

선캠브리아 경기육괴 중 대리암의 연대측정에 대한 예비연구

박계현 · 정창식

기초과학지원센터 (대전시 유성구 어은동 224-1)

요 약: 주로 연대측정이 어려운 변성퇴적암류로 이루어진 선캠브리아의 경기육괴에 대해 정량적 연대측정 방법을 개발하기 위하여 대리암에 대한 연대측정법의 적용 가능성에 대해 연구하였다. 이 지역의 대리암은 대부분 규산염 광물을 함유하고 있으므로 염산을 사용한 선별용해 실험을 하였다. 미량원소 분석결과 Zr과 Rb은 거의 대부분 잔류물에 함유되어 있으며 U도 염산용해 부분보다는 잔류물에 많이 포함되어 있음을 알 수 있었다. 또한 Pb, Sr, Sm, Nd은 양쪽에 비슷하게 포함되며 Th은 다소 복잡한 양상을 보인다. 선별용해에 의한 Sr 동위원소 분석시에는 Sr 동위원소비가 높은 규산염 광물의 영향을 쉽게 영향을 받기 때문에 많은 주의와 연구가 요구된다. 탄산염 광물로만 구성된 순수한 대리암 시료를 골라 여러 조각으로 나눈 후 각각에 대해 분석된 Pb 동위원소비로부터 연대를 구하는 방법이 Sr 동위원소 분석에 의한 연대측정보다 성공 가능성이 높은 연대측정법으로 판단된다.

핵심어: 경기육괴, 연대측정, 미량원소, Sr 동위원소, Pb 동위원소

서 언

지질학 연구에 있어서 정확한 연대측정의 중요성에 대하여는 새삼 강조할 필요가 없다. 그러나 한반도 지각의 기저를 이루며, 지표에 노출된 면적으로 보더라도 한반도의 상당 부분을 차지하고 있는 선캠브리아의 경기육괴나 소백산육괴 등 변성암 복합체들에 대한 믿음만한 연대측정 자료는 매우 빈약한 실정이다. 경기 변성암 복합체의 경우 그간 이루어진 많은 연구(예 : 김옥준, 1973; 이상만, 1973; 나기창, 1978, 1979a, 1979b; 김지영, 1989; 이한영 외, 1991; 이광진, 1992)들은 대부분 변성작용 자체에 대한 것이며, 연대측정 자료는 나기창과 이동진(1973) 및 주승환(1983) 등 극히 적은 수에 불과하다. 이와 같은 연대자료의 빈곤 및 구조해석상의 문제 등으로 인하여 선캠브리아 층들의 층서 및 지각 발달의 역사가 제대로 확립되지 못하고 있다. 지질연대 자료의 빈곤은 우선 한반도의 선캠브리아 육괴가 주로 연대측정이 용이하지 않은 변성퇴적암류로 구성되어 있으며, 또 다변성 작용 및 대보화강암의 관입으로 인한 동위원소계의 교란에 의해 정확한 연대측정이 곤란했기 때문이다.

최근 Moorbath *et al.*(1987), Jahn(1988), 그리고 Taylor and Karlsbeek(1990) 등은 암상이 주로 변성퇴적암류로 이루어진 지역에서 석회암이나 대리암층의 Pb 동위원소 분석에 의한 연대 측정에 성공

하였다. 이와 같은 결과는 석회암이나 대리암 시료들이 넓은 범위의 U/Pb값을 갖고 폐쇄계를 유지해왔기 때문이다. 한반도 지각의 변성암 복합체 중에도 변성석회암류가 상당히 여러 곳에서 산출되며, 옥천 변성대나 조선누층군 및 평안누층군 등 생성 시기가 다른 여러 시대의 지층들에도 석회암류가 널리 분포하고 있다. 따라서 이들 석회암류에 대한 연대측정이 가능하게 되면 한반도 지각의 발달사 연구에 큰 도움이 될 것이다. 이와 같은 취지에서 연대 측정자료가 많지 않은 경기육괴 안에서 연구 대상 지역을 선정하였다. 이 연구에서는 변성작용을 받은 석회질 암석(이하 대리암)이 많이 산출되는 춘천지역의 시료들을 주연구 대상으로 하였으며 역시 같은 경기육괴내에 산출되는 청평지역의 대리암도 함께 분석하여 비교하였다. 대리암에 함유된 모-자 동위원소쌍의 분포 양상을 알아보기 위하여 염산에 잘 녹는 부분과 잔류물 각각에 대해 Rb, Sr, Sm, Nd, Th, U Pb 및 Zr의 함량 분석을 실시하였다. 전암 분말시료를 염산에 녹여 녹은 부분에 대한 Pb 및 Sr 동위원소 분석을 실시하였으며 일부 시료들에 대하여는 규산염 광물들이 관찰되지 않는 순수한 부분을 육안으로 골라내어 Pb 동위원소 분석을 실시하였다. 이러한 분석자료들을 종합하여 연구대상 지역의 대리암에 대한 연대측정법 선정 및 적용에 대해 논의하겠다.

