

전주지역 엽리상화강암의 암석화학 및 Sr · Nd 동위원소 조성

신인현^{1,*} · 박천영² · 정연중²

¹조선대학교 지구과학교육과, 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

²조선대학교 자원공학과, 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

Petrochemistry and Sr · Nd Isotopic Composition of Foliated Granite in the Jeonju Area, Korea

In-Hyun Shin^{1,*} · Cheon-Young Park² · Youn-Joong Jeong²

¹Department of Earth Science Education, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

²Department of Resource Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

Abstract: Compositions of the major and trace elements, Rb-Sr isochron age and Sr-Nd isotope composition were determined for foliated granite in the Jeonju area, in the middle part of the Ogcheon Fold Belt, Korea. The geochemical characteristics of the Jeonju foliated granite indicate that the granite had been crystallized from a calc-alkaline series, and formed in a volcanic arc environment. The isotopic compositions of the Jeonju foliated granite give Rb-Sr whole rock errorchron age of 168.2 ± 8 Ma (2σ), corresponding to the middle Jurassic period, with the Sr initial ratio of 0.71354 ± 0.00031 . $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios, ϵNd and ϵSr values range from 0.511477 to 0.511744, $-15.4 \sim -21.2$, and $+108.8 \sim +142.6$, respectively. Model ages were calculated to be 1.82 ~ 2.89 Ga. The isotopic data of Jeonju foliated granite indicate that the source material may have been derived from partial melting of continental crust materials.

Key words: Jeonju, foliated granite, Rb-Sr whole rock isochron age, model age, continental crust materials

요약: 본 연구는 옥천대 중앙부에 위치한 전주 엽리상화강암체에 대한 전암화학 및 Sr, Nd 동위원소 조성을 측정하여 화강암체의 관입시기와 기원을 파악코자 하였다. 본 암체는 중립 내지 조립질의 엽리상 흑운모 화강암으로 중성 내지 산성 조성을 보여 비교적 넓은 조성변화를 갖는다. 칼크알칼리 계열에 속하고, 대륙 및 호상열도의 지구조환경에서 형성된 화강암류의 특징을 나타낸다. 분석된 시료를 이용한 Rb-Sr 전암연령은 168.2 ± 8 Ma (2σ)이고, Sr 초생치는 0.71354 ± 0.00031 로서 중생대 쥐라기 중기 관입암체에 해당된다. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비는 0.511477 ~ 0.511744의 범위를 갖고 있다. 168.2 Ma로 표준화한 ϵNd 값은 $-15.4 \sim -21.2$, ϵSr 값은 $+108.8 \sim +142.6$ 이고, 맨틀에 대한 모델연령은 1.82 ~ 2.89 Ga이다. 이러한 동위원소 조성은 전주 엽리상화강암체를 형성한 마그마가 대륙 지각물질의 부분용융산물임을 나타낸다.

주요어: 전주, 엽리상화강암, Rb-Sr 전암연령, 모델연령, 대륙 지각물질

서론

본 연구지역의 전주 엽리상화강암체는 옥천대 중앙부에 위치한 소위 호남전단대에서 연성변형작용을 받은 화강암류로 한반도의 주 구조방향인 북동-남서방향의 대상분포 중 청산-전주-영광을 잇는 옥천대 중앙부 남측 연변부에 분포하는 암체들 중의 하나이다 (김용준 외, 1989, 1994). 이들 암체는 한반도에서 발

생한 큰 구조운동 중 쥐라기의 대보운동에 의한 강한 변형 및 변성작용을 수반하는 지각변동 등에 의해 엽리구조를 생성시킬 정도의 변형을 가져왔다. 김용준 외(1994)는 호남전단대를 쥐라기 대보운동과 동시기성 구조운동으로 인해 발생한 연성변형압쇄대로 압쇄암류에 속하는 본 암체와 같은 엽리상화강암류가 분포한다고 하였으며, 본 암체에 대한 절대연령을 쥐라기 후기로 발표하였다. 그러나 나춘기 외(1997b)는 전주 엽리상화강암체의 관입시기를 폐름기로 설정하여 쥐라기와 백악기의 화성활동에 의한 열변성작용과

열수변질작용에 의한 광물의 재평형으로 설정하는 등 아직 정확한 관입연대를 추정하지 못하고 있다.

옥천대에 분포하는 압쇄암류인 엽리상화강암류에 대한 연대측정 연구는 김옥준(1971), 김용준(1986), 김용준 외(1989; 1994), Turek and Kim(1993) 그리고 주승환 · 김성재(1986) 등이 발표하였다. 그러나 본 역의 전주 엽리상화강암체에 대한 동위원소 자료는 김옥준(1971)에 의한 K-Ar 흑운모 연대측정으로 148 ~ 166Ma, 김용준 외(1994)에 의한 K-Ar 백운모 연대측정으로 164±4Ma 그리고 나춘기 외(1997b)에 의한 Rb-Sr 전암법으로 284Ma가 발표되어 있을 뿐이다. 또한 성인에 대한 연구도 근래에 와서야 활발한 연구가 이루어지고 있다(김용준 외, 1994; 나춘기 외, 1997a).

본 연구의 목적은 전주 엽리상화강암체에 대한 암석화학적 연구와 Sr, Nd 동위원소 분석을 통해 본 암체에 대한 관입정치 시기를 고찰하고, 근원마그마의 성인을 구명하는 것이다.

