

## 동북아시아지역 선캄브리아 지괴에 대한 암석학, 지구화학 및 지구연대학적 연구: 2. 경기육괴 일부 변성암의 저어콘 연대

송용선 · 박계현\* · 박맹언 · Cao Lin<sup>1</sup> · Jin Wei<sup>1</sup> · Zhang Xingzhou<sup>1</sup> · 류호정

부경대학교 환경 · 해양대학 환경지질과학과, 608-737 부산광역시 남구 대연3동 599-1

<sup>1</sup>Jilin University of Science and Technology, Changchun 130026, China

## Petrological, Geochemical and Geochronological Studies of Precambrian Basement in Northeast Asia Region: 2. Zircon Ages of Some Metamorphic Rocks from Gyeonggi Massif

Yong-Sun Song, Kye-Hun Park<sup>1\*</sup>, Maeng-Eun Park, Lin Cao<sup>1</sup>,  
Wei Jin<sup>1</sup>, Xingzhou Zhang<sup>1</sup> and Ho-Jeong Ryu

Department Environmental Geosciences, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

<sup>1</sup>Jilin University of Science and Technology, Changchun 130026, China

**요약:** 경기육괴의 3개지역에서 변성암 시료를 채취하여 저어콘 U-Pb 법에 의한 연대측정을 실시하였다. 각 지역의 암석에서 분리한 저어콘들이 만드는 불일치선과 일치곡선의 위와 아래 교점에서 구한 연대를 살펴보면 용두리 편마암 복합체의 경우 2168±24 Ma와 1227±40 Ma, 의암층군의 경우 1955±22 Ma와 493±32 Ma, 그리고 용문산 층군의 경우는 3712±244 Ma와 1613±51 Ma로 계산된다(오차는 모두 2σ). 용두리 변성암 복합체와 의암층군의 저어콘 U-Pb 연대는 각각 영남육괴의 화강암질 편마암 및 반성변질질 편마암으로부터 측정된 저어콘 U-Pb 연대와 매우 유사하다. 이러한 유사성은 경기와 영남의 두 육괴가 약 2.2~1.9 Ga의 시기에 비슷한 지구조 및 지리적 환경에 있었을 가능성을 제기한다. 용문산층군의 경우 대부분의 저어콘들이 아래교점 가까이 놓이기 때문에 37억년의 상부교점 연대는 큰 오차를 보이며 검증이 필요하다. 그러나 이 연대는 최근 중국 북동부 지역에서 보고된 것과 유사한 동북아시아에서 가장 오래된 지각이 한반도에 존재하였을 가능성을 시사하기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다고 판단된다. 용문산층군 아래교점의 연대는 강한 변성작용의 시기를 나타내는 것으로 해석된다. 이 시기는 영남육괴의 18.5~17억년의 변성작용 및 화성활동 시기보다는 약간 후기이며, 두 육괴에 동시에 일어났던 고원생대말 지구조적 변혁의 말기활동을 기록하는 연대일 가능성이 있다.

**핵심어:** 경기육괴, 저어콘, U-Pb 연대, 선캄브리아, 동북아시아

**Abstract:** U-Pb age determination was performed on the zircon fractions separated from the metamorphic rocks of three locations of the Gyeonggi Massif. The ages obtained from the upper and lower intersections between concordia curve and discordia lines made of the zircon fractions separated from the rocks of each locality are: 2168±24 Ma and 1227±40 Ma for the Yongduri Gneiss Complex, 1955±22 Ma and 493±32 Ma for the Euiam Group, and 3712±244 Ma and 1613±51 Ma for the Yongmunsan Group (2σ errors). The upper intercept ages from the Yongduri Gneiss Complex and the Euiam Group of Gyeonggi massif are very similar to those obtained from the granitic gneisses and the porphyroblastic gneisses of Yeongnam massif respectively. Such similarities suggest that Gyeonggi and Yeongnam massifs might situate under the similar tectonic and geographic environment during ca. 2.2~1.9 Ga. The upper intercept age of Youngmunsan Formation (3.7 Ga) shows large error, because most of the zircon fractions are plotted very close to the lower intersection. It is necessary to investigate further to confirm this age. However, it may suggest the possibility of occurrence of the oldest crust of the northeast Asia similar to the one reported recently from the northeast China. The lower intercept age of the Yongmunsan Group is interpreted to indicate strong metamorphism. Such age postdates the 1.85~1.7 Ga metamorphism and

\*Corresponding author: Tel. 82-51-620-6241; E-mail. khpark@dolphin.pknu.ac.kr

igneous activities occurred in the Yeongnam massif, which might record the late Paleoproterozoic tectonic activities simultaneously occurred in both massifs.

**Key words:** Gyeonggi Massif, zircon, U-Pb age, Precambrian, Northeast Asia

## 서 언

한반도의 상당부분에는 선캠브리아 기저 변성암이 노출되어 있으며 한반도의 지각발달을 이해하는데는 이들에 대한 연대자료가 필수적이다. 즉, 한반도의 지각이 언제부터 존재하였는지와 수십억년에 달하는 선캠브리아 기간 동안에 한반도의 지각이 겪은 조산운동의 횡수와 시기등에 대한 정량적인 자료 없이는 한반도의 지각발달사 편찬이 곤란하며, 전세계적 지각발달사와 비교하는 것은 물론 이웃한 중국과의 대비조차도 잘 이루어질 수 없다. 또한 한반도 기저지각에 대한 연대를 알아내는 것은 한반도의 여러 선캠브리아 지괴들이 하나의 지괴로 발달해 왔는지 여부를 밝히고, 이들이 중국의 북중국과 남중국 중에서 어느 부분과 대비가 되는지를 알아내는 데 결정적이 자료라 될 수 있다. 따라서 이러한 자료들은 최근에 국제적으로도 큰 주목을 받고있는 북중국과 남중국의 충돌대(Lin *et al.*, 1985; Xu *et al.*, 1992; Ames *et al.*, 1993; Gao *et al.*, 1995)가 정말 한반도로 연장되는지의 여부, 그리고 만약 연장된다면 한반도의 어디로 지나가는지에 대한 문제(Yin and Nie, 1993; Ernst and Liou, 1995; Ree *et al.*, 1996)에 대한 해답을 구하는 단서를 제공할 수도 있다. 하지만 분석수단의 미비와 전문가의 부족 등으로 이러한 연대자료가 많이 보고되지는 못하였으며 그 결과로 한반도의 선캠브리아 지사에 대해서는 암상과 변성도 등에 의존하여 연구될 수밖에 없었다. 다행히도 최근 양질의 연대측정자료들이 자주 보고되고 있으며 한반도의 선캠브리아 지각발달과 층서를 논의할 수 있는 기반여건이 조성되고 있다. 이 연구에서는 한반도 선캠브리아 기저암체의 한 부분인 경기 육괴에서 채취한 변성암 3개 시료에 대해 저어콘 U-Pb 연대측정을 시도하였으며, 그 결과를 기존의 연대측정자료와 비교하여 한반도 중부 및 남부지역의 선캠브리아 지각발달 관점에서 논의한다. 특히 경기육괴와 영남육괴의 지각진화의 유사성과 차이점, 그리고 이의 의미에 대해 중점적으로 토의한다.

