

경기 편마암복합체 변성암의 CHIME 절대연대측정

김규한^{1*} ·鈴木和博² ·이종익³ ·장현경¹

¹이화여자대학교 과학교육과, ²日本 名古屋大學年代測定總合研究센터, ³한국해양연구원 부설 극지연구소

CHIME Ages of Monazites from Metamorphic Rocks from the Precambrian Gyeonggi Gneiss Complex in the Shiheung and Seosan Group of the Gyeonggi Massif, South Korea.

Kyu Han Kim^{1*}, Kazuhiro Suzuki², Jong Ik Lee³ and Hyun Kyung Jang¹

¹Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

²Center for Chronological Research, Nagoya University, Nagaya 464-8602, Japan

³Korea Polar Research Institute, KORDI, Songdo Techno Park, Incheon 460-840, Korea

CHIME ages were obtained from monazites in metamorphic rocks from the Seosan and Siheung Groups in the Gyeonggi gneiss complex, Korean peninsula. Monazite CHIME ages range from 234 to 257 Ma, corresponding to the late Permian to middle Triassic Songrim disturbance due to the collision event between the North and South China blocks within the Gyeonggi gneiss complex in the Korean peninsula. The CHIME ages are consistent with the metamorphic ages from the Hongseong area (231 Ma, Kim *et al.*, 2006) and the Odesan area (245-248 Ma, Oh *et al.*, 2006b) in the Gyeonggi gneiss complex and are older than those from the Dabie-Sulu collision belt (220-242 Ma, Yang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2003, 2004) suggesting that the collision between the North and South China blocks had occurred earlier in Korea than China.

Key words : Gyeonggi gneiss complex, CHIME age, Seosan Group, Siheung Group, monazite

한반도 경기편마암 육괴내 서산층군과 시흥층군의 대표적인 변성암 시료에 대하여 CHIME 절대연령 측정을 실시하였다. 경기편마암복합체 변성암중의 모나자이트 CHIME연령은 234~257 Ma로 페름기-트라이아스기 중기에 속하고 있다. 이 연령은 경기육괴내 흥성지역의 변성시기(231 Ma, Kim *et al.*, 2006)와 오대산 지역의 변성시기(245-248 Ma, Oh *et al.*, 2006b)와도 조화적이며 남중국지괴와 북중국 지괴의 충돌에 의한 송림 변동으로 일어난 지각변동과 수반된 변성작용의 시대로 해석된다. 한반도의 경기육괴 서산층군과 시흥층군의 변성암의 변성연대는 다비-수루 충돌대의 변성 연대(220~242 Ma, Yang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2003, 2004) 보다 오래되며 이는 남중국과 북중국 지괴의 충돌이 중국대륙에서 보다 한반도 지역에서 선행되었을 가능성을 시사하고 있다.

주요어 : 경기 편마암복합체, CHIME 절대연령, 서산층군, 시흥층군, 모나자이트

1. 서 론

경기육괴는 임진강대와 옥천지향사대 사이에 위치하며 남령육괴 및 소백산육괴와 함께 한반도의 기저(basement)를 이루고 있다. 최근 선캠브리아 시대의 경기육괴 변성암 복합체에 대한 많은 연대측정 자료들이

보고되어 있다. 지금까지 측정된 변성암의 연대측정 자료에 의하면 고성-간성지역의 변성암의 CHIME연령인 2972 Ma(Cho *et al.*, 1998)과 화천지역 백립암(granulite)의 모나자이트에서 얻어진 연대 2900 Ma (Cho *et al.*, 1999)가 가장 고기의 연령으로 알려져 있다. 그리고 경기 변성암 복합체가 분포하고 있는 화천 지역의 규선

*Corresponding author: kyuhan@ewha.ac.kr

석·석류석 편마암 중 모나자이트 CHIME연령은 약 1700Ma로 얻어졌으며, 철원지역의 납정석-십자석·석류석 편암 중의 연령 255 Ma는 변성시기로 해석하였다(Cho *et al.*, 1996).

Cho(2004)에 의하여 서해의 대이작도에 분포하는 토날라이트의 저어콘 SHRIMP U-Pb 절대연령이 2508 ± 18 Ma로 보고되었다. 즉, 경기육괴에서도 약 25억년 된 지각물질이 존재함을 확인하였다. 그리고 Lee *et al.*(2003)은 경기육괴의 기저암에 대한 Sm-Nd 동위원소 자료를 토대로 하여, 경기육괴의 형성 시기는 적어도 30억년 이전이며, 주요 지각 형성 시기는 후기 시생대(약 25~29억년 사이)인 것으로 보고하였다. 한편 Min (1999)은 경기육괴 변성암들의 Rb-Sr 흑운모 연대는 203~218 Ma, Sm-Nd 석류석 아이소크론 연대는 1200~2100 Ma로 보고하면서 경기육괴 변성암의 최고기 변성시기를 원생대로 해석하였다.

한반도에서 지질층서상으로 보고된 최고기의 지층은 경기육괴의 시흥층군, 서산층군으로 알려져 있다(Kim, 1973). 본 연구는 서산층군과 시흥층군 변성암의 절대연령측정을 위하여 대표적인 변성암 시료 중 모나자이트에 대한 CHIME 절대연령 측정을 실시하였다.

2. 경기육괴의 기존 절대연대측정 자료

2007년 현재까지 보고된 경기 변성암 복합체 지역의 변성암의 연대는 149~2972 Ma로 넓은 범위를 나타내고 있다. 연구자들의 측정 자료를 종합하면 다음과 같다. 경기육괴 북동부 고성-간성 지역에 분포하는 변성암들에 대한 CHIME 연대측정에서 1397~2972 Ma의 연대변화가 보고되었다(Cho *et al.*, 1998). 그리고 경기 변성암 복합체중 용두리 편마암 복합체로부터 2168 ± 24 Ma와 1227 ± 40 Ma, 의암층군으로부터 1955 ± 22 Ma와 493 ± 32 Ma의 U-Pb 저어콘 연령이 얻어졌다(Song *et al.*, 2001).