지질배경

조사 대상지역은 1:50,000 한국지질도 청평도폭(김정환 외, 1981), 춘천도폭(이대성 외, 1974) 및 내평도폭(박희인 외, 1974) 지역내에 포함된다. 이 지역들은 선캄브리아의 암석으로 이루어진, 한반도 지각의 기저를 이루는 경기 변성암 복합체의 일부 분이다. 주 연구지역인 춘성군 동면지역(그림 1)은 내평도폭에 포함되는 지역이다. 유라기의 춘천화강암과 그 이후에 관입한 맥암류들을 제외하고는 거의 대부분의 지역이 선캄브리아기의 변성암류로 구성되어 있다. 이 지역은 최근 변성작용에 대한 연구(이승렬과 조문섭, 1992; 이한영 외, 1991)와 연옥의 성인에 대한 연구(노진환 외, 1993) 및 앵피블라이트의 성인 연구(권성택 외, 1993) 등 여러 연구가 진행되어 많은 주목을 받는 지역이다. 이 지역의 지질학적 특징은 호층을 이루는 앵피블라이트 및 대리암의 분포가 매우 넓다는 것이다. 대부분의 대리암에는 규산염 광물같은 탄산염 광물 이외의 광물들이 다량 포함되어 있으나 간혹 순도가 높은 대리암도 산출된다.

조사지역은 변성정도가 상당히 높은 곳으로(이승렬과 조문섭, 1992) 대부분의 암석들이 잘 발달된 엽리 조직을 보여준다. 또한 단층이나 습곡도 쉽게 찾아볼 수 있다. 특히 앵피블라이트와 석회암류가 수 cm 간격으로 호층을 이룬 것이 후에 습곡을 받은, 춘성군 동면 느랏재 고개 정상부근의 노두들은 차별침식에 의해 소위 층식 석회암과 같은 외양을 하고 있으며 매우 인상적인 지질 구조를 보여준다.

이 외에도 가평군 외서면 상천리 일대(CP로 시료번호 부여) 및 춘성군 서면 현암리(CC15-2)의 시료도 함께 분석하여 논의하였다. 이 두 지역은 주로 변성퇴적암류로 구성되어 있으며 일부 지역에 대리암이 협재한다. 대리암들은 대부분 순도가 낮으며 규산염 광물들이 많이 포함되어 있으나 CC15-2는 상당히 순수한 대리암이다.

미량원소 및 동위원소 분석

염산에 의한 선별 용해실험

대리암을 구성하는 탄산염과 규산염 광물들이 암석의 생성시에 같은 동위원소 초기값을 갖고 있었다면 전암 시료로 연대측정을 할 수 있다. 그러나

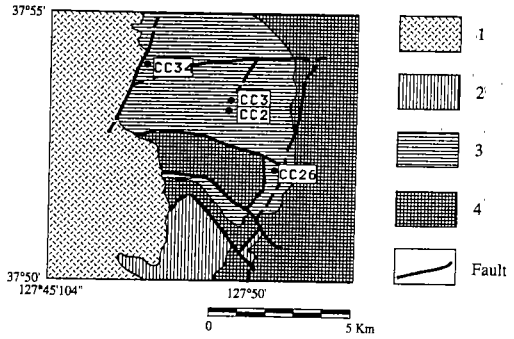


Fig. 1. Generalized geologic map of Dong Myeon, Chunseong Gun (after Park et al., 1974). 1=Chuncheon Granite, 2=Euam Group (biotite gneiss and quartzite), 3=Gubongsan Group (quartzite, marble, hornblende-biotite schist, and amphibolite), and 4=Yongduri Gneiss Complex (biotite schist, banded biotite gneiss, and garnet gneiss). The sampling sites are also shown.

생성환경과 근원이 서로 다를 가능성이 높은 탄산염 광물과 규산염 광물이 퇴적 당시에 같은 동위원소 비를 가졌었다고 추정하기는 어렵다. 따라서 전암분석에 의해 원래의 퇴적시기에 대한 연대측정은 곤란할 것으로 판단된다. 한편 탄산염 광물과 규산염 광물이 변성작용 등을 같이 겪으면서 동위원소비가 같아지고 이후 교란을 받지 않았다면 변성작용의 시기를 알아낼 수는 있다. 이 연구에서는 합리적인 연대측정 방법을 선택하고 탄산염 광물, 규산염 광물 상호간의 미량원소 분배를 알아보기 위하여 6N 염산에 잘 녹는 부분과 잔류물을 분리하였다. 염산 용해 부분과 잔류물 각각에 포함된 모-자 동위원소 쌍인 Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th-Pb의 미량원소들과 Zr에 대한 함량 분석을 실시하였으며, Sr 및 Pb 동위원소를 분석하였다. 탄산염 광물 이외의 부분에서 염산에 녹아 나오는 이질적인 Pb 동위원소 값의 영향을 최소한으로 줄이기 위하여 비교적 순수한 대리암 시료들에 대한 Pb 동위원소의 분석도 함께 실시하였다.

용해 및 미량원소 분석 실험방법

미량원소 분석을 위한 시료들은 텅스텐 카바이드 재질의 분쇄기를 이용, 파쇄하여 약 5 mm 이하의 크기로 만들었다. 파쇄시의 오염과, 표면에 흡착되어 있을지 모르는 오염물질 제거를 위해 초음파 세척기를 이용하여 저항치 18 MΩ 이상의 순수한 물로

Table 1. Trace element compositions of HCl-dissolved parts and residues in marbles