지질개요

전주 엽리상화강암체는 전주부근에 분포하는 북동-남서방향의 저반상 중립 내지 조립질의 화성암체로서 오르도비스기의 옥천층군을 관입하며 주라기 대보화강암류와 반암류에 관입되고 백악기의 진안층과 신라층군에 의하여 부정합으로 덮여 있다.

암상은 주로 엽리상 흑운모 화강암으로 이루어져 있으며, 이 암체에서 보이는 엽리는 압쇄엽리로서 변성퇴적암류를 관입한 부근에서는 압쇄도가 보다 높고

멀어질수록 약해지는 경향을 보인다. 본 암체의 주 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석과 흑운모이고 부 구성광물은 녹염석, 견운모, 스펀, 저어콘, 인회석 및 불투명광물 등이다. 미사장석 반정은 압쇄작용을 받은 후에 급성장한 결정으로 변형을 받지 않았으나 주위에서 반정과 직접 접하는 변형받은 사장석과 반응하여 미르메카이트를 형성하고 있다. 흑운모는 세립의 섬유상 결정들이 압쇄된 미립의 석영-장석편들과 같은 방향으로 배열되어 뚜렷한 엽리조직을 형성시켰다(김용준 외, 1994). 석영은 0.1 ~ 5mm의 반자형 내지 타형의 결정들로서, 대부분이 방향성 있게 신장되거나 재결정되어 있으며, 장석은 반자형 내지 타형의 결정들로서 주로 거정질의 사장석이나 드물게 정장석도 보인다(나춘기 외, 1997a).

화학분석 및 실험방법

전주 엽리상화강암체의 시료채취는 보다 신선한 암석을 채취하기 위해 도로의 절개지와 현지 공사현장 등에서 전암의 동위원소 조성에 영향을 줄 수 있는 광화작용이나 변질이 진행되지 않은 신선한 노두만을 대상으로 10개를 채취하였다. 채취한 시료의 위치는 Fig. 1과 Table 1에 나타냈다. 화학분석과 동위원소 분석을 위한 시료들은 증류수와 초음파 세척기 등을 이용하여 세척한 후 암석분쇄기로 1cm 이하로 파쇄하고 이를 disk형 암석분말기를 이용하여 200 mesh 이하로 분말화하여 사용하였다.

화학분석은 일본 시마네대학에 설치된 X-선 형광

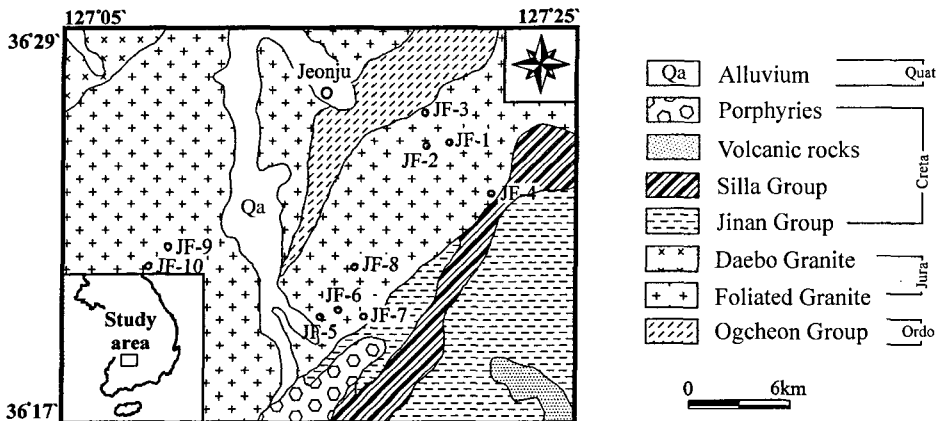


Fig. 1. Geologic map and sampling sites of the Jeonju area. Abbreviations: Ordo, Ordovician; Jura, Jurassic; Creta, Cretaceous; Quat, Quaternary.

분석기(x-ray fluorescence spectrometer)인 Rigaku사의 RIX 2000(Rh-target)을 이용하여 주성분원소와 미량원소를 분석하였으며, 분석을 위해 백금도가니(Au(5%)/Pt(95%))를 이용하여 bead를 제작하였다. Bead

제작은 bead sampler NT-2000(Nippon)인 전기로에서 제작하였다.

동위원소 측정은 일본 시마네대학 종합이공학부 지질학교실에서 열이온화 질량분석기(MAT262)를 이용

Table 1. The location of sampling sites of the foliated granite in the Jeonju area.

Sample No.	Name of Sheet (1:50,000)	Nat'l Grid (1:50,000) (X/Y)	Latitude (°/′)	Longitude (°/′)	Locality (Ri, Myeon, Gun, Do)
JF-1	Jeonju	217.9/254.5	35/47/10	127/12/20	Eounsukdong, Eouansangu, Jeonjusi, Cheonbuk
JF-2	Jeonju	216.8/254.6	35/47/25	127/11/55	Eounsukdong, Eouansangu, Jeonjusi, Cheonbuk
JF-3	Jeonju	217.2/256.5	35/48/35	127/11/65	Saekjangdong, Eouansangu, Jeonjusi, Cheonbuk
JF-4	Jeonju	220.1/253.3	35/46/50	127/13/25	Yongjeong, Sankwan, Eouanju, Cheonbuk
JF-5	Kaltam	213.9/249.5	35/44/15	127/08/25	Deokcheon, Gui, Eouanju, Cheonbuk
JF-6	Kaltam	213.9/249.9	35/44/75	127/09/05	Pyongchon, Gui, Eouanju, Cheonbuk
JF-7	Jeonju	214.4/249.4	35/44/20	127/09/55	Pyongchon, Gui, Eouanju, Cheonbuk
JF-8	Kaltam	214.3/252.8	35/47/05	127/09/30	Pyongchon, Gui, Eouanju, Cheonbuk
JF-9	Jeonju	205.5/215.8	35/46/85	127/04/35	Joongindong, Eouansangu, Jeonjusi, Cheonbuk
JF-10	Kaltam	204.8/246.8	35/43/45	127/03/30	Kumsan, Kumsan, Kimjaesi, Cheonbuk

Table 2. Chemical compositions of major and trace elements from the foliated granite in the Jeonju area.

