

무주지역 대리암의 Pb-Pb 연대

박 계 현

기초과학지원연구소, 305-333, 대전시 유성구 어은동 52

요 약 : 무주지역에 분포하는 편마암 중에 협재된 대리암의 암편들에 대하여 Pb 동위원소 분석을 실시하였다. 그 결과 매우 넓은 범위에 걸친 Pb 동위원소의 변화를 확인하였다 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 23.74\sim 41.42$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.32\sim 18.43$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.42\sim 39.75$). 이 값들은 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 와 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 를 양 축으로 하는 그림 z에서 Pb-Pb 연대가 $1.99\pm 0.10(2\sigma)$ Ga로 계산되는 잘 정의된 양의 직선관계를 보여준다. 이 연대는 태백지역의 분천 화강암질 편마암 및 단양 천동리 지역의 화강암질 편마암과 유사한 값으로 현재 소백산육괴의 상당 부분이 이 시기에 광역변성작용을 받았음을 시사한다. 경상분지를 제외한 한반도 전역에서 분석된 방연석의 납 동위원소 비와 경기육괴 변성암의 납 동위원소 비도 Pb-Pb 그림에서 약 20억년의 연대에 해당하는 기울기를 보이는 점을 고려하면 소백산육괴와 경기육괴를 포함하는 한반도 대부분의 지역이 20억년전에 함께 변성작용을 겪은 동일한 지판 내에서 지리적으로 인접한 위치에 있었을 가능성이 높음을 간접적으로 시사한다.

핵심어 : 변성연대, Pb 동위원소, 무주 대리암, 소백산육괴, 경기육괴

서 론

한반도의 기저를 이루는 경기육괴와 영남육괴등은 상당히 넓은 부분이 변성퇴적암으로 이루어져 있으며 이 지역의 지각발달사를 연구하는데 매우 중요하다. 그러나 이들에 대한 믿을만한 연대측정 자료는 찾아 보기 힘들며 따라서 이들의 층서나 지각변동 시기를 논하는데 매우 어려움이 많다. 또한 한반도 기저의 변성암 복합체는 다변성작용을 받은 것으로 알려져 있으나(예; 이상만, 1980; 송용선과 이상만, 1989) 그 시기에 대한 정량적인 자료가 없는 실정이다.

변성작용을 받은 시기의 자료는 변성사를 밝히는 데 도움이 될 뿐만 아니라 최근에 많은 논란이 되고 있는 중국의 북중국 및 남중국 사이의 대륙충돌대가 한반도의 어디로 지나가는지와 같은 문제(예; Cluzel, 1992; Yin and Nie, 1993; 조문섭 외, 1995)의 해결에도 도움을 줄 수도 있다. 이러한 문제의 해결에는 여러 가지 접근방법이 있겠지만 한반도의 경기 육괴와 영남 육괴가 중국의 대륙충돌사건 이전에 같은 육괴였는지를 알 수 있다면 큰 도움이 될 것으로 판단되며 이러한 판단은 대륙 충돌이전의 광역적인 변성작용이 두 육괴에 동시기의 사건으로 기록되었는지 여부를 연구함으로써 판단의 기본자료로

사용할 수 있다.

이 연구에서는 영남육괴에 속하는 무주지역의 편마암 사이에 협재하는 대리암의 납 동위원소 분석을 통한 연령측정을 시도하였으며 한반도의 지각발달사에서 이 연대가 의미하는 점을 고찰하였다.

지질개요

시료가 채취된 지점은 5만분의1 지질도 장기리도폭(이대성과 남기상, 1969) 내에 위치한다. 이 지역은 선캠브리아 변성암류가 넓게 분포하며 우백화강암질 편마암과 화강암질 편마암 분포지역 내에 연속성이 현저한 대리암층(장기리 도폭에서는 결정질 석회암층으로 기재)이 발달하고 있으며 앰피블라이트가 여러 곳에서 관입하고 있다 (Fig. 1). 시료채취지역의 북서쪽에 분포하는 선캠브리아 변성암류를 연구한 송용선과 이상만(1989)에 따르면 5 kb 내외의 압력에서 섭씨 약 700도 이상의 조건까지 도달한 고도의 점진변성작용과 후기에 약 200-300도 낮아진 후퇴변성작용이 중첩되어 인지된다고 한다.

