

## 해남-완도지역 Granophyre의 Rb-Sr 등시선 연대와 Sr, Nd 동위원소 조성

신인현\* · 加加美 寛雄\*\*

### Rb-Sr Isochron Ages, Sr and Nd Isotopic Compositions of Granophyre in the Haenam-Wando Areas, Korea

In-Hyun Shin\* and Hirro Kagami\*\*

**ABSTRACT :** Rb-Sr isochron ages, Sr and Nd isotopic compositions were determined for late Cretaceous granophyre on the Haenam-Wando areas, the southwestern part of the Yeongdong-Kwangju depression in Korea. The granophyre in the Haenam-Wando areas are distributed in the shape of a resurgent cauldron. Five samples of Haenam granophyre give a defined Rb-Sr whole rock isochron age of  $75.7 \pm 7.2$  Ma and Sr initial ratio of  $0.70826 \pm 0.00020$  ( $2\sigma$ ). Plagioclase, orthoclase and whole rock of Haenam granophyre give a defined Rb-Sr whole rock-mineral isochron age of  $67.0 \pm 5.8$  Ma and Sr initial ratio of  $0.708880 \pm 0.00028$  ( $2\sigma$ ). Five samples of Wando granophyre give a defined Rb-Sr whole rock isochron age of  $70.6 \pm 3.3$  Ma and Sr initial ratio of  $0.70850 \pm 0.00088$  ( $2\sigma$ ). Eight samples of Haenam granophyre give a defined Nd isotope ratios of  $0.512180 \sim 0.512259$  and  $\epsilon_{Nd}(T)$  values of  $-6.53 \sim -8.15$ ,  $\epsilon_{Sr}(T)$  values of  $+51.49 \sim +66.48$  and model age of  $1.28 \sim 1.60$  Ga. Four samples of Wando granophyre give a defined Nd isotope ratios of  $0.512228 \sim 0.512289$  and  $\epsilon_{Nd}(T)$  values of  $-6.74 \sim -8.00$ ,  $\epsilon_{Sr}(T)$  values of  $+54.88 \sim +78.98$  and model age of  $1.14 \sim 1.42$  Ga.

### 서 언

영동-광주 함몰대의 남서부 지역인 해남과 완도지역에는 중생대 백악기 화성활동과 관련되어 정지된 심성암류들이 넓게 분포하고 있다. 그 중에서도 직경 약 8~10 km 크기인 암주상의 그라노파이어(granophyre)는 마산암(Koto, 1909; 현병구 등, 1981) 또는 미문상화강암(김서운, 박양대, 1967)이라고 불리어진 암석으로서 미문상 조직과 정동구조 등 천소에 관입한 특징을 보이고 있다.

최근 이런 심성암류의 생성을 판구조론으로 해석하려는 경향(이상만 등, 1987; 木下 修, 伊藤 英文, 1988)이 있으며 미문상조직의 성인 등에 대해 많은 암석학자들

(Barker, 1970; Lee, J.I, 1991)에 의해 연구되고 있다.

본역에 대한 기존의 연구로는 Jin, M.S (1985, 1986, 1988)의 암석화학적 연구, 윤성효 등(1989)에 의한 화산암체 연구, 신인현, 남기상(1993), 신인현 등(1994)에 의한 광물화학과 암석화학적 연구가 있다.

그렇지만 동위원소에 대한 연구는 아직까지 없기 때문에 금번 연구에서는 본역 granophyre의 Sr, Nd 동위원소비를 측정해서 Rb-Sr 등시선 연대 및 화강암질 마그마의 기원 물질을 추정코자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

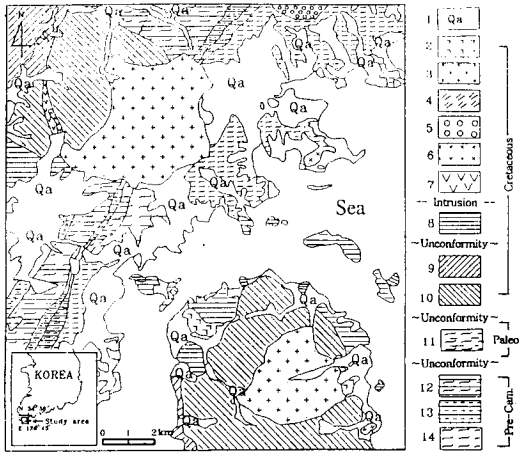
본 연구를 위한 기기분석은 전암 화학분석을 위해 X선 형광분석을 일본 동경대학 지질학교실에서 실시했으며, 동위원소비 측정은 일본 오카야마대학 고체지구연구센터 동위체 암석학실에서 실시했다.

\* 조선대학교 지구과학과 (Dept. of Earth Sciences, Chosun Univ., Kwangju 501-759, Korea)

\*\* 日本 岡山大學 固體地球 研究 센터 (Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama Univ., Misasa, 682-02, Japan)

### 지질개요

해남-완도지역의 지질과 암석은 신인현, 남기상



**Fig. 1. Regional geological map of the Haenam-Wando areas. 1. Alluvium, 2. Quartz porphyry, 3. Granophyre, 4. Diorite, 5. Quartz diorite, 6. Biotite granite, 7. Porphyritic biotite granite, 8. Janguri tuff, 9. Mananri rhyolite, 10. Mudeungsan andesite, 11. Osanri formation, 12. Seolgri formation, 13. Yongamsan formation, 14. Porphyroblastic gneiss and granitic gneiss.**

(1993), 신인현 등(1994)에 의해 자세히 보고되어져 있다.

본 연구의 주요 암석인 granophyre는 해남과 완도지역에서 각각 화산암체 구조의 중앙 심성관입암체로서 직경 약 8~10km의 크기로 넓게 분포하고 있는 천소에 관입한 암석이다. 이 암석상의 granophyre는 해남과 완도지역이 아주 비슷한 산상과 암석학적 특징을 보이고 있다.