	JF-1	JF-2	JF-3	JF-4	JF-5	JF-6	JF-7	JF-8	JF-9	JF-10
SiO ₂	70.08	70.87	66.44	66.67	64.52	66.88	70.89	67.74	75.78	74.63
TiO ₂	0.35	0.35	0.65	0.68	0.58	0.58	0.35	0.52	0.05	0.11
Al ₂ O ₃	15.21	14.87	16.44	16.62	15.65	16.05	15.13	15.83	13.84	13.56
Fe ₂ O ₃ *	2.52	2.51	4.06	3.8	3.82	3.95	2.51	3.43	0.64	1.37
MnO	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02
MgO	0.62	0.64	1.34	1.32	1.05	1.22	0.62	0.88	0.06	0.19
CaO	2.35	2.38	3.84	3.63	3.26	3.5	2.31	3.01	0.67	0.76
Na ₂ O	3.61	3.38	3.66	3.53	3.61	3.61	3.49	3.66	3.67	3.25
K ₂ O	4.10	4.16	3.09	2.9	3.06	3.42	4.12	3.58	4.89	5.18
P ₂ O ₅	0.10	0.1	0.16	0.16	0.17	0.16	0.1	0.15	0.01	0.02
Total	98.98	99.30	99.72	99.35	95.77	99.42	99.56	98.84	99.63	99.09
As	6.8	7.8	5.3	5.7	4.4	5.3	7.5	5.8	13.8	9.6
Ba	749	718	735	745	1055	955	780	1128	323	478
Ce	64.6	56.4	71.5	62.6	90.6	79.3	62.8	77.4	15.9	39.9
Co	73.0	42	41	31	36	34	39	31	61	56
Cr	0	1	3	6	0	2	1	2	1	0
Cu	2	0	1	2	3	2	3	1	3	16
Ga	21.3	21.5	23.5	23.5	23.3	22.9	22.1	22.7	22.2	20.0
Nb	6.9	7.8	6.1	6.7	11.2	7.9	8.1	7.9	15.8	12.3
Ni	2	2	4	4	2	4	2	7	2	2
Pb	25.3	28.5	20	23.3	16.8	19.3	28.5	21.2	53.1	36.7
Rb	175	145	112	101	118	127	161	104	254	224
Sr	468	387	520	480	512	526	364	528	106	146
Th	9.3	8.4	16.7	13.3	11.2	10.5	9.8	10.6	12.1	19.2
V	23	28	59	58	50	52	26	50	4	2
Y	10.5	10.1	11.9	11.2	13.4	12.7	9.6	12.7	27.8	9.0
Zn	44	54	75	71	78	70	57	72	10	20
Zr	155	155	179	170	220	204	157	198	50	116
Sm	5.6	4.9	5.5	5.4	8.4	6.1	4.9	6.4		
Nd	27	24	32	29	43	36	28	37		

※ Major elements are in wt.% and trace elements are in ppm. Fe₂O₃* is total Fe-oxide.

하여 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 과 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 의 동위원소 비를 측정하였다. 측정기간 중 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ 로 표준화한 Sr 동위원소의 표준시료인 NBS987의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 $0.710224 \pm 0.000012(2\sigma)$ 이었다. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비는 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 로 표준화했으며, 이때 표준시료 La Jolla의 분석치는 $0.511874 \pm 0.000007(2\sigma)$ 이었다. ϵSr 과 ϵNd 계산을 위한 CHUR(Chondritic Uniform Reservoir)의 현재 값은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7045$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}=0.0827$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512638$ 및 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.1966$ (Wasserburg *et al.*, 1981) 등을 이용하였다. 모델연령을 구하기 위해 사용된 결핍된 맨틀의 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 에 대한 현재 값은 0.513153을, 결핍된 맨틀의 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 에 대한 현재 값은 0.2136(Liew and McCulloch, 1985) 수치를 이용하였다. 등시선 연령을 구하기 위한 직선회귀방정식에 이용된 ^{87}Rb 의 붕괴상수는 $1.42 \times 10^{-11} \text{y}^{-1}$ (Steiger and Jäger, 1977)값을 이용하여 계산하였다.

암석화학의 결과

주성분 원소 및 미량성분 원소

본 연구지역에 분포하는 엽리상화강암에 대한 주성분 원소 및 미량성분원소의 화학분석 값은 Table 2에 나타났다. 산화물들의 변화 경향을 알아보기 위해 주성분 변화도를 Fig. 2에 나타냈다. SiO_2 함량은 64.5%에서 75.8%로 나타나며, SiO_2 에 대한 각 산화물의 상대적 변화양상은 SiO_2 가 증가함에 따라 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , MnO 및 P_2O_5 는 감소하고, K_2O 는 증가하는 경향을 보이며, Na_2O 는 SiO_2 함량과 뚜렷한 상관성을 보이지 않고 있다. SiO_2 대 산화물에서 보여지는 전체적인 변화양상은 이들 암체가 하나의 마그마로부터 분별결정작용을 통해 형성되었을 것이라는 점을 지시한다.