### 경기육괴 중앙부의 일반지질 및 분석시료

연구대상 지역은 경기도와 강원도의 경계부분에 위

치한 경기육괴의 중앙부이다. 이 지역의 광역 변성작용에 대해서는 비교적 활발한 연구가 이루어졌다(Na, 1978, 1979a, 1979b; Kim, 1989; Lee and Cho, 1995; 조운호 외, 1996). 그러나 이 지역의 층서에 대한 연구는 처음 연구가 시작된 이래 큰 진전을 보지 못하고 있는 실정이다. 현재 일반적으로 인용되는 층서를 살펴보면 이 부분의 경기육괴는 하부로부터 용두리 편마암 복합체, 장락층군, 용문산층군, 의암층군 및 구룡산층군등의 순서를 갖는 것으로 알려진 선캠브리아의 변성암류로 구성되어있다(나기창, 1999). 그러나 이러한 층의 구분들은 절대연령 자료에 의한 정량적인 근거를 가진 것은 아니며 경기육괴의 중앙부에 분포하는 잘 발달된 규암층을 기저역암으로 생각하여 층을 나눈 것이다. 이러한 규암층에는 용문산 규암, 장락산 규암 등이 포함되며 지형적으로 현저하게 두드러져 쉽게 식별된다. 그러나 경기육괴 대부분의 변성암들은 상부 각섬암상으로부터 곳에 따라서는 백립암상까지의 변성조건을 나타내며(Kim, 1989; 이광진과 조문섭, 1992; 조문섭과 김종욱, 1993; 조운호 외, 1996; 권용완 외, 1997; 권용완, 1998) 이러한 변성작용에 수반된 극심한 변형과 재결정작용 등으로 인하여 야외에서 원래의 층서를 알아내기는 매우 어려운 실정이다.

경기육괴 중앙부에 분포하는 변성암류 중에서 용두리 편마암복합체는 연구지역의 남서부와 이로부터 북동방향으로 의암층군을 둘러싸는 양상으로 분포한다(Fig. 1). 이 복합체는 흑운모 편마암 내지 편암, 호상편마암과 함석류석 반성변정질 편마암등으로 구성되어 있다(김옥준 외, 1974; 이대성 외, 1974; 이상만 외, 1974; Kim, 1989).

장락층군은 연구지역의 서부에 남북방향으로 분포한다. 동쪽은 용두리 편마암 복합체와 단층으로 접하며 서쪽에서는 용문산층군의 규암과 접한다. 호상편마암과 흑운모 편마암이 주이고, 안구상 편마암, 흑운모-녹니석 편암, 규암 및 대리암등을 포함하며 암상의 변화가 상당히 심한 편이다(김옥준 외, 1974; 이대성 외, 1974; 이상만 외, 1974; Kim, 1989).

용문산층군은 연구지역의 가장 서쪽에 위치하며 남북방향의 분포를 보인다. 이 층군은 장락산규암에 의해 부정합으로 덮이는 것으로 알려졌다(김옥준 외, 1974; 이대성 외, 1974; 이상만 외, 1974). 그러나 김종환 외

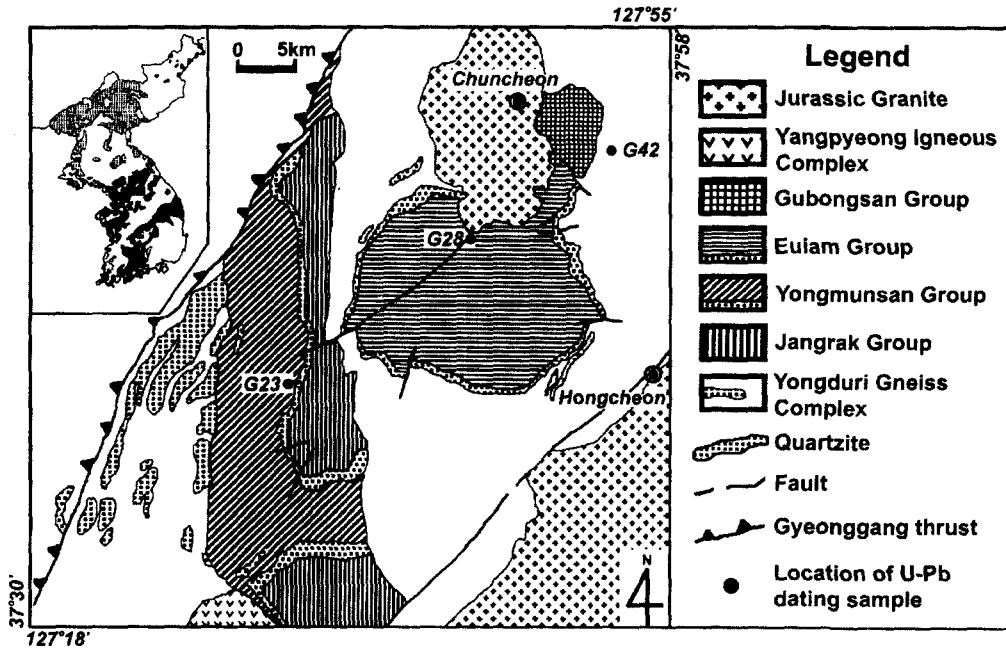


Fig. 1. Geologic map of the central part of Gyeonggi Massif modified after Kim *et al.* (1974), D.S. Lee *et al.* (1974) and S.M. Lee *et al.* (1974). Inset shows the distribution of Precambrian Nangnim, Gyeonggi, and Yeongnam Massifs from north to south of the Korean peninsula respectively. The square box on Gyeonggi Massif indicates the area of the enlarged map. Kim *et al.* (1981) and Kim (1989) suggested that Yongmunsan Group with basal quartzite layer overlies Jangnak Group unconformably and such interpretation is adapted in this figure. Sampling localities for the zircon U-Pb age determination are also shown.

(1981)는 연구지역의 북서쪽에 위치한 보납산 지역의 규암 내에서의 역들을 기저역암으로 해석하여 용문산 층군이 장락층군을 부정합으로 덮는다고 제안하였다. 이 경우 이 규암층은 용문산층군의 하부를 이루는 것으로 바뀌어야 한다(Kim, 1989). 따라서 이 층군의 하부는 규암층이고 상부층의 주구성 암종은 호상편마암, 각섬암, 안구상 편마암 및 편암등이다.

의암층군은 연구지역의 중앙부 춘성군과 홍성군에 위치한다. 이 층군은 용두리 편마암 복합체를 부정합으로 덮는다. 의암층군은 원형의 분포모양을 갖는 것이 독특하다. 이 층군을 구성하는 하부의 규암층과 다른 암종들이 동심원상의 분포를 하고 있어 분지모양의 구조를 갖는 것이 확실하며 춘성분지라고 불린다(김옥준 외 1974; 이대성 외, 1974; 이상만 외, 1974; 손치무 외, 1975). 이 암층은 하부의 규암층을 비롯하여 외곽부에서 중심부로 감에 따라 호상편마암, 안구상 편마암, 대리암 및 각섬암으로 구성된다.

구봉산층군은 연구지역의 북동쪽에 위치한다. 이 층군은 박희인 외(1974)에 의해 용두리 편마암 복합체와는 관계미상이며 의암층군의 아래에 놓인다고 제안되

었다. 그러나 김종환 외(1984)는 용두리 편마암 복합체 및 의암층군 모두와 오버스루스트 접촉을 갖는 것을 발견하여 이 층군이 용두리 편마암 복합체 및 의암층군보다 젊은 연대를 갖는 것으로 제안한 바 있다.

이 연구에서는 경기육괴의 용두리 편마암 복합체, 용문산 층군, 의암층군에서 각 1 시료씩 택하여 저어콘을 분리하여 이들에 대한 U-Pb 동위원소 분석을 실시하였다. 용두리 편마암 복합체의 시료(G-42)는 호상편마암으로, 길게 신장되고 봉합상조직이 잘 발달된 석영과 흑운모들의 평행 배열로 강한 엽상 조직을 이루고 있으며, 흑운모, 석영, 사장석, K-장석이 주성분이고 소량의 석류석과 각섬석을 포함하고 있다.

