Econ. Environ. Geol.
Vol. 30, No. 2, p. 153-161, 1997.

광주-나주지역 화강암류에 대한 네오디움 표본연령 및 동위원소 특성연구

박 영 석*

Nd Model Age and Nd Isotopic Evidence of Granitoid Rocks in the Gwangju-Naju Area, Korea

Young Seog Park*

ABSTRACT : Diagrams of $^{87}Sr/^{86}Sr$ versus Ba/Nb and MgO/FeO are scattered, and $^{87}Sr/^{86}Sr$ variation with the increase of SiO_2 are scattered in Gwangju granitoid. Diagrams of $(^{87}Sr/^{86}Sr)i$ versus $(^{143}Nd/^{144}Nd)i$ and εNd versus 1/Nd variation are also scattered in Gwangju granitoid. It shows that the source magma of Gwangju granitoid are derived from partial melting materials of heterogeneous upper crust. Very low εNd values (-15.19~-19.49) and very high εSr values (92.72~308.85) mean that the source magma of Gwangju granitoid is derived from sedimentary substance melting. According to $(^{87}Sr/^{86}Sr)180Ma$, and the plot of εSr versus εNd, the Gwangju granitoid shows that the source magma is derived from upper crust materials. Nd model ages of Gwangju granitoid (1.82~2.42G.A.) are older than meta-sediments of Okcheon formation (1.15~1.60G.A.) and similar or close to Pre-Cambrian gneiss complex of Ryoungnam massif (2.17~2.47G.A.or 2.11~2.38G.A.).Therefore, the source magma of the Gwangju granitoid could be derived from the partial melting of Pre-Cambrian gneiss complex of Ryoungnam massif.

서 론

광주-나주 지역에 분포되어 있는 화강암류 (이하 광주 화강암류라 칭함)에 대한 연구는 5만 분지 1 송정 (홍승호, 윤욱, 1986), 영광 (최위찬 등, 1986), 광주 (김규봉 등, 1990), 나주 (홍승호, 최영범, 1990) 지질도폭 설명서에 야외조사와 암석기재학적인 연구보고가 있다. 그리고 주승환 등 (1990)은 Rb-Sr동위원소 분석에 의한 절대연대 측정결과로 광주화강암류가 트라이아스기 중기와 말기에 관입정치한 것으로 보고하였다. 김용준 등 (1993)은 광주화강암체를 구성광물과 조직 및 관입시기에 따라 각섬석흑운모화강섬록암, 흑운모화강암, 복운모화강암 및 반상화강암의 네 가지 암상으로 분류하였으며, 광주화강암류가 광주-나주-영암-해남지역을 잇는 지역에 걸쳐 저반상 이나 암주상으로 분포한다고 보았다 (김용준 등, 1993). 박영석 등 (1995)은 암석화학 및 Rb-Sr동위원소 분석 연구에서 광주화강암류를 각섬석흑운모화강섬록암과 흑운모화강암등으로 분류하였고, Rb-Sr광물연대가 204~208 Ma인 트라이아스기 말기에 관입정치한 것으로 보았다.

본 연구에서는 본 연구자가 1995에 연구 발표한 (박영석 등, 1995) 광주화강암류에 대한 Rb-Sr 동위원소 연구에 연이어 Sm-Nd 동위원소 분석연구를 수행함으로써, 이들 연구결과를 종합하여 $^{87}Sr/^{86}Sr$값과 εNd 값을 함께 도시하고, Nd 표본연령을 구함으로써, 광주화강암류의 근원마그마에 대해 밝히고자 한다.

일반지질

연구지역의 지질은 선캠브리아기 화강편마암복합체와 이를 관입하고 있는 시대미상의 편리상 흑운모화강암이 발달하여 있고, 이를 고생대의 변성퇴적암류가 부정합으로 덮고 있다 (Fig. 1 참조). 화강편마암류는 트라이아스기 중기에 정치된 화강암류 (주승환, 1990)에 의해 관입되었으며, 이들 화강암류는 백악기의 무등산용암류로 분류되어진 안산암질암과 유문암질암에 의해 관입되거나 부정합으로 덮혀있는 것을 관찰 할 수 있다.

* 조선대학교 자원공학과 (Depatement of Mineral Resource Engineering, Chosun University, Gwangju 501-600, Korea)

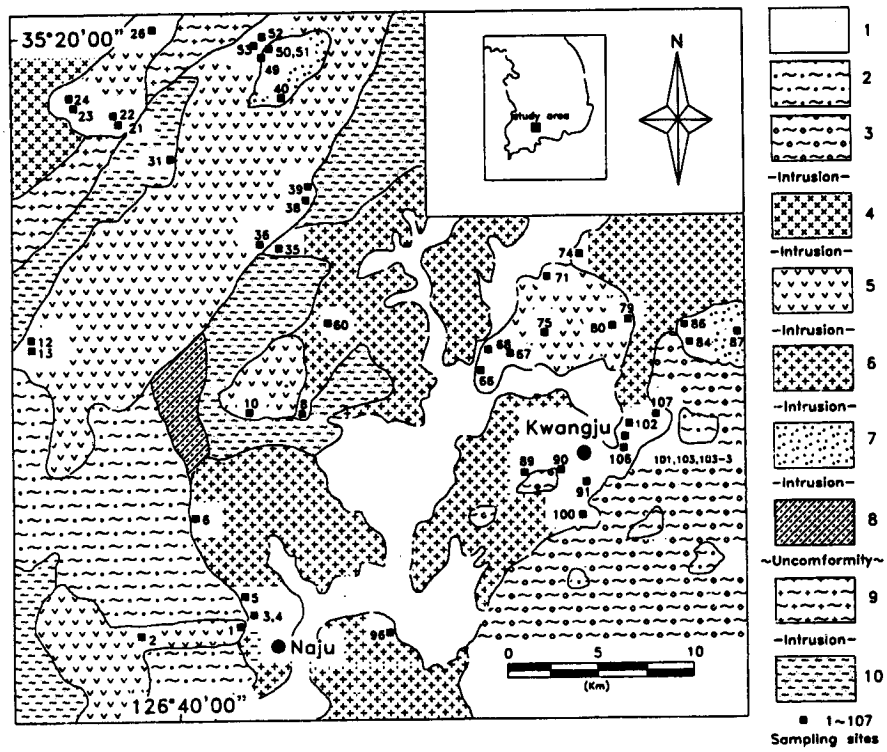

Fig. 1. Geological map of the Gwangju-Naju area. 1; Alluvium, 2; Cretaceous rhyolite, 3; Cetaceous andesite, 4; Cretaceous pink feldspar granite, 5; Jurassic biotite granite, 6; Paleozoic hornblende-biotite granodiorite, 7; Paleozoic two-mica granite, 8; Paleozoic meta-sediments, 9; Age unknown schistose biotite granite gneiss, 10; Precambrian gneiss complex (modified from Park *et al.*, 1995).