일부 미량성분원소는 특정 조암광물에 대한 선택적 치환성 때문에 화강암류의 분화 정도에 따라 함량의 차이가 나타나며, 전하 및 이온반경의 차이에 의해서 주성분원소를 함유하는 결정 격자 내에 위장, 포획 및 허용되어 함유된다(Mason and Moor, 1984). 미량 원소의 SiO_2 에 대한 변화도는 SiO_2 의 증가에 따라 Rb은 증가하는 분포를 보이고 있고, Sr, Ba, Zr, Sm 및 Nd 등은 뚜렷하게 감소되는 경향을 보인다(Fig. 3).

Sr의 이온 반경이 Ca와 유사하여 잘 치환되기 때문에 Ca가 풍부한 엽기성암이 산성암보다 Sr 함량이 높게 나타난다(Mason and Moor, 1984). Fig. 4에서

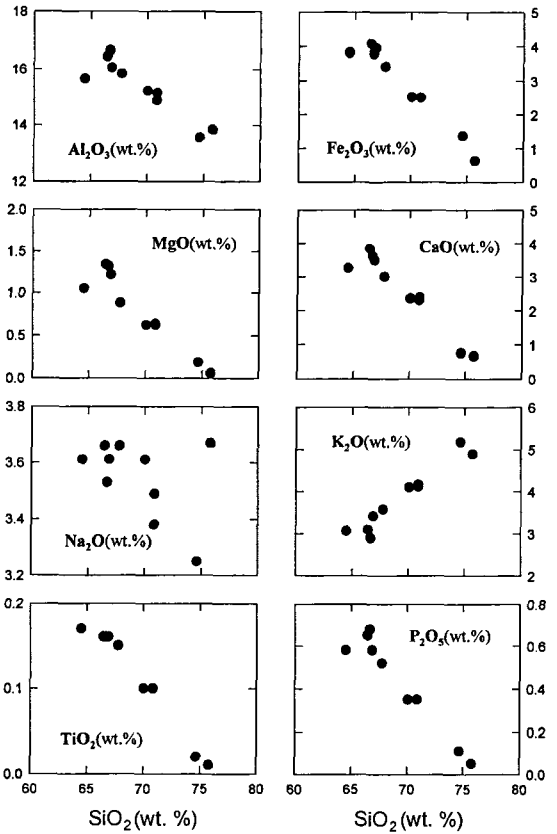


Fig. 2. Oxides vs. SiO_2 variation diagrams of the foliated granite in the Jeonju area.

보여지는 본 암체에 대한 Sr과 CaO의 관계도에서도 CaO가 증가함에 따라 Sr이 증가하는 경향을 보인다. 또한 Rb와 K_2O 의 관계도는 정의 상관성을 보이는데, 이는 Rb가 K와 유사한 결정화학적 성질을 가지며 이온 반경이 큰(large-ion-lithophile element) 불호정원소(incompatible element)로서 마그마분화의 말기에 농축되는 원소 중의 하나이며, 화강암내에서 Rb는 주로 K-장석과 흑운모의 K를 치환하여 함유하며 주 운반자인 K-장석과 농집자인 흑운모의 함량에 따라 증가하는 것으로 알려져 있다(Tauson and Stavrov, 1957). K과 Rb 같은 원소는 장석분별작용에 의해 지배되므로 분화가 진행되는 잔장에 부화되는 경향을 나타내며, 그 부화율은 K에 비해 Rb가 더 크다. 한편 Ba는 분화초기에 부화되다가 후기에는 다시 감소되는 경향을 가지며, 고도로 분화된 마그마일수록 Rb이 상대적으로 부화되는 조성을 갖는다. 본 역에서는 JF-9 시료의 경우 다른 지역의 시료보다 월등히

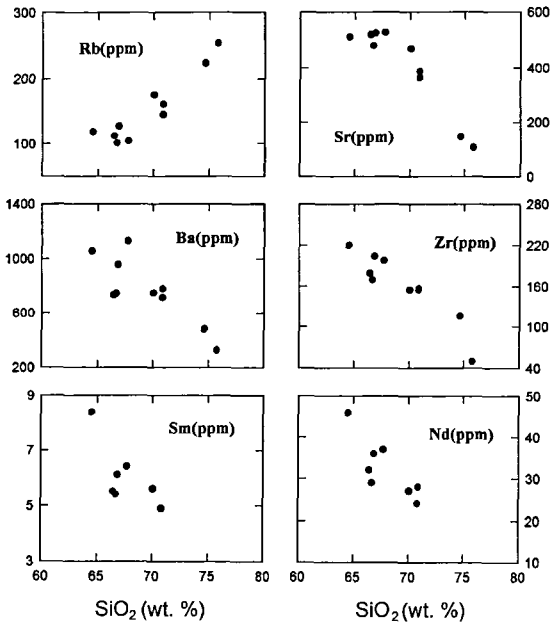


Fig. 3. Trace elements vs. SiO₂ variation diagrams of the foliated granite in the Jeonju area.