용문산층군의 시료(G-23)도 호상편마암으로 주로 석영, 사장석, K-장석, 흑운모, 석류석으로 구성되어 있으며 소량의 섬유상 규선석이 산출된다. 구성광물들의 크기가 대체로 0.5~1 mm 정도인 등립질 조직과 현저하게 발달된 엽상 조직을 이루고 있으며, 석류석들은 사장석과 석영 포유물들을 많이 함유하고 있다. 흑운모는 흔히 주변부나 벽개면을 따라 녹니석으로 후퇴되어 있다.

Table 1. U-Pb data for zircon from Gyeonggi Massif.

Fractions	Weight (μg)	Concentration (ppm)		Common Pb (ng)	Atomic Ratios*						Apparent Ages (Ma)		
		U	Pb		<sup>206</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	
					<sup>204</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb	
Yongmunsan Group (G23)													
1 (py, sp, t)	20	144	61	0.016	3632	0.04404	0.3872(19)	11.03 (6)	0.2067(3)	2110	2526	2880	
2 (py, lp, t)	20	195	68	0.012	6169	0.07804	0.3278(13)	6.606(28)	0.1461(2)	1828	2060	2301	
3 (py, lp, t)	10	525	175	0.008	11464	0.06215	0.3218(10)	6.223(21)	0.1402(1)	1799	2008	2230	
4 (dy, lp, t)	15	748	235	0.095	2096	0.08454	0.3119(20)	6.178(42)	0.1037(3)	1750	2001	2272	
5 (py, lp, t)	20	259	81	0.007	12823	0.05696	0.3054(21)	5.587(38)	0.1327(2)	1718	1914	2134	
6 (py, sp, t)	20	587	183	0.022	9343	0.1329	0.3053(20)	5.558(37)	0.1320(2)	1718	1910	2125	
7 (py, e, t)	10	671	206	0.01	11469	0.04155	0.3038(8)	5.332(16)	0.1273(1)	1710	1847	2061	
Euiam Group (G28)													
1 (py, sp, t)	10	226	60	0.012	2694	0.1243	0.2423(33)	3.733(56)	0.1117(6)	1399	1578	1828	
2 (py, sp, t)	10	288	72	0.039	1012	0.1136	0.2346(26)	3.574(44)	0.1105(5)	1358	1544	1808	
3 (py, lp, t)	15	221	52	0.023	1828	0.1156	0.2188(22)	3.278(37)	0.1087(4)	1276	1476	1777	
4 (py, lp, t)	10	427	114	0.25	207	0.07422	0.1958(22)	2.841(27)	0.1052(4)	1153	1367	1719	
Yongduri Gneiss Complex (G42)													
1 (py, sp, t)	10	1000	359	0.2	892	0.09385	0.3241(10)	5.424(18)	0.1214(1)	1810	1889	1976	
2 (py, lp, t)	10	563	191	0.11	848	0.08465	0.3078(13)	4.990(24)	0.1176(2)	1730	1818	1920	
3 (dy, lp, t)	15	1396	437	0.16	2264	0.06921	0.2997(19)	4.760(30)	0.1152(1)	1690	1778	1883	
4 (py, sp, t)	20	956	302	0.083	3948	0.1027	0.2978(18)	4.722(30)	0.1150(1)	1680	1771	1880	

py: pale yellow, dy: dark yellow, sp: short prismatic, lp: long prismatic, e: equant, t: transparent

\*Numbers in parentheses are 2 sigma errors. Errors refer to the last digit(s) in the reported values.

의암층군의 시료(G-28)은 호상편마암 중의 각섬석편마암 부분으로 역시 엽상조직이 뚜렷하며, 흑운모, 석영, 사장석, K-장석과 각섬석이 주성분이다. 입자 크기가 0.5~1 mm 정도인 다른 광물들에 비해 각섬석은 장축이 1~2 mm로 길쭉한 반정상을 이루고 있다.

### 분석방법

분리한 저어콘은 대부분 담황색을 띠는 장주상 혹은 단주상의 형태를 가진다(Table 1). 저어콘은 HF-HNO<sub>3</sub> 혼합용액으로 용해시켰으며, 용해에 사용된 캡슐의 용량은 0.25 ml이다. <sup>235</sup>U-<sup>205</sup>Pb 혼합 스파이크를 사용하였으며, U와 Pb의 분리는 표준적인 이온교환법을 사용하였고, 이온교환컬럼의 용량은 0.10 ml이다. 동위원소 분석은 중국 천진에 위치한 중국과학원 지질연구소(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources)에서 데일리(Daly) 검출기를 장착한 열이온화 질량분석기(VG-354)를 이용해 분석하였다. U와 Pb는 탈가스 시킨(outgassed) Re 필라멘트에 실리카젤-인산 혼합물

을 이용하여 없었으며, Pb는 대개 1300~1450°C, 그리고 U는 1450~1500°C의 온도에서 분석하였다. Pb와 U의 양은 동위원소 회석법으로 결정하였다. 작은 시료 크기 때문에 U와 Pb의 농도의 오차는 최고 20%에 달할 수 있다. Table 1에 수록된 모든 저어콘 분석결과는 Pb와 U에 대한 총실험실 배경값에 대하여 보정하였으며 이는 각각 50 pg과 2 pg의 수준이다. <sup>238</sup>U의 붕괴상수는 Steiger and Jäger(1977)의  $9.8485 \times 10^{-10}$ /yr 그리고 <sup>235</sup>U의 경우는  $1.55125 \times 10^{-10}$ /yr, <sup>235</sup>U/<sup>238</sup>U 동위원소비는 137.88을 계산에 사용하였다. 연대는 Ludwig(1994)를 이용하여 계산하였으며, 일치곡선(concordia)도형에서의 오차 타원과 저어콘 연대의 오차는 2σ 수준이다.

### 결 과

용문산 층군에서 채취한 G-23의 경우 분석한 7개의 저어콘들 모두 일치곡선(concordia)의 밑에 놓인다(Fig. 2). 이들을 연결하는 불일치선(discordia)이 일치곡

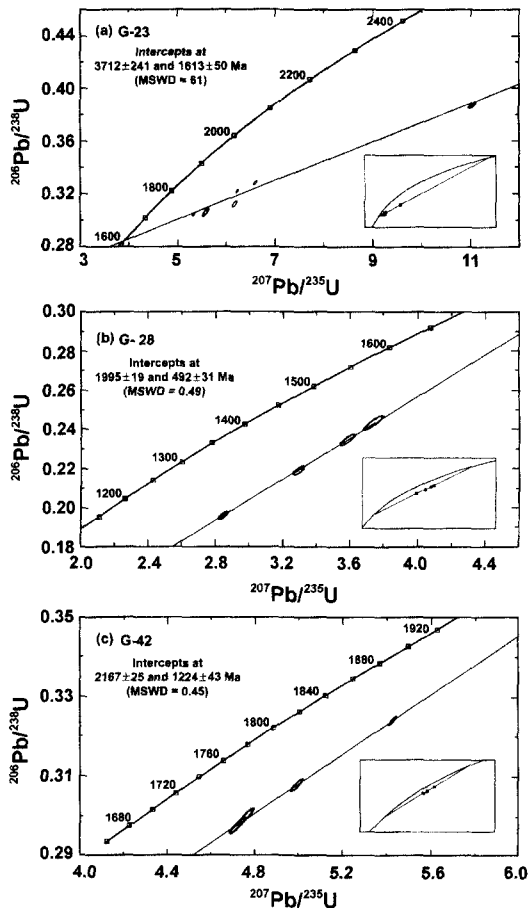


Fig. 2. Concordia diagrams for the zircons separated from the banded gneisses of (a) Yongmunsan Group, (b) Euiam Group, and (c) Youngduri Gneiss Complex.