가까운 주변에서는 선캠브리아 이후의 현저한 화성활동은 알려져 있지 않다. 다만 폭 500 m 내지 1.5 km 미만 정도의 소규모의 유라기 편상화강암이 시료

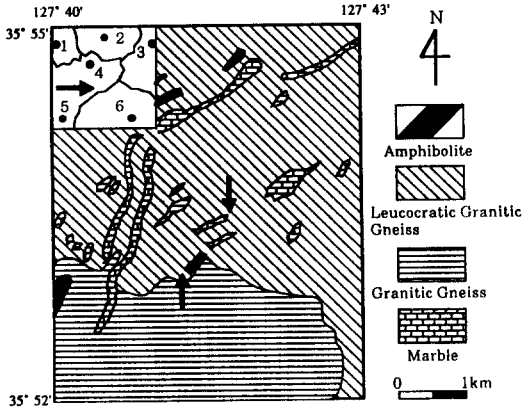


Fig. 1. Geologic map of studied area, modified after Lee and Nam(1969). The widths of marble beds are a little bit exaggerated. The index map at the upper left corner shows the location of the studied area by arrow and the location of cities around by solid circles with numbers: 1: Keumsan, 2: Youngdong, 3: Kimcheon, 4: Muju, 5: Jangsu, 6: Keochang. Sample locations are indicated by the arrows in geologic map. MJ1 samples were collected at southern site and MJB samples were collected at northern site.

채취지점의 북서 및 남동쪽 약 3 내지 5 km 지점에 위치하며 폭 1.5 km 미만의 백악기 규장암이 북서쪽 약 4 km 지점에 관입하고 있다(모두 Fig. 1의 경계 탐입). 이보다 조금 더 북서 쪽에는 백악기의 하부신라통으로 분류된 적상산통의 퇴적암층이 놓여있다(이대성과 남기상, 1969).

시료 및 분석방법

이 연구에서 이용된 시료는 안성치 고개 정상에 길 옆에 있는 노두의 편마암 사이에 수십 cm 내지 수 미터의 폭으로 협재한 대리암에서 색깔과 입도가 차이 나는 것들을 채취한 것(MJ1-2, 1-3, 1-4)과, 이 곳에서 북쪽으로 약 1 km 떨어진 채석장 입구에서 이광식에 의해 채취된 시료(MJ10B)이다. 양쪽의 노두 모두에서 앰피블라이트가 편마암 및 대리암을 관입한 것이 관찰된다. MJ1-2 시료는 백색의 조립질 대리암이며 MJ1-3은 회백색으로 MJ1-2보다 약간 더 조립질이다. MJ1-4는 역시 회백색이나 입도는 MJ1-2와 비슷하다.

대리암 시료들을 텅스텐 카바이드 재질의 파쇄기로 부수어 작은 암편들로 만들었다. 이 것을 탈이온

수로 세척한 뒤 섭씨 약 70도 정도의 온도에서 건조시켰다. 건조된 암편들 중에서 풍화면이나 절단면, 균질해 보이지 않는 시료들은 제외시키고 약 1 내지 8 그램 정도의 무게를 가진 것을 골라내었다. 골라낸 암편들은 분말로 만들어 상온의 6 N 염산으로 녹여 용액을 만들었다. 1 N HBr과 음이온 교환수지에 의한 Pb의 분리와 실리카겔 및 인산을 사용해 필라멘트에 올리는 방법의 사용등 일반적인 납의 분리 및 동위원소 분석방법을 사용하였으며 상세한 원소 분리 방법 및 기기분석법은 박계현과 정창식(1993)에 기술된 것과 동일하다. 분석기기는 기초과학연구원 연구소의 열이온화 질량분석기(VG54-30 모델)를 이용하여 정적 모드(static mode)로 분석하였다. 분석결과는 반복 분석한 NBS981 의 분석치를 이용하여 질량 분석시의 질량분별을 보정하였다. 납의 배경값(blank)은 1 ng 이하로 무시할만한 수준이다. 등시선의 통계학적 처리는 York(1969)를 따랐다.