Lee *et al.*(2003)은 경기육괴에서의 편마암류와 편암류에서의 Nd 모델연대를 토대로 경기육괴의 주요 지각형성시기를 3.2~3.0 Ga, 2.9~2.5 Ga와 1.9~1.8 Ga로 분류하였으며, 특히 2.9~2.5 Ga는 경기육괴의 지각을 형성함에 있어서 가장 활발하였던 시기로 분류하였다. 한편 미그마타이트질 백립암의 저어콘 내부는 매우 불균질한 누대구조가 나타나는데 약 2300 Ma, 2450 Ma, 2650 Ma 그리고 2900 Ma의 저어콘 U-Pb 연대가 각각 얻어졌다(Cho *et al.*, 1999). 이 자료에서 경기육괴는 약 29억 년 전의 시생대 지각 물질을 포함

하는 고기 지각이며, 적어도 5번의 화성작용 또는 변성작용을 경험한 복잡한 선캠브리아 시대 암체로 해석되었다(Cho *et al.*, 1999).

경기육괴 서남지역 변성암들에 대한 저어콘의 U-Pb 연대측정에서 공주 미그마타이트는 2417 ± 39 Ma, 성남 미그마타이트는 1868 ± 9 Ma, 화천 호상편마암은 2164 ± 18 Ma, 인제 결정질 편암은 2413 ± 21 Ma, 홍천 반상 변정질 편마암은 1952 ± 13 Ma, 강화 화강편마암은 1673 ± 10 Ma의 연대를 나타냈다(Kim *et al.*, 1999). 최근 Oh *et al.*(2006a)에 의하여 경기육괴지역 변성암의 저어콘 SHRIMP U-Pb연대측정에서 2427~2489 Ma의 기원암 연령과 1839~1909 Ma의 광역변성작용 연대를 보고 하였다. 경기육괴 장호원지역에 분포하는 석류석 편마암으로부터 1198 ± 33 Ma의 Sm-Nd 광물 아이소크론 연대를 구하였으며 이는 석류석 등 구성광물이 만들어진 변성연대로 해석되었다(Lee *et al.*, 1994). Turek and Kim(1996)은 저어콘의 U-Pb 연대 측정을 통해 서산 화강편마암에 대하여 1766 ± 26 Ma의 연대를 보고 하였다.

Cho *et al.*(1999)는 화천지역의 미그마타이트질 백립암에서 분리한 저어콘의 외곽부에서 구한 최고 변성작용의 시기를 1872 Ma로 보고하였다. Park *et al.*(2004)는 경기육괴의 선캠브리아 시대 편마암들로부터 분리한 흑운모와 사장석의 Ar-Ar연대 측정에서 흑운모는 $1,294 \pm 46$ Ma, $1,241 \pm 39$ Ma 및 $1,217 \pm 39$ Ma, 그리고 사장석은 934 ± 25 Ma, 872 ± 19 Ma, 819 ± 15 Ma의 연령을 얻었다. Kwon *et al.*(1995)는 구봉산층군에 인접한 상갈리 지역의 경기편마암 복합체에서 산출되는 각섬암에 대한 분석을 통해 852 ± 48 Ma의 Sm-Nd 아이소크론 연대를 보고하였다. 그리고 Ree *et al.*(1996)은 경기육괴 서부지역의 삼곳 각섬암으로부터 824 ± 143 Ma의 Sm-Nd 아이소크론 연대를 구하였으며, 이 연대가 삼곳 각섬암의 원암이 만들어진 시기일 것으로 해석하였다. 한편 Cho *et al.*(2001)은 경기육괴 서부지역의 삼곳 각섬암으로부터 861.2 ± 7.3 Ma의 SHRIMP U-Pb 저어콘 정출연대를 보고하면서 이 시기가 신원생대에 Rodinia 초대륙의 분열과 관련 가능성을 제시하였다. 경기육괴 춘천 부근의 구봉산 층군 대리암으로부터 793 ± 162 Ma의 Pb-Pb 연대 역시 변성연대로 해석하였다(Park and Cheong, 1993). 경기육괴 남서부 홍성지역의 화강암질 편마암으로 알려진 암석에 대해 812 ± 14 Ma와 822 ± 17 Ma의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대를 보고하였으며 이들이 223~235 Ma에 변성작용의 가능성을 발표하였다(Cho, 2001).

최근 Kim *et al.*(2006)은 비봉-홍성지역 에클로자이트와 석류석 백립암의 저어콘 SHRIMP U-Pb연령 측정에서 231.4 ± 3.3 Ma를 얻었다. 그리고 Oh *et al.*(2006b)에 의하여 오대산지역 스피넬 백립암과 미그마타이트질 편마암내의 저어콘 SHRIMP U-Pb 연령 245 ± 10 Ma와 248 ± 18 Ma를 각각 얻었다. 비봉-홍성지역의 변성 시기는 각각 231 Ma와 오대산 지역 245 Ma는 다비-수루 충돌대(Dabie-Sulu collision belt)의 초고압 변성시기인 220~242 Ma(Yang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2003, 2004)보다 약간 오래되었다. Kim *et al.*(2006)은 경기 육괴는 다비-수루 충돌대의 동쪽 연장으로 해석 하였다.