선과 위에서 만나는 점은  $3712 \pm 244$  Ma를 나타내며 아래서 만나는 점은  $1613 \pm 51$  Ma로 계산된다. 이러한 연대는 통상적인 해석을 적용하면 한반도에서는 가장 오래된 시생대초의 생성 연령과 원생대 중기의 변성연대라고 볼 수도 있다.  $3712 \pm 244$  Ma의 연대는 단지 한반도에서 보고된 것 중에서 가장 오래된 연령일 뿐만 아니라 중국 북동부 안산(Anshan)지역의 화강암에서 보고된 동북아시아에서 가장 오래된  $3804 \pm 5$  및  $3812 \pm 4$  Ma의 저어콘 U-Pb 연령(Song *et al.*, 1996)에 필적하기 때문에 매우 중요한 연대이다. 그러나 G-23 암석으로부터 구한 연대는 해석에 신중하여야 할 필요가 있다.

이 암석의 경우 분석된 저어콘들 대부분은 불일치선과 일치곡선이 아래서 만나는 점 가까이 놓이기 때문에 위에서 만나는 점의 연대는 큰 오차를 가진다. 또

한 대부분의 저어콘이 아래서 만나는 점 가까이 위치한다는 것은 이 암석이  $1613 \pm 51$  Ma에 거의 용융에 이를 정도의 고온에서 생성되어 저어콘 결정의 상당 부분은 이 시기에 성장하였으나 대부분의 저어콘들 내에는 이전부터 존재하였던 저어콘의 잔류물들이 포함되어 있는 것으로 해석하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

만약 이 변성암의 모양이 동일한 연령을 갖지 않는 다양한 퇴적물로 구성된 퇴적암이라면 저어콘 잔류물의 연령은 다양할 수도 있다. 따라서 잔류물이 많이 포함된 저어콘들을 연결하여 불일치선과 일치곡선의 상부교점을 그대로 원암의 연대로 해석하는 것은 잘못일 수도 있으며 추가적인 분석을 통해 확인이 필요하다. 만약 위쪽으로 멀리 떨어진 자료 1을 제외하면 불일치선이 일치곡선과 아래서 만나는 점의 값이 1520 Ma, 위에서 만나는 점은 3200 Ma로 달라지게 된다. 비록 자료 1을 제외한 뒤에 계산한 값이 자료 1을 포함한 값과 정확하게 일치하지는 않지만 자료 1을 포함하였을 경우와 마찬가지로 일치곡선과 위에서 만나는 점이 상당히 오래된 연령을 나타내는 것으로 보아 G-23이 생성될 당시의 지각은 원생대에 만들어진 암석이었을 가능성이 매우 높다고 판단된다. 따라서 현재로는 G-23의 연대는 약 15~17억년 전에 저어콘을 함유하는 30~40억년전의 원생대에 만들어진 기존의 지각 암석들이 매우 강한 변성작용을 받아 만들어졌던 것으로 해석하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

의암층군에 속하는 G-28 암석에서 분리한 저어콘들은 4 분할에 대하여 분석하였으며 그 결과 불일치선과 일치곡선이 위에서 만나는 점은  $1955 \pm 22$  Ma, 아래서 만나는 점은  $493 \pm 32$  Ma로 계산되었다.

용두리 편마암 복합체에 속하는 G-42 암석에서 분리한 저어콘들은 4 분할에 대하여 분석하였으며 그 결과 불일치선과 일치곡선이 위에서 만나는 점은  $2168 \pm 24$  Ma, 아래서 만나는 점은  $1227 \pm 40$  Ma로 계산되었다.

## 토 의

### 경기육괴의 기존 연대측정자료

이 연구에서는 불필요한 혼란을 방지하기 위해서 분석의 신뢰도가 크게 향상된 1990년 이후에 보고된 최근의 자료만을 주검토대상으로 하였으며, 열변성작용의 영향을 쉽게 받는 K-Ar, Ar-Ar 연대측정법 및 Rb-Sr 연대측정법에 의한 결과들은 포함하지 않았다. 우선 보고된 자료들을 대략적으로 살펴보면 다음과 같다.

**Kim et al.(1999)의 결과:** 이들은 경기육괴 변성암들에 대한 저어콘의 U-Pb 연대를 보고하였다. 그 결과를 보면 공주 미그마타이트는  $2417 \pm 39$  Ma, 인제 결정질 편암은  $2413 \pm 21$  Ma, 성남 미그마타이트는  $1868 \pm 9$  Ma, 화천 호상편마암은  $2164 \pm 18$  Ma, 홍천 반상변정질 편마암은  $1952 \pm 13$  Ma, 강화 화강편마암은  $1673 \pm 10$  Ma의 연대를 보인다. 특히 홍천 반상 변정질 편마암은 이 연구에서 저어콘 U-Pb 연대를 측정된 G-28 시료( $1955 \pm 22$  Ma)와 마찬가지로 의미충근에 속하는 시료이며, 그 결과도 일치한다.

**조동룡 외(1998)의 결과:** 경기육괴 북동부 고성-간성 지역에 분포하는 다양한 종류의 변성암들에 대하여 CHIME 연대측정을 실시하였다. 선캠브리아에 해당하는 연대의 전체범위는  $1397 \pm 97$  Ma~ $2972 \pm 95$  Ma로 매우 넓은 변화를 보인다.

화강암질 편마암의 모나자이트들은 뚜렷한 연대를 내놓지 않고 1450 Ma의 참조 등시선 가까이에서 분산되며, 화강편마암 안에 포획되어있는 규암으로부터 분리한 모나자이트들은 두 개의 군으로 나뉘어 작은 입자 및 입자 가장자리에서 분석된 것들은 1500 Ma의 참조 등시선 가까이에서 분산되어 분포하고, 큰 입자들의 중심부에서 분석된 것들은  $1715 \pm 120$  Ma의 연대를 정의한다. 같은 규암 시료의 등글고 큰 쇠설기원의 저어콘 두 입자로부터는 각각  $1989 \pm 131$  Ma와  $2792 \pm 95$  Ma의 연대를 얻었다. 이 연대들은 규암의 퇴적이 약 1989~1715 Ma 사이에 일어났음을 지시한다고 하였다.

근청석-규석 편마암으로부터의 큰 쇠설성 저어콘 역시  $1754 \pm 115$  Ma의 연대를 나타내며 작은 모나자이트는  $1394 \pm 97$  Ma의 연대를 보인다. 이로부터 이 암석의 퇴적 시기는 이 두 연대 사이라고 해석하였다. 반상변정질 화강편마암의 자형의 마그마 기원 저어콘 및 모나자이트들은 거의 같은 연대인  $1676 \pm 66$ 과  $1652 \pm 51$  Ma의 연대를 보이며 관입의 시기를 나타낸다고 하였다.

화강편마암의 저어콘들은 세 군으로 나눌 수 있다. 우선 미세한 자형의 저어콘들은 같은 시료의 모나자이트가 나타내는 광역변성작용의 시기와 비슷한  $1477 \pm 31$  Ma의 등시선을 정의한다. 아마도 마그마 기원일 것으로 추정된 더 큰 자형의 저어콘 입자들은 반상변정질 화강편마암의 관입 연대에 해당하는  $1652 \pm 52$  Ma의 등시선을 나타낸다. 그리고 몇몇의 가장 큰 저어콘 입자들은 약 2000 Ma를 나타내며 화강편마암이 자리잡을 때 주변암으로부터 섭취한 외래결정들을 나타낼 것으로 추정하였다.