결 과

무주의 대리암들은 매우 넓은 범위에 걸친 납 동위원소의 조성을 보인다 (Table 1; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 23.74 \sim 41.42$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.32 \sim 18.43$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.42 \sim 39.75$). 이러한 납 동위원소 조성은 이 대리암들의 U/Pb 비율이 상당히 높았었으며 아울러 그 변화폭이 컸음을 반영하는 것이다. 이들의 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 과 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 는 상당히 좋은 직선변화 관계를 보여준다(Fig. 2). 안성치고개 정상부의 길가 노두에서 채취한 세 시료(MJ1-2, 1-3, 1-4)로 부터 구한 6개의 암편 시료들은 이 그림에서 $1.99 \pm 0.10(2\sigma)$ Ga의 Pb-Pb 연대를 나타낸다. 이들의 납 동위원소 조성을 단순한 2단계 진화 모델로 생각하면 진화의 제1단계의 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 인 $\mu_1 = 8.40$ 이 얻어진다.

이 곳으로부터 북쪽으로 약 1 km 떨어진 다른 노두에서 채취한 시료(MJ10B 시료)의 암편들은 앞의 대리암 시료들과는 층준이 달라 위의 계산에 함께 포함시키지 않았다. 그러나 이들도 약간 분산되기는 하나 앞의 시료들이 형성하는 회귀직선위에 놓이며 대략 중간 정도의 Pb 동위원소 조성 범위를 갖는다 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 33.88 \sim 35.77$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.53 \sim 17.81$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.31 \sim 36.87$). 만약 이들을 함

Table 1. Pb isotope composition of Muju marbles.

| Sample number | National Grid | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|---------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| MJ1 sample | 2598, | | | |
| MJ1-2-1 | 2648 | 25.755 | 16.578 | 36.422 |
| MJ1-2-2 | | 23.743 | 16.320 | 36.842 |
| MJ1-3-1 | | 33.070 | 17.454 | 39.100 |
| MJ1-3-2 | | 40.591 | 18.414 | 39.694 |
| MJ1-4-1 | | 39.522 | 18.311 | 39.093 |
| MJ1-4-2 | | 41.420 | 18.429 | 39.749 |
| MJ10B sample | 2623, | | | |
| MJ10B-1 | 2663 | 35.769 | 17.808 | 36.868 |
| MJ10B-4 | | 35.413 | 17.719 | 36.486 |
| MJ10B-8 | | 33.985 | 17.528 | 36.475 |
| MJ10B-9 | | 35.285 | 17.671 | 36.534 |
| MJ10B-17 | | 33.878 | 17.580 | 36.307 |

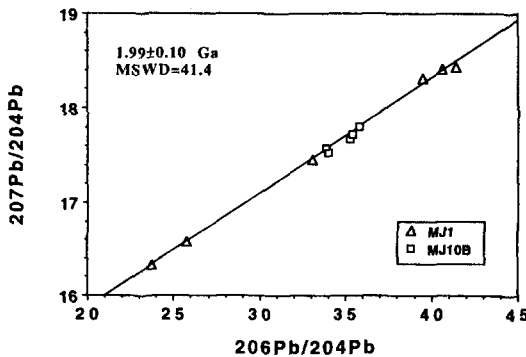


Fig. 2. Pb-Pb isotope correlation diagram of Muju marbles. The age shown on the diagram is calculated only from MJ1-2, 1-3 and 1-4. If MJ10B samples are added, it will be $1.99 \pm 0.08(2\sigma)$ Ga and $\text{MSWD} = 36.3$.