Lee *et al.*(2003)은 경기육괴 북서부지역의 알칼리질 변성 화강암질암으로부터 742 ± 40 Ma의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대를 보고하였으며, 이 시기의 알칼리질 화

성활동은 남중국과 남한지역에 동시에 일어났던 신원생대의 열곡 관련 화성활동산물일 것으로 해석하였다.

이상의 연대측정자료에서 경기육괴 지역의 선캠브리아기의 지각형성(2427~2972 Ma)이후 원생대중기의 광역변성작용(1839~1909 Ma), 원생대 말(742~934 Ma)의 변성작용과 트라이아스기와 페름기(223~276 Ma)의 변성작용이 지배적인 것으로 요약된다.

3. 연구지역의 지질 개요

경기육괴는 한반도 중부의 홍천-인제에서 연천, 춘천, 서울, 시흥, 당진, 홍성으로 이어지며 발달하는 선캠브리아기 변성암류로 구성된 한반도의 기반암체이다(Fig. 1). 경기육괴는 후기 시생대에서 초기 원생대의 화강암질 편마암, 호상편마암, 안구상편마암, 편암, 규암 그리

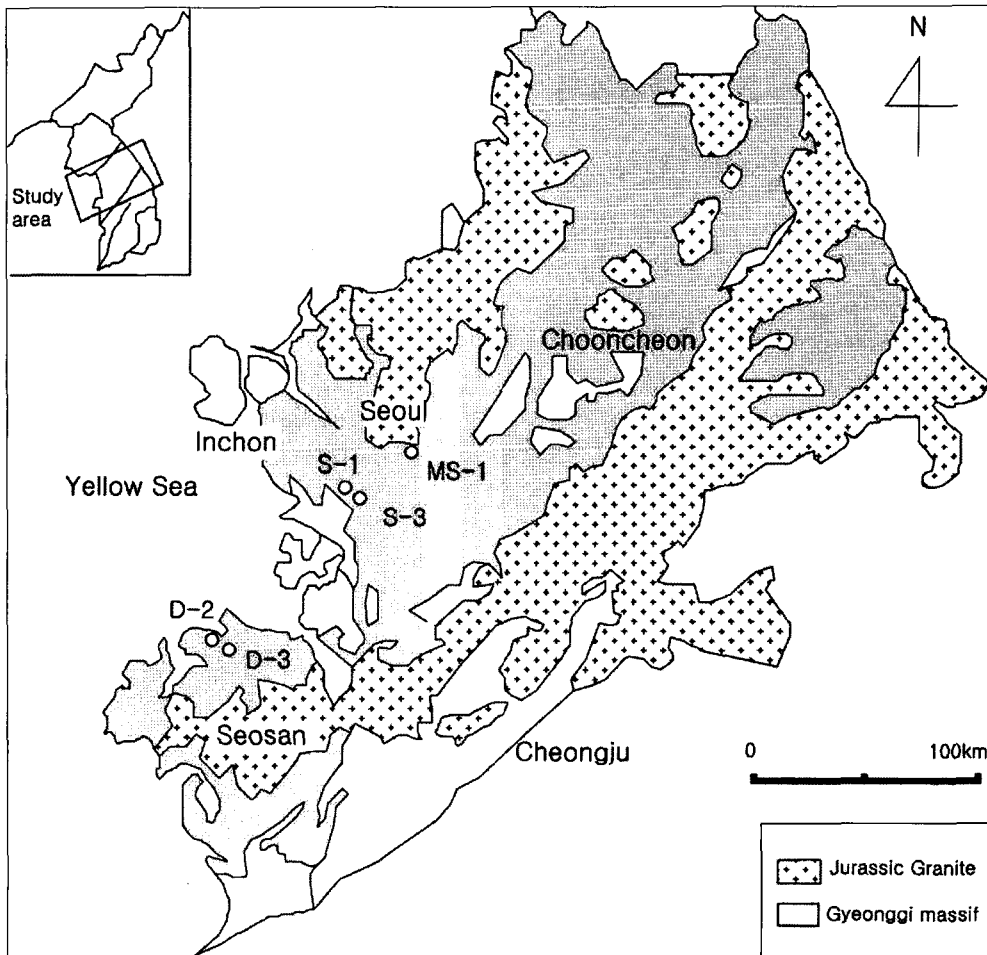


Fig. 1. Geologic map of the Gyeonggi massif. Open circles represent sampling sites.

고 석회규산암 등으로 이루어진 편마암 복합체와 초기~중기 원생대의 변성퇴적암류로 주로 이루어진 초기 지각암석으로 구성된다. 대규모의 중생대 유라기 화강암류 들이 이 선캠브리아 시대 암체들을 관입하고 있고, 지역적으로 소규모의 후기 중생대 퇴적분지가 발달하고 있다. 경기육괴 서남 지역에는 시생대의 서산층군과 경기편마암 복합체 지층이 분포하고 있으며 경기육괴 동북부 지역에는 경기편마암 복합체인 부천층군, 시흥층군, 양평층군이 분포하고 있다(Kim, 1973). 경기육괴에서는 지질층서 상에서 서산층군과 부천층군이 가장 오래된 지층으로 알려져 있다. 부천층군 상위에 시흥층군이 분포하고 있다. 시흥층군은 시흥 수암산 일대지역에 분포하며 백운모 석영편암, 흑운모편암, 안구상 편마암, 규암 등으로 구성되어 있다.

서산층군은 경기육괴의 남서부 지역에 분포하며 함철규암을 협재하는 편암 및 편마암류로 대표되며 지질시대와 층서 관계가 아직까지 확정되어 있지 않다. Lee *et al.* (1996)는 규암과 대리암을 협재하는 편암 및 편마암류와 이들을 관입한 화강편마암과 이 두 암체를 부정합으로 덮고 있는 태안층을 서산층군으로 설정하였다.