Sample	Wp [§]	Rb	Sr	Sm	Nd	U	Th	Pb	Zr
(unit: ppm)									
Dong Myeong, Chunseong Gun									
CC 2-A	1.183	14	221	2.41	9.23	1.49	0.84	18.18	27.89
CC 2-A(H)	-0.183	2	53	2.19	15.27	0.90	11.51	10.85	0.11
CC 2-B	0.770	136	221	3.90	19.35	0.91	2.11	7.24	45.17
CC 2-B(H)	0.230	2	114	2.33	14.14	0.58	7.74	8.85	0.11
CC 2-C	1.534	192	354	2.74	9.30	1.21	1.90	18.57	39.11
CC 2-C(H)	-0.534	2	49	2.57	19.20	0.89	13.69	13.54	0.15
CC 2-D	0.972	46	233	3.08	12.10	1.42	2.25	7.75	40.19
CC 2-D(H)	0.028	1	48	1.99	14.29	0.86	10.37	8.84	0.12
CC 3	0.242	7	182	0.12	0.28	1.09	0.29	nd	3.68
CC 3(H)	0.758	1	344	0.12	0.38	0.12	0.17	0.93	0.08
CC 6	0.350	36	799	2.69	16.12	2.03	1.96	5.27	34.17
CC 6(H)	0.650	1	717	0.32	1.34	0.35	0.39	2.89	0.20
CC 26-A	0.123	41	143	0.27	0.87	3.18	0.48	nd	12.53
CC 26-A(H)	0.877	1	254	0.14	0.96	0.09	0.10	0.97	0.29
CC 26-B	0.456	5	139	0.12	0.62	0.58	0.23	1.08	0.37
CC 26-B(H)	0.544	1	216	0.15	0.60	0.10	0.09	1.37	0.07
CC 26-C	0.190	31	143	0.93	1.69	1.65	1.38	nd	3.48
CC 26-C(H)	0.810	1	210	0.22	1.39	0.20	0.40	1.04	0.11
	0.781*								
Seo Myeon, Chunseong Gun									
CC 15-2	0.876	1	24	0.07	0.28	0.33	0.12	nd	1.05
CC 15-2(H)	0.124	1	52	0.14	0.71	0.09	0.06	0.53	0.09
Waseo Myeon, Kapyeong Gun									
CP 3-1-A	0.301	2	76	0.46	1.96	0.33	1.42	1.10	9.35
CP 3-1-A(H)	0.699	1	103	0.50	2.48	0.06	0.59	2.07	0.10
CP 3-2-B	0.567	1	36	0.38	1.65	2.59	0.75	1.19	13.74
CP 3-2-B(H)	0.433	1	50	0.33	1.95	0.30	0.19	1.71	0.88
CP 3-2-C	0.382	1	28	0.32	1.02	0.68	0.80	1.88	4.89
CP 3-2-C(H)	0.618	1	51	0.34	1.37	0.17	0.13	2.82	0.21

The capital letters following sample numbers represent different parts of the same specimen, which can be easily distinguished by color and texture. Samples without (H) are the residues of HCl leaching, Samples with (H) are HCl-dissolved parts. nd: Not detected. [§]: Weight of dissolved part or residue/initial weight of sample. Two residues weigh more than initial weight due to forming chloride compounds. *Duplicate measurement.

세척하여 세립질 입자들을 제거하였다. 110°C 로 건조 후 아게이트 모르타르를 사용하여 분말을 제작하였다. 제작된 분말 중 약 100 mg을 취하여 테플론 바이알에 넣고 6N HCl을 가하여 탄산염 광물들을 용해시켰다. 기포발생이 중지된 후에는 열판 위에 올려 약 100°C 로 1시간 정도 가열하였다. 여기에 0.1 N 질산을 더하여 500배 희석해 미량원소 분석 용액을 준비하였다. 미량원소 분석은 기초과학지원센터의 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP/MS; VG Plasma Quad II Plus 모델)를 사용하였다.

염산에 녹은 부분을 분리하고 남은 잔류물은 110°C 에서 건조 후 다시 무게를 측정하였으며 불산-과염소산-질산의 혼합산을 가하여 완전 용해 후 염산에

녹은 부분과 같은 방법으로 미량원소를 분석하였다. 표 1에 표시된 농도는 논의의 편의상 시료전체의 무게에 대한 상대농도로 나타내었다. 실제로 염산에 녹은 부분과 잔류물에 대한 농도는 함께 표시한 시료전체에 대한 비율로부터 환산할 수 있다. 한 가지 특기할 사항은 CC-2의 경우 잔류물의 무게가 최초의 시료 무게보다 더 나가는 것이 관찰되었다. 이것은 염산에 의한 용해시 탄산염 광물이 적어 무게 감소가 매우 적은 반면에 염화염의 형성으로 무게가 오히려 더 늘어난 것으로 생각된다. 이러한 현상은 다른 시료들의 경우에도 염산에 녹은 부분과 잔류물의 양을 계산하는데 다소 영향을 주었을 것으로 판단된다.

동위원소 분석

미량원소 분석을 실시한 시료들의 분말 중 약 100 mg씩을 따로 취하여 6N 염산을 가한 후 녹은 부분만을 분리하여 Sr 및 Pb 동위원소 분석을 실시하였다. 대리암 중에서 육안으로 보아 순수해 보이는 부분을 파쇄하여 이들 중 변질 등의 증거가 보이지 않는 1 그램 내외의 조각들을 다시 선별하여 한 시료당 2 내지 4개씩 Pb 동위원소를 분석하였다. Sr은 양이온 교환수지(Dowex AG 50W-X8, 200~400 mesh)를 이용하여 분리하였다. 분리된 원소를 포함한 용액은 수지의 파괴를 위해 HClO₄를 한두 방울 첨가하여 진조한 후, 진한 HNO₃ 두세 방울을 다시 첨가하여 약 150°C에서 진조하였다. 묽은 H₃PO₄ 용액을 이용하여 Ta 필라멘트 위에 시료를 얹은 후 기초과학지원센터에 설치된 VG Sector 54-30 열이온화 질량분석기로 Sr 동위원소 분석을 수행하였다. Pb는 AG 1-X8 음이온 교환수지와 HBr을 이용 분리하였다. 분리된 Pb는 실리카겔과 H₃PO₄를 이용 Re 필라멘트에 얹어 위의 질량분석기로 분석하였다. 동위원소 분석용의 시료는 모두 석영 재질의 비등점하 증류장치에 의해 정제된 H₂O, HCl, HNO₃ 및 HClO₄를 사용하였다. HBr 및 HF는 테플론 재질의 두병 연결 비등점하 증류장치(2-bottle sub-boiling distillation system)에 의해 정제하여 사용하였다. H₃PO₄는 고순도의 시약(Merk의 Suprapure 등급)을 사용하였다. 시료용기는 전부 테플론 재질을 사용하였다.

