불균질성 때문

Table 3. Summary of the geochemical data for rhyolitic and granitic rocks in the Bupyeong mine area. Gas chemistry and fluid inclusion data after Kim, Ha (1997).

	Bupyeong rhyolite	Inside of the circular volcanics		Outside of the circular volcanics	
		Granite	Porphyritic granite	Kimpo	Songdo
Rock type	Rhyolite Welded tuff	Medium grained pink feldspar granite	Medium grained porphyritic granite	Fine grained hornblende-biotite granite	Foliated granite Pegmatitic granite
K-Ar age(Ma)	131(early Cret.) 133(early Cret.) 208(early Jur.)	167(Jur)		179(Jur)	112(Cret)
$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	0.710~0.719	0.709~0.716	0.700~0.711	0.710	0.709~0.713
$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$	0.5115~0.5118	0.5115~0.5116	0.5113~0.5116	0.5116	0.5115~0.5118
$\epsilon_{Nd(t)}$	-15.8~-18.6	-16.6~-17.8	-16.9~-21.2	-16.4	-13.8~-20.0
CH ₄ /CO ₂		0.01	0.001~0.005	0.14~0.27	0.12~0.29
Th(°C)	0.004~0.005	316	270~500	≥500	289~580
Salinity(wt% NaCl)		20.9	17.1~30.5	32.3	21.2~27.0

으로 해석이 된다.

3. $\epsilon_{Nd}(T) - \epsilon_{Sr}(T)$ 다이어그램에서 이지역의 화성암류는 고기 하부지각물질의 부분용융 산물로 해석되며 한반도의 기타 지역의 류라기 화강암질 마그마의 기원과 유사한 특성을 나타낸다. 그러나 인천 송도지역의 백악기 염상 화강암질 마그마는 경상분지외의 불국사 화강암류 (예, 옥천변성대)와 동위원소적 특성이 유사하다.

4. 유문암질암과 화산암체 내부의 화강암의 모델연령이 대단히 유사하고 유사한 Nd, Sr 동위원소 특성과 함께 이들 암석은 유사한 기원물질의 부분 용융에서 유래하였음을 의미 하고 있다. 그리고 이 지역의 화강암류의 Nd 모델연령은 1500~2900 Ma로 한반도 기타 지역의 류라기 대보 화강암류의 T_{DM} 연령 1610~2763 Ma와 유사하게 원생대 시기에 이미 경기육괴지역 하부에도 지각물질이 진화되었음을 나타내고 있다.

사 사

본 연구는 전략광물연구센터의 지원에 의해 수행되었다. 암석절편연령 측정시 협력하여준 일본 岡山大學 地球内部研究所의 山口健二씨에게 감사한다. 그리고 Nd, Sr 동위원소 분석시에 협력하여준 일본 名古屋大學 地球惑星科學科의 淺原良浩씨와 Cristian Dragusanu 씨에게 사의를 표한다. 그리고 교육부 기초과학연구소의 부분 지원과 원고정리에 협력하여준 교육대학원 정해량양에게 고마움을 전한다. 논문 심사시에 대단히 유익한 많은 코멘트를 하여주신 한국자원연구소 진명식박사께 감사를 표한다.

참고문헌

김규한, 하우영 (1997) 부평 은광산 지역의 유문암질암과 화강암류의 가스 및 유체포유물 연구. *자원환경지질*, v. 30, p. 519-529.
 김남장 (1975) 한국지질도 안양도폭. 국립지질조사소.
 김옥준 (1971) 남한의 신기 화강암류의 관입시기와 지각변동. *광산지질*, 4권, p. 1-10.
 박노영, 정경식 (1968) 부평 은·연광상의 지질 및 광상. *지질광상조사 연구보고*, 10호, p. 5-32.
 서규식 (1985) 부평 은광상의 성인에 관한 연구. *서울대학교 대학원 박사학위 논문*, 131p.
 서규식, 박희인 (1986) 부평지역의 중생대 화성암류. *광산지질*, 19권, p. 179-192.
 서규식, 박희인 (1987) 부평 은광상의 광체 배대장소. *광산지질*, 20권, p. 97-106.
 신명식 (1970) 부평 은·연 광산의 지질과 광상. *광산지질*, 3권, p. 177-186.
 전효택, 전용원 (1973) 부평 은·연 광산의 광화작용과 모암