모나자이트는 상한 연대만을 종합하면  $1397 \pm 97$ ~

$1676 \pm 66$  Ma(전체평균 1501 Ma, 두 자료 제외시 1450~1520 Ma)의 비교적 좁은 범위를 나타내지만 대부분의 분석에서 상당한 자료의 분산을 보인다. 한편 저어콘에 대한 분석 결과만을 보면  $1477 \pm 30$  Ma~ $2972 \pm 95$  Ma의 범위를 보인다. 모나자이트는 다양한 종류의 변성암들이 모두 비교적 좁은 범위에 속하는 상한 연대를 나타내는 것으로 보아 광역변성작용의 시기를 지시하는 것으로 판단된다. 그러나 젊은 연대 쪽으로 상당한 분산을 보이는 것은 모나자이트의 폐쇄 온도보다 약간 더 높은 온도에서의 교란이 일어났었으며 후의 변질에 의한 영향이 추가적인 납의 손실등의 변화를 가져왔을 가능성이 크다. 따라서 모나자이트에 의한 연대는 최소 변성시기를 나타내는 것으로 해석하여야 할 것으로 판단된다.

조문섭 외(1999)는 SHRIMP-II(Sensitive High-Resolution Ion Microprobe-II) 분석을 통해 화천지역의 미그마타이트질 백립암에서 분리한 저어콘의 외곽부에서 구한 최고변성작용의 시기는  $1872^{+11}_{-9}$  Ma라고 보고하였으며, 이는 Lee et al.(1997)이 구한 Sm-Nd 석류석 연령과 합치한다. 한편 미그마타이트질 백립암의 저어콘 내부는 매우 불균질한 누대구조가 나타나며 약 2300, 2450, 2650 그리고 2900 Ma의 U-Pb 연대를 구하였다. 이로부터 경기육괴는 약 29억년전의 시생대 지각 물질을 포함하는 고기지각이며, 적어도 5번의 화성 혹은 변성작용을 경험한 복잡한 선캠브리아 암체이라고 주장하였다.

그 밖의 자료를 살펴보면 Turek and Kim(1996)은 저어콘의 U-Pb 연대측정을 통해 서산 화강편마암에 대하여  $1766 \pm 26$  Ma의 연대를 보고하였다. Lee et al.(1994)는 경기육괴 장호원지역에 분포하는 석류석 편마암으로부터  $1198 \pm 33(2\sigma)$ Ma의 광물연대를 구하였으며 이는 석류석등 구성광물이 만들어진 변성연대를 나타낸다고 해석된다. 박계현과 정창식(1993)은 경기육괴 중 대리암으로부터  $793 \pm 162(1\sigma)$ Ma의 Pb-Pb 연대를 보고하였으며, 이를 변성연대로 해석하였다.

### 경기육괴와 영남육괴의 지질연대 비교

앞에서 언급한 경기육괴에 대한 최근의 연대측정 자료를 영남육괴에 대한 자료와 함께 정리하면 Table 2와 같다. 이러한 지질 연대를 최근 영남육괴의 선캠브리아 변성암들로부터 얻어진 지질연대와 비교하여 논의하면 다음과 같다.

Lan et al.(1995)과 Lee et al.(1999)는 모두 Nd 동위원소 자료에 근거하여 경기육괴에 30억년보다 오래된 지각이 있었을 가능성을 주장한바 있다. 이 연구에

**Table 2. Compilation of recent age determinations for Precambrian basement rocks from Gyeonggi and Yeongnam Massifs of Korean peninsula.**

Rock	Locality	Mineral	Age(Ma)	Method	Reference
<i>Yeongnam Massif</i>					
Hornblende	vicinity of Jinan	Hornblende	1998 ± 8	Ar-Ar	Kim (1986)
Diorite gneiss					
Amphibolite(Xenolith)	vicinity of Bongnae	Hornblende	1657 ± 5	Ar-Ar	Kim (1986)
Granitic gneiss	vicinity of Boseong	Muscovite	1318 ± 3	Ar-Ar	Kim (1986)
Porphyroblastic gneiss	vicinity of Boseong	Muscovite	1330 ± 2	Ar-Ar	Kim (1986)
Granitic gneiss	Buncheon	Whole rock	1863 ± 103	Rb-Sr	Lee (1988)
Granite gneiss	Buncheon	Zircon	1930 ± 19	U-Pb	Kim <i>et al.</i> (1989)
Anorthosite	Hadong-Sancheong	Whole rock	1678 ± 90	Sm-Nd	Kwon & Jeong (1990)
			1690 ± 22	Sm-Nd	Kwon & Jeong (1990)
Granite	Taebaek area	Muscovite	1761 ± 36	K-Ar	Yun (1991)
Granitic gneiss	Gimcheon	Whole rock	1047 ± 69	Sm-Nd	Lee <i>et al.</i> (1992)
Biotite gneiss	Gimcheon	Whole rock	1699 ± 591	Sm-Nd	Lee <i>et al.</i> (1992)
Granite gneiss	Buncheon	Whole rock	1920 ± 56	Pb-Pb	Park <i>et al.</i> (1993)
		Whole rock	1825 ± 86	Pb-Pb	Park <i>et al.</i> (1993)
Granitic rock	Naedeongni	Monazite	1720 ± 50	CHIME	Suzuki & Adachi (1994)
Foliated granite	Danyang	Whole rock	2160 ± 150	Pb-Pb	Kwon <i>et al.</i> (1993)
Marble	Muju	Whole rock	1990 ± 100	Pb-Pb	Park (1996)
			2120 ± 10		
Foliated granite	Damyang-Geochang	Zircon	2133 ± 17	U-Pb	Turek & Kim (1996)
			1890 ± 6		
Porphyroblastic gneiss	Hadong-Gurye	Zircon	1945 ± 5	U-Pb	Turek & Kim (1996)
Amphibolite	Muju	WR-Hb-Pl	1766 ± 121	Sm-Nd	Lee <i>et al.</i> (1997)
Sandstone	Yeongdong	Monazite	1740	CHIME	Kim <i>et al.</i> (1997)
Granitic gneiss	Gimcheon	Zircon	1900 ± 260	CHIME	Lee <i>et al.</i> (1999)
			2950 ± 16, 2440 ± 60		
Biotite gneiss	Gimcheon	Zircon	2220 ± 30, 1810 ± 60	CHIME	Lee <i>et al.</i> (1999)
			1450/1970 ± 100		
<i>Gyeonggi Massif</i>					
Marble	Chuncheon	Whole rock	793 ± 162	Pb-Pb	Park & Cheong (1993)
Garnet gneiss	Janghowon	Garnet	1198 ± 26	Sm-Nd	Lee <i>et al.</i> (1994)
Amphibolite	Chuncheon	Whole rock	850 ± 48	Sm-Nd	Kwon <i>et al.</i> (1995)
Granite gneiss	Seosan	Zircon	1766 ± 26	U-Pb	Turek & Kim (1996)
Amphibolite	Imjingang Belt	Whole rock	824 ± 143	Sm-Nd	Ree <i>et al.</i> (1996)
Mafic granulite	Hwacheon	WR-Grt	1897 ± 120	Sm-Nd	Lee <i>et al.</i> (1997)
Mafic granulite	Hwacheon	WR-Grt	1742 ± 140	Sm-Nd	Lee <i>et al.</i> (1997)
			2900, 2650		
Granulite	Hwacheon	Monazite	2450, 2300	U-Pb	Cho <i>et al.</i> (1999)

서 3712±244 Ma로 계산된 용문산층군에서 분리한 저어콘의 일치곡선-불일치선의 상부교점 연대는 이러한 가능성을 더욱 높게 한다. 비록 대부분의 저어콘들이 아래교점 가까이에 놓이기 때문에 37억년의 연대는 큰 오차가 있을 수 있으며 검증이 필요하다고 판단되나 이 연대는 최근 중국 북동부 지역에서 보고된 것과 유

사한 동북아시아에서 가장 오래된 지각이 한반도에 존재하였을 가능성을 시사하기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다고 판단된다. Turek and Kim(1996)이 홍성의 화강편마암에서 분리한 저어콘의 U-Pb 분석자료점 다섯 중에서 하나를 제외하고 계산한 일치곡선과 불일치선의 상부 교점연대가 3294±196 Ma를 나타내는 것도

이와 비슷한 현상으로 볼 수 있다.