**해남지역**

본역은 한반도의 남서부에 위치하고 있으며, 지구구조적으로는 영동-광주 함몰대(김옥준, 박용순, 1980)의 최남단에 해당하는 지역이다.

본역의 지질은 시대미상의 변성퇴적암류를 기반으로 그 상위에 이들과 부정합 관계로 고생대말의 오산리층, 오산리층과 부정합 관계인 중생대 백악기의 경상계 퇴적암류와 중생화산암류, 그리고 이들 모두를 관입한 백악기 말의 심성암류로 대별된다 (Fig. 1). 본 역에서는 대부분 시대미상의 변성퇴적암류를 부정합으로 백악기의 화산암류가 피복하고 있으나, 일부 지역에서는 고생대말의 오산리층에 의해 피복된다. 본 역에 넓게 분포한 화산암류는 해남 북부지역의 지질을 조사한 木野崎吉郎 (1929), 이대성, 이하영 (1976), 손진담 등 (1979)에 따라 각각 선후 관계를 달리하고 있으며, 최근 문희수 등 (1990)에 의하면 해남지역의 화성활동은 회원반도의 중생화산활동

(94.1±2.2 Ma), 그 후 같은 지역에서 산성화산활동 (82.9 ±1.1 Ma) 그리고 본 역의 무등산 안산암을 분출시킨 중생화산활동 (68.7±1.9 Ma)과 그에 이은 만안리 유문암의 분출에 수반된 장구리 응회암 (64 Ma, 신상은 개인통신)의 화산활동으로 해남지역에서는 모두 세번의 화성활동이 있었음을 시사해 주고 있다. 한편 김상욱 (1972)은 진도-해남지역에서의 화성유희활동을 주장하여 중생화산활동-산성화산활동-용결응회암류 형성-유문암류의 분출을 주로하는 화산활동을 언급하고 있는 바, 이는 앞에서 언급한 문희수 등 (1990)의 K-Ar 연대측정에 의한 화산활동과 잘 일치한다.

이들 화산암류와 퇴적암류를 관입하고 있는 반상혹운 모화강암, 흑운모화강암, 석영섬록암, granophyre 등은 본 역의 심성암류로 상기의 화성활동 중 최후기의 중성 및 산성화성활동에 수반된 것으로 생각된다. 차문성, 윤성효 (1988)에 의하면 칼데라 형성 전의 화산활동, 칼데라 형성에 수반된 화산분출과 칼데라 함몰, 그리고 함몰 후의 화성활동 등 콜드론 (cauldron) 형성 3단계를 거친 전형적인 재상승 함몰체 (resurgent cauldron)로서 (Smith, Bailey, 1968) 기존암석에 생긴 환상열극대 및 약대를 따라 환상열극화산작용 (ring-fracture volcanism)이 일어나 유문암이 분출되고 상기 심성암류들이 환상암맥 (ring-dike) 구조를 이루며 관입 정지되었음을 언급하고 있다. 이들 중 대홍사와 두류산을 중심으로 넓게 분포한 granophyre는 중앙 심성관입암체로 미문상조직과 정동구조 등 천소에 관입한 특징을 보인다.

granophyre 성인에 대해서 Barker (1970)와 Lee, J.I (1991)은 단층과 열극이 천소에 생기면서 마그마의 분화가 계속되어, 천소까지 올라온 마그마는 급냉할 수 밖에 없었으며, 급냉에 따른 석영과 알칼리장석의 동시연정에 의해 미문상구조가 생겼음을 주장하고 있다.

이 암석을 1 : 5만 남창 지질도폭 (김서운, 박양대, 1967)에서는 미문상화강암으로, 1 : 25만 목포지질도 (국립지질광물연구소, 1973)에서는 불국사 화강암류로, 1 : 100만 대한지질도 (한국동력자원연구소, 1981)에서는 마산암이란 명칭으로 지금까지 사용되어 오고 있으나, Barker (1970)에 의하면, 석영과 알칼리장석이 세립의 연정조직을 보일때, 그 조직이 규칙적이면 미문상 또는 micropegmatitic이란 명칭을 사용하고, 불규칙적이면 granophyre라고 하는 명칭을 사용하는 것이 더 좋다고 기술하고 있다. 따라서 본 연구지역의 암석은 대부분 형과 배열이 불규칙하고 익모상이어서 규칙적인 연정이라고는 말할 수 없으며 지금까지 사용해 오고 있는 미문상 화강암 또는 마산암 이란 용어보다는 granophyre라고 하

는 명칭을 사용함이 현실에 더 잘 부합된다고 생각되어 이 암석을 대홍사granophyre라고 부르고자 한다.

**완도지역**

본 역은 상기 해남지역과 인접한 지역으로 지구조적으로는 영동-광주 함몰대 (김옥준, 박봉순, 1980)의 최남단에 해당하는 지역이다.

본 역의 지질은 시대미상의 변성퇴적암류를 기반으로 그 상위에 이들과 부정합 관계로 중생대 백악기의 퇴적암류와 중성화산암류, 그리고 이들 모두를 관입한 백악기말의 심성암류로 대별된다 (Fig. 1). 본 역에서는 대부분 시대미상의 변성퇴적암류를 부정합으로 백악기의 화산암류가 피복하고 있다. 이들 화산암류는 상기 해남지역에서 무등산 안산암, 만안리 유문암 등과 유사하다. 이들 화산암류와 퇴적암류를 관입하고 있는 섬록암, 석영반암, granophyre 등은 본역의 심성암류로 백악기의 중성 내지 산성 화성활동의 결과 형성된 타원형의 화산암물체 구조를 이루고 있다. 이 화산암물체 구조는 화산암 지층에 형성된 환상 열극을 따라 관입한 환상 관입암과 화산암층의 중심부를 관입한 직경 8~10km 크기의 중앙심성암체 (granophyre)로 구성된다. 이 granophyre는 미문상조직과 정동구조 등 천소에 관입한 특징을 보인다.