계 포함하여 연대를 계산하면 $1.99 \pm 0.08(2\sigma)$ Ga로 오차가 줄어들며 MSWD 값도 41.1에서 36.3으로 줄어든다.

토의 및 결론

최근들어 선캠브리아 대리암에 대하여 Pb-Pb 방법을 적용하여 연대 측정을 한 결과들이 보고되고 있으며 그 결과는 대개 변성연대로 해석하고 있다 (Moorbath *et al.*, 1987; Taylor and Karlsbeek, 1990). 이 연구에서 구한 Pb-Pb 연대도 원래 석회암

이 퇴적된 시기 보다는 변성을 받아 재 평형에 도달했던 변성연대로 해석하는 것이 적합하다고 판단된다. 인접지역의 변성암 연구에서도 알 수 있듯이 이 지역의 선캠브리아 편마암들은 약 5 kb의 압력에서 섭씨 약 700도 전후의 상당히 높은 온도에 달하는 고도의 광역변성작용을 받았다(송용선과 이상만, 1989). 따라서 이러한 편마암들 사이에 좁은 폭으로 협재된 형태로 산출되는 대리암들 역시 같은 강도의 높은 변성작용을 받았을 것이며 이 시기에 동위원소적인 재평형이 일어났을 것으로 생각된다. 동일 지역에 관입한 앵피블라이트들이 대리암에서 구한 연대보다 약간 젊은 Sm-Nd 연대를 보이는 것도(이광식, 개인통신) 이러한 추론을 간접적으로 강화시켜준다고 볼 수 있다.

이와 같은 20억년이라는 변성연대는 한반도의 지각발달사에 있어서의 상당히 중요한 시기를 지시하는 것으로 생각된다. 아직은 이 시기보다 훨씬 이전에 일어났던 지질학적 사건들이 잘 연구되고 있지는 않으며 일부 연대 측정 결과가 시생대 혹은 원생대 초기로 보고되어 그 당시에 생성된 지각이 있을 것으로 생각되고는 있다(예; Na and Lee, 1973). 하지만 20억년 전후에는 현재의 한반도를 이루는 지각에 상당히 큰 변형이 일어났었음이 여러 증거를 통해 확인된다. 우선 태백지역에 분포하는 여러 화강암 및 화강편마암들의 연령이 이 시기 전후로 밝혀졌다. 예를 들어 분천 화강편마암은 2097 ± 4 Ma의 Rb-Sr 전암 연령(주승환과 김성재, 1985)과 1920 ± 56 Ma의 Pb-Pb 연대(박계현 외, 1993)을 보여준다. 내덕리 화강암은 분천 화강편마암보다 약간 젊은 1825 ± 86 Ma의 Pb-Pb 연대(박계현 외, 1993)와 약 1780 Ma의 K-Ar 연대(윤현수와 이대성, 1986)를 보인다. 내덕리 암체의 Pb-Pb 연대는 비교적 좁은 범위의 변화 및 적은 수의 시료에서 구한 것이고, 백운모의 K-Ar 연대는 통상 실제 암체의 생성연대보다 다소 젊은 연대를 나타내기 때문에 실제 연령은 이보다 다소 오래되었을 가능성도 큰 것으로 생각된다. 최근에 단양 천동리 지역의 화강암질 편마암의 Pb-Pb 연대는 2160 ± 150 Ma로 보고되었다(권성택 외, 1995). 이를 종합하면 적어도 소백산속괴는 20억년을 전후해서 화강암들의 관입을 포함하는 화성활동과 광역적인 변성작용이 넓은 범위에 걸쳐 일어났음을 추정할