본 연구지역의 야외조사에서 광주화강암류중에 운모편암, 흑운모화강암, 각섬석흑운모화강섬록암등으로 된 1~30 cm크기의 포획암이 다수 흑운모화강암내에 포획되어 있는 부분이 광주시 동운동 불공부락 건설현장 절개면에서 10,000 m^2이상 면적에 걸쳐 발달되어 있음을 관찰 할 수 있으며, 여기에서 동쪽방향으로 200여미터 떨어진 또 다른 절개면에서는 각섬석흑운모화강섬록암에 흑운모화강암의 포획암이 1~20 cm 크기로 다수 포획되어 있음이 관찰된다. 이를 다른 지역에서의 관찰 결과와 종합하여 볼 때, 각섬석흑운모화강섬록암상과 흑운모화강암상이 동일 마그마 기원에서 분화의 양상에 따라 암상이 약간 상이하게 변화한 것임을 보다 분명하게 해주며, 정치되는 과정에서 마그마가 주변암의 하부나 측면으로 접촉하는 부위에서는 보다 급냉하므로 각섬석이 정출되어 각섬석흑운모화강섬록암상으로 발달하고, 보다 중심부위로 가면서 각섬석의 양은 점점 적어지면서 흑운모만 발달된 흑운모화강암상으로 발달하였음을 알 수 있다 (김용준 등, 1993, 박영석 등, 1995). 그리고 광주화강암류의 서쪽에 접하여 분포하는 영광화강암에는 구조운동에 따라 수개조의 연성전단대가 NNE방향의 대보화강암대을 따라 발달되어 있음이 장태우 (1985), 홍영국 등 (1989), 이병주 등 (1990)에 의하여 보고된 바 있다.

복운모화강암은 각섬석흑운모화강섬록암이 안산암에 의해 관입된 접촉부를 따라 변질에 의해 이차적 광물인 백운모가 발달하면서 소규모로 발달된 곳과, 장성군 삼계면, 동화면 일원에서 주변암인 변성퇴적암류와의 관입접촉부를 따라 소규모로 발달되어 있음을 볼 수 있다.

Sr-Nd 동위원소 측정에 사용된 화강암류의 암석화학

연구지역 화강암류들에 대한 암석화학적 특징은 본 연구자의 1995년 연구결과 (박영석 등, 1995)를 참고 하였으며, 이를 간략하게 기술한다.

야외정밀조사와 박편관찰결과를 바탕으로 하여 선정한 대표 화강암 61개에 대한 주성분 원소와 미량성분 원소에 대한 분석결과는 다음과 같다. Harker (1909)변화도에서

광주화강암류는 SiO_2의 함량 증가에 따라 MgO, CaO, FeO는 감소하는 경향이 뚜렷하고, Sr은 감소하는 양상을 보이며, K_2O와 Rb는 증가하는 경향을 보이나, Na_2O와 Ba는 흩어지는 양상을 보여 후기 관입암체에 영향을 받아 변성, 변형되거나 변질되어, 이동되거나 재배치된 양상을 보인다. AMF삼각도에서 광주화강암류는 칼크-알칼리계열에 속하며, K_2O-Na_2O-CaO 삼각도에서 광주화강암류의 K/Na비는 전형적인 쥬라기화강암류가 보이는 1보다 낮거나 거의 같은 값을 보이며 (김용준 등, 1990), 이를 뉴질랜드 화강암류와 비교해 볼 때, Rahu suite (Tulloh, 1983)에 대비된다. Na_2O-K_2O 상호변화도와 ACF 삼각도에서 광주화강암류들이 I-형에 해당됨을 알 수 있다. (Chappel *et al.*, 1974, Hine *et al.*, 1978). Rb-Ba-Sr삼각도에서 광주화강암류중에서 각섬석흑운모화강섬록암은 분화초기 영역의 섬록암과 화강석록암영역에 그리고 흑운모화강암은 섬록암과 비정상화강암 영역에 해당된다 (El Bouseily, *et al.*, 1975).

희토류원소에 대한 분석값에서, Nakamura (1973)에 의한 운석의 희토류원소함량에 비해 광주화강암류는 LREE에서는 20 100배, 그리고 HREE에서는 1~7배로 농집되어 있음을 알 수 있다 (박영석 등, 1995).

Sr-Nd 동위원소 분석

동위원소분석

시료준비 야외조사시 선별된 시료는 신선하고 변질되지 않는 것을 채취하기 위해 세심한 주의를 하였다. 특히 변질에 의한 이차적인 변화요인을 최소화하기 위하여 암맥이나 세맥이 발달한 부위에서 5 m이상 거리를 두고 시료채취를 하였으며, 이들 각 시료에 대하여 편광현미경 관찰을 위해 암석박편을 제작하였고, 현미경하에서 변질의 정도가 거의 없는 시료만을 선택하여 이중에서 5 kg을 텅그스텐카바이트 죠크라샤를 이용하여 파쇄하였다. 파쇄된 시료는 다시 사분법에 의해 100 g씩 취하였으며, 다시 이들 선택된 시료를 사용하여 200 mesh 이하로 텅그스텐카바이트 필버라이저를 이용하여 미분쇄하였다. 미분쇄된 시료중에서 5g을 사용하여 ICP-AES와 AAS을 이용한 화학분석을 실시하였으며, 또한 스트론튬과 네오디미움 동위원소 분석을 위해서 약 200 mg을 따로 준비하였다.