**연대측정 시료 및 측정방법**

Rb-Sr 전암 등시선연대는 해남 대홍사 granophyre와

완도 granophyre에 대해서 실시했다. 각각의 암체에서 암상 변화에 의한 다양한 암석을 사용하고 분명하게 관입 시기가 다른 것은 제외했다. 또 이들 암석 중에서 전암 화학조성이 분화 트렌드(trend)로부터 벗어난 것은 제외했다.

해남 대홍사 granophyre에서 5개 시료, 완도 granophyre에서 5개 시료에 대해서 전암 등시선을 구해서 연

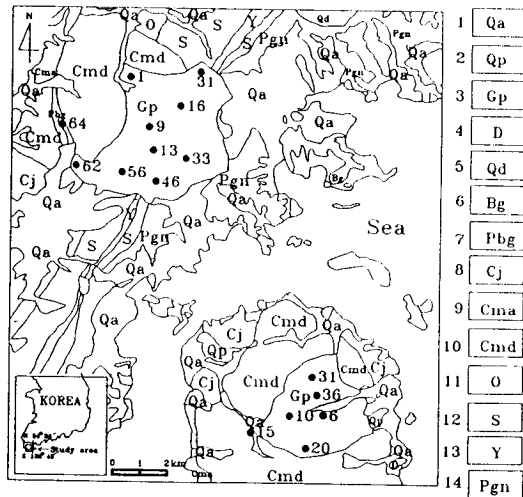


Fig. 2. Sampling site map of the Haenam-Wando granophyre. 1. Alluvium, 2. Quartz porphyry, 3. Granophyre, 4. Diorite, 5. Quartz diorite, 6. Biotite granite, 7. Porphyritic biotite granite, 8. Janguri tuff, 9. Mananri rhyolite, 10. Mudeungsan andesite, 11. Osanri formation, 12. Seolgri formation, 13. Yongamsan formation, 14. Porphyroblastic gneiss and granitic gneiss.

Table 1. The location of sampling sites for the Haenam-Wando granophyre.

Sample No	Name of Sheet (1 : 5000)	Nat'l Grid (1 : 50000) (X/Y)	Latitude, Longitude	Locality (Ri, Myeon, Gun, Do)
H-1		164.5/109.5	34/28/50, 126/37/00	Gurim, Samsan, Haenam, Cheonnam
H-9		164.8/107.0	34/27/20, 126/37/10	Gurim, Samsan, Haenam, Cheonnam
H-13		165.7/106.8	34/27/15, 126/37/42	Donghae, Bugpyeong, Haenam, Cheonnam
H-16		166.4/107.7	34/27/50, 126/38/12	Heungchon, Bugil, Haenam, Cheonnam
H-31		167.2/109.5	34/28/45, 126/38/43	Pyeonghwal, Samsan, Haenam, Cheonnam
H-33		166.9/105.1	34/26/25, 126/38/35	Dongchon, Bugpyeong, Haenam, Cheonnam
H-48		166.2/104.4	34/26/05, 126/38/05	Donghae, Bugpyeong, Haenam, Cheonnam
H-56	Namchang	164.8/105.2	34/26/25, 126/37/10	Chosan, Hyeonsan, Haenam, Cheonnam
H-62		162.7/105.9	34/26/45, 126/35/50	Bongdong, Hyeonsan, Haenam, Cheonnam
H-64		162.4/107.1	34/27/30, 126/35/31	Bongdong, Hyeonsan, Haenam, Cheonnam
W-6		172.3/95.9	34/21/27, 126/41/55	Daeya, Wando-eup, Wando, Cheonnam
W-10		171.1/96.0	34/21/30, 126/41/10	Daesoogol, Wando-eup, Wando, Cheonnam
W-15		169.4/95.1	34/21/00, 126/40/18	Samdoo, Gunoe, Wando, Cheonnam
W-20		171.8/94.5	34/20/40, 126/41/20	Mt. Sanghwang, eup, Wando, Cheonnam
W-31		171.4/97.6	34/22/23, 126/41/22	Bulmog, Gunoe, Wando, Cheonnam
W-36		171.6/96.8	34/21/55, 126/41/30	Bulmog, Gunoe, Wando, Chennam

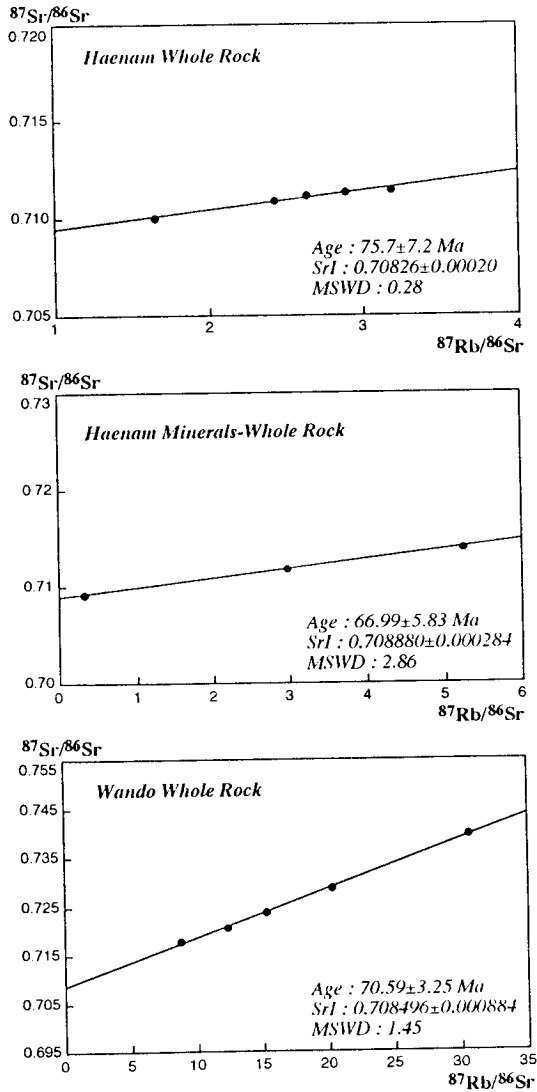


Fig. 3. Rb-Sr whole rock and mineral isochron diagrams for the Haenam-Wando granophyre.