서산층군은 지역에 따라서 기저부에 흑운모 편암과 호상 편마암이 놓이며, 그 상부에 함철 규암층과 기타 규암층들이 놓인다. 최근 Cho *et al.* (2006)에 의하여 함철 규암층의 쇄설성 저어콘의 SHRIMP U-Pb 연령 측정에서 서산층군중의 함철 규암층의 퇴적시기를 1781 Ma 이후로 보고 하였다. 서산층군은 규암, 운모 편암, 호상 편마암, 석회암과 각섬암의 호층으로 구성된다(Chang and Lee, 1982). 서산층군의 지질시대에 관해서는 현재 잘 알려져 있지 않으나, 편암 및 편마암류를 관입한 엽리상 화강편마암의 U-Pb 저어콘 연령이 1766 ± 26 Ma(Turek and Kim, 1996)로 적어도 편암 및 편마암의 형성 시기는 초기 원생대 이전으로 보고 있다.

서산층군에 해당하는 태안부근 편마암에 대한 Rb-Sr 전암연대는 149-186 Ma로 보고된 바 있으며 (Shin and Jin, 1995) 이는 서산층군이 유라기에 마지막 변성작용을 받은 것으로 해석되었다. (Kwon *et al.*, 1997). 연구지역을 중심으로 홍성-서산-당진에 걸쳐 광범위하게 분포해있는 서산층군을 관입한 대보화강암의 생성 시기는 후기 트라이아스기-전기 유라기이며 이는 대보 조산운동과 동시대의 것으로 해석하고 있다 (Lee *et al.*, 1996).

3.1. CHIME 연대측정에 사용된 시료의 암석학적 특징

경기육괴 북동부의 서울지역에서 채취한 흑운모 편마암(MS-1)은 주로 녹색의 각섬석, 사장석, 석영, 석류석, 근청석등과 불투명 광물인 자철석 등으로 되어 있다. 석류석은 누대구조를 나타내고 있으며 사장석은 부분적으로 견운모화 되어있다. 경기육괴 북동부의 경기도 시흥시에서 채취한 흑운모 편마암(S-1)은 갈색의 흑운모, 석영, 녹니석, 저어콘, 석류석, 사장석, 규선석 등으로 구성되어 있으며 자철석이 소량 관찰된다. 엽리구조가 현저히 발달하고 있다. 흑운모는 녹니석화 되어있고 사장석은 부분적으로 견운모로 변질되어 있다. 시흥시 지역에서 채취한 흑운모 편암(S-3)은 흑운모, 석영, 사장석, 규선석과 다량의 자철석으로 구성되어 있다. 흑운모는 부분적으로 녹니석화 되어 있으며 사장석은 부분적으로 견운모화 되어 있다. 중립질의 섬유상 조직을 나타내는 녹니석 광물이 특징적이다.

경기육괴 북동부의 충청남도 당진지역에서 채취한 호상 편마암(D-2)은 다량의 석류석, 갈색 흑운모, 석영, 사장석, 근청석, 규선석과 소량의 저어콘과 자철석으로 구성되어 있다. 사장석은 알바이트 쌍정을 나타내고 있다. 당진에서 채취한 흑운모 편마암(D-3)은 조립질 갈색 흑운모, 석영, 사장석, 석류석, 규선석 등으로 구성되어 있으며 소량의 자철석이 관찰된다.

4. 측정방법

변성암의 절대연령측정을 위하여 CHIME 절대연령 측정법을 사용하였다. CHIME 연대 측정을 위해 실험에 사용된 서울, 시흥, 당진지역에서 채취된 시료들(MS-1, S-1, S-3, D-2, D-3)의 위치는 Fig. 1에 나타내었고 암상과 지리적 위치 정보는 Table 1에 정리하였다. 채취한 암석 종류는 흑운모 편마암과 흑운모 편암, 호상 편마암 등이다.

분석을 위한 모나자이트 시료준비 절차는 다음과 같다. 암석 시료의 박편을 제작 현미경하에서 측정 대상 광물인 모나자이트를 감정 구분하였다. 선정된 광물을 Suzuki and Adachi(1991a, b)가 제안한 방법으로 CHIME연대 측정용 EPMA 분석법으로 ThO₂, UO₂, PbO를 정량하였다. 본 연구에서 CHIME 연대측정을 위한 모나자이트의 EPMA 분석은 일본 나고야 대학 연대측정센터의 4개의 파장분광분석기가 설치된 JEOL JXA-733을 이용하여 분석하였다. 분석 조건은 15 kV 가속전압, 0.3 μA 빔 전류와 3-5 μm의 직경으로 분석

Table 1. CHIME monazite ages for metamorphic rock samples collected from the Gyeonggi massif.

Sample No.	Rock type	Age (Ma)	Location (latitude/ longitude)
D-3	Garnet-sillimanite-biotite gneiss	245 ± 10	Whagokgri, Dangjin-gun 37°00'30"/ 126°26'10"
D-2	Garnet-cordierite-sillimanite-biotite gneiss	257 ± 19	Whagokgri, Dangjin-gun 37°00'34"/ 126°26'15"
MS-1	Cordierite-biotite gneiss	249 ± 6	Daechidong, Seoul 37°31'09"/ 127°03'20"
S-1	Sillimanite-biotite gneiss	234 ± 9	Bonsanri, Shiheung-si 37°33'21"/ 126°48'10"
S-3	Sillimanite-biotite schist	243 ± 7	Eungaengri, Shiheung-si 37°33'56"/ 126°50'10"

을 수행하였다. $ThM\alpha$, $UM\beta$, $PbM\alpha$, $YL\alpha$ 를 동시에 측정하였으며 $CaK\alpha$, $SK\alpha$, $KK\alpha$, $PK\alpha$, $NbL\beta$ 와 $ZrL\alpha$ 도 측정되었다. 시료처리 및 분석, CHIME 연대 계산은 Suzuki *et al.*(1994, 1999), Suzuki and Adachi (1994)등과 같은 방법으로 계산하였다. 측정하한은 2 σ 수준으로 ThO_2 0.007 wt%, UO_2 0.011 wt%, PbO 0.006 wt%이다. 측정 상대오차(1 σ)는 농도가 0.03 wt%인 경우 10%, 0.5 wt%인 경우 3%, 7 wt%인 경우 0.5%이다. 모나자이트 CHIME 연대 결과는 Table 1과 Fig. 2와 같다.