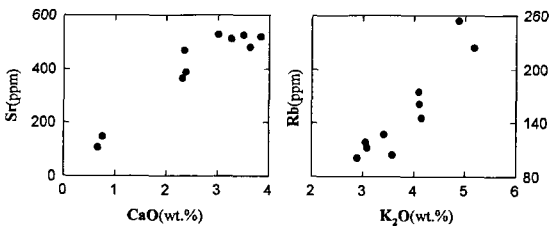


Fig. 4. Sr vs. CaO and Rb vs. K₂O diagrams of the foliated granite in the Jeonju area.

높은 254ppm의 Rb 값을 보이고 있어 이 지역이 다소 분화후기에 생성된 암체로 생각된다.

화강암류의 분화경향을 알아보기 위해 Fig. 5의 AFM(total alkali-total Fe-MgO) 삼각도상에 도시해 보면 대체로 방향성이 있는 성분 변화를 나타내며, 전형적인 칼칼리계열에 해당되는 분화경향을 보이고 있어, 이들이 동원마그마로부터의 분화산물임을 보여준다. 마그마의 특징을 알아보기 위한 SiO₂에 대한 K₂O+Na₂O 변화도(Fig. 6)는 연구지역의 화강암이 대체로 비알칼리계열에 속함을 보여 주고 있다.

Pearce *et al.*(1984)은 화강암류의 미량원소 특성으로부터 마그마의 발생 환경을 화산호 화강암(VAG), 충돌 동시성 화강암(syn-CORG), 판내부 화강암(WPG) 그리고 해경 화강암(ORG) 등으로 구분하였고, 이들

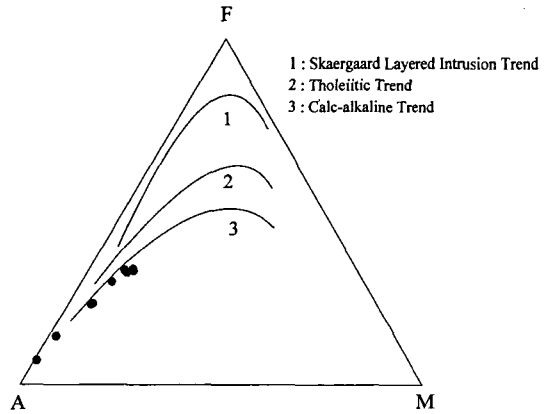


Fig. 5. AFM (total alkalis+total Fe+MgO) diagram of the foliated granite in the Jeonju area (after Brown *et al.*, 1984).

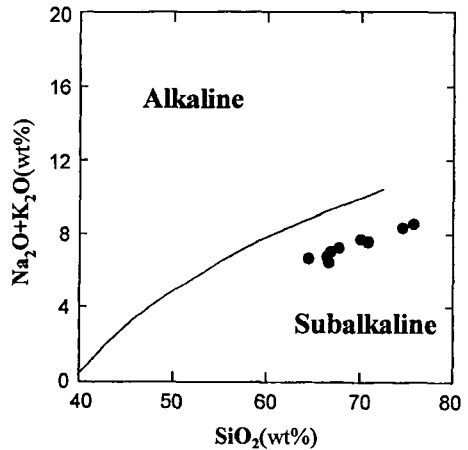


Fig. 6. Na₂O+K₂O vs. SiO₂ diagram of the foliated granite in the Jeonju area.

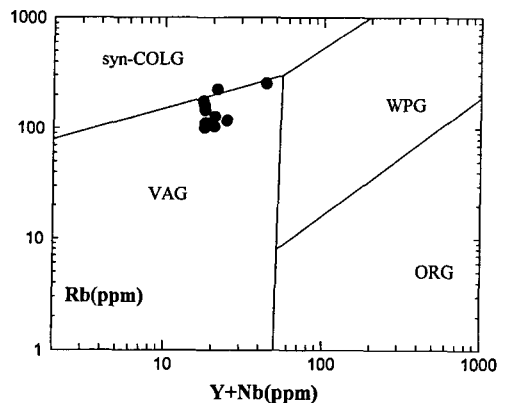


Fig. 7. Rb vs. Y+Nb tectonic discrimination diagram of the foliated granite in the Jeonju area (after Pearce *et al.*, 1984).

에 대한 판별기준으로 Rb-(Y+Nb) 관계도를 제시하였다. Rb-(Y+Nb) 관계도에서 엽리상화강암체는 화산호 화강암 환경을 보여준다(Fig. 7). Jwa *et al.*(1994)은 옥천대 중부지역에 관입한 쥬라기 화강암들의 관입환경을 활동성 육호(active continental arc), 혹은 활동성 대륙 주변부(active continental margin) 환경으로 유추하는 데, 본 역 엽리상화강암체도 옥천대 중부지역의 쥬라기 화강암들과 유사한 지체구조적인 특징을 가졌을 것으로 생각된다.

동위원소 분석결과

Rb-Sr 동위원소 조성 및 전암연령

본 역 전주 엽리상화강암에 대한 전암의 Sr, Nd 동위원소 조성 및 Rb와 Sr의 정량 분석 결과는 Table 3에 나타났다. 그 결과 본 암의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 분석 값은 0.714673~0.730830의 범위, Rb와 Sr의 정량분석 결과로부터 계산된 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.5697~6.9311의 범위를 보여 상당히 넓은 범위를 가지고 있으며, 계산된 Sr 초생값은 0.711957~0.714338의 범위를 보이고 있다.