대를 결정했다. 또 해남 대홍사 granophyre 중에서 가장 신선한 표본 1개를 선정하여 전암, 정장석과 사장석의 광물연대를 구했다. 분석한 시료의 위치는 Fig. 2와 Table 1에 나타났다.

Rb-Sr의 정량은  $^{87}\text{Rb}$ - $^{86}\text{Sr}$  혼합 스파이크 (spike)을 사용한 동위원소 희석법 (일본 오카야마대학 고체지구 연구센터, 이하ISEI)으로 Sr의 정량을 실시했으며, X선 형광분석법 (일본 동경대학 지질학교실)으로 Rb, Sm과 Nd의 정량을 실시했다. 동위원소 측정은 ISEI의 MAT 261형 질량분석계를 사용하고 측정방법은 加加美 寛雄 等 (1982), Ka-

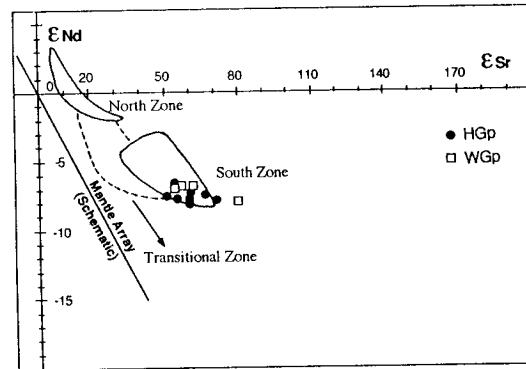


Fig. 4. Initial  $\epsilon\text{Sr}$  vs. Initial  $\epsilon\text{Nd}$  diagram for the Haenam-Wando granophyre, and for plutonic rocks in the Japanese islands (Kagami, H. *et al.*, 1992). HGp: Haenam granophyre WGp: Wando granophyre.

gami *et al.* (1987, 1989)에 따랐다.

측정기간중  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ 로 표준화한 Sr동위원소비 표준시료 NBS987의  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ 은  $0.710258 \pm 0.000009$  ( $2\sigma$ )였다.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비는  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 로 표준화했으며 이때 JMC는  $0.512053 \pm 0.000013$ 로, NBS987로 환산한 값은  $0.511995$ 이다. 연대값, Sr동위원소 초생값은  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 오차를 각각 5%와 0.1%,  $^{87}\text{Rb}$ 의 붕괴상수로  $1.42 \times 10^{-11}\text{y}^{-1}$  (Steiger, Jäger, 1977)를 적용, York (1966)의 방법으로 전암 등시선 연대를 계산했다.  $\epsilon\text{Sr}$ 과  $\epsilon\text{Nd}$  계산을 위한 CHUR (Chondritic Uniform Reservoir)의 현재값은  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7045$ ,  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}=0.0827$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512638$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.1966$  (Wasserburg *et al.*, 1981)을 사용했다. 모델연령을 구하기 위한 결핍된 맨틀의  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 의 현재값은  $0.513153$ , 결핍된 맨틀의  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 의 현재값은  $0.2136$  (Liew, McCulloch, 1985)을 사용했다. 측정에 사용된 시료의 Rb, Sr, Nd함유량 및 동위원소비를 Table 2에 나타냈다.

### 측정 결과

#### 해남지역

대홍사 granophyre의 전암 등시선 연대는 Fig. 3에 나타났다. 이 5개의 표본에 대한 전암 등시선 연대는  $75.70 \pm 7.20$  Ma이며, Sr 동위원소비 초생값은  $0.70826 \pm 0.00020$  ( $2\sigma$ )이고, MSWD는 0.28이다. 대홍사 granophyre의 전암-광물연대는  $66.99 \pm 5.83$  Ma, Sr 초생값은  $0.708880 \pm 0.000284$  ( $2\sigma$ )이고, MSWD는 2.86이었다.

Table 2. Sr-Nd isotope data and calculated model ages for the Haenam-Wando granophyre.

Sample No.	Rb (ppm)	Sr (ppm)	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr (±2σ)	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr (±2σ)	Initial Sr	εSr (T)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd (±2σ)	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd (±2σ)	Initial Nd	εNd (T)	T <sub>DM</sub> <sup>Nd</sup> (Ga)
H-1	117.0	126.0	2.428	0.710904	0.78317	55.44	4.7	27	0.1052	0.512190	0.512138	-7.86	1.35
H-9	118.0	117.0	2.637	0.71162	0.708352	55.93							
H-13	144.6	143.4	2.919	0.711798	0.708688	60.70	5.0	29	0.1042	0.512216	0.5121648	-7.34	1.30
H-16	125.0	198.0	1.650	0.710029	0.708270	54.78	5.0	28	0.1079	0.512259	0.5122060	-6.53	1.28
H-31	123.0	101.0	3.184	0.711432	0.708039	51.49	4.5	27	0.1008	0.512202	0.5121525	-7.58	1.28
H-33	151.4	126.8	3.456	0.713102	0.709419	71.08	5.9	30	0.1189	0.512192	0.5121336	-7.95	1.54
H-48	137.9	154.4	2.585	0.711424	0.708669	60.44	5.5	28	0.1187	0.512200	0.5121417	-7.79	1.52
H-56	127.4	162.5	2.269	0.711088	0.708670	60.45	5.5	34	0.1156	0.512180	0.5121232	-8.15	1.51
H-62	134.7	72.7	5.364	0.714811	0.709095	66.48	6.0	29	0.1251	0.512219	0.5121576	-7.48	1.60
H-64	126.0	114.0	2.890	0.711348	0.708268	54.75							
W-6	152.3	61.2	7.200	0.717202	0.709980	78.98	4.0	21	0.1151	0.512228	0.5121751	-8.00	1.42
W-10	166.2	23.7	20.320	0.728664	0.708228	54.98	2.4	15	0.0967	0.512228	0.5122316	-6.90	1.14
W-15	172.9	16.4	30.680	0.739528	0.708756	61.60	2.4	14	0.1036	0.512229	0.5122384	-6.76	1.20
W-20	150.9	28.7	15.230	0.708452	0.708452	57.29	4.1	23	0.1378	0.512289	0.5122395	-6.74	1.24
W-31	151.1	53.2	8.220	0.709686	0.709686	74.80							
W-36	145.1	36.3	12.280	0.708388	0.708388	56.37							