변질. *대한광산학회지*, 10권, p. 72-82.
 하우영 (1996) 부평지역 유문암질 및 화강암질 암석의 암석화학적 연구. *이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문*, 88p.
 최위찬, 김규봉, 윤옥, 최성자 (1995a) 인천도폭 설명서. *자원개발연구소*.
 최위찬, 김규봉, 윤옥, 최성자 (1995b) 김포도폭 설명서. *자원개발연구소*.
 Cheong, C.S. and Chang, H.W. (1997) Sr, Nd and Pb isotope systematics of granitic rocks in the central Ogcheon Belt, Korea. *Geoch. J.*, v. 31, p. 17-36.
 DePaolo D.J. and Wasserburg G.J. (1979) Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 43, p. 615-627.
 Dossó, L. and Murthy, V.R. (1980) A Nd study of the Kerguelen islands: inferences on enriched oceanic mantle sources. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 48, p. 268-276.
 Hawkesworth, C.J. and van Calsteren, P.W.C. (1984) Radiogenic isotopic - some geological applications. In Henderson P. (ed), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, p. 375-421.
 Jacobsen, S.B. and Wasserburg, G.J. (1980) Sm-Nd evolution of chondrites. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, v. 50, p. 139-155.
 Kim, K.H. Park, S.S. and Na, C.K. (1996) Nd and Sr isotopic signatures of Mesozoic granitoids in South Korea. *Resource Geology*, v. 46, p. 215-226.
 Kwon, S.T. and Tilton, G.R. (1992) Nd-Sr isotope study of Phanerozoic granitoids in South Korea: implications for basement structure and tectonics of East Asia. *Proceedings*, v. 3, IGC 29th Kyoto, 109p.
 Landoll, J.D., Foland, K.A. and Henderson, C.M.B. (1994) Nd isotopes demonstrate the rate of contamination in the formation of coexisting quartz and nepheline syenites at the Abu Khrug complex, Egypt. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 117, p. 305-329.
 McCulloch, M.T., Jaques, A.L., Nelson, D.R. and Lewis, J. D. (1983) Nd and Sr isotopes in kimberlites and lamproites from Western Australia; enriched mantle origin. *Nature*, v. 302, p. 4000-4003.
 McCulloch, M.T. and Black, L.P. (1984) Sm-Nd isotopic systematics of Enderby Land granulites and evidence for the redistribution of Sm and Nd during metamorphism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 71, p. 46-58.
 Na, C.K. (1994) Genesis of granitoid batholiths of Okchon zone, Korea and implications for crustal evolution. Unpublished PhD thesis, University of Tsukuba., 154p.
 Nagao, K., Ogata, A., Miura, Y.N. and Yamaguchi, K. (1996) Ar isotopic analysis for K-Ar datings using two modified VG 5400 mass spectrometers-1: Isotope dilution method. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn*, v. 44, p. 39-61.
 Tatsumoto, M., Hegner, E., Unruh, D.M. (1987) Origin of the west Maui volcanics inferred from Pb, Sr and Nd isotopes and multicomponent model for oceanic basalts: USGS Prof. Pap. v. 1350, p. 723-744.
 Wasserburg, G.J., Jacobsen, S.B., Depaolo, D.J., McCulloch, M.J. and Wen, T. (1981) Precise determining of Sm/Nd ratios. Sm and Nd isotopic abundances in standard solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 45, p. 2311-2324.

Appendix 1. Sample location of the granitic and rhyolitic rocks in the Bupyeong silver mine area.