약 50 mg의 미분쇄된 암석시료는 15 m*l* teflon bial (PFA)에 넣고, 여기에 Rb, Sr, Sm, Nd 의 함량을 동위원소 희석법에 의해 분석하기 위해 각 원소의 spike용액을 첨가 하고 나서 불산 40% (Merck 335 Suprapur) 3~4 m*l*, 질산 65% (Merck 441 Suprapur) 1~2 m*l*를 넣고 뚜껑을 잠근 후에 120℃의 온도에서 7일간 가열하였다. 이때 Mg나 Ca가 많이 함유된 시료에는 과염소산 70% (Merck 517 Suprapur) 1~2 m*l*를 첨가하여 시료가 완전 용해되도록 하였다. 가열이 끝난후에는 teflon bial의 뚜껑을 열고 90℃로 가열하여 SiF_4를 증발시켰으며, 이때 공기중의 먼지에 의한 오염을 방지하기 위하여 laminar clean air flow hood내에서 건조 시키고, 완전히 건조된 후에 다시 불산 40% 0.5 m*l*를 가하고 건조시키는 과정을 2~3회 반복하여 규산분을 SiF4 상태로 모두 증발시켰다. 여기에 6N-HCl (Merck 318 Suprapur) 2 m*l*를 가하여 용해시킨 다음 건조시키고, 다시 2N-HCl 2 m*l*를 가하여 1 m*l*는 보관하고 1 m*l*는 원심분리기에서 약 30분 정도 걸어준 다음 컬럼에 의한 스트론튬과 네오디미움 분리공정에 사용하였다. 모든 실험공정은 3차증류수와 저온비등증류수 (sub-boilling)를 사용하여 가능한 외부로부터 오는 오염을 최소화하도록 하였다.

Rb · Sr과 Sm · Nd의 분리

Rb · Sr 및 Sm · Nd 분리는 양이온 교환수지를 이용하여 2단계로 시행하였다. 첫 단계는 1.0×15 cm (resin 6 m*l*) 석영컬럼을 사용하여 AG-50W×12 200-400# 양이온 교환수지를 backwash 한 후 2N HCl 10 m*l*로 평형시킨 다음에 각 원소별 spike를 넣고 용해한 시료 1 m*l* (2N HCl 평행상태) 를 가하고, 여기에 2N HCl 10 m*l*로 네번 씻어 내린다. 그 후에 2N HCl 18 m*l*를 흘려 버린 다음 2N HCl 6 m*l*를 얻어 Rb 동위원소 분석용으로 사용하였다. 그리고 다시 2N HCl 20 m*l*를 흘려버린 다음 2N HCl 14 m*l*를 취하여 Sr 동위원소분석용으로 사용하였다. 그 다음에 6N HCl 7 m*l*를 흘려버린 다음 6N HCl 15 m*l*를 취하여 REE (Sm · Nd) 분석용으로 사용하였다. 둘째 단계는 0.5×8 cm (resin 1 m*l*) 석영컬럼을 사용하여 AG-50W×12 200-400# 양이온 교환수지를 테프론 분말을 매개체로 사용하였다. 테프론 분말에 입혀진 양이온 교환수지를 0.15N HCl로 평행시킨 다음에 첫 번째 단계에서 얻은 REE 시료 200 μ*l*를 가한 다음 0.15N HCl 200 μ*l*로 네번 씻어 내리고 나서, 0.15N HCl 18 m*l*를 흘려버린 다음 0.3N HCl 4 m*l*를 취하여 Nd동위원소 분석용으로 사용하였다. 그리고 난 다음에 0.7N HCl 3 m*l*를 취하여 Sm동위원소 분석용으로 사용하였다.

Sr-Nd 동위원소 분석에서 일부인 광물분리 시료 (8개)에 대한 분석은 일본 오카야마 대학교 지구내부연구센타

(Misa sa) PML lab.을 이용하였으며, 이때는 Sm-Nd 분리공정인 2차 컬럼에서 피리딘산을 사용하였다.

Sr과 Nd동위원소 측정조건

동위원소 분석에 사용한 기기는 Finnigan MAT Co. MAT-261 multicollector (5th Faraday cups and SEM detector)로써, 분석은 double collectors jumping mode를 사용하였다.

NBS SRM 987 (Sr)을 사용하여 존재비 감도, 피크형태, 전류의 안정성, 자장의 재현성 등을 측정한 결과 모두 만족스러웠으며, 분해능도 528 (500 이상이면 우수함)으로 좋은 결과를 얻었다. 또한 NBS SRM 987 표준물질에 대한 분석결과는 10 block 10 scan에 대한 값이 $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.710344 \pm 0.000008$ (2δ)으로 NBS에서 제시한 값인 $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.71034 \pm 0.00026$에 비해 낮은 표준편차의 범위를 보여준다.

그리고 시료 측정 전후에 La Jolla Nd표준물질 (from G. Lugmaiz)에 대해 측정한 값이 $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.511842 \pm 0.000005$ (2δ)의 범위를 보여주어 좋은 분석결과를 얻을 수 있었다. 또한 시료의 용해와 분리공정에서 사용되어진 각종 시약과 3차 증류수와 저온 비등증류수 및 용기들에 의한 배경값은 무시해도 되게 매우 낮았다.

주성분 및 미량성분원소와 Sr-Nd 동위원소

광주화강암류에 대한 주성분 및 미량성분원소들의 분석결과 (Table 1, 주성분과 미량성분 분석은 필자의 선행연구 (박영석 등, 1995)에서 일부 분석결과를 이번의 Sr-Nd 동위원소분석 결과와 상호 검토하기 위하여 다시 사용하였음)와 Table 2의 Sr-Nd동위원소분석 결과를 토대로 이들의 분화양상을 알아보았다. Fig. 2에서 $^{87}SR/^{86}Sr$의 증가에 대한 Ba/Nb비와 MgO/FeO비의 변화가 모두 산만하게 흩어져 있어, 어떤 일정한 증감의 양상을 보이지 않는다.