εSr(T) and εNd(T) values in Table 2 were calculated using the following bulk earth parameters : εNd : <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr<sub>(present)</sub> = 0.7045, <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr<sub>(present)</sub> = 0.0827, λ<sup>87</sup>Rb = 1.42 × 10<sup>-11</sup> y<sup>-1</sup>, <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd<sub>(present)</sub> = -0.512638, <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd<sub>(present)</sub> = 0.1966, λ<sup>147</sup>Sm = 6.54 × 10<sup>-12</sup> y<sup>-1</sup>.

8개 표품에 대한 Nd동위원소비는 Table 2에서 보는 바와같이 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd ± 2σ 값이 0.512180~0.512259 범위이며, εNd 값은 -6.53~-8.15, εSr 값은 +51.49~+66.48로 맨틀 어레이의 우측 하단에 점사된다 (Fig. 4). 결핍된 맨틀 (depleted mantle)에 대한 모델 연령 (model age)은 12.8~16.0억년 이었다.

완도지역

완도 granophyre의 전암 등시선 연대를 Fig. 3에 나타냈다. 이 5개 표품에 대한 등시선 연대는 70.59 ± 3.25 Ma이고, Sr 초생값은 0.708496 ± 0.000884 (2σ)이며, MSWD는 1.45이다.

4개의 표품에 대한 Nd 동위원소비는 Table 2에서 보는 바와같이 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd ± 2σ 값이 0.512228~0.512289 범위이며, εNd 값은 -6.74~-8.00, εSr 값은 +54.88~+78.98로 맨틀 어레이 (mantle array)의 우측 하단에 점사된다 (Fig. 4). 결핍된 맨틀에 대한 모델 연령은 11.4~14.2억년 이었다.

고찰 및 결론

해남지역 화성활동의 시기는 95 Ma, 80 Ma 및 70 Ma 등 3개의 연대그룹으로 구분하는 것이 가능하다. Lee, Y.J (1981), 민경덕 등 (1988)과 Lee, J.I. (1991)은 우리

나라의 백악기 화성활동은 북서쪽에서 남동쪽으로 연대가 젊어진다는 것을 나타냈다. 이것은 동해 확대 이전의 백악기에 유라시아판의 동쪽에서 쿨라 (Kula)-태평양 해령의 섭입 (이상만 등, 1987; 민경덕 등, 1988; Uyeda, Miyashiro, 1974)이 북서쪽에서 남동쪽으로 이동하여 화성활동이 일어난 결과라고 생각된다. 영동-광주 합몰대에서 화성활동은 상기와 같은 양상은 보이지 않으나 해양지각의 섭입이 일어났던 해구쪽에 가까운 남해지역 76.0 ± 2.3 Ma (민경덕 등, 1988)와 70.69 ± 3.26 Ma (신인현 미 발표 자료), 순천지역 80.4 ± 2.4 Ma (민경덕 등, 1988), 목포지역 63~67 Ma (이대성, 이하영, 1976; 차문성 등, 1986)에서 내륙 쪽인 광주지역 83.2 ± 2.5 Ma (민경덕 등, 1988), 운장산지역 85 Ma (이대성, 1971; 차문성 등, 1986) 속리산지역 84 Ma (김옥준, 1971)로 북북동쪽으로 올라가면서 지질연대가 오래된 것을 볼 수 있다. 이것은 퇴적암의 층서를 살펴보면 더욱 더 확실히 알 수 있는데, 장기홍 (1982)에 의하면 내장산 분지 및 이남의 분지들에는 하양층군이 없이 유천층군이 분포하여 왕성한 화산활동이 있었음을 나타내며, 영동에서 강진에 이르기까지 대체로 시대의 경과에 따라 남쪽을 향하여 층위상 보다 상위의 화산활동과 퇴적작용이 이행된 양식으로 분지발달이 진행되어 갔음을 언급하고 있다.

해남지역 대홍사 granophyre의 Rb-Sr 전암 등시선 연대가 75.70 ± 7.20 Ma이고, 전암, 정장석과 사장석의 광물 연대가 66.99 ± 5.83 Ma로 약 9 Ma 차이가 나타나지만,

광물의 폐쇄온도를 고려해 광물연대가 짧게 나타날 것 (Kagami, *et al.*, 1987; Lee, J.I., 1991; Sudo, *et al.*, 1988)이라는 사실의 범위 내에서 잘 일치한다. 한편 본 역에 분포한 무등산 안산암의 K-Ar 전암연대  $68.6 \pm 1.9$  Ma (문희수 등, 1990)와 구시 남석광상에서 K-Ar법에 의한 sericite연령은  $72.9 \pm 1.1 \sim 74.6 \pm 1.8$  Ma이며 전암연대는  $68.4 \pm 1.5 \sim 73.6 \pm 1.3$  Ma (Kim, I.J., Nagao, K., 1992)로 나타나 시료채취 위치에 따라 변질에 의한 영향을 고려하면 두 분석결과는 일치한 것으로 여겨진다. 또한 해남 북부에서 본 역의 granophyre와 거의 같은 시기 관입한 것으로 생각된 장성화강암은  $71.8 \pm 3.6$  Ma (Kim, I.J., Nagao, K., 1992)의 K-Ar 전암연대를 갖는다.