Sample No	Sheet name (1:25,000)	National Grid (X/Y)	Latitude/Longitude	ri, myeon, gun, do	Rock type
B29	Geysan	174.55/448.2	37°32'2"/126°42'59"	Hyoseondong, Buggu, Incheonsi, Gyeonggido	Pink feldspar biotite granite
B29-1	Geysan	174.59/448.06	37°32'15"/126°42'51"	Hyoseondong, Buggu, Incheonsi, Gyeonggido	Hornblende-biotite granite
S-1	Sosa	180.6/438.24	37°26'48"/126°47'25"	Sincheondong, Siheungsi, Gyeonggido	Pink feldspar-biotite
S-3	Sosa	180.44/438.11	37°26'40"/126°47'15"	Sincheondong, Siheungsi, Gyeonggido	Pink feldspar granite
S-5	Sosa	181.48/437.78	37°26'24"/126°47'40"	Obogdong, Siheungsi, Gyeonggido	Aplite
I-02	Geysan	171.45/451.08	37°33'23"/126°41'13"	Geumandong, Seogu, Incheonsi, Gyeonggido	Hornblende-biotite granite
I-03	Geysan	171.53/451.08	37°33'23"/126°41'36"	Geumandong, Seogu, Incheonsi, Gyeonggido	Hornblende-biotite granite
DS1	Incheon	168.23/436.44	37°25'55"/126°38'33"	Ogyeondong, Namgu, Incheonsi, Gyeonggido	Foliated granite
DS3	Incheon	168.04/436.38	37°25'52"/126°38'20"	Ogyeondong, Namgu, Incheonsi, Gyeonggido	Foliated granite
DS5	Incheon	172.26/436.23	37°25'47"/126°41'24"	Munhadong, Namgu, Incheonsi, Gyeonggido	Foliated granite
DS7	Incheon	172.61/437.39	37°26'04"/126°41'46"	Gwangyodong, Namgu, Incheonsi, Gyeonggido	Biotite granite
DS8-1	Incheon	172.53/437.03	37°26'26"/126°41'40"	Gwangyodong, Namgu, Incheonsi, Gyeonggido	Diorite
DS8-2	Incheon	172.58/437.16	37°26'33"/126°41'44"	Gwangyodong, Namgu, Incheonsi, Gyeonggido	Pink feldspar granite
B1	Sosa	178.24/439.99	37°27'34"/126°45'37"	Jangsudong, Namdonggu, Siheungsi, Gyeonggido	Rhyolite with phenocryst
B2	Sosa	178.24/440.06	37°27'37"/126°45'38"	Jangsudong, Namdonggu, Siheungsi, Gyeonggido	Rhyolite with pyrite
B22	Incheon	175.41/440.54	37°28'01"/126°41'31"	Mansudong, Namdonggu, Incheonsi, Gyeonggido	Rhyolite
B27	Incheon	173.39/442.45	37°29'13"/126°42'34"	Bupyeongdong, Buggu, Incheonsi, Gyeonggido	Rhyolite
B32	Geysan	174.31/449.44	37°32'44"/126°42'52"	Gyeasandong, Buggu, Incheonsi, Gyeonggido	Rhyolite with phenocryst
B35	Geysan	173.91/449.59	37°32'51"/126°42'27"	Gongchondong, Seogu, Incheonsi, Gyeonggido	Welded tuff
I-1	Incheon	177.58/438.98	37°27'22"/126°44'56"	Jangsudong, Namdonggu, Incheonsi, Gyeonggido	Rhyolite
I-2	Incheon	177.58/438.98	37°27'22"/126°44'56"	Jangsudong, Namdonggu, Incheonsi, Gyeonggido	Rhyolite
I-3	Incheon	177.63/439.05	37°27'26"/126°44'59"	Jangsudong, Namdonggu, Incheonsi, Gyeonggido	Purplish rhyolite
I-4	Incheon	177.53/438.98	37°27'21"/126°44'52"	Jangsudong, Namdonggu, Incheonsi, Gyeonggido	Rhyolite
I-5	Incheon	177.55/439.14	37°27'31"/126°44'55"	Jangsudong, Namdonggu, Incheonsi, Gyeonggido	Welded tuff
I-7	Incheon	177.48/439.05	37°27'26"/126°44'51"	Jangsudong, Namdonggu, Incheonsi, Gyeonggido	Welded tuff
I-9	Sosa	177.73/439.84	37°27'26"/126°45'05"	Jangsudong, Namdonggu, Siheungsi, Gyeonggido	Welded tuff
I-01	Geysan	171.58/450.13	37°33'16"/126°41'20"	Geomandong, Seogu, Incheonsi, Gyeonggido	Biotite gneiss