광주화강암의 Rb-Sr 광물등시선에서 Sr초생값이 0.7048~0.7158의 범위를 보이는데 (박영석 등, 1995), 대부분이 전형적인 맨틀 기원의 암석에 대한 값인 0.708 (Chappell and White, 1974)에 비해 아주 높은 값이다. 그리고 Rb-Sr 전암 등시선이 형성되지 않으므로해서 2개 이상의 Sr 초생값이 가능하도록 해석된 점은 동화된 주변 물질의 Sr 동위원소비의 다양성이나 동화-분별 결정작용 (AFC)으로 설명 될 수 있을 것이다 (DePaolo, 1981). 또한 Fig. 3에서 SiO_2의 함량 증가에 따른 $^{87}Sr/^{86}Sr$의 변화는 산만하게 흩어져 있으며, $^{143}Nd/^{144}Nd$의 변화는 어느정도 규칙성이 있으므로 해서, 다시 Fig. 4에서 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 변화에 대한 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 동위원소 변화양상이 어떠한 Sm-Nd 등시선 뿐만 아니라 오시선도 예상하기 어려움을 보여 준다.

위의 내용을 종합하여 보면, 광주화강암류는 완전히 균일한 상태의 마그마로부터 분화정치되었다고 보기보다는 완전히 균일한 상태가 아닌 부분용융으로 생성된 마그마로부터 분화정치 되었다고 보는 것이 타당하다.

Sr 초생값과 εNd

Table 2와 Fig. 5에서 보면 $(^{87}Sr/^{86}Sr)i$의 증가에 따라 $(^{143}Nd/^{144}Nd)i$가 감소하는 경향을 보이지 않고 어떤 부분에만 산만하게 분포하는 양상을 보인다. 여기에서 흑운모

Table 1. Major, trace elements analytical data and sampling site location of Gwangju-Naju granitoid (some data reused from Park, 1995).

Sample No.	SiO_2 (wt%)	FeO% (wt%)	MgO (wt%)	Ba (ppm)	Nb (ppm)	longitude & latitude	
GN-94-2	72.19	0.64	0.87	602	10	126° 38' 21"	35' 02' 24"
GN-94-10	68.31	0.51	1.37	637	10	126° 42' 52"	35° 08' 56"
GN-94-12	66.57	0.58	1.61	656	13	126° 35' 06"	35° 11' 21"
GN-94-16	71.20	0.34	0.67	868	9	126° 39' 09"	35° 11' 32"
GN-94-26	70.28	0.49	0.67	1129	10	126° 39' 11"	35° 20' 32"
GN-94-67	60.34	1.06	2.33	646	18	126° 51' 53"	35° 10' 47"
GN-94-79	68.23	0.33	0.98	1045	12	126° 55' 53"	35° 11' 36"
GN-94-5	69.74	0.40	1.23	542	10	126° 42' 20"	35° 03' 10"
GN-94-35	72.84	0.30	0.67	980	9	126° 42' 56"	35° 14' 14"
GN-94-39	73.81	0.28	0.59	819	9	126° 44' 03"	35° 15' 36"
GN-94-90	67.18	0.50	1.82	740	11	126° 53' 39"	35° 07' 08"
GN-94-100	67.97	0.50	1.73	816	9	126° 53' 41"	35° 05' 37"
GN-94-101	68.68	0.56	1.41	635	12	126° 56' 15"	35° 08' 11"
GN-94-107	63.96	0.69	2.83	463	10	126° 57' 59"	35° 08' 36"

화강암의 경우에는 보는 관점에 따라서 감소하는 경향으로 볼 수도 있겠으나, 시료번호 GN-94-67와 GN-94-79에 의해서 형성된 양끝점은 현장조사 결과와 박편관찰 및 주성분과 미량성분 분석에서 변질에 많은 영향을 받았음을 알 수 있으므로 고려하지 않았다.

Fig. 6 (Table 2 참조)에서도 εNd의 변화에 따른 1/Nd의 변화 양상이 산만하게 흩어져서 Nd의 함량 변화가 근원 마그마의 분화에 따라 일정하게 변화한 것이 아님을 알 수 있다. 광주화강암류의 관입정치시기를 180 Ma (다음의 "논의 및 고찰"참조)로 본다면, 광주화강암류의 εNd값은 -15.19~-19.49 (시료번호 GN-94~67의 경우 -8.46인 예외가 있음)의 범위로 아주 낮고, εSr값이 92.72~308.85 (시료번호 GN-94~67 제외)로 아주 높아서 광주화강암을 형성한 마그마가 퇴적기원물질에서 재용융된 것일 가능성이 아주 크다.

Nd표본연령

Table 2에서 광주화강암류의 Nd표본연령은 1.82~2.42G.A. (시료번호-94-67의 1.56G.A.는 예외로 함)로 광주화강암류에 인접하여 분포하는 선캠브리아기 화강편마암류의 Nd표본연령인 2.17~2.47G.A.보다 약간 낮거나 유

Table 2. Sr-Nd isotopic data of granitoid in the Gwangju-Naju area.

Sample No.	Rock type	Rb[a] (ppm)	Sr[a] (ppm)	$^{87}Rb/^{86}Sr^{a}$	$^{87}Sr/^{86}Sr^{b}$	εSr[c]
GN-94-2	Biotite	76.6	430.1	0.51588	0.717025(9)	160.35
GN-94-10	granite	134.7	447.1	0.87230	0.718986(9)	173.80
GN-94-12	〃	120.7	501.6	0.69637	0.712775(7)	92.72
GN-94-16	〃	123.9	507.1	0.70744	0.714435(9)	115.84
GN-94-26	〃	140.0	524.0	0.77184	0.713225(8)	96.06
GN-94-67	〃	80.1	560.0	0.41387	0.709361(9)	55.65
GN-94-79	〃	106.5	332.6	0.92850	0.728657(11)	308.85
GN-94-5	Hb-Bt	137.5	335.7	1.11941	0.719008(17)	164.14
GN-94-35	granodiorite	131.3	418.0	0.90938	0.715693(10)	125.55
GN-94-39	〃	127.5	435.3	0.84814	0.715628(10)	127.10
GN-94-90	〃	66.6	529.5	0.36420	0.715576(12)	145.90
GN-94-100	〃	91.4	523.6	0.50529	0.712821(10)	101.09
GN-94-101	〃	81.5	353.0	0.66855	0.718063(11)	168.92
GN-94-107	〃	104.0	457.8	0.65812	0.715626(10)	134.74