5. 분석결과 및 토의

5.1. 분석 결과

분석 결과 흑운모 편마암(D-3)의 모나자이트는 245 ± 10 Ma의 아이소크론 연대(Fig. 2)가 얻어졌으며 ThO_2 가 5~9%로 함량이 높고 PbO 는 0.05~0.07%의 이다. 박편상의 모나자이트 광물에서 측정된 EPMA 포인트 수는 276 지점이다. 아이소크론 직선에서 벗어나 분산 도시된 일부 분석점은 재결정이나 변질에 의한 Pb 유실(Pb-loss) 때문으로 해석된다. 그러나 측정 시료의 광물 결정내부의 분석점들은 아이소크론 직선 상에 집중되어 신뢰도 높은 아이소크론 연대가 얻어졌다. 호상편마암(D-2)에서는 257 ± 19 Ma의 아이소크론 연대 (Fig. 2)가 얻어졌으며 ThO_2 가 5~10%로 함량이 높고 PbO 는 0.05~0.1%의 농도를 나타내고 있다. EPMA 측정 포인트 수는 56점이다. 흑운모 편마암(MS-1)은 ThO_2 가 9~15%로 가장 높은 함량을 보이고 PbO 도 0.08~0.15%로 농도가 높다. EPMA 측정점은 171 지점이며 여기서 얻어진 아이소크론 연대는 249 ± 6 Ma (Fig. 2)이다. 아이소크론 직선 주변의 분석점은 모나자이트 결정의 가장자리와 일부 변질지점으로 U 유실 때

문으로 보인다. 기타의 시료도 유사한 경우이다. 흑운모 편마암(S-1)은 234 ± 9 Ma이 얻어졌으며 ThO_2 가 7~12%로 높은 함량을 보이고 PbO 는 0.06~0.12%의 높은 농도를 나타내고 있다(Fig. 2). 박편상의 모나자이트 광물의 EPMA 측정점은 122지점이다. 흑운모 편암(S-3)은 243 ± 7 Ma(Fig. 2)가 얻어졌으며 ThO_2 가 4~11%로 비교적 함량이 높고 PbO 는 0.04~0.11%의 농도를 나타내었다. EPMA 측정 수는 81 지점이다. Fig. 2에서와 같이 모든 아이소크론 그림에서 PbO 의 절편 값이 매우 작아 거의 0에 가까운 값을 보이고 있어 분석에 이용된 모나자이트의 초기 Pb의 함량이 거의 존재하지 않았음을 의미한다.

5.2. 변성작용의 시기

지질총서(Kim, 1973)에서 한반도 최고기 지층으로 알려져 있는 서산층군과 시흥층군이라서 최고기의 변성연대를 기대하였으나 본 연구에서 채취한 변성암 시료들의 모나자이트의 CHIME 연대는 기존의 경기육괴에서 보고되어진 연대들보다 훨씬 젊은 약 234~257 Ma 범위가 얻어졌다. 이 시기는 고생대 페름기 후기~중생대 트라이아스기 중기의 송림변동의 시기에 해당되기 때문에 송림변동 시에 일어난 변성작용의 시기로 해석할 수 있다. 그리고 비교적 좁은 범위에 속하는 상한 연대를 나타내는 것으로 보아 광역변성작용의 시기를 지시하는 것으로 판단된다.

송림변동은 트라이아스기말~쥬라기 초의 대동층군이 퇴적되기 이전에 있었던 지각변동으로 한반도 북부 지역에서 더 잘 알려져 왔다. 송림변동은 한반도의 북부지역과 중국의 요동반도 일대를 교란시킨 가장 강렬한 조산운동이지만, 한반도의 남부지역에서는 단순히 요곡작용이나 융기작용만이 있었던 것으로 알려져 왔다(Kim, 1971; Reedman and Um, 1975). 따라서