경기육괴에서는 약 29~30억년의 연대(조문섭외, 1999; Kim *et al.*, 1999)도 보고되었으며 이는 이호선 외(1999)가 영남육괴의 김천지역 화강편마암으로부터 분리한 저어콘에서 구한 화학연대(소위 CHIME 연대)와 비슷하며 남한의 여러 지역 암석들이 매우 오래된 고기 지각의 흔적을 지니고 있음을 나타낸다. Kim *et al.* (1999)가 보고한 쥬라기 오탄리 반려암의 저어콘에서 구한 상부교절 연대도 비록 오차가 크긴 하지만 약 29억년의 연대(2902±384 Ma)를 나타낸다.

그 다음으로는 약 24억년의 연대로써 Kim *et al.* (1999)이 공주 미그마타이트(2417±39 Ma) 및 인제 결정질 편암(2413±21 Ma)에서 구한 저어콘 U-Pb연대를 들 수 있다. 이러한 연대는 영남육괴에서는 아직 보고되지 않고 있다.

이 연구에서 용두리 편마암 복합체로부터 구한 2168±24 Ma의 저어콘 U-Pb 연대는 Kim *et al.*(1999)이 화천 호상편마암에서 구한 2164±18 Ma의 저어콘 U-Pb 연대와 일치하며, 영남육괴 남서부에 위치하는 구례 화강편마암(2120±10과 2113±17 Ma; Turek and Kim, 1995, 1996)과 거의 일치하는 생성시기를 나타낸다. 권성택 외(1995a)가 보고한 단양 천동리 지역의 옥천대와 영남육괴 접촉지역에 분포하는 염리상 화강암의 Pb-Pb 연대(2160±150 Ma) 역시 이 시기로 해석할 수 있다. Gaudette and Hurley(1973)는 경기육괴 중앙부의 화강암질 편마암으로부터 분리한 저어콘의 U-Pb 연대를 2150 Ma로 보고하였으며, Turek and Kim (1996)은 연대에 대한 오차가 보고되지 않은 이 자료를 재계산하여 2121±402 Ma에 해당한다고 보고하였다.

의암층군으로부터 구한 1955±22 Ma의 연대 역시 경기와 영남육괴 모두에서 보고된 연대이다. 경기육괴 흥천 반상변정질 편마암은 1952±13 Ma(Kim *et al.*, 1999)로 일치하는 연대를 보여주며, 영남육괴의 남서부에 넓게 분포하는 반상변정질 편마암(1890±6~1945±5, 평균 1927 Ma) 및 차일봉 화강편마암의 연대(1923±14 Ma; Turek and Kim, 1995, 1996) 역시 거의 일치하는 연대이다. 그리고 영남 육괴의 북동부에 위치한 분천 화강편마암 역시 이 시기에 생성된 것으로 판단된다(이덕원, 1988; 김종환 외, 1989; 박계현 외, 1993). 영남육괴의 무주지역에 산출하는 대리암에서 구한 1990±100(2σ)Ma의 Pb-Pb 변성연대(박계현, 1996)는 큰 오차로 정확히 해석할 수는 없으나 현재 영남육괴 지역에 널리 분포하는 화강편마암 혹은 반상변정질 편마암이 된 원래의 화성암들이 형성되던 시기에 변성작용도 수반되었음을 나타낸다고 볼 수 있다.

경기육괴의 성남 미그마타이트의 연대(1868±9 Ma; Kim *et al.*, 1999)는 영남육괴 내덕리 화강암에서 보고된 연대(1825±86 Ma; 박계현외, 1993)와 유사하며, 경기육괴의 백립암상 변성작용의 시기(조문섭외, 1999; Lee *et al.*, 1997)에 해당한다.

박계현 외(2000)에 따르면 17~18억년의 시기는 영남육괴의 주변성시기로써 영남육괴의 여러 곳에서 이 범위에 해당하는 연대가 보고되고 있다. 우선 영남육괴의 지리산 지역에서 산출하는 다양한 종류의 변성암들이 이 시기에 해당하는 변성연대를 나타낸다. 이러한 변성연대는 Kwon and Jeong(1990)이 보고한 하동-산청지역에 분포하는 회장암질암의 변성시기(1678±90 Ma) 및 영동분지의 남서쪽에 위치한 무주지역에 산출하는 각섬암으로부터 이광식 외(1997)가 Sm-Nd 동위원소 분석으로 구한 1766±121(1σ)Ma의 변성연대와 합치하는 값이다. 한편 Kim *et al.*(1997)은 영동분지에서 산출하는 사암 세 시료로부터 분리한 모나자이트에 대한 CHIME 연대측정으로 모두 약 1740Ma에 해당하는 연령이 구하였다. 이러한 사실은 이 사암들이 1740 Ma의 관입 혹은 변성연대를 갖는 주변의 영남육괴를 이루는 선캠브리아 암석으로부터 유래하였음을 시사한다. 이와 비슷한 연대를 갖는 경기육괴의 암석으로써는 서산 화강편마암을 들 수 있다(1766±26Ma; Turek and Kim, 1996).

그러나 경기육괴에서는 영남육괴의 주변성시기인 17~18억년 보다는 다소 젊은 연대가 더 많이 보고되고 있다. 우선 이 연구의 용문산층군 저어콘에서 구한 1613±51 Ma의 아랫교절 연대 역시 이 범위에 속하며 이 연대는 강화 화강편마암(1673±10 Ma; Kim *et al.*, 1999)과 비슷하다. 경기육괴 동북부 고성지역의 변성암들 역시 이와 유사하거나 조금 더 젊은 연대를 나타낸다(조동룡 외, 1998). Lee *et al.*(1992)은 유사한 연대를 영남육괴 김천지역의 화강암질 편마암으로부터 보고하였다.

한편 오창환 외(2000)는 영남육괴의 승주-순천 일대 화강암질 편마암과 반상변정질 편마암으로부터 이보다 다소 젊은 1417±52와 1421±14Ma의 전암-석류석 Sm-Nd 연대를 보고하였으며 이를 이 두 암상들이 겪은 저압형 변성작용의 시기로 해석하였다.

한편 경기육괴 장호원지역에 분포하는 석류석 편마암은 1198±33(2σ)Ma의 변성연대를 나타내며(Lee *et al.* 1994), 역시 경기육괴중 춘천지역에 분포하는 대리암은 793±162(1σ)Ma의 선캠브리아 말 변성작용을 나타낸다(박계현과 정창식, 1993). 하지만 이와 유사한 연대는 영남 육괴로부터는 아직 보고되지 않았다.



이상의 논의를 종합하면 경기와 영남육괴는 상당한 유사점이 있는 것도 사실이며 이와 더불어 한쪽 육괴에서만 보고된 연대도 상당수 있음을 알 수 있다. 우선 상이점을 살펴보면 Kim *et al.*(1999)이 경기육괴의 공주와 인제지역에서 연대측정한 것과 같은 약 24억년의 연령을 갖는 변성암이 영남육괴에서는 정량적 연대 측정을 통해 알려진 것은 아직 없다. 또한 Lee *et al.* (1994)가 경기도 장호원 지역에서 얻은 12억년의 변성 연대나 박계현과 정창식(1993)과 권성택 외(1995b)가 경기육괴의 구봉산층군에서 구한 약 8억년의 선크브리아 말의 비교적 젊은 연대가 영남육괴에서는 아직 알려지지 않고 있다.