Sr 분석치는 수정없이 그대로 보고하였으며, 동일기간 중에 분석된 NBS987 자료에 대한 통계치도 함께 보고하였다. Pb동위원소 값은 동일기간 중에 수행된 NBS981 분석에 의해 동위원소 분별효과를 보정한 후 보고하였다. 동시선의 통계학적인 처리는 York(1969)에 따랐다. 분석시의 배경값은 Sr은 400 pg, Pb는 1 ng이었다.

결 과

염산에 녹은 부분과 잔류물의 미량원소 분포 차이

미량원소분석 결과(표 1)를 살펴보면 먼저 Rb, Zr과 U은 염산에 녹은 부분에서는 대체적으로 매우 낮은 값을 보이며 잔류물에는 농도가 상대적으로 높다. 이러한 양상은 그림 2에 뚜렷이 나타난다. 이번

연구에서는 6N의 HCl을 사용하였으므로 잔류물은 대부분 규산염 광물일 것으로 추정된다. 그 외 Sr, 희토류원소, Th 및 Pb의 함량은 염산에 녹은 부분과 잔류물 중 어느 한쪽에 집중되지는 않는다.

이번 실험에서는 강산을 사용하였으므로 위의 관찰 결과가 탄산염 광물과 규산염 광물 상호간의 원소분배 상황을 그대로 나타낸다고 볼 수는 없다. 왜냐하면 규산염 등 주로 잔류물로 남은 광물들 중 일부는 염산에 의한 용해시 일부만이 함께 용해될 수도 있기 때문이다. 염산에 녹은 부분이 전체 시료 중 차지하는 비율에 따른 원소 함량의 변화(그림 3)를 살펴보면 잔류물의 양이 많은 시료일 수록 염산에 녹은 부분에 들어있는 Rb, U 및 Pb의 양이 증가함을 알 수 있다. 이것은 염산에 의한 시료의 용해시에 탄산염 광물 이외의 부분도 일부 용해되어 미량원소 함량에 다소 영향을 주었음과 그러한 영향은 탄산염 광물의 비율이 적을 수록 커짐을 간접적으로 지시해준다.

Sr 동위원소 분석결과

염산에 녹은 부분에 대한 Sr 동위원소 분석결과 및 NBS987 분석값을 함께 표 2에 나타내었다. 대부분 시료의 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr값은 0.7056~0.7091 범위에 놓이며 CC2는 0.719 내외의 높은 값을 보인다. 염산에 녹은 부분의 Rb/Sr값과 Sr 동위원소값 사이에는 CP3-2-B 한점을 제외하고는 정의 상관관계를 형성하는 것으로 보인다(그림 3). 그러나 기울기가 너무 커서 지질학적인 의미를 갖을 수 없는 큰 연대(약 9 by)가 계산되며, 결국 동시선(Isochron)으로 해석할 수 없다.

이러한 변화경향은 앞의 미량원소 실험에서 살펴본 바와 같이 산에 의한 선별용해시 탄산염 이외의 부분에서 녹아 나온 Rb 및 Sr의 영향으로 판단된다. 그림 3에서 보이듯이 염산에 녹지 않은 잔류물의 양이 많을 수록 염산에 녹은 부분에 포함된 Rb의 양과 Rb/Sr비가 증가한다. 또한 그림 4b에서는 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 역시 같은 양상을 보임을 알 수 있다. 즉 탄산염 이외의 광물이 많이 포함된 시료일 수록 선별용해시 잔류물의 영향이 커지며 이러한 잔류물들은 높은 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 및 높은 Rb/Sr 비율을 갖는 것으로 판단된다. 앞으로 이러한 종류의 실험에서는 훨씬 약한 산을 사용하거나 순수한 시료를 골라 분석하여야 할 것이다.