Sample No.	Rock type	Sm[a] (ppm)	Nd[a] (ppm)	$^{147}Sm/^{144}Nd^{a}$	$^{143}Nd/^{144}Nd^{b}$	εNd[c]	Tdm (Ma)[d]
GN-94-2	Biotite	3.91	24.60	0.09610	0.511508(11)	-19.49	2.12
GN-94-10	granite	3.55	21.98	0.09770	0.511547(6)	-18.77	2.10
GN-94-12	〃	5.35	31.22	0.10360	0.511736(6)	-15.19	1.95
GN-94-16	〃	4.23	29.61	0.08630	0.511629(6)	-16.87	1.82
GN-94-26	〃	4.75	29.51	0.09730	0.511648(8)	-16.79	1.96
GN-94-67	〃	6.22	34.03	0.11050	0.512092(7)	-8.46	1.56
GN-94-79	〃	6.35	43.81	0.08760	0.511542(8)	-18.61	1.94
GN-94-5	Hb-Bt	3.49	18.53	0.11390	0.511568(7)	-18.77	2.41
GN-94-35	granodiorite	4.85	32.02	0.09150	0.511634(7)	-16.91	1.89
GN-94-39	〃	4.41	23.37	0.11400	0.511656(8)	-17.05	2.28
GN-94-90	〃	4.04	24.91	0.09790	0.611688(8)	-16.02	1.92
GN-94-100	〃	4.09	25.07	0.09860	0.511688(9)	-16.04	1.93
GN-94-101	〃	4.96	28.25	0.10610	0.511626(12)	-17.44	2.15
GN-94-107	〃	3.52	17.36	0.12240	0.511699(7)	-16.43	2.42

[a] By isotope dilution, uncertainties for a given split area : Rb; ±0.4%, Sr, Nd, and Sm; ±0.1%, $^{87}Rb/^{86}Sr$; ±0.5%, and $^{147}Sm/^{144}Nd$; ±0.1%. See Foland, Allen (1991) for details.

[b] Mesured present-day vaules normalized for $^{86}Sr/^{88}Sr$=0.199400 or $^{146}Nd/^{144}Nd$=0.721900. Uncertainties in the last digit (s), given in parentheses, are two standard deviations of the mean for in-run statistics. Reference values and one-sigma external reproducibilites are : 0.710242±0.000010 for $^{87}Sr/^{86}Sr$ of SRM 987 and 0.511842±0.000005 for $^{143}Nd/^{144}Nd$ of the LaJolla standard.

[c] Coventional epsilon notation caulated for 180 Ma using present-day reference values of 0.512638 and 0.1966 for $^{143}Nd/^{144}Nd$ and $^{147}Sm/^{144}Nd$, respectively

[d] Depleted-mantle model Sm-Nd ages using Values of $(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}$=0.513151 and $(^{147}Sm/^{144}ND)_{DM}$=0.21357.

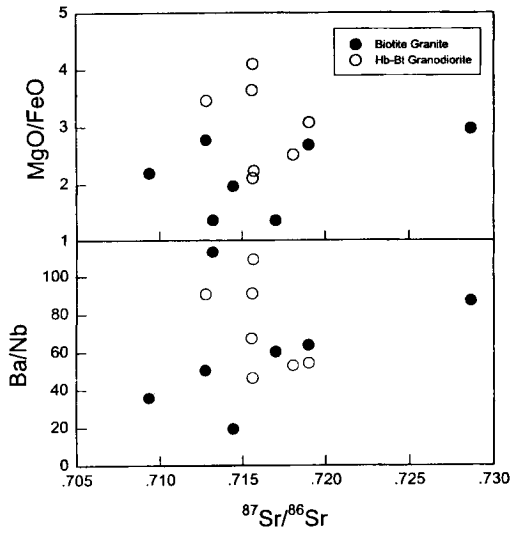

Fig. 2. Plot of $^{87}Sr/^{86}Sr$ versus MgO/FeO and Ba/Nb in the Gwangju-Naju granitoid.

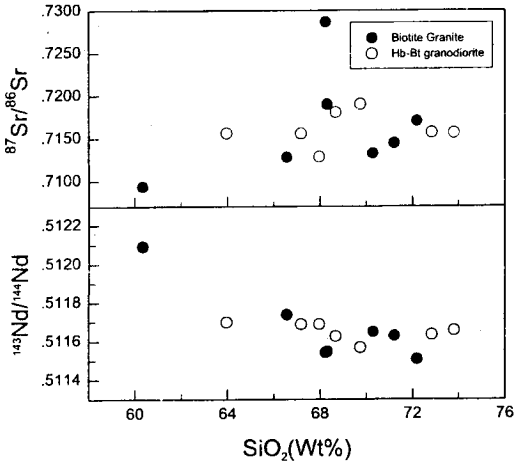

Fig. 3. Isotopic variability in Gwangju-Naju granitoid.

사한 값을 보여주는데, 이는 (Table 3 참조) Na (1994)의 연구 결과에서 제시한 영남육괴의 선캠브리아기 화강편마암류들의 Nd표본연령 2.11~2.38G.A.와 유사하거나 약간 낮은 값이다. 그러나 광주화강암류의 표본연령 (1.82~2.42G.A.)은 Na (1994)의 옥천대 변성퇴적암류의 Nd 표본연령인 1.15~1.60 G.A. 보다는 얼마간 오래된 연대를 제시하고 있다.

이는 광주화강암류를 이루는 퇴적기원의 마그마가 변성퇴적암류로부터 유래하였을 가능성은 적고, 영남육괴의 선캠브리아기 화강편마암류로부터 유래하였을 가능성이 크다고 본다.