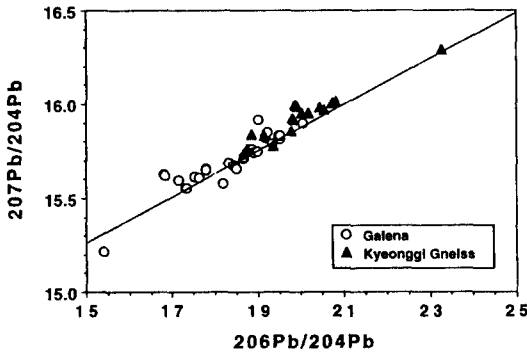


Fig. 3. Pb-Pb isotope correlation diagram of the galenas from Korean Peninsula (Mabuchi, 1985) and gneisses from Kyeonggi Gneiss Complex (Park *et al.*, 1995). They all align well along the reference line which is the regression line obtained from Muju marbles.

수 있다. 20억년 전후에 광역적인 영향을 미친 사건이 있었음을 간접적으로 지시하는 또 다른 증거는 한반도의 방연석으로부터 분석된 Pb 동위원소 자료들이 (Sasaki, 1987; Mabuchi, 1985) Pb-Pb 그림에서 대부분 20억년 전후의 연대로 해석할 수 있는 선형배열을 한다는 점이다 (Fig. 3). 이 그림에서는 경기육괴의 변성암들 (박계현 외, 1995) 역시 유사한 경향을 보여준다.

약 20억년 전의 변성작용이 경기육괴와 영남육괴 모두에 일어난 사건이었는가의 여부는 매우 중요한 일이다. 왜냐하면 이는 이들이 당시에 동일한 육괴였는가를 검증하는데 매우 중요한 단서가 될 수 있기 때문이다. 이것은 최근 많은 학자들이 관심을 보이는 북중국과 남중국육괴와의 대비 및 중국의 두 육괴가 경기와 영남 육괴 사이의 어느 곳으론가 지나갈 것이냐와 관련하여 동북 아시아의 중생대 지구조 발달을 밝히는 데 매우 중요한 위치를 차지하는 문제가 될 수 있다. 소백산육괴의 화강암질 편마암이나 고기화강암, 대리암들이 20억년 전후의 생성 혹은 변성연대를 보이는 것이 많다는 사실과 경기육괴의 변성암 및 경상 분지를 제외한 경기육괴, 태백분지, 북한지역 등 한반도 전역에서 채취된 방연석 역시 20억년 전후의 변화선 위에 놓인다는 사실은 우연의 일치로 보기 힘든 면이 있다. 따라서 현재까지의 Pb 동위원소 자료는 20억년 전에 경기육괴와 소백산육괴는 함께 화성활동과 광역변성작용을 겪은 동일한 육괴이었을 가능성이 매

우 크다고 생각된다. 그러나 이는 무주대리암의 경우와 같이 광역변성작용의 시기를 정량적으로 보여줄 수 있는 연구를 통해 검증되어야 할 것이다.

사 사

이 연구는 기초과학연구원연구소의 기본과제 연구비 및 과학기술처의 1995 특정과제 연구비 지원에 의해 이루어졌다. 선캠브리아기의 지각 진화에 대한 유익한 도움 말씀을 주신 나기창 교수님과 최초로 분석이 시작된 MJ10B 시료를 제공해 준 이광식씨께 감사드린다. 원고에 대한 유익한 비평을 해주신 권성택 교수께도 감사드린다.