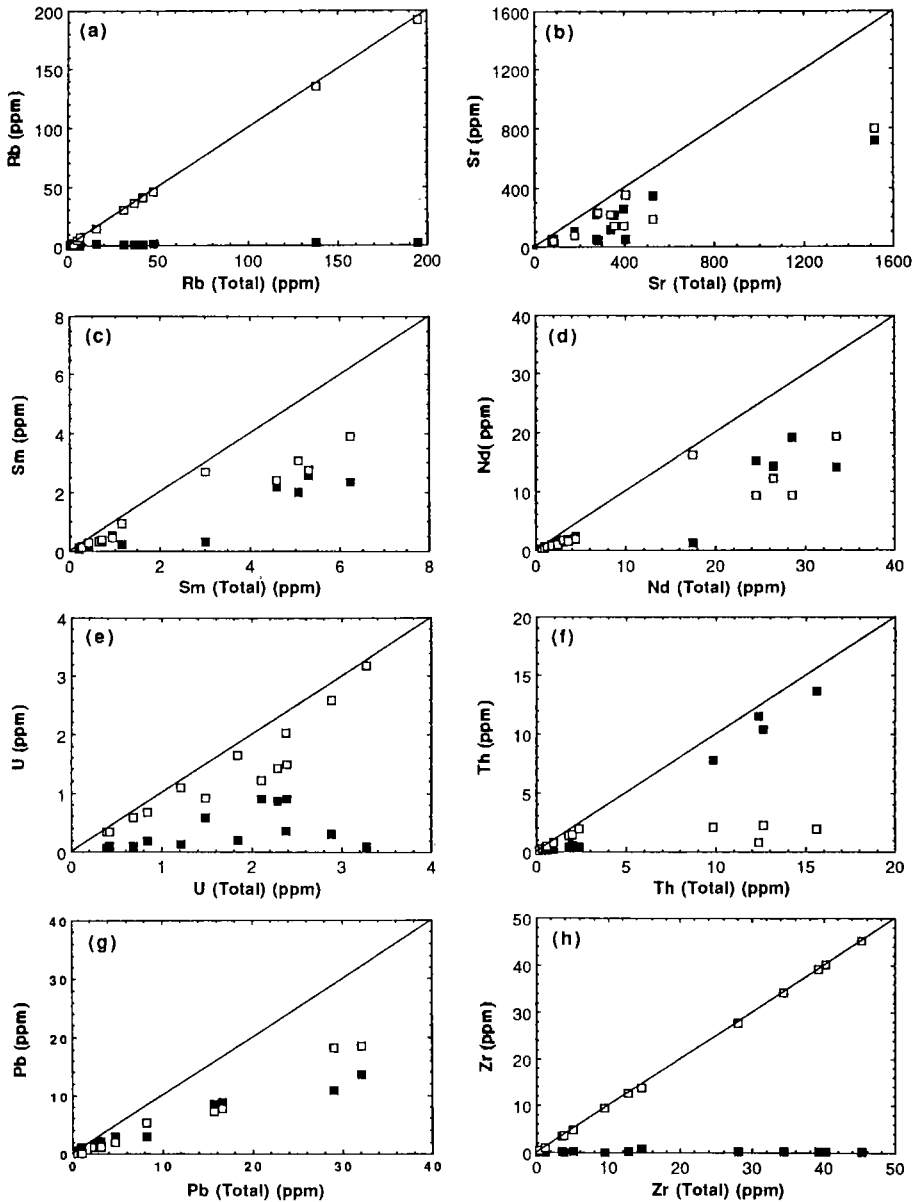


Fig. 2. Trace element distribution between HCl-dissolved part and residue. The total concentration is the sum of concentration in both parts. 1 : 1 correlation line is also shown in each diagram. Solid squares represent HCl-dissolved portions and open squares represent residues.

그림 4b에서 대리암 중 탄산염 광물의 비율이 높아질 수록 Sr 동위원소값은 감소하며 순수한 대리암들은 비교적 변화폭이 적다. 그림 4a의 변화경향으로부터 순수한 대리암의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기값은 CC3 과 비슷한 0.7055~0.7070 정도로 추정된다. Veizer and Compston(1976), Veizer *et al.*(1983), 그리고

Demaiffe and Fieremans(1981) 등에 의한 선캠브리아 해양성 탄산염암의 Sr 동위원소 진화 곡선상에서 이와 같은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 값은 약 0.8~1.5by의 구간에 해당한다. 그러나 연구대상 지역의 대리암들이 상당히 순수한 시료 조차도 생성이래 속성작용이나 변성작용 동안 높은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 혹은 높은 Rb/Sr값을

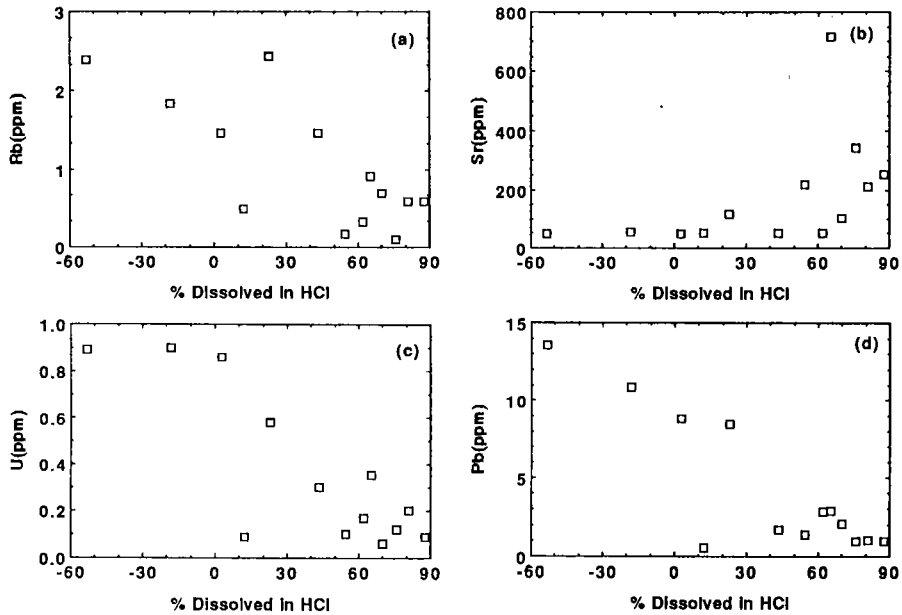


Fig. 3. The effect of leaching elements from the non-carbonate portions of the marbles. Rb, U, and Pb concentrations in the HCl-dissolved parts increase when the proportion of the non-dissolved residue increases. Sr does not follow such variation trend.