전주 엽리상화강암에 대한 전암 등시선은 분석된 10개의 자료들 이용하여 구하였으나, x축과 y축의 오차가 크게 나타나 $168.2 \pm 8.0\text{Ma}$ 의 오시선 연령과

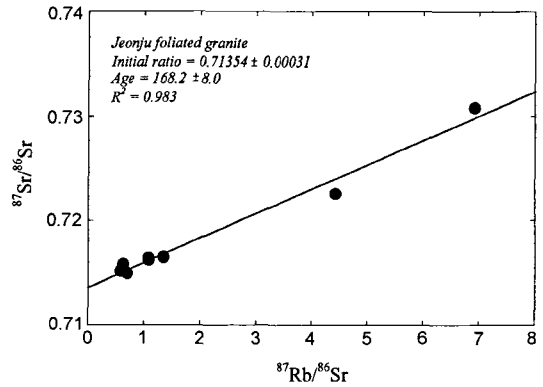


Fig. 8. Rb-Sr whole rock isochron diagram of the foliated granite in the Jeonju area.

0.71354±0.00031의 Sr 초생값을 구하였으며, 회귀선의 결정계수(R^2)는 0.983로 나타났다(Fig. 8).

이와 같은 암석연령은 쥬라기 중기에 해당되는 것으로 김옥준(1971)에 의해 제시된 흑운모에 대한 K-Ar 광물연대인 148~166Ma와 김용준 외(1994)에 의한 K-Ar 백운모 광물연령인 $164 \pm 4\text{Ma}$, 그리고 나춘기 외(1997b)에 의한 장석류 및 운모류의 Rb-Sr 광물연대인 112~140Ma들에 비교해 볼 때 약간 높은 값을 보이나, 이것은 광물의 폐쇄온도를 고려해 광물

Table 3. Sr-Nd isotope data and calculated model ages of the foliated granite in the Jeonju area.

Sample No.	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($\pm 2\sigma$)	Initial Sr	ϵSr (T)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($\pm 2\sigma$)	Initial Nd	ϵNd (T)	$T_{\text{DM}}^{\text{Nd}}$ (Ga)
JF-1	175	468	1.0816	0.716378 ± 0.000121	0.713791	134.8	5.6	27	0.125973	0.511477 ± 0.000012	0.511338	-21.1	2.89
JF-2	145	387	1.0838	0.716247 ± 0.000150	0.713655	132.9	4.9	24	0.124005	0.511661 ± 0.000012	0.511525	-17.5	2.52
JF-3	112	520	0.6230	0.715828 ± 0.000079	0.714338	142.6	5.5	32	0.104392	0.511495 ± 0.000009	0.511380	-20.3	2.30
JF-4	101	480	0.6086	0.715185 ± 0.000128	0.713729	133.9	5.4	29	0.113096	0.511637 ± 0.000008	0.511513	-17.7	2.28
JF-5	118	512	0.6666	0.715114 ± 0.000089	0.713520	131.0	8.4	46	0.110911	0.511703 ± 0.000008	0.511581	-16.4	2.14
JF-6	127	526	0.6984	0.714673 ± 0.000094	0.713003	123.6	6.1	36	0.102915	0.511744 ± 0.000009	0.511631	-15.4	1.93
JF-7	161	364	1.3459	0.716499 ± 0.000120	0.713281	127.6	4.9	28	0.106290	0.511684 ± 0.000009	0.511567	-16.7	2.07
JF-8	104	528	0.5697	0.715198 ± 0.000090	0.713835	135.5	6.4	37	0.105058	0.511712 ± 0.000027	0.511596	-16.1	1.82
JF-9	254	106	6.9311	0.730830 ± 0.000094	0.714256	141.4							
JF-10	224	146	4.4378	0.722568 ± 0.000010	0.711957	108.8							

* ϵSr (T) and ϵNd (T) were calculated at 168.2 Ma.

연대가 젊게 나타날 것(Kagami *et al.*, 1987; Lee, 1991; Sudo *et al.*, 1988)이라는 사실의 범위 내에서 잘 일치한다. 그러나 본 암체에 대한 나츨기 외(1997b)에 의한 Rb-Sr의 전암연령을 284 ± 12 Ma인 페름기로 발표한 것과는 상이한 결과를 가져왔다. 이런 상반되는 결과를 파악하기 위해 먼저 나츨기 외(1997b)가 발표한 분석내용을 살펴보면 직선적인 배열에서 벗어나는 2개의 시료를 확실한 이유 없이 제외시키면서 얻은 연령이고, 오차범위도 12Ma로 아주 크게 나타나고 있다. 또한 제외시킨 2개의 시료를 삽입했을 경우 300 ± 17 Ma의 연대가 산출된다. 이는 나츨기 외(1997b)에 의하면 뚜렷하게 벗어나는 두 개의 시료로 인해 왜곡된 연대가 산출되었기 때문에 지질학적 의미를 부여하기 어렵다는 언급을 하고 있다. 따라서 이 지역에서 얻어진 Rb-Sr 연대측정에 신뢰를 얻기 어려우며, 284 ± 12 Ma 연대를 전주 열리상화강암의 연대로 받아들이기에는 어려운 실정이다. 또한 광물연대인 112~140Ma도 쥬라기 대보조산운동의 영향일 것으로 해석하고 있으나, 통념적으로 대보조산운동은 153~163Ma의 연대가 받아들여지고 있어 이 또한 의구심이 든다. 따라서 페름기(284Ma)에 관입하여 쥬라기 및 백악기 초기의 변성변질을 받아(112~140Ma) Rb-Sr의 재평형이 되었다는 주장은 받아들이기 힘들다.