참고문헌

권성택, 박계현, 한 정선 석회암의 U-Pb 연대. 지질학회지, 29, 535-539, 1993.
 권성택, 이진한, 박계현, 전은영, 단양 천동리 지역 옥천대/영남육괴의 접촉관계와 소위 화강암질 편마암의 Pb-Pb 연대. 암석학회지, 4, 144-152.
 박계현, 정창식, 1993, 선캠브리아 경기육괴중 대리암의 연대측정에 대한 예비 연구. 암석학회지, 2, 130-138.
 박계현, 정창식, 이광식, 장호완, 1993, 태백산지역의 고기화강암 및 화강편마암류에 대한 납 동위원소 연구. 지질학회지, 29, 387-395.
 박계현 외, 1995, 지질 및 해양시료의 미량조성 및 구조 분석법연구. 제1차년도 연구보고서, 과학기술처, 463pp.
 송용선, 이상만, 1989, 소백산육괴 중앙부 선캠브리아 변성암류의 암석학적 연구, 지질학회지, 25, 451-467.
 윤현수, 이대성, 1986, 함백분지 기반지역에 분포하는 선캠브리아 화강암질암류의 암석화학적 연구. 광산지질, 19, 35-55.
 이대성, 남기상, 1969, 한국지질도 1:50,000 장기리도폭, 국립지질조사소.
 이상만, 1980, 지리산(하동-산청) 지역의 변성지질암의 변성작용에 관한 연구, 지질학회지, 16, 1-15.
 조문섭, 권성택, 이진한, Nakamura, E., 1995, 연천-전곡 지역에 분포하는 임진강대의 고압 각섬암, 암석학회지, 4, 1-19.
 주승환, 김성재, 1985, Rb/Sr 법에 의한 영남육괴 연대 측정 연구 (II). 연구보고서 KR-86-7, 7-34, 한국동력자원연구소.
 Cluzel, D., 1992, Ordovician bimodal magmatism in the Ogcheon belt (South Korea): Intracontinental rift-related volcanic activity, Jour. Southeast Asian Earth Sci., 7, 195-209.

- Mabuchi, H., 1985, The lead isotope systematics in Asia and near East. Grant Report to the Ministry of Education, Science, and Culture, Japan, No. 58540375-59549377, 19p (in Japanese).
- Moorbath, S., Taylor, P. N., Orpen, J. L., Treloar, P., and Wilson, J., 1987, First radiometric dating of Archaean stromatolitic limestone. *Nature*, 326, 865-867.
- Na, K. C. and Lee, D. J., 1973, Preliminary age study of the Gyeonggi metamorphic belt by the Rb-Sr whole rock method. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 9, 168-174.
- Sasaki, A., 1987, Isotope systematics of ore leads from the Korean Peninsula and Japanese Islands. *Mining Geology*, 37, 223-226 (in Japanese).
- Taylor, P. N. and Karlsbeek, F., 1990, Dating the metamorphism of Precambrian marbles: Examples from Proterozoic mobile belts in Greenland. *Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sec.)*, 86, 21-28.
- Yin, A. and Nie, S., 1993, An indentation model for the North and Sout China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, eastern Asia, *Tectonics*, 12, 801-813.
- York, D., 1969, Least squares fitting of a straight line with correlated errors, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 5, 3320-324.

(책임편집 : 권성택)

Pb-Pb Age of Marble from Muju, Korea

Kye-Hun Park

Korea Basic Science Institute, 52 Eoeun, Yuseong, Taejeon, 305-333, Korea

ABSTRACT: Pb isotope composition is analyzed from the rock chips of marbles intercalated between gneisses of Muju area and it shows very large variation ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 23.74\sim 41.42$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.32\sim 18.43$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.42\sim 39.75$). The data points form well defined positive relationship on $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ plot, which corresponds to $1.99\pm 0.10(2\sigma)$ Ga. This age is very similar to the formation ages of the granitic gneisses from Buncheon and Cheondongri (Tanyang), and suggests that the fairly large volume of Sobaeksan Massif suffered regional metamorphism at this time. It is suggested that the most parts of Korean peninsula including Kyeonggi and Sobaeksan Massifs were very close each other and experienced a regional metamorphism together about 2.0 Ga ago from the fact that galenas from whole Korean peninsula except Kyeongsang Basin and metamorphic rocks from Kyeonggi Massif also reveal a similar slope corresponding 2.0 Ga on Pb-Pb isotope plot.

Key words: metamorphic age, Pb isotope, Muju marble, Kyeonggi Massif, Sobaeksan Massif