

## 경상분지 북동부 선캠브리아기 기반암류와 백악기 하양층군 사암의 저어콘 결정 형태학 및 사암의 기원암

이윤종<sup>1</sup> · 이용태<sup>2</sup> · 김삼욱<sup>2</sup> · 신영식<sup>2</sup> · 김종욱<sup>3</sup> · 하야시 마사오<sup>4</sup> · 고인석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 지구과학교육과, <sup>2</sup>경북대학교 지질학과,

<sup>3</sup>대구교육대학교 과학교육과, <sup>4</sup>큐우슈우산업대학, 후쿠오카 813, 일본

**요약** : 경상분지 북동부에 분포하는, 하양층군 사암의 기원암을 규명하기 위하여 일직층, 후평동층 및 점곡층의 층위별 사암과, 그 기반암인 선캠브리아기 편마암류와 주라기 화강암류에 대해 저어콘 지수값과 저어콘 결정의 형태학적 특징을 비교분석하였다. 저어콘 지수값과 형태학적 특징의 유사성에 바탕하여 하양층군 퇴적암의 기원암을 해석하면 일직층과 후평동층의 사암은 선캠브리아기의 화강편마암과 흑운모 호상편마암, 그리고 점곡층의 사암은 주라기 안동화강암과 청송화강암에서 각각 기원하였을 것으로 판단된다. 기존 연구자료에서 일직층 퇴적초기부터 후평동층이 퇴적되는 동안, 퇴적분지 주변부 지형은 기복이 상당히 심하여 지형적인 조건에 따라 고수류의 방향이 서북향(西北向) 또는 서남향(西南向)이었던 점을 고려하면, 일직층 퇴적기에는 본역의 남동부에 위치하였던 편마암류가, 후평동층 퇴적기에는 본역 북동부의 편마암류가, 그리고 점곡층 퇴적기에는 본역 동부에 위치한 청송 용기부의 청송화강암이 퇴적물의 주 공급원이었음이 밝혀졌다. 후평동층이 퇴적을 완료할 즈음에는, 선캠브리아기 편마암류로된 기원지는 상당히 삭박당하여, 평탄화되면서 그 분포 면적이 협소해졌으며, 점곡층 퇴적기에는 편마암류를 관입한 주라기 화강암류가 본격적으로 침식을 당하기 시작하였고, 퇴적분지는 동쪽으로 확장하였던 것으로 해석된다.

**핵심어** : 경상분지 북동부, 선캠브리아기 편마암류, 주라기 화강암류, 하양층군 사암, 저어콘 결정형태, 기원암

### 서 언

화성암, 퇴적암, 변성암내에는 저어콘이 부수 광물로 산출되고 있다. 단일 화성암체 내 저어콘 입자들이 동일 생성시대를 갖는데 비하여, 퇴적암과 변성암의 것들은 다른 생성시대를 가질 수도 있다. 퇴적암의 경우, 사암 시료내에서도 원마도나 색깔이 매우 다른 저어콘 결정들이 혼재되고 있어 그 기원암이 아주 상이한 것으로부터 유래되었음을 시사하고 있다(Basu and Molinaroli, 1989; Koh and Lee, 1993; Lee, 1995). 본역 사암의 80메쉬(175  $\mu\text{m}$ )이하의 입도에서 관찰된 저어콘의 신장지수는 대부분이 0.38-0.34이며 매우 드물게 0.45인 것이 발견된다. 같은 시료라도 입도가 더 작은 실트 입도(32  $\mu\text{m}$ )로 내려가면, 운반과정에 별로 마모가 되지 않기 때문에 신장지수는 월등 증가하고 자형에 가까운 것이 많이 관찰된다(Lee *et al.*, 1999). 이번 연구에서는 80메쉬 이하의 저어콘이 사용되었다. 저어콘의 원마도가 높은 것은 신장지수가 낮게 마련이며 이런 것은 주로 재동(reworked)된 것으로 퇴

적암이나 퇴적원 변성암에서 유래되었음이 확실하다(Poldervaart, 1955). 이렇게 볼 때, 퇴적암내에 저어콘의 결정형태학적 연구는 그 기원암을 추적하는데 매우 중요한 수단이 될 것으로 믿어진다. 지금까지 우리나라에서는 이런 연구가 수행된 바 없으므로, 이미 상당히 축적된 화성암의 저어콘의 결정형태학적 연구결과는 크게 도움이 될것이다.

화성암의 저어콘의 결정형태는 모암의 암형에 따라 광범위한 변동성을 보여 주고 있다. 따라서 지구 과학자들은 저어콘의 결정 형태에 대하여 많은 관심과 더불어 연구를 하여왔다(Poldervaart, 1956; Larsen and Poldervaart, 1957; Byerly *et al.*, 1975). 저어콘의 결정형태가 화강암질 마그마의 온도와 화학조성에 밀접한 연관성을 가지고 있다는 것이 밝혀졌다(Pupin, 1980). 저어콘의 결정형태에 대한 기재는 정성적인 점을 감안하여 최근 다양한 저어콘의 결정형을 정량적으로 기술하는 방법이 제안되고 있고, 화성암 성인론과 지구과학에의 응용에 관심이 모아지고 있다. 화성암의 저어콘은 마그마의 온도, 냉각 속도, 모암의 화학조성 등에 따라

서 저어콘 결정형태의 다양성을 보여주고 있다. 즉 저어콘에서는 {110}, 고온에서는 {100}주면이 발달하고(Pupin, 1980), 마그마의 결정분화 초기에는 단주상, 후기로 갈수록 장주상의 저어콘이 발달한다(Hayashi, 1990). 특히 결정의 정출분화작용이 진행되는 동안 주위 암석과 혼합된 경우는 이질적인 저어콘 결정(accident zircon)이 혼재되어 나타난다(Hayashi *et al.*, 1990; Zen *et al.*, 1991). 저어콘의 결정형태가 화성작용과 연관시켜 논의(Lee *et al.*, 1994) 되었고, 심성암류의 성인적 환경이 밝혀진바 있다(이윤종과 이철락, 1993; 이윤종 외, 1995). 일본 북큐슈(北九州) 백악기 화강암류 저어콘이 화강암류의 암형에 따라 그 다양성이 밝혀진바 있다(Lee and Hayashi, 1995; Ishihara, 1977; Ishihara *et al.*, 1979). 큐슈유지역 화산암류의 저어콘 결정형태에 대해서도 논의된바 있다(Hayashi, 1993).

이번 연구는 본역내 분포하는 선캠브리아기 변성

암류 및 유라기화강암류의 저어콘 결정의 형태학적 특징과 백악기 하양층군의 일직층, 후평동층 및 점곡층 사암의 저어콘 결정의 형태학적 특징을 비교 분석하여 하양층군 퇴적물의 기원암을 밝히고자 한다.

### 지질개요 및 암석기재

연구지역(이하 본역)은 한반도 동남부에 위치하고 있으며 1:50,000 천지도도폭 전역과 부분적으로 중평동 도폭 및 구산동 도폭 지역을 점하고 있다(김남장 외, 1970; 장기홍 외, 1977; 장기홍 외, 1978). 본역은 선캠브리아기의 화강편마암과 흑운모호상편마암 등의 변성암류와 유라기의 안동화강암 및 청송화강암 등의 심성암류가 백악기 하양층군 퇴적암류의 기반을 이루고 있다. 백악기에 들어와 상기 기반암 위에 부정합적으로 일직층이 놓이고 계속해서 후평동층, 점곡층 등의 퇴적암류가 퇴적되었다(Fig. 1).