한반도의 옥천대 및 영남육괴내에 존재하는 열리상화강암류에 대한 전암과 광물을 대상으로한 동위원소 연대측정 연구결과는 159~258Ma로 쥬라기 말에서 페름기 중기에 해당하는 지질시대를 보이고 있다고 보고되었으며, 쥬라기의 대보화성활동시 압쇄작용을 받아 열리가 발달되었다고 해석하였다. 이러한 지질학적인 시대형성으로 보면 전주 열리상화강암체는 쥬라기 중기에 관입정지된 후 그 뒤 발생한 구조변형운동의 영향으로 열리구조를 형성한 것으로 생각된다. 그리고 기존 연구자들이 발표한 광물연대들이 전암연령보다 약간 낮은 값을 보이고 있는 것은 관입고결 후 마그마의 분별결정화 과정에 의해 생성된 광물들에 의한 연령의 차이로 생각되거나, 관입 후 쥬라기 후기 화성활동과 같은 변성작용 등에 의해 광물이 재평형되었을 가능성도 있다.

Sm-Nd 동위원소 조성

본 역 전주 열리상화강암체에 대한 Sm과 Nd 함량 그리고 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비와 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 비를 Table 3에

나타냈다. 본 암체의 Nd 동위원소비인 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (2σ) 값은 0.511477~0.511744의 범위 내에 분포하고 있으며, 또한 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 와 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 의 관계에서는 직선적인 관계를 보이지 않아 Sm-Nd에 의한 전암연령은 확인할 수 없었다. Sm과 Nd는 서로 유사한 화학적 성질과 매우 낮은 이동성을 가지고 있어 정상적인 지각내 진화과정에서는 거의 분별작용이 일어나지 않는 것으로 알려져 있다. 따라서 지각물질의 Sm-Nd 비는 거의 시간만을 함수로 하여 진화하므로 지각물질이 맨틀로부터 최초로 분리된 시기를 추정하는데 매우 유용한 척도로 이용되고 있다(McClulloch and Wasserburg, 1978; DePaolo and Wasserburg, 1976). 그러나 본 역에서와 같이 불균질하게 나타나는 것은 나츨기 외(1997b)가 제시한 바와 같이 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비가 대상암체가 형성되는 동안 동위원소적으로 균질화되지 않았음을 의미하며 또한 대상암체를 형성한 마그마가 마그마 챔버에서 동위원소적으로 충분히 균질화될 수 있을 정도로 긴 시간동안 체류하지 않았거나 마그마의 이동시 주변 모암의 국부적인 재용융에 의한 오염원의 유입이 일어났을 가능성을 배제할 수 없다.

화강암질 마그마의 기원

일반적으로 맨틀기원의 마그마인 해령 현무암에서와 같은 경우는 LREE가 결핍되어 정(+)의 ϵNd 값과 부(-)의 ϵSr 값을 가지며, 지각기원물질의 마그마는 부(-)의 ϵNd 값과 정(+)의 ϵSr 값을 가진다고 알려져 있다(O'Nions *et al.*, 1977; Depaolo and Wasserburg, 1976). Kagami *et al.*(1987)에 의하면 이러한 ϵSr 과 ϵNd 값의 차이는 상부 지각 물질의 동화 등의 영향 보다는 하부 지각에서 상부 맨틀사이 물질의 지구화학적 차이를 반영하고 있어서 초생적으로 마그마 근원이 다름을 언급하고 있다. 본 역 전주 열리상화강암체의 ϵNd 값은 -15.4~-21.2의 범위를 보이며, ϵSr 값은 +108.8~+142.6로 나타나, 이를 Fig. 9에서 보여주는 $\epsilon\text{Sr}-\epsilon\text{Nd}$ 관계도에 도시하여 보면 맨틀 array의 우측하단에 점시된다. 또한 본 암체에서 측정된 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비를 상부 맨틀의 진화곡선에 회귀시키는 결핍된 맨틀에 대한 모델연령은 1.82~2.89Ga의 지각연령을 보였다. 결핍된 맨틀에 대한 모델연령 계산시 사용된 상부 맨틀의 평균값은($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_{DM}=0.513114와 ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$)_{DM}=0.222를 이용하였다(Turpin *et al.*, 1990). ϵNd 와 ϵSr 의 값에서 나타나는 것과 결핍된 모

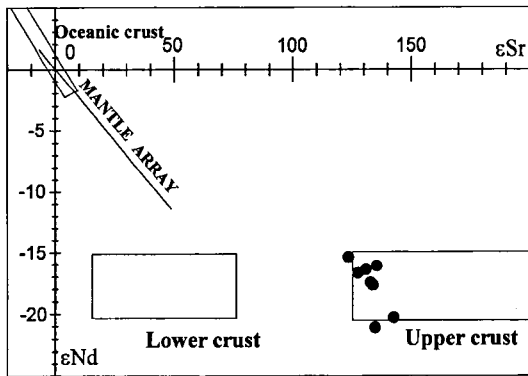


Fig. 9. Initial ϵNd vs. ϵSr diagram of the foliated granite in the Jeonju area. The isotopic compositions of oceanic crust, lower crust and upper crust are from DePaolo (1981).

텔렌령 등에 의해 추정할 수 있는 전주 엽리상화강암체의 기원은 고기지가 물질의 부분용융에 의해 마그마가 생성된 것으로 생각된다.