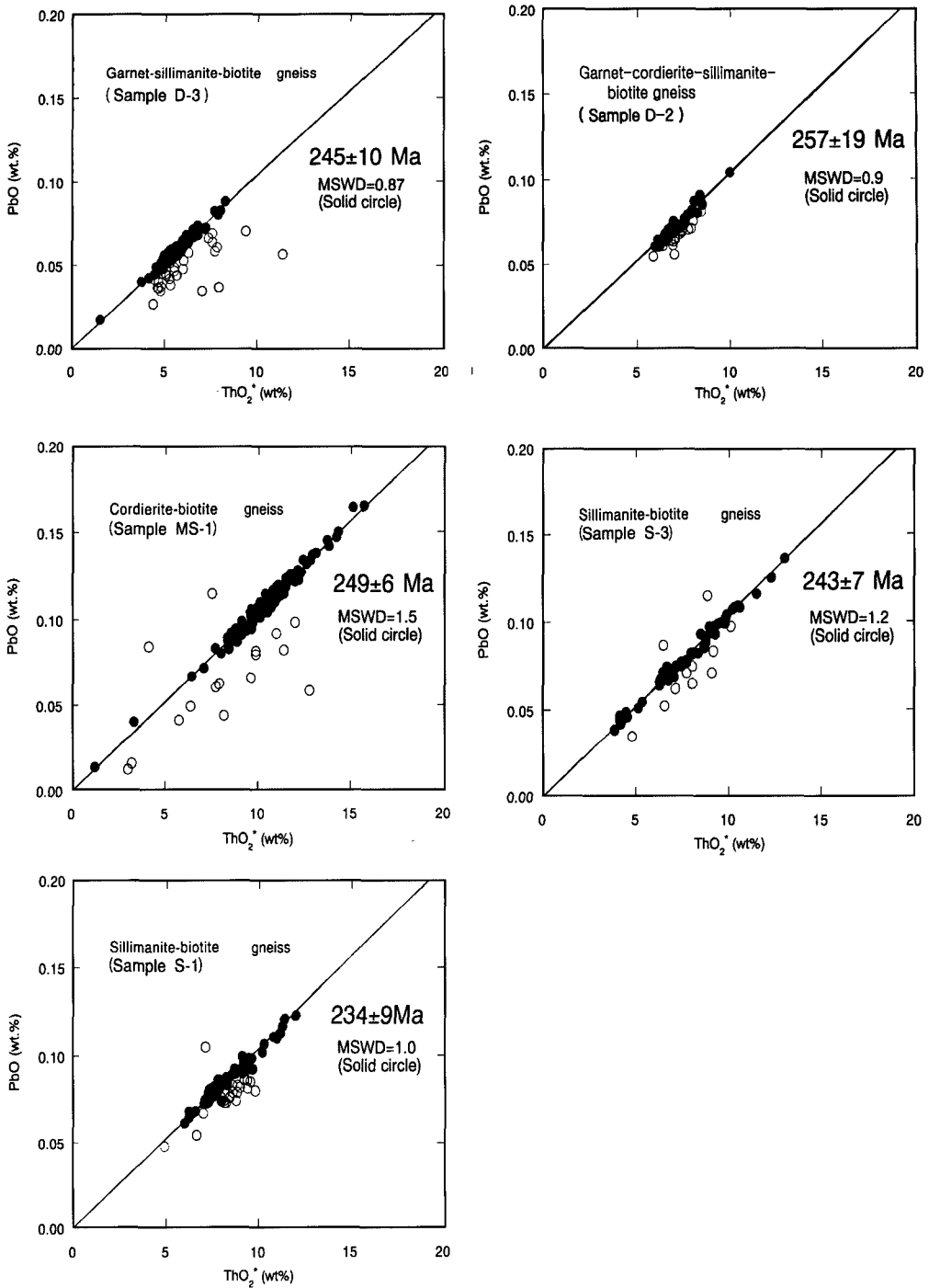


Fig. 2. CHIME dating results of the metamorphic rock samples from the Seoul, Dangjin and Shiheung areas, Gyeonggi Massif, South Korea. Solid circles from the grain mantle represent data used in calculation of the isochron age.

본 연구 결과는 한반도 북부지역 뿐만이 아니라 남부 지역에서도 송림변동의 영향을 크게 받았음을 의미하

고 있다.

Oh(2006)는 홍성지역 트라이아스기의 에클로자이트

(eclogite) (225~258 Ma)의 존재를 바탕으로 다비-수루 충돌대가 흥성지역으로 연장되고 있음을 보고 하였다. Kim *et al.*(2006)과 Oh *et al.*(2006b)의 연구에서 나타난 경기육괴의 변성 시기 범위는 231-248 Ma로서 본 연구에서 얻어진 모나자이트 CHIME연대인 234~257 Ma와 유사하며 다비-수루 충돌대의 초고압 변성시기인 220~242 Ma(Yang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2003, 2004)보다 다소 젊다. 이는 남중국과 북중국의 충돌이 중국지괴에서 보다 한반도 쪽에서부터 먼저 일어났을 가능성을 지시하며 이러한 제안은 Zhao and Coe(1987)이 고지자기 자료를 이용하여 남중국과 북중국 충돌이 동쪽에서부터 일어났음을 제시한 연구결과와 일치하고 있다.

또한 Cho(2001)은 경기육괴 남서부의 화강편마암의 관입연대가 812~822 Ma이며 이들이 223~235 Ma에 변성작용을 받았을 가능성이 있다고 보고하였다. 이러한 지질학적, 지질연대학적 결과는 중국 산둥반도의 수루 충돌대에서 얻어진 결과와 유사하다. 수루 충돌대 지역에서는 700~800 Ma의 관입 연령을 갖는 지오난 화강편마암 내에 변성된 초엽기성암, 변성엽기성암, 그리고 대리암이 렌즈형태로 나타나며(Wang *et al.*, 1989; Zhang and Liou, 1994; Kato *et al.*, 1997), 이들 암석들은 220~242 Ma 시기에 변성을 받았다(Yang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2003, 2004).

결과적으로 본 연구에서 얻어진 경기육괴 시흥-서산층군 변성암의 변성시기(234~257 Ma)는 비봉-흥성지역의 변성작용 연대(231 Ma, Kim *et al.*, 2006)와 오대산 지역(245-248 Ma, Oh *et al.*, 2006b)의 변성 연대와 유사하거나 오래되었다. 이 같은 연대측정 결과는 남중국과 북중국의 동쪽에 해당하는 한반도의 경기육괴 서산층군 지역에서 중국보다 먼저 지괴의 충돌이 일어나 그로 인한 변성작용을 받았을 가능성을 시사하고 있다.