따라서 본 역 granophyre는 해남지역에서 백악기에 일어난 화성활동 중 최후기의 화성활동에 의한 암체로서 경상분지에서 백악기 최후기암체인 양산 흑운모화강암  $70.6 \pm 4.2$  Ma, 구포 흑운모화강암  $68.8 \pm 3.4$  Ma, 진해 흑운모화강암  $70.5 \pm 1.9$  Ma (Lee, J.I., 1991)의 Rb-Sr연령과도 일치한다. 이와같이 해남지역에서 백악기 규장질 화성활동은 적어도 약 95 Ma 부터 약 70 Ma까지 지속되었음을 의미하는 것으로, 지표부근의 화성활동은 그 사이 휴식기가 있었지만 심부에 있는 마그마는 존속하거나 재생되고 있었을 것으로 생각된다. 이와같은 사실은 마그마의 고결후에도 높은 지열 또는 열수활동이 있었을 것으로 추정되는 바, 백악기 후기 해남지역에서 일어난 화성활동 중 (김상욱, 1972, 문희수 등, 1990) 마지막 화성활동이 광역적으로 일어나면서 주변 유문암질 응회암의 열수변질에 의한 점토광상을 많이 형성했다고 생각되며, 대홍사 granophyre도 역시 이 화성활동의 산물로 생각된다.

한편 Sr 동위원소비 초생값의 차이는 마그마의 근원이 될 수 있는 하부지각에서 상부맨틀 사이에 분포하는 물질의 불균질함량 초생마그마의 상승과정에서의 차이 등을 나타내는 것이다. 본 역의 암석은 0.708~0.709 범위를 나타내어 그 기원 물질은 하부지각물질일 것으로 추정된다. 따라서 본 역 granophyre의 마그마 성인은 지화학적 연구 (신인현, 1993, 1994)에서 I-형으로 분류됨을 고려할 때, 화성기원의 하부지각 물질이 부분용융하여 생성된 것으로 생각된다. 또한 본역 granophyre의 Nd동위원소비 값인  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$  값이 0.512180~0.512259로 아주 좁은 범위 내에 분포하고 있는 것으로 보아, 이 granophyre마그마를 생성시킨 마그마는 마그마로서의 일생이 짧았으며, 분화의 폭이 짧은 급냉한 마그마라고 생각된다.

암석기원 (petrogenesis)을 알아보기 위한  $\epsilon\text{Sr}$ 과  $\epsilon\text{Nd}$  값의 차이는 Kagami, *et al.* (1987)에 의하면 상부지각 물질의 동화 등의 영향보다도 하부지각에서 상부맨틀사이

에 분포하는 물질의 지구화학적 차이를 반영하고 있어서 초생적으로 마그마 근원이 다름을 언급하고 있다. 본역 granophyre의  $\epsilon\text{Nd}$  값은 -6.53~-8.15,  $\epsilon\text{Sr}$  값은 +51.49~+66.48로 맨틀 어레이의 우측 하단에 점사되는데, 이는 지각기원 물질의 마그마는 부(-)의  $\epsilon\text{Nd}$  값과 정(+)의  $\epsilon\text{Sr}$  값을 갖는다는 O'Nions, *et al.* (1977)의 견해를 고려할 때 본역 granophyre의 마그마 물질은 결핍된 맨틀에 대한 모델연령이 12.8~16.0억년 쯤 되는 고기지가 물질의 기원으로, 화성기원의 하부지각 물질이 부분용융에 의해 마그마가 생성된 것으로 생각된다. 그러나 상부맨틀 기원의 마그마가 하부지각 물질의 동화 (assimilation)로 granophyre 마그마내의 동위원소비가 설정되었을 것이라는 사실 역시 배제할 수 없다. 그렇지만 영동-광주함몰대의 불국사화강암류를 생성시킨 마그마가 하부지각 물질의 부분용융에 의해 생성되었을 것이라는 견해 (김규한 등, 1994)와 결핍된 맨틀의 모델연령을 고려해서 이 고기지가 물질은 영남육괴의 변성암 복합체 중 정편마암인 화강편마암일 것 (Lee, S.G. *et al.*, 1992)이라는 견해가 있어 본 역에 분포하는 화강편마암과 반상변정편마암 등을 고려하면, 본 역 granophyre의 마그마 기원물질은 영남육괴의 화강편마암과 반상변정편마암이 하부지각에서 부분용융에 의해 생성된 것으로 생각된다.

Kagami, *et al.* (1992)는 서남 일본 지역에 널리 분포하는 화성암류를 연구하여 백악기부터 신생대 3기 동해가 형성될 때까지의 마그마 발생의 장애 관한 연구를 통해 화강암질 마그마의 기원물질을 추정코자 했다. 이를 위해  $\epsilon\text{Sr}$  값과  $\epsilon\text{Nd}$  값을 구하여  $\epsilon\text{Sr}$ ,  $\epsilon\text{Nd}$  도표 (Fig. 4)에 점사, 서남 일본지역을 북쪽대 (North zone), 남쪽대 (South zone), 전이대 (Transitional zone) 및 북쪽 큐슈대 (Northern Kyushu zone)로 나누었다. 각 대(zone)의 마그마 기원 물질은 상부맨틀과 하부지각 사이의 완전히 다른 장소에서 각각 형성되어졌으며, 북쪽대(North zone)와 북쪽 큐슈대는 상부맨틀 물질, 남쪽대(South zone)는 하부지각 물질 기원임을 언급하였다. 따라서 본 역 granophyre는  $\epsilon\text{Sr}$ ,  $\epsilon\text{Nd}$  도표 (Fig. 4)에서 서남 일본의 남쪽대(South zone)에 해당하는 요케(Ryoke)화강암, 산요 (Sanyo)지역 중앙부와 산인(Sanin)동부 지역 화강암 등과 유사한 하부지각 물질의 기원을 보인다.