유사점을 살펴보면 약 30억년의 매우 비슷한 연대를 갖는 매우 오래된 고기 지각의 흔적이 양 육괴 모두에서 발견된다는 것을 들 수 있다(조문섭 외, 1999; 이호선 외, 1999). 또한 21억년 부근에는 화강암질 마그마의 관입이 있었으며 19~20억년 경에도 매우 넓은 면적에 걸친 화성활동이 인지된다. 이러한 화성활동의 시기에 혹은 화성활동이 끝난 뒤에 강한 변성작용도 일부지역에 수반되었다. 그리고 18~16억년 사이에는 일부 화성활동을 수반하는 광역 변성작용이 일어났음을 알 수 있다.

이와 같이 대체적으로 보면 공통적인 사건들도 상세한 부분까지 일치하지는 않는다. 예를 들면 영남육괴의 변성작용은 주로 17~18억년 사이에 집중이 되며, 경기육괴에서는 이보다는 약 1억년 정도 후에 변성작용이 일어난 것으로 보인다. 하지만 이러한 차이는 이 두 육괴가 전혀 다른 대륙지각으로 발달해 왔다가 보다는 동일한 대륙지각의 다른 부분으로써 지질시대에 따라서 서로 지구조적 위치가 달랐었음을 반영하는 것일 수도 있다. 현재 영남육괴와 경기육괴에 분포하는 변성암의 암종별 분포면적을 보면 영남육괴에는 주로 정편마암류가 대부분의 지역을 덮고 있는 반면에 경기육괴는 상당한 면적을 준편마암류가 차지하고 있다. 이러한 차이는 이 두 육괴가 동일 지판 내의 다른 위치에 있었다면 가능한 결과라고 판단된다. 즉 동일한 지판이라 하더라도 지구조 경계와의 거리등에 따라 일부 지역은 강한 화성활동이나 변성작용을 받는 반면에 다른 지역에서는 퇴적작용이 진행될 수도 있다. 예를 들면 한반도 중부에 류라기의 대상 화강암이 분포하며 남동부에는 백악기 퇴적층 및 화산암이 분포하는 것에 따라 이들을 전혀 다른 대륙판에 속한 지각으로 볼 수 없음과 같다. 따라서 영남육괴에서 보고되지 않은 여러 지질시대가 경기육괴의 기저지각에서 나타나는 것이 두 육괴가 상이한 독립적 지각진화를 해왔음을 나

타내는 것인지의 여부는 보다 상세한 연구를 통해 규명되어야 할 것이다.

## 결 론

이 연구에서 얻어진 경기육괴의 저어콘 U-Pb연대와 기존 연구결과를 시대순으로 종합해보면 경기육괴와 영남육괴사이에 상당한 동질성이 확인된다. 특히 22~21억년에서 20~19억년 사이에 걸쳐 비슷한 화성활동을 경험하였으며, 그 이후 수 억년 동안은 광범위한 광역 변성작용을 받았다. 따라서 경기와 영남육괴는 이 시기에 지리적으로도 인접한 위치에서 함께 발달하였을 가능성이 크다고 생각된다. 두 육괴에서 보고된 지질 연대중 일치하지 않는 연대의 일부는 아직 미흡한 연대자료 때문일 수도 있으며, 혹은 지질 시대에 따라서 양 육괴의 지각의 위치에 따른 지구조적 환경의 차이로 인해 서로 조금 다른 지질학적 진화를 한 것으로 생각된다. 용문산 층군에서 보고된 37억년의 연대는 대부분의 저어콘들이 아래교점 가까이에 놓이기 때문에 큰 오차가 있을 수 있으며 검증이 필요하다. 그러나 이 연대는 최근 중국 북동부 지역에서 보고된 것과 유사한 동북아시아에서 가장 오래된 지각이 한반도에 존재하였을 가능성을 시사하기 때문에 매우 중요한 의미를 갖으며 반드시 확인되어야만 하는 연대로 판단된다.

## 사 사

이 논문에 대하여 여러 가지 조언을 주신 김정빈 박사, 이승구 박사과 오창환 교수께 감사드린다. 부경대학교 암석지구조환경연구실의 김동연, 이호선, 김남훈 석사들이 시료의 준비와 분석, 자료정리에 많은 도움을 주었다. 시료의 지구화학적 분석에 도움을 주신 한국기초과학지원연구원의 정창식 박사, 신형선 박사과 동위원소분석팀의 다른 관계자 분들께도 감사드린다. 이 연구는 1996년도 한국학술진흥재단의 국제협력연구과제 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드린다.

## 참고문헌

- 권성택, 이진한, 박계현, 전은영, 1995a, 단양 천동리 지역 옥천대/영남육괴의 접촉관계와 소위 화강암질 편마암의 Pb-Pb 연대. 암석학회지, 4, 144-152.  
 권성택, 조문섭, 전은영, 이승렬, E. Nakamura, 1995b, 춘천 각섬암의 Sm-Nd과 Rb-Sr 동위원소 연구, 제4차 암석학회 정기총회 및 학술발표회 요약집, 25.