Table 2. Sr isotope data and Rb and Sr concentrations in HCl dissolved parts of marbles

Sample	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Sr (ppm)	Rb (ppm)
CC 2-A(H)	0.718901± 37	53	1.84
CC 2-D(H)	0.719224± 33	48	1.46
CC 3(H)	0.705621± 17	344	0.09
CC 26-A(H)	0.707148± 20	234	0.59
CC 26-B(H)	0.706720± 38	216	0.17
CC 26-C(H)	0.707408± 25	210	0.59
CC 15-2(H)	0.708904± 43	52	0.49
CP 3-1-A(H)	0.708285± 58	103	0.69
CP 3-2-B(H)	0.709145± 31	50	1.46
CP 3-2-C(H)	0.709124± 35	51	0.32

Notes: 1. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios normalized to ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.1194. Rb and Sr concentrations by ICP-MS. 2. No corrections for the fractionation effect are applied to the data. 3. Errors in isotope ratios are reported as ± 2σ S.E. 4. Measured average ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr of NBS 987 is 0.710238± 34 (N=20, 2σ S.E.).

갖는 지각물질들에 의한 영향을 받았을 가능성이 높으며 그 결과로 추정된 초기의 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr값 역시 본래보다 증가한 값일 수 있다. 따라서 선캠브리아의 Sr 동위원소 변화곡선이 현생에 가까이 오면서 계속 증가함을 참조할 때 앞에서의 숫자는 생성 혹은 변성연대의 최소 추정치로 볼 수 있다.

Pb 동위원소 분석결과

Pb 동위원소비 분석 결과치를 표 3에 나타내었다. 염산에 의한 선별용해시 Sr 동위원소와 마찬가지로 Pb 동위원소 역시 공존하는 규산염 광물 등에 의한 영향이 염산에 녹은 부분에 나타난다. 그림 3에서 잔류물의 양이 증가할 수록 염산에 녹은 부분 중에 포함된 Pb의 양이 증가하는 것으로부터 이러한 영향이 있음을 간접적으로 알 수 있다. 또한 염산에 녹은 부분에 대하여 Pb 동위원소 분석을 한 것과 순수한 대리암 조각들에 대해 Pb 동위원소 분석을 한 것이 뚜렷이 구분되는 두개의 경향을 나타낸다(그림 5). 염산에 의한 선별용해 시료는 후자에 비해 상대적으로 높은 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb값을 보인다. 이는 선별용해시 영향을 준 공존하는 규산염 광물 부분의 평균 연령과 U/Pb비가 탄산염 광물 부분과는 같지 않았었기 때문으로 생각된다. 주로 탄산염 광물로만 구성된 비교적 순수한 대리암 시료들의 Pb 동위원소 분석값은 비교적 넓은 범위의 변화를 보여준다(그림 5). CC3과 CC15-2의 경우와 같이 시료의 서로 다른 조각에서 분석한 값이 상당한 범위에 걸쳐 변화한다는 것은 이들 암석내의 U/Pb비가 상당히 불균질함을 반영한다. 또한 이들 시료들에 대한 분석값은

Table 3. Pb isotope data of marbles

Sample	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb
Dong Myeon, Chunseong Gun			
CC 2-A(H)	19.702± 5	16.046± 11	41.627± 12
CC 2-D(H)	18.978± 3	15.709± 2	40.077± 5
CC 3(H)	23.096± 7	16.088± 5	38.328± 12
CC 3-1-a	23.114± 15	16.075± 11	38.507± 27
CC 3-2-b	27.475± 21	16.299± 12	38.427± 29
CC 26-A(H)	19.970± 3	15.878± 3	39.051± 5
CC 26-B(H)	20.463± 3	16.402± 2	40.309± 6
CC 26-B-a	20.075± 25	15.887± 21	39.079± 52
CC 26-B-b	20.245± 30	15.893± 25	39.127± 58
CC 26-B-c	20.134± 5	15.893± 4	39.227± 11
CC 26-C(H)	20.923± 10	16.415± 4	40.796± 22
CC 26-C-a	21.266± 4	15.915± 3	39.798± 7
CC 26-C-b	21.214± 20	15.931± 16	39.877± 40
CC 26-C-c	21.513± 3	15.951± 2	40.237± 7
CC 26-C-d	21.034± 14	15.942± 10	39.855± 28
CC 34-1-a	18.846± 9	15.756± 8	39.237± 19
CC 34-1-b	18.811± 5	15.749± 4	39.168± 11
Seo Myeon, Chunseong Gun			
CC 15-2(H)	22.298± 7	16.110± 5	39.866± 15
CC 15-2-a	18.959± 7	15.648± 6	39.070± 16
CC 15-2-b	19.425± 15	15.756± 12	39.304± 32
CC 15-2-c	19.888± 21	15.830± 18	39.415± 43
Waseo Myeon, Kapyeong Gun			
CP 3-1-A(H)	20.384± 8	16.027± 12	40.836± 18
CP 3-2-B(H)	20.445± 7	16.415± 5	40.423± 13
CP 3-2-C(H)	19.558± 7	15.876± 5	39.083± 14

Notes: 1. Pb isotope ratios are corrected based on the analyses of NBS 981, which are: ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb = 16.8963 ± 33, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb = 15.4366 ± 36, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb = 36.5318 ± 103 (N=20, 2σ) 2. (H) represents the HCl-dissolved parts. 3. Samples without (H) are pure marbles. 4. The small letters a, b, c, and d represent different pieces of the same pure marble specimen.