한편 완도지역 granophyre의 Rb-Sr 전암 등시선 연대가  $70.59 \pm 3.25$  Ma인데, 이것은 대홍사 granophyre의 전암, 정장석과 사장석의 광물연대 및 전암 등시선 연대와 오차의 범위 내에서 일치한다. 또한 Sr 초생값은 0.708496로 대홍사 granophyre와 비슷한 하부지각 물질

의 부분용융에 의해 생성된 마그마로 생각된다.

Nd동위원소비의 값인  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$  값이 0.512228 ~ 0.512289로 아주 좁은 범위내에 분포하고,  $\epsilon\text{Nd}$  값은 -6.74 ~ -8.00,  $\epsilon\text{Sr}$  값은 +54.88 ~ +78.98로 맨틀 어레이의 우측 하단에 점시된다. 결핍된 맨틀에 대한 모델 연령은 11.4 ~ 14.2억년으로 대홍사 granophyre와 유사하다.

따라서 영동-광주합몰대에서 백악기 화성활동은 경상분지와는 환경이 달랐을 것으로 생각되며, 본 역에서는 하부 지각의 부분용융에 의한 균질한 마그마가 생성되어 먼저 중성화산활동에 의한 현무암 및 안산암을 분출시키고 각종 응회암 등이 다량으로 퇴적됨에 따라 퇴적물의 하중에 의해 지각에 단층과 열극이 형성되어 여러 곳에 칼데라가 생기기 시작했다. 칼데라가 형성된 후 단층과 열극면을 따라 중성 및 산성 마그마의 활동 (70~75 Ma)이 일어났으며, 그때 유천층군에 해당하는 중성 화산암류와 응회암이 퇴적되고, 불국사화강암류들이 천소에 관입함에 따라 화산합몰체 구조(cauldron)가 형성되었을 것으로 생각된다. 또한, 이 시기에 경상분지에서도 하양층군과 유천층군이 넓은 지역에 퇴적하였으며, 영동-광주합몰대와 비슷한 화성활동과 합몰체가 형성되었을 것으로 생각된다.

한편, 한반도 남부지역인 경상분지와 영동-광주 합몰대에서 70 Ma를 전후한 백악기 후기의 연대를 갖는 암석들이 많은데 이와같은 환경은 지금까지 비슷한 환경으로 생각되어온 일본 큐슈 (九州) 등의 화성암에서 보이는 환경과는 연대와 각종 동위원소비 등이 다르며, 구조론 (tectonic)에 대해서는 좀더 많은 자료가 축적되었을 때 함께 해석하는 것이 타당하다고 생각된다.

## 사 사

본 연구를 수행함에 있어 먼저 조선대학교 교수 해외파견 계획에 의거 일본 동경대학 이학부 지질학교실에서 연구하게 되었음을 감사드린다. 일본 동경대학 지질학교실의 島崎英彦 교수는 본인을 1년동안 동경대학 객원연구원으로 초청해주었으며, XRF 등의 기기를 사용을 할 수 있도록 배려해주었다. 일본 오가야마대학 고체지구연구센터 동위원소 암석학실의 本間弘次 교수, 柚原雅樹 조교, 河本由美 様는 Sr, Nd 동위원소측정을 적극적으로 도와주었으며, 동위원소 암석학에 관련된 많은 자료를 제공하여 주었다. 이상의 여러분께 진심으로 감사드린다.

## 참고문헌

국립지질광물연구소 (1973) 목포 지질도 (1 : 250000).

김규한, 박성숙, 나춘기(1994) 남한의 중생대 화강암류의 Nd, Sr 동위원소 및 유체 포유물 연구. 제 49차 대한 지질학회 학술발표회 초록집, p. 32-33.

김상욱 (1972) 전라남도 남해안 일대의 백악기 화성활동에 관하여. 손치무교수 송수기념 논문집, p. 113-118.

김서운, 박양대 (1967) 한국 지질도 (1: 50000) 남창도폭 및 설명서. 국립지질조사소.

김옥준 (1971) 남한의 신기 화강암류의 관입 시기와 지각변동. 광산지질, 4권, p. 1-10.

김옥준, 박봉순 (1980) 한반도 지진지체구조 분석에 관한 연구. 과학기술처, p. 1-159.

문희수, 김영희, 김종환, 유장환 (1990) 해남지역 화산암류와 납석 및 고령토 광상의 K-Ar연대. 광산지질, 23권, p. 135-141.

민경덕, 김옥준, 윤석규, 이재성, 김규한 (1988) 한국남부의 백악기 말 이후의 화성활동과 광화 작용에 대한 판구조론의 적용성 연구 (2). 지질학회지, 24권 특별호, p. 11-40.

손진담, 윤현수, 김홍열, 고미자, 조동행, 구자학, 김상길 (1980) 해남 목포지역 함유질 세일층에 대한 연구. KI-GAM Bull., 21권, p. 1-37.

신인현, 남기상 (1993) 해남지역에 분포하는 백악기 화강암류의 암석학적 및 지구화학적 연구. 한국 지구과학회지, 14권, p. 75-88.

신인현, 남기상, 김희남, 박영석, 안건상 (1994) 완도지역에 분포하는 미문상화강암에 대한 암 석화학적 연구. 환경 자원 지질학회지, 27권, p. 181-190.