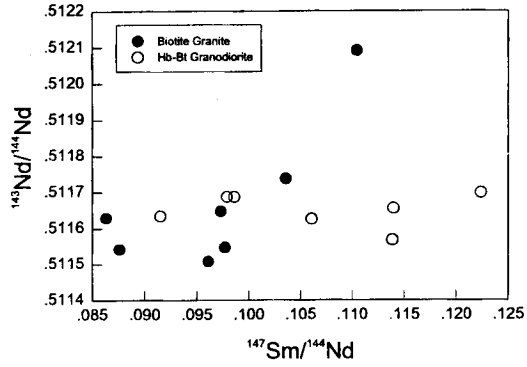

Fig. 4. Plot of $^{147}Sm/^{146}Nd$ versus $^{143}Nd/^{144}Nd$ isotopic datas in the Gwangju-Naju granitoid. (no Sm-Nd isochron and any errochron from above diagram).

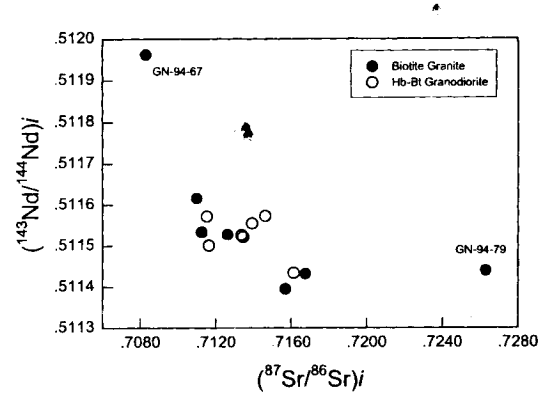

Fig. 5. $(^{87}Sr/^{86}Sr)i$ versus $(^{143}Nd/^{144}Nd)i$ isotopic data of Gwangju-Naju granitoid (initial calculated consider as 180 Ma).

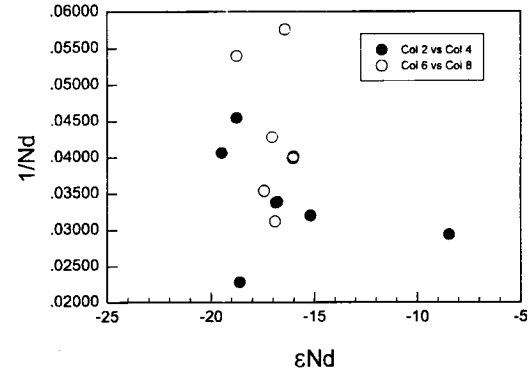

Fig. 6. εNd versus 1/Nd isotope data in Gwangju-Naju granitoid.

논의 및 고찰

광주화강암류에 대한 절대연대는 주승환, 지세정 (1990)에 의해 각섬석흑운모화강섬록암의 Rb-Sr전암연대가 222

Table 3. Calculated Nd model ages for the Pre-Cambrian gneiss complex and meta-sediments of the Ryongnam massif and Okcheon formation.

Sample	rock type	T(DM)	reference
PE fbgn1	granite gneiss	2.38 G.A.	Na, G.K.
PE fbgn2	〃	2.21 G.A.	(1994)
PE fbgn3	〃	2.16 G.A.	〃
PE fbgn4	〃	2.27 G.A.	〃
PE gbgn5	〃	2.15 G.A.	〃
SS-4	〃	2.11 G.A.	〃
SS-5	〃	2.28 G.A.	〃
OG-1	meta-sediments	2.56 G.A.	〃
OG-2	〃	1.60 G.A.	〃
OG-3	〃	1.15 G.A.	〃
OG-4	〃	1.59 G.A.	〃
GN-94-17	porphyrobtastie-gr-gn	2.47 G.A.	this study
GN-94-41	granite gneiss	2.24 G.A.	〃
GN-94-59	bended granite gneiss	2.17 G.A.	〃
GN-94-71	augen granite gneiss	2.42 G.A.	〃

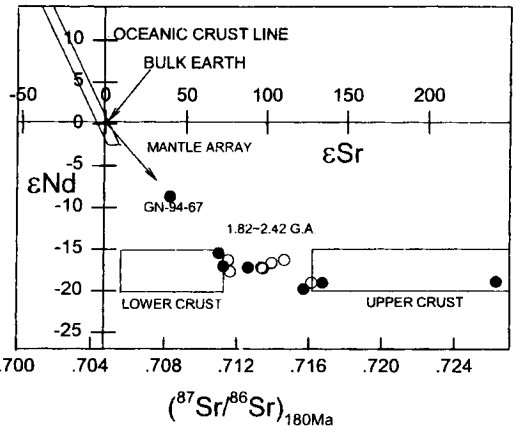

Fig. 7. Initial Nd and Sr isotopic data for the Gwangju-Naju granitoid. (Bulk Earth, Mantle Array, Depleted and enriched Crusts (after DePaolo (1981) are also shown).

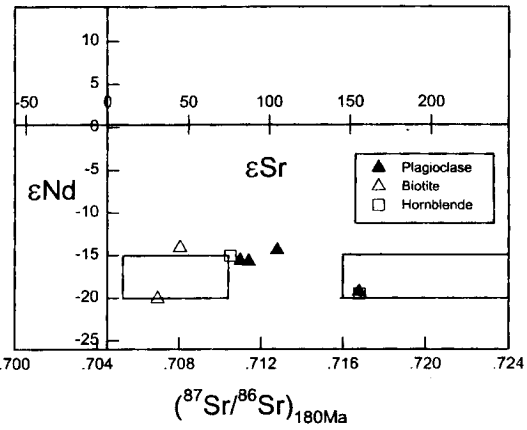

Fig. 8. Initial Nd and Sr isotopic data of minerals for the Gwangju-Naju granitoid (confer to Fig. 7).