결론

전주지역 엽리상화강암체에 대한 암석화학적 특성과 Rb-Sr 등시선에 의한 전암 연령 측정, 그리고 Sr 및 Nd 동위원소비를 측정하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 본 역 전주 엽리상화강암체의 암석화학적 특징은 중립 내지 조립질의 엽리상화강암에 속한다. 또한 화강섬록암-섬록암 영역에 점시되며 단일 마그마의 분별결정작용으로 생성된 암체의 특징을 보이며, 비알칼리계열중 칼크알칼리계열에 속하는 분화경향을 보인다.
2. 미량성분원소와 SiO₂와의 관계에서 Rb는 정의 상관성을 보이며, Sr, Ba, Zr, Sm, Nd 등은 뚜렷한 부의 상관성을 보인다. 마그마의 관입환경은 대부분 화산호 화강암 영역에 속하나 분화가 진행된 시료의 경우 충돌동시성 화강암 영역에 속하는 것으로 나타난다.
3. 전주 엽리상화강암체에 대한 전암연령은 168.2 ± 8.0Ma로 주라기 중기 관입암체이고, Sr 초생값은 0.71354 ± 0.00031로서 기준에 보고된 대보화강암의 특징을 보인다.
4. ϵNd 값은 -15.4 ~ -21.2이고, ϵSr 값은 +108.8 ~ +142.6으로 나타나며 맨틀 array 우측하단에 점시된다. 결핍된 맨틀에 대한 모델연령은 1.82 ~ 2.89Ga로

서 본 역 전주 엽리상화강암체를 생성시킨 마그마의 기원은 대륙 지각물질 기원의 부분용융에 의해 생성된 것으로 생각된다.

사사

이 연구는 1998년도 조선대학교 학술연구비에 의한 연구로 연구비를 지원해준 조선대학교에 감사드립니다. 일본 시마네대학 지질학교실의 Iizumi, S. 교수, Akasaka, M. 교수, Ohira, H. 조교 그리고 동위원소 분석에 도움을 준 Akasaka 선생에게 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

김옥준, 1971, 남한의 신기화강암류의 관입시대와 지각변동. 광산지질, 4(1), 1-9.
 김용준, 1986, 영남육괴에 분포하는 고기 화강암질암의 지질시대와 성인에 대한 연구. 광산지질, 4(1), 1-10.
 김용준 · 박영석 · 주성환 · 오민수, 1989, 옥천지향사대 동남부에서의 화성활동(I): 남원-거창-상주 지역을 중심으로. 광산지질, 22(4), 355-370.
 김용준 · 박영석 · 강상원, 1994, 호남전단대내에 분포하는 엽리상화강암류의 지질시대와 생성과정에 관한 연구. 자원환경지질, 27(3), 247-261.
 나춘기 · 이인성 · 정재일, 1997a, 전주 및 순창지역에 분포하는 엽리상화강암류의 성인에 대한 연구(I) - 암석지화학적 특성을 중심으로 -. 한국지구과학회지, 18(6), 480-492.
 나춘기 · 이인성 · 정재일, 1997b, 전주 및 순창지역에 분포하는 엽리상화강암류의 성인에 대한 연구(II) - Sr 및 Nd 동위원소적 특성을 중심으로 -. 자원환경지질, 30(3), 249-262.
 주성환 · 김성재, 1986, 영남육괴 연대측정연구 II(지리산 서남부 일대 화강암질 편마암 및 편마상 화강암류). 한국동력자원연구소 KR-86-7, 7-33.
 Brown, G.C., Thrope, R.S. and Webb, P.C., 1984, The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comants on magma sources. Journal of Geology Society London, 141, 413-426.
 DePaolo, D.J. and Wasserburg, G.J., 1976, Nd isotopic variations and petrogenetic models. Geophysical Research Letters, 3, 249-252.
 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 Report ISEI, Okayama University, Series B, 4, 16.
 Jwa, Y.J., Moutte, J., Cho, W.S. and Choi, W.H., 1994, Petrochemistry of Mesozoic granites in the central Ogcheon belt and its tectonic implication. Abst. 4th Int.

- Symp. IGCP 321, 48-49.
- Lee, J.I., 1991, Petrology, Mineralogy and Isotope of the Shallow-depth emplaced Granitic Rocks, Southern part of the Kyoung Sang Basin, Korea. University of Tokyo, Ph. D. thesis.
- 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 587-600.
- Mason, B. and Moor, C.B., 1984, Principles of geochemistry. John Wiley & Sons, 344 p.
- McCulloch, M.T. and Wasserburg, G.J., 1978, Sm-Nd and Rb-Sr chronology of the continental crust formations, *Earth and Planetary Science Letters*, 58, 51-64.
- 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 and Planetary Science Letters*, 34, 13-22.
- Pearce, J.A., Harris, N.B. and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Steiger, R.H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geo-chronology: convention on the use of decay constants in geo-and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36, 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. *Journal of the Geological Society of Japan*, 94, 113-128.
- Tauson, L.V. and Stavrov, O.D., 1957, The geochemistry of rubidium in granitoids. *Geochemistry*, 41-52.
- Turek, A. and Kim, C.B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Danyang-Geochang area, Ryongnam massif. *Geochemical Journal*, 29, 243-258.
- Turpin, L., Cuney, M., Friedrich, M., Bouchez, J.L. and Aubertin, M., 1990, Meta-igneous origin of Hercynian peraluminous granites in N.W. French Massif Central; implications for crustal history reconstructions. *Contribution to Mineral Petrology*, 104, 163-172.
- 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 2311-2323.

2000년 8월 7일 원고 접수
 2001년 1월 4일 수정원고 접수
 2001년 2월 2일 원고 채택