6. 결 론

1. 지질층서 상 한반도에서 최고기 지층으로 알려진 경기육괴 서산층군과 시흥층군의 변성암 시료에 대하여 모나자이트 CHIME 연령 측정을 실시하였다. 그 결과 충남 당진에서 채취한 흑운모 편마암(D-3)에서는 245 ± 10 Ma, 호상 편마암(D-2)은 257 ± 19 Ma의 아이소크론 연령을 얻었고, 서울 대치동에서 채취된 흑운모 편마암(MS-1)에서는 249 ± 6 Ma의 아이소크론 연령이 얻어졌다. 그리고 경기도 시흥시에서 채취된 흑운

모 편마암(S-1)은 234 ± 9 Ma, 흑운모 편암(S-3)에서는 243 ± 7 Ma의 아이소크론 연령이 얻어졌다.

2. 연대측정 결과 경기육괴 시흥층군과 서산층군의 변성암의 모나자이트의 CHIME 연대는 234~257 Ma 범위를 가지며 이 시대는 페름기 후기-트라이아스기 중기에 속한다. 이 시기는 한반도에서 일어난 지각변동인 송림변동의 시기에 해당되며 송림 변동 시에 일어난 변성작용의 시대로 해석된다. 따라서 송림변동은 한반도의 북부지역 뿐만 아니라 남서부 지역에서도 광역적으로 일어났음을 시사한다.

3. 본 연구지역에서 얻어진 약 234~257 Ma의 CHIME 연대는 경기육괴의 비봉-흥성 지역의 변성시기인 231 Ma(Kim *et al.*, 2006)과 오대산 지역 245-248 Ma(Oh *et al.*, 2006b) 와도 유사한 범위내에 들어가며 중국대륙의 다비-수루 충돌대의 변성시기 220~242 Ma(Yang *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2003, 2004) 보다 다소 선행되었다. 이는 한반도의 경기육괴 서산층군과 시흥층이 분포한 지역에서 중국대륙에서도 먼저 남중국과 북중국지괴의 충돌이 일어났으며 이로 인하여 광역변성작용을 받았을 가능성을 시사하고 있다.

사 사

본 논문을 세심하게 심사하고 좋은 의견을 주신 오창환교수와 안건상교수께 감사사를 드린다. 원고정리에 수고한 이성은양에게도 감사한다.

참고문헌

- Chang, T. W. and Lee, S. Y. (1982) Explanatory text of the geological map of Seosan-Mohang sheets (scale 1:50,000), KIGAM.
- Cho, D. L., Choi, W. C., Suzuki, K., and Adachi, M. (1998) Preliminary report of CHIME and K-Ar ages of metamorphic rocks from the Koseong-Kanseoung area. Proceedings of the Joint meeting between the Korea Soc. Econ. Environ. Geol. and the Korea Soc. Groundwater Environ. p. 40-41.
- Cho, D. L., Kim, Y. J. and Richard, A. (2006) SHRIMP U-Pb geochronology of detrital zircons from iron-bearing quartzite of the Seosan Group: constrains on age and stratigraphy. Jour. Petrol. Soc. Korea. v. 15, p. 119-127.
- Cho, D. L., Kwon, S. T., Jeon, E. Y., and Armstrong, R. (2001) SHRIMP U-Pb zircon geochronology of an amphibolite and a paragneiss from the Samgot unit, Yeoncheon complex in the Imjingang belt, Korea: Tectonic implication. Proceedings of the Joint meeting between the Geol. Soc. Korea, Korea Soc. Econ. Envi-