±5 Ma이고, 흑운모화강암의 전암연대가 210±3 Ma로 트라이아스기 중기와 말기에 해당함을 제시하였으며, 박영석 등 (1995)은 Rb-Sr광물연대로 204~208 Ma에 해당하는 것으로 보았다. 그러나 김용준 (1994)에 의하면, 광주화강암류중에서 각섬석흑운모화강섬록암중의 각섬석에 대한 K-Ar연대가 172±5 Ma이고, 박영석 (1997, 발표예정)에 의한 광주화강암류중의 흑운모에 대한 ^{40}Ar-^{39}Ar 절대연대가 167±2 Ma (특히 흑운모를 단계적으로 가열해서 얻어진 Ar가스의 평탄도는 매우 탁월한 편이며, 이는 본 시료가 냉각된 후에 열에 의한 Ar가스의 유출이나 재평형이 없었음을 시사함)인 점을 감안한다면, 광주화강암류의 분화정치 시기가 쥬라기 초기 (남원화강암류의 관입정치시기와 유사한 180Ma로 보아야할 것임, 박영석 (1996) 참조)일 가능성이 크다고 본다.

그러므로, Sr초생값, εSr값, εNd값의 산정에 180 Ma를 광주화강암류의 관입정치시기로 보았으며, 설령 선행 연구결과들을 존중하여 광주화강암류의 관입정치 시기를 200 Ma 또는 210 Ma로 가정하여 Sr초생값, εSr값, εNd값 을 재산정하여 이들을 상호 도시하여 보아도 광주화강암류를 형성한 마그마가 상부지각 물질 영역에서 하부지각 물질영역으로 치우쳐 점시되어지는 결과는 마찬가지이다.

그리고 Fig. 7에서 보는 것처럼 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) 180 Ma값이나 εSr 값에 대한 εNd값을 도시하였을 때에 광주화강암류는 상부지각물질과 하부지각물질이 혼화된 기원의 마그마에서 유래하였을 가능성을 보여주는데, 이는 두 가지 관점으로 해석이 가능하다고 본다. 첫째는, 광주 화강암류를 형성한 마그마가 퇴적기원 (여기에서는 영남육괴의 선캠브리아기 화강편마암류로 봄)의 상부지각물질에서 유래하였으나, 이 퇴적물질의 원래 기원이 하부 지각물질이었으며, 이 흔적이 남아 있다고 보는 경우와 둘째는, 광주화강암류를 형성한 마그마가 퇴적기원의 상부지각물질에서 유래하였으며, 관입 정치 과정에서의 주변 물질의 혼입이나 변질 작용에 의한 경우이다.

본 연구자는 위의 두 가지 경우중 후자로 보아서, 광주화강암류를 형성한 마그마가 상부지각물질에서부터 유래하였으나, 관입정치과정에서 주변물질의 혼입이나 변질작용에 의한 것으로 본다. 특히, 시료번호 GN-94-67는 앞서 언급하였던 것처럼 각섬석흑운모화강섬록암내에 1~30 cm 크기의 흑운모화강암등이 대규모로 포획된 암상과 흑운모화강암내에 1~20 cm 크기 의 각섬석흑운모화강섬록암 등이 대규모로 포획된 암상이 함께 분포되어 있는 변

Table 4. Isotopic data for minerals of granitoid in the Gwangju-Naju area.

Smple	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	εSr	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	εNd
GN-10(PI)	0.42523	0.7167907	177.52	0.15182	0.511598	-19.27
GN-12(PI)	0.41867	0.7109715	94.89	0.08635	0.511707	-15.63
GN-21(PI)	5.44407	0.7127952	120.79	0.12042	0.511811	-14.39
GN-24(PI)	0.66025	0.7113943	100.89	0.11242	0.511734	-15.71
GN-10(Hb)	0.42967	0.7168103	177.80	0.19947	0.511641	-19.52
GN-12(Hb)	1.12543	0.7104947	88.12	0.13448	0.511793	-15.06
GN-10(Bt)	46.68704	0.7069483	37.77	0.11439	0.511512	-20.09
GN-21(Bt)	14.81236	0.7080352	53.20	0.12831	0.511830	-14.10

*Abbreviation; PI; plagioclase, Hb; hornblende, Bt; biotite

질을 심하게 받은 지역에서 채취한 흑운모 화강암시료의 경우로 오히려 맨틀 기원 마그마에서 유래된 암상인 것처럼 점시되는 것을 볼 수 있다 (Fig. 7 참조).

또한, Fig. 8 (Table 4 참조)에서 보는 것처럼 광주화강암류들에서 분리한 사장석, 각섬석, 흑운모 시료들에 대한 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) 180 Ma 값이나 εSr값에 대한 εNd값을 도시한 경우에서도, 사장석이나 각섬석 시료들은 전암분석 시료와 유사한 위치에 점시되나, 변질에 더 쉽게 영향을 받았을 것으로 보이는 흑운모시료는 Sr 초생값이 훨씬 적어져서 하부 지각물질쪽에 치우치는 것을 볼 수 있다.이러한 것들을 볼 때, 광주화강암류를 이루는 마그마도 남원화강암류 (박영석 등, 1996)처럼 상부지각물질 기원의 마그마가 분화정치한 것이지만, 변질작용에 보다 더 많은 영향을 받은 것으로 본다.

결 론

광주화강암류에 대한 Sr-Nd동위원소분석 연구결과는 다음과 같다.

1. ^{87}Sr-^{86}Sr의 증가에 대한 Ba/Nb와 MgO/FeO 변화양상이 산만하게 흩어지고, SiO_2의 함량증가에 따른 $^{87}Sr/^{86}Sr$의 변화도 산만하며, $^{143}Nd/^{144}Nd$의 변화에 대한 $^{147}Sm/^{144}Nd$의 변화도 산만하게 흩어져서, 광주화강암류가 부분용융되어 완전히 균일한 상태가 아닌 마그마에서 분화정치한 것으로 본다.

2. 또한 $(^{87}Sr/^{86}Sr)i$의 증가에 따른 $(^{143}Nd/^{144}Nd)i$ 변화도 산만하며, εNd의 변화에 따른 1/Nd의 변화 양상도 산만하게 흩어져서 Nd의 함량변화가 균일한 근원 마그마에서 부터 분화에 따라 일정하게 변화하지 않았음을 보여준다.