순수하지 못한 시료의 염산용해 부분과 같이 높은 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 값을 보이는 것이 없다.

순도가 높은 대리암으로부터 얻은 Pb 동위원소 분석값들이 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 대 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 그림에서 정의 기울기를 갖는 선형 분포 관계를 보여준다(그림 4). 이들 중 춘성군 동면지역의 시료들만으로부터 구한 기울기를 지질연대로 환산해 보면 794 ± 162 Ma (1σ, Pb-Pb isochron age)에 해당한다. 이 지역은 높은 변성작용을 받은 곳이기 때문에(김지영, 1989; 이광진, 1992; 이승렬과 조분섭, 1992; 이한영 외, 1991) 이 연대는 변성작용의 시기로 해석된다. 그러나 전체적으로 분석한 시료의 수가 적고, 춘성군 동면의 경우도 각 시료별로는 전체적인 기울기와 다소 다른 변화 경향을 보이는 것이 있기 때문에 보다 정확한 연대를 얻기 위해서는 좀더 세밀한 연구가 필요하다.

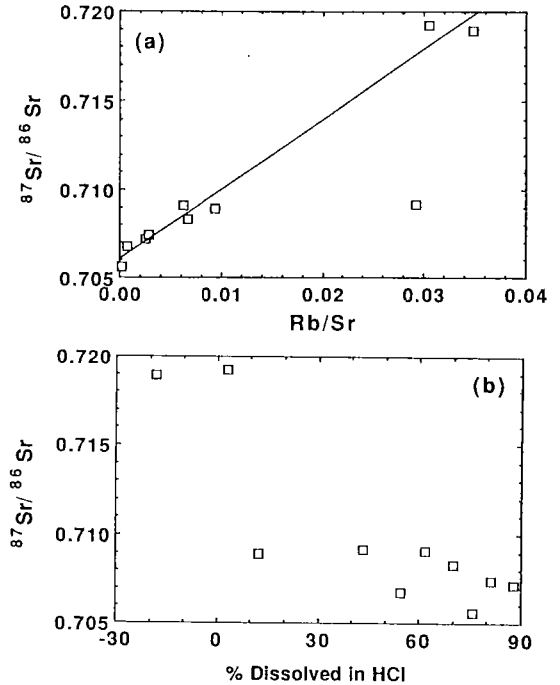


Fig. 4. Measured ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr vs. Rb/Sr diagram. Rb and Sr concentrations are measured by ICP-MS. The positive correlation is discernible except one point, but the slope is too steep to have time-significance.

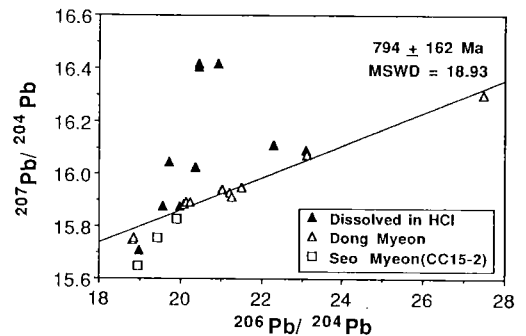


Fig. 5. Pb isotopic variations are shown. Pure marbles from Dong Myeon show a linear correlation which corresponds to 794 ± 162 Ma (1σ). HCl-dissolved parts are scattered into higher ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb direction, which is probably due to the addition of radiogenic Pb from silicate parts. CC15-2 shows a steeper linearity.

결론

경기 육괴에 분포하는 선캠브리아 변성암 복합체 중의 대리암에 대한 연대측정을 위해서는 구산염

광물이 없이 거의 순수한 탄산염 광물로만 이루어진 순수한 대리암에 대하여 연대측정을 시도하는 것이 Sr이나 Pb 동위원소 어느 방법을 사용할 경우에도 성공 가능성을 높여줄 수 있는 방법으로 추천된다. 탄산염 광물들은 Rb 함량이 매우 낮고 Sr 농도는 낮지 않으므로 측정된 Sr 동위원소 비가 초기치에 가까울 가능성이 높다. 따라서 선크브리아의 해양성 석회암류의 Sr 동위원소값의 진화 곡선으로부터 대략적인 모델 연령을 구할 수 있다. 만약 속성과정이나 변성작용 중의 지각 물질로부터의 오염에 의한 영향을 감안한다면 이러한 모델 연령은 연령의 최소 추정치로 간주할 수 있을 것이다. 이보다 더욱 바람직한 연대측정법은 순수한 대리암에 대한 Pb 전암 분석법으로 판단된다. 그러나 많은 수의 분석과 함께 대리암에 섞여있는 규산염 광물에 의한 오염 가능성에 대해 각별한 주의가 필요하다.

선크브리아 변성암 복합체 중의 대리암에 대한 연대측정에는 아직 해결해야 할 과제들이 많이 남아 있다. 특히 순도가 높지 못한 대리암의 경우는 이 연구에서 보인 바와 같이 강한 산에 의한 선별 용해 과정 중에 규산염 광물들에서도 일부 미량원소들은 용해되어 나올 가능성이 높다. 따라서 적합한 선별 용해 방법을 찾는 것이 필요하다. 특히 동위원소 측정 대상 원소에 이러한 영향이 없는 방법을 연구하여야 한다. 경기 변성암 복합체의 경우 대리암 주변에 흔히 분포하는 앰피블라이트에 대한 연대측정을 시도하여 그 결과와 대리암의 분석결과를 비교해 보는 것이 연대측정법을 검증하는 좋은 방법으로 추천된다.