- 권용완, 1998, 오대산편마암복합체내에 산출되는 앵퍼블라이트의 지화학적 특성과 변성작용. *암석학회지*, 7, 111-131.
- 권용완, 김형식, 오창환, 1997, 경기육괴 북동부지역에 분포하는 오대산편마암복합체의 다변성작용. *암석학회지*, 6, 226-243.
- 김옥준, 김서운, 유병화, 박병권, 1974, 한국지질도(1:50,000), 가평도폭 및 설명서. 국립지질광물연구소, 45p.
- 김용준, 1986, 영남육괴에 분포하는 고기화강암질암의 지질연대와 성인에 대한 연구. *광산지질*, 19(특별호), 151-162.
- 김중환, 김종대, 정태진, 오천혁, 1981, 가평지역 우라늄 광화대지역 조사연구. 가평 및 울진지역 우라늄광상조사연구(우라늄-8), 한국동력자원연구소, 7-93.
- 김중환, 김종대, 임현철, 1984, 춘천동남부 학곡지역 우라늄 광역광화대 조사연구. 우라늄 정밀조사연구(83-핵연자료-1-10), 한국동력자원연구소, 61-80.
- 김중환, 조한익, 박종원, 서효준, 김상엽, 이태섭, 조진동, 서상용, 오천혁, 홍영국, 김통권, 박영수, 구성분, 최중호, 고상모, 채수천, 1989, 분천화강암원 우라늄광상 탐사모델개발. 한국전력공사 연료처리 시행 연구보고서, 540pp.
- 나기창, 1999, 선캄브리아 이언층. *한국의 지질*. 대한지질학회, 33-56.
- 박계현, 1996, 무주지역 대리암의 Pb-Pb 연대. *암석학회지*, 5, 84-88.
- 박계현, 송용선, 박맹언, 이승구, 류호정, 2000, 동북아시아 지역 선캄브리아 지괴에 대한 암석학, 지구화학 및 지구연대학적 연구: 1. 지리산 지역 변성암의 변성연대. *암석학회지*, 9, 29-39.
- 박계현, 정창식, 1993, 선캄브리아 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.
- 박희인, 장기홍, 지정만, 고인석, 1974, 한국지질도(1:50,000), 내평도폭 및 설명서. 국립지질광물연구소, 32p.
- 손치무, 김영기, 김상욱, 김형식, 1975, 한국지질도(1:50,000), 홍천도폭 및 설명서. 국립지질광물연구소.
- 오창환, 전은영, 박배영, 안건상, 이정후, 2000, 소백산 육괴 서남부인 승주-춘천 일대의 화강암질 편마암과 반상변정질 편마암의 변성진화과정. *암석학회지*, 9, 121-141.
- 윤현수, 1991, 상동지역 선캄브리아 화강암류의 K-Ar 백운모 연령측정. *광산지질*, 24, 21-25.
- 이광식, 정창식, 박계현, 장호완, 1997, 무주지역 각섬암의 지구화학 및 Sm-Nd 동위원소 연구, 30(4), 313-320.
- 이광진, 조문섭, 1992, 가평-청평 지역 경기육괴의 변성작용. *암석학회지*, 1, 1-24.
- 이대성, 남기상, 이하영, 양승영, 1974, 한국지질도(1:50,000), 한국지질도 춘천도폭 및 설명서. 국립지질광물연구소, 45p.
- 이덕원, 1988, 상동-울진 지역의 주석광화작용과 관련된 화강암류의 암석지구화학적 특징과 탐사에의 응용에 관한 연구. 서울대학교 공학박사학위논문, 153pp.
- 이상만, 김봉균, 소철섭, 신명식, 1974, 한국지질도(1:50,000), 용두리도폭 및 설명서. 국립지질광물연구소, 35p.
- 이호선, 송용선, 박계현, 1999, 중부소백산육괴 선캄브리아 편마암의 2950Ma CHIME 연대. 제54차 대한지질학회 추계공동학술발표회, 요약집, 77-78.
- 조동룡, 홍승호, 최위찬, 이병주, 최범영, 1998, 한국지질도(1:50,000), 고성-간성 도폭 및 지질조사보고서. 한국자원연구소, 74p.
- 조문섭, 김종욱, 1993, 춘천-홍천 지역 용두리 편마암 복합체내에 산출하는 남정석: 변정지구조직 의의. *암석학회지*, 2, 1-8.
- 조문섭, 이기욱, 이승렬, R. Stern, 1999, 남한에서 가장 오래된 지각물질의 나이: SHRIMP 연대 측정. 1999년도 한국광물학회·한국암석학회 공동학술발표회 논문집, 89.
- 조운호, 조문섭, 이승렬, 1996, 청평-양평지역에 분포하는 근청석편마암의 백립암상 변성작용. *암석학회지*, 5, 52-65.
- Ames, L., Tilton, G.R., and Zhou, G., 1993, Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. *Geology*, 21, 339-342.
- Ernst, W.G. and Liou, J.G., 1995, Contrasting plate-tectonic styles of the Qinling-Dabie-Sulu and Franciscan metamorphic belt. *Geology*, 23, 353-356.
- Gaudette, H.E. and Hurley, P.M., 1973, U-Pb zircon age of Precambrian basement gneisses of South Korea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, 2305-2306.
- Gao, S., Zhang, B.-R., Gu, X.-M., Xie, Q.-L., Gao, C.-L., and Guo, X.-M., 1995, Silurian-Devonian provenance changes of South Qinling basins: implications for accretion of the Yangtze(South China) to the North China cratons. *Tectonophysics*, 250, 183-197.
- Kim, B.-C., Choi, S.-J., Suzuki, K., Adachi, M., Obayashi, T., and Yu, K.-M., 1997, Provenance of Cretaceous sandstones in the southeastern Yongdong Basin, Korea: CHIME geochronology of detrital monazites. *Geoscience J.*, 1, 37-49.
- Kim, C.-B., Turek, A., Chang, H.-W., Park, Y.-S., and Ahn, K.-S., 1999, U-Pb zircon ages for Precambrian and Mesozoic plutonic rocks in the Seoul-Cheongju-Chooncheon area, Gyeonggi massif, Korea. *Geochemical J.*, 33, 379-397.
- Kim, J.Y., 1989, A study on metamorphism of the metamorphic rocks in the central part of Gyeonggi massif. Ph.D. Thesis, Seoul National University, 278p.
- Kwon, S.-T. and Jeong, J.G., 1990, Preliminary Sr-Nd isotope study of the Hadong-Sanchung anorthositic rocks in Korea: Implication for their origin and for the Precambrian tectonics. *J. Geol. Soc. Korea*, 26, 341-349.
- Lan, C.-Y., Lee, T., Zhou, X.-H., and Kwon, S.-T., 1995, Nd isotopic study of Precambrian basement of South Korea: evidence for early Archean crust. *Geology*, 23, 249-252.
- Lee, S.-G., Shimizu, H., Masuda, A., and Song, Y.-S., 1992,

- Crustal evolution of the Precambrian basement in the Korean Peninsula. *J. Petrol. Soc. Korea*, 1, 124-131.
- Lee, S.-G., Song, Y.-S., and Masuda, A., 1994, 1.2 Ga mineral isochron of Changhwon garnet gneiss. *J. Geol. Soc. Korea*, 30, 62-68.
- Lee, S.R. and Cho, M., 1995, Tectono-metamorphic evolution of the Chuncheon amphibolite, central Gyeonggi Massif, Korea. *J. Metamor. Geol.*, 13, 315-528.
- Lee, S.R., Cho, M., Cheong, C.-S., and Park, K.-H., 1997, An early Proterozoic Sm-Nd age of mafic granulite from the Hwacheon area, South Korea. *Geoscience J.*, 1, 136-142.
- Lee, S.R., Cho, M., Cheong, C.-S., and Yi, K., 1999, Nd isotopic evidence for Archean mafic lower crust in northeastern Gyeonggi Massif, South Korea: A preliminary report. Abstracts and Program, the 54th Annual Meeting of the Geological Society of Korea, 79.
- Lin, J.-l., Fuller, M., and Zhang, W.-y., 1985, Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the North and South China blocks. *Nature*, 313, 444-449.
- Ludwig, K.R., 1994, ISOPLOT-a plotting and regression program for radiogenic isotope data, version 2.71. U.S. Geol. Surv. Open File Report 91-445.
- Moorbath, S., Taylor, P.N., Orpen, J. L., Treloar, P., and Wilson, J.F., 1987, First direct radiometric dating of Archean stromatolitic limestone. *Nature*, 326, 865- 867.
- Na, K.C., 1978, Regional metamorphism in the Gyeonggi Massif with comparative studies of the Yeoncheon and Ogcheon Metamorphic Belt(I). *J. Geol. Soc. Korea*, 14, 195-211.
- Na, K.C., 1979a, Regional metamorphism in the Gyeonggi Massif with comparative studies of the Yeoncheon and Ogcheon Metamorphic Belt(II). *J. Geol. Soc. Korea*, 15, 67-88.
- Na, K.C., 1979b, Regional metamorphism in the Gyeonggi Massif with comparative studies of the Yeoncheon and Ogcheon Metamorphic Belt(III). *J. Geol. Soc. Korea*, 15, 145-151.
- Ree, J.-H., Cho, M., Kwon, S.-T., and Nakamura, E., 1996, Possible eastward extension of Chinese collision belt in south Korea: The Imjingang belt. *Geology*, 24, 1071-1074.
- Song, B., Nutman, A.P., Liu, D., and Wu, J., 1996, 3800-2500 Ma crustal evolution in the Anshan area of Liaoning Province, northeastern China. *Precambrian Res.*, 78, 79-94.
- Steiger, R.H. and Jäger, E., 1977, Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Letters*, 36, 359-362.
- Suzuki, K. and Adachi, M., 1994, Middle Precambrian detrital monazite and zircon from the Hida gneiss on Oki-Dogo Island, Japan: their origin and implications for the correlation of basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics*, 235, 277-292.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical J.*, 29, 243-258.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1996, U-Pb zircon ages for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and southwestern Gyeonggi massifs, Korea, *Geochemical J.*, 30, 231-249.
- Xu, S., Okay, A.I., Ji, S., Sengör, A.M.C., Su, W., Liu, Y., and Laili, J., 1992, Diamond from the Dabie Shan metamorphic rocks and its implications for tectonic setting. *Science*, 256, 80-82.
- Yin, A. and Nie, S., 1993, An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, eastern Asia. *Tectonics*, 12, 801-813.

---

(2001년 3월 10일 접수, 2001년 8월 13일 게재승인)