3. 광주화강암류의 εNd값은 -15.19~-19.49의 범위로 아주 낮고, εSr값이 92.72~308. 85로 아주 높은 것은, 광주화강암을 형성한 마그마가 퇴적기원물질에서 재용융되었을 가능성이 크다.

4. ($^{87}Sr/^{86}Sr$)180 Ma값이나 εSr값에 대한 εNd값을 도시하였을 때, 광주화강암류는 상부지각물질기원의 마그마에서 유래한 것으로 본다.

5. 광주화강암류의 Nd표본연령은 1.82~2.42 G.A.로, 옥천대 변성퇴적암류의 Nd표본연령인 1.15~1.60G.A.보다는 얼마간 오래되었으며, 영남육괴의 선캠브리아기 화강편마암류 의 Nd표본 연령인 2.17~2.47G.A. (혹은2.11~2.38 G.A.)와 유사하거나 약간 낮은 값 이다.

이들을 종합하면 광주화강암류의 Nd표본연령은 1.82~2.42G.A.이고, 광주화강암류는 영남육괴의 선캠브리아기에 해당하는 화강편마암류가 지구조운동에 의해 부분용융된 마그마로부터 유래한 것으로 본다.

사 사

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비 (95-01-E-0890)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드린다. 그리고 일부 광물분리시료에 대한 Nd동위원소 분석에서 시설과 기기를 사용하게 배려하여준 일본 오카야마대학교 지구내부연구센터 PML lab.의 Nakamura교수와 초교를 읽고 세심하게 유익한 조언을 주신 전남대학교 지질학과 김용준 교수님과 서울대학교 전효택 교수님께 깊이 감사드리며, 자료를 정리하는데에 도와준 조선대학교 자원공학과 박사과정 김진 군과 석사과정 김종균 군에게 감사드립니다.

참고문헌

김규봉, 이병주, 황상구, (1990) 광주도폭지질 보고서. 한국동력자원연구소.

김용준, 박영석, 강상원 (1994) 호남전단대내에 분포하는 엽리상화강암류의 지질시대와 생성과정에 관한 연구. 자원환경지질, 27권, p. 247-261.

김용준, 오민수, 박재봉 (1993) 광주화강암체에 대한 암석화학적 연구. 광산지질, 22권, p. 83-96.

김용준, 박영석, 주승환, 오민수, 박재봉 (1990) 옥천지향사대 동남대 에서의 화성활동 (II) : 진안-나주지역 을 중심으로. 광산지질, 22권 p. 355-370.

김용준, 오민수, 박재봉 (1993) 나주-해남지역에 분포하는 화성암류의 암석화학. 한국지구과학회지, 14권, p. 300-315.

김정빈, 김용준 (1984) 광주 북동부에 분포하는 소위 편상화강암에 대한 암석 학적 연구. 광산지질, 17권 p. 197-214.

김정빈, 김용준 (1990) 담양-진안사이에 분포하는 엽리상화강암에 대한 암석 지화학적 연구. 광산지질, 23권, p. 233-244.

박영석, 노영배, 이창신 (1995) 광주-나주지역에 분포하는 화강암류에 대한 Rb-Sr동위원소연구. 한국지구과학회지, 16권, p. 247-261.

박영석, 박천영, 김진, 류준상, 김용준 (1996) 남원지역에 분포하는 화강암류의 Rb-Sr 및 m-Nd동위원소연구. 한국자원공 학회지, 33권, p. 40-60.

박영석 (1996) 1대25만 광주도폭내 변성암 및 화강암 지질연대 연구. 한국 자원연구소, 위탁연구개발과제 보고서, 미발간.

주승환, 김성재 (1986) 영남육괴 Rb-Sr연대측정 연구 (II) : 지리산 남서부일대 화강편마암 및 화강암류. 국토기본 지질조사, 연구보고서, KR-86-7, p. 1-7.

주승환, 지세정 (1990) 광주화강암의 Rb-Sr연령측정연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-90-1B-2, p. 3-54.

최위찬, 황상구, 김영범 (1986) 영광도폭지질보고서. 동력자원연구소.

홍승호, 윤욱 (1986) 송정도폭지질보고서. 한국동력자원연구소.

홍승호, 최영범 (1990) 나주도폭지질보고서. 한국동력자원연구소.

Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two Contrasting granite types. Pacific Geol., v. 8, p. 173-174.

El. Bouseily, A.M. and El. Sokkary, A.A. (1975) The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. Chemical geology, v. 16, p. 207-219.

Faure, G. and powell, J.L. (1972) Strontium Isotope Geology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, p. 43-46.

Foland, K.A. and Allen, J.C. (1991) Magma sources for Mesozoic anorogenic granites of the White Mountain magma series, New England, USA. Contribution of Mineralogy and Petrology, v. 109, p. 195-211.

Harker, A. (1909) The natural history of igneous rocks. New York, Macmillan Publishing Co., Inc., p. 384.

Hine, R., Williams, S.W., Chappell, B,W. and White, A.J. R. (1978) Contrasts between I- and S-type granitoids of the Kosciusko batholith. Jour, Geol. Soc. Australia, v. 25, p. 219-134.

Hong, Y.K. and Lee, B.J. (1989) Geochemi-cal and Microstructural Studies on the Sunchang Foliated Granodiorite at a Shear Zone in the SW Part of the Ogcheon Fold Belt, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 25, p. 294-311.

Nakamura, N. (1973) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 3, p. 757-775.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimina-tion diagram for the tectonic interpre-tation of granitic rocks. Jour. Petr., v. 25, p. 956-983.

Streckeisen, A.L. (1973) Plutionc rocks, classification and nonenclature recommandend by the I.U.G.S. subcommi-ssion on the systematics of igneous rocks. Geotimes, v. 18, p. 26-30.

Tulloch, A.J. (1983) Granitoid rocks of New Zealand-A brief review. Geol. Soc. Amer. Memoir 159, p. 5-20.

York, D. & Farquhar, R.M. (1972) The earth's age and geochronology. Pergamon press Ltd, p. 56-65.

1997년 2월 20일 원고접수