사 사

이 연구는 기초과학지원센터의 기본연구비에 의해 이루어졌다. 많은 건설적 비판을 하여주시는 권성택 박사께 감사드린다.

참고문헌

권성택, 조문섭, 전은영, 이승렬, 1993, 춘천 각섬암의 지구화학과 기원. 암석학회 제 2차 정기총회 및 학술발표회 요약집, 14-15.
 김옥준, 1973, 경기육괴 북서지역 변성암 복합체의 층서와 지질구조. 광산지질학회지, 6, 201-208.
 김정환, 박석환, 이병주, 1981, 한국지질도 청평도폭(1:50,000), 한국동력자원연구소.

김지영, 1989, 경기육괴 중부지역 변성암류의 변성암류의 변성작용에 관한 연구. 박사 학위 논문, 서울대학교, 278p.
 나기창, 1978, 경기 육괴에서의 변성작용 및 연천 변성대와 옥천 변성대의 비교 (I). 지질학회지, 14, 195-211.
 나기창, 1979a, 경기 육괴에서의 변성작용 및 연천 변성대와 옥천 변성대의 비교 (II). 지질학회지, 15, 67-88.
 나기창, 1979b, 경기 육괴에서의 변성작용 및 연천 변성대와 옥천 변성대의 비교 (III). 지질학회지, 15, 127-233.
 나기창, 이동진, 1973, 경기 변성대의 Rb-Sr 방법에 의한 지질시대 소고. 지질학회지, 9, 168-174.
 노진환, 유재영, 최진범, 1993, 춘천 연육 광물의 성인. 지질학회지, 29, 199-224.
 박희인, 장기홍, 지정만, 고인석, 1974, 한국지질도 내 평도폭 (1:50,000), 국립 지질광물연구소.
 이광진, 1992, 가평-청평 지역에 분포하는 변성암류의 변성작용, 석사학위논문, 서울대학교, 77p.
 이대성, 남기상, 이하영, 양승영, 1974, 한국지질도 춘천도폭 (1:50,000), 국립 지질광물연구소.
 이상만, 1973, 우리나라 지체구조와 변성상계와의 연관성 연구. 지질학회지, 9, 11-23.
 이승렬, 조문섭, 1992, 춘천 각섬암의 변성작용과 반응공간 (요약). 지질학회지, 28, 519.
 이한영, 고상모, 홍세선, 김종환, 1991, 홍천지역의 변성작용 I, 압식, 압력, 온도. 지질학회지, 27, 339-356.
 주승환, 1983, Rb-Sr에 의한 한반도 경기육괴의 연대측정에 관한 연구. 박사학위 논문, 한양대학교.
 Demaiffe, D. and Fieremans, 1981, Strontium isotopic geochemistry of the Mbuji Mayi and Kundelungu kimberlites(Zaire, central Africa). Chem. Geol., 31, 311-324.
 Jahn, B.M., 1988, Pb-Pb dating of young marbles from Taiwan. Nature, 332, 429-432.
 Moorbath, S., P.N. Taylor, J.L. Orpen, P. Treloar, and J. Wilson, 1987, First radiometric dating of Archaean stromatolitic limestone. Nature, 326, 865-867.
 Taylor, P.N., and F. Karlsbeek, 1990, Dating the metamorphism of Precambrian marbles: Examples from Proterozoic mobile belts in Greenland. Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sec.), 86, 21-28.
 Veizer, J. and W. Compston, 1976, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr in Precambrian carbonates as an index of crustal evolution. Geochim. Cosmochim. Acta, 40, 905-914.
 Veizer, J., W. Compston, N. Cluauer, and M. Schidlowski, 1983, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr in late Proterozoic carbonates: Evidence for a "mantle" event at -900 Ma ago. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 295-302.
 York, D., 1969, Least squares fitting of a straight line with correlated errors. Earth Planet. Sci. Lett., 5, 320-324.

(책임편집 : 권성택)

Preliminary study for the dating of marbles from Precambrian Kyeonggi gneiss complex

Kye-Hun Park and Chang-Sik Cheong

*Korea Basic Science Center
(Eoeun Dong 224-1, Yusung Gu, Taejeon 305-333, Korea)*

ABSTRACT : Kyeonggi Gneiss complex forming Korean Precambrian basement is mainly composed of high-grade metasedimentary rocks, which are generally difficult to determine their absolute ages. We examined the feasibility of successive absolute age determination method for the marbles from this basement. We used hydrochloric acid for the selective dissolution of carbonate minerals from the marbles. Trace element analysis shows that most of Zr and Rb are concentrated in the residues. U in the residue is more abundant than that in HCl-dissolved parts. Pb, Sr, Sm, and Nd are somewhat evenly distributed between HCl-dissolved parts and the residues. Th shows rather complex behavior. Sr isotopic compositions of the HCl-dissolved parts reveal mixing with Sr from non-carbonate minerals having much higher $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios. We suggest that the most reliable method in the age determination for the marbles of this area is measuring Pb isotopic ratios of the pieces of pure marbles.

Key Words : Kyeonggi Gneiss complex, age-determination, trace element, Sr isotope, Pb isotope