- ron. Geol., Petroleum Geol. Soc. Korea and Petrol. Soc. Korea. p. 89.
- Cho, M. S. (2001) U-Pb zircon ages of metamorphic rocks from southwestern part of the Gyeonggi massif. Petrol. Soc. Korea Annu. Meeting, p.141-142.
- Cho, M. S. (2004) SHRIMP U-Pb zircon ages. Proceedings of Geol. Soc. Korea, p.11.
- Cho, M. S., Lee, K. W., Lee, S. R. and Stern, R. (1999) The oldest age of the crustal materials in South Korea: Proceedings of the Joint meeting between the Mineral. Soc. Korea and the Petrol. Soc. Korea, p.89.
- Cho, M., Lee, S. R., and Yi K.W. (1996) Clockwise P-T evolution of the granulite complex in the eastern Imjingang belt, Korea. 30th IGC Meeting, Abstract (vol.), p.597.
- Kato, T., Enami, A., and Zhai, M. (1997) Ultrahigh-pressure marble and eclogite in the Su-Lu ultrahigh-pressure terrane, eastern China. J. Metamorph. Geol. v.15, p.169-182.
- 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. Geochim. J. v. 33, p. 379-397.
- Kim, O. J. (1971) Study on the intrusion epochs of younger granites and their bearing to orogenies in South Korea. J. Kor. Inst. Mining Geol. v. 4, p.1-9.
- Kim, O. J. (1973) The stratigraphy and geologic structure of the metamorphic complex in the northwestern area of the Kyonggi massif. J. Kor. Inst. Mining Geol., v. 6, p. 201-208.
- Kim, S. W., Oh, C. W., Williams, I. S., Rubbato, D., Ryu, I. C., Rajesh, V. J., Kim, C. B., Guo, J. and Zhai, M. (2006) Phanerozoic high-pressure eclogite and intermediate-pressure granulite facies metamorphism in the Gyeonggi Massif, South Korea: Implications for the eastward extension of the Dabie-Sulu continental collision zone. Lithos v. 92, p. 357-377.
- Kwon, S. T., Cho, M., Jeon, E. Y., Lee, S. R. and Ree, J. H. (1995) Geochemistry of the Chuncheon amphibolite and its origin: (1) major elements, J. Petrol. Soc. Korea, v. 4, p. 20-30.
- Kwon, S. T., Jeon E. Y. and Ree, J. H. (1997) Rb-Sr biotite ages from metamorphic rocks of the Gyeonggi massif: Tectonic implications. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 33, p. 49-53.
- Lee, S. G., Song, Y. S. and Masuda, A. (1994) 1.2 Ga mineral isochron of Changhowon garnet gneiss. J. Geol. Soc. Korea, v. 30, p. 62-68.
- Lee, S. R., Cho, M., Hwang, J. H., Lee, B. J., Lim, Y. B. and Kim, J. C. (2003) Crustal evolution of the Gyeonggi massif, South Korea: Nd isotopic evidence and implications for continental growths of East Asia. Precam. Res. v. 121, p. 25-34.
- Lee, B. J., Kim, D. H., Choi, H. I., Gi, W. S. and Park, K.W. (1996) Explanatory text of the geological map of Daejeon sheets (scale 1:250,000). KIGAM, 59p.
- Liu, F. L., Xu, Z. Q. and Song, B. (2003) Determination of UHP and retrograde metamorphic ages of the Sulu terrane: evidence from SHRIMP U-Pb dating on zircons of gneissic rocks. Acta Geol. Sin, v.77, p. 230-237 (in Chinese with English abstract).
- Liu, F. L., Xu, Z. Q., Liou, J. G. and Song, B. (2004) SHRIMP U-Pb ages of ultrahigh pressure and retrograde metamorphism of gneisses, south-western Sulu terrane, eastern China. J. Metamorph. Geol., v. 22, p. 316-326.
- Min, J. H. (1999) Metamorphic ages of the metamorphic rocks from the Gyeonggi massif. MS Thesis, Yonsei University. p. 69.
- Oh, C. W. (2006) A new concept on tectonic correlation between Korea, China and Japan: Histories from the late Proterozoic to Cretaceous. Gondwana Research, v. 9, p. 47-61.
- Oh, C. W., Kim, C. B., Park, Y. S. and Kim, S. W. (2006a) SHRIMP U-Pb zircon ages of paleoproterozoic rocks from the Gyeonggi massif and their implications. Jour. Geol. Soc. Korea. v. 42, p. 587-606.
- Oh, C. W. Kim, S. W. and Williams, I. S. (2006b) Spinel granulite in Odesan area, South Korea: Tectonic implications for the collision between the North and South China Blocks. Lithos, v. 92, p. 557-575.
- Park, K. H. and Cheong, C. S. (1993) Preliminary study for the dating of marbles from Precambrian Kyeonggi gneiss complex. Jour. Petrol. Soc. Korea v. 2, p. 130-138.
- Park, K. H., Song, Y. S., Lin Cao, Wei Jin and Zhang, X. (2004) ⁴⁰Ar-³⁹Ar biotite and plagioclase ages of the gneisses from Gyeonggi massif. Jour. Petrol. Soc. Korea v. 13, p. 152-160.
- 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, v. 24, p. 1071-1074.
- Reedman, A. J. and Um, S. H. (1975) The Geology of Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 7, p. 139.
- Shin, S. C. and Jin, M. S. (1995) Chronological map of volcanic rocks in Korea (scale 1:1000000). KIGAM.
- Song, Y. S., Park, K. H., Park, M. E., Lin Cao, Wei Jin, Zhang, X. and Ryu, H. J. (2001) Petrological, geochemical and geochronological studies of Precambrian basement in Northeast Asia region: 2. Zircon ages of some metamorphic rocks from Gyeonggi massif. Jour. Petrol. Soc. Korea. v. 10, p. 95-105.
- Suzuki, K. and Adachi, M. (1991a) Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the south Katakami terrane, northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. Geochim. J., v. 25, p. 357-376.
- Suzuki, K. and Adachi, M. (1991b) The chemical Th-U-total Pb isochron ages of zircon and monazite from the gray granite of the Hida terrane, Japan. J. Earth Sci. Nagoya Univ. v. 38, p. 11-37.
- 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, v. 235, p. 277-292.
- Suzuki, K., Adachi, M., and Kajizuka, I. (1994) Electron microprobe observation of Pb diffusion in metamorphosed detrital monazites. Earth Planet. Sci. Lett., v. 128, p. 391-405.
- Suzuki, K., Adachi, M., and Kato, T., Yogo, S. (1999)

- CHIME dating method and its application to the analysis of evolutionary history of orogenic belts. *Chikyukagaku (Geochemistry)*, v. 33, p. 1-22.
- Turek, A. and Kim, C. B. (1996) U-Pb zircon ages for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and southwestern Gyeonggi massifs, Korea. *Geochem. J.*, v. 30, p. 231-249.
- Wang, X., Liou, J.G., and Mao, H. K. (1989) Coesite-bearing eclogites from the Dabie Mountains in central China. *J. Geol.*, v. 17, p. 1085-1088.
- Yang, J., Zhang, J. X., Meng, F. C., Shi, R., Wu, C., Xu, Z. Q., Li, X. B. and Chen, S. Y. (2003) Ultrahigh pressure eclogites of the North Qaidam and Altun Mountain, NW China and their protoliths. *Earth Sci. Front.* v.10, p. 291-314 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, R. Y. and Liou, J. G. (1994) Coesite-bearing eclogite in Henan Province, central China: detailed petrography, glaucophane stability and P-T path. *Euro. J. Mineral.*, v. 6, p. 217-233.
- Zhao, X. and Coe, R. S. (1987) Palaeomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China. *Nature*, v. 327, p. 141-144.

2007년 8월 8일 원고접수, 2008년 3월 3일 게재승인.