윤성효, 신국성, 황인호 (1989) 전라남도 완도군 완도 화산합몰체의 지질과 구조. 부산대 자연 과학연구지, 48권, p. 103-122.

이대성, 이하영 (1976) 한국 서해안지역에 분포하는 함유질 물질에 대한 지질학적 및 지구화 학적 연구. 광산지질, 9권, p. 45-74.

이상만, 진병식, 김상욱 (1987) 남한의 백악기-제3기 화성활동과 지구조적 의의. 지질학회지, 23권, p. 338-359.

장기홍 (1982) 한국의 지질과 광물자원. 연세대학교 지질학과 동문회, p. 127-128.

차문성, 윤성효 (1988) 한반도 화산합몰 구조 및 환상복합암체에 관한 연구. 지질학회지, 24권 특별호, p. 67-86.

차문성, 윤성효, 신국성 (1986) 한반도 서남부 영동-광주합몰대의 화산합몰체 (1), 온장산 합 몰체. 부산대학교 자연 과학 논문집, v. 42, p. 305-315.

현병구, 엄상호, 전희영 (1981) 대한지질도 (1 : 1000000), 한국동력자원연구소.

加加美 寛雄, 岡野 修, 須藤 宏, 本間 弘次 (1982) MAT260によるSr同位體比測定及 $^{87}\text{Rb} \cdot \text{Sr}$  定量分析. 岡山大学研報, v. 52, p. 51-70.

木野崎吉郎 (1929) 한국 지질도 (1: 50000) 해남-우수영 도폭 및 설명서. 조선 총독부 지질 조사소.

木下 修, 伊藤英文 (1988) 西南 日本과 東北 日本의 白堊期 火成活動과 2개의 海嶺 攝入. 地質學 雜誌, v. 94, p. 925-944. (日本語)

Baker, D.S. (1970) Compositions of granophyre, myrmekite and graphic granite. Geol. Soc. Am. Bull., v. 81, p. 3339-3350.

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

Jin, M.S. (1985) A relationship between tectonic setting and chemical composition of the Cretaceous granitic rocks in the southern Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 21, p. 67-73.

Jin, M.S. (1986) Ca, Na, K, Rb, Zr, Nb and Y abundances

- of the Cretaceous to early Tertiary granitic rocks in the southern Korea and their tectonic implications. Mem. for prof. Sang Man Lee, s sixtieth birthday, p. 195-209.
- Jin, M.S (1988) Geochemistry of the Cretaceous to early Tertiary granitic rocks in the southern Korea: Part II. Trace elements geochemistry. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 24 Spec. Issue, p. 168-188.
- Kagami, H., Iwata, M. and Honma, H. (1987) Sr and Nd isotopic compositions and Rb, Sr, Sm and Nd isotopic concentrations of standard samples. Technical Rep. ISEI, Okayama Univ, Ser. B, v. 4, p. 16.
- Kagami, H., Izumi, S., Tainosho, Y. and Owada, M. (1992) Spatial variations of Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous-Paleogene granitoid rocks, Southwest Japan Arc. Contrib. Mineral Petrol., v. 112, p. 165-177.
- Kagami, H., Yokose, H. and Honma, H. (1989)  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios of GSJ rock reference samples: JB-1a and JG-1a. Geochem. J., v. 23, p. 209-214.
- Kim, I.J. and Nagao, K. (1992) K-Ar ages of the hydrothermal clay deposits and the surrounding igneous rocks in southwest Korea. Jour. petrol. soc. Korea, v. 1, p. 58-70.
- Koto, B. (1909) Journeys through Korea. J. coll. Sci., Imperial Univ., Tokyo, v. 26, p. 21.
- Lee, J.I. (1991) Petrology, Mineralogy and Isotope of the Shallow-depth emplaced Granitic Rocks, Southern part of the Kyong Sang Basin, Korea. Univ. of Tokyo, ph. D. thesis.
- Lee, S.G., Shimizu, H., Masuda, A. and Song, Y.S. (1992) Crustal evolution of the Precambrian basement in the Korean Peninsula. Jour. Petrol. Soc. Korea, v. 1, p. 124-131.
- Lee, Y.J., (1980) Granitic rocks from the southern Gyeong-sang Basin, Southeastern Korea. part 1. General geology and K-Ar ages of granitic rocks. J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol. 75, p. 105-116 (Japanese).
- Liew, T.C. and McCulloch, M.Y. (1985) Genesis of Granitoid batholith of Peninsula Malaysia and implications for models of crustal evolution: evidence from a Sm-Nd isotopic and U-Pb zircon study. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 49, p. 587-600.
- 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.
- Smith, R.L. and Bailey, R.A. (1968) Resurgent cauldrons. Mem. Geol. Soc. Am., v. 116, p. 613-662.
- Steiger, R. H., and J ger, E. (1977) Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. Earth Planet. Sci. Lett., v. 36, p. 359-362.
- Sudo, H., Honma, H., Sasada, M. and Kagami, H. (1988) Sr isotope ratio of late Cretaceous to Paleogene igneous rocks of the Misasaokutsu Yubara area, eastern Sanin province, southwest Japan. J. Geol. Soc. Japan, v. 94, p. 113-128.
- Uyeda, S.D. and Miyashiro, A. (1974) Plate tectonics and the Japanese islands. A Synthesis, GSA Bull., v. 8, No. 2.
- Wasserburg, G.J., Jacobson, S.B., DePaolo, D.J., McCulloch, M.T. and Wen, T. (1981) Precise determination of Sm/Nd ratios, Sm and Nd isotopic abundances in standard solutions. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 45, p. 2311-2323.
- York, D. (1966) Least-squares fitting of a straight line. Can. Jour. Phys., v. 44, p. 1079-1086.

---

1996년 1월 25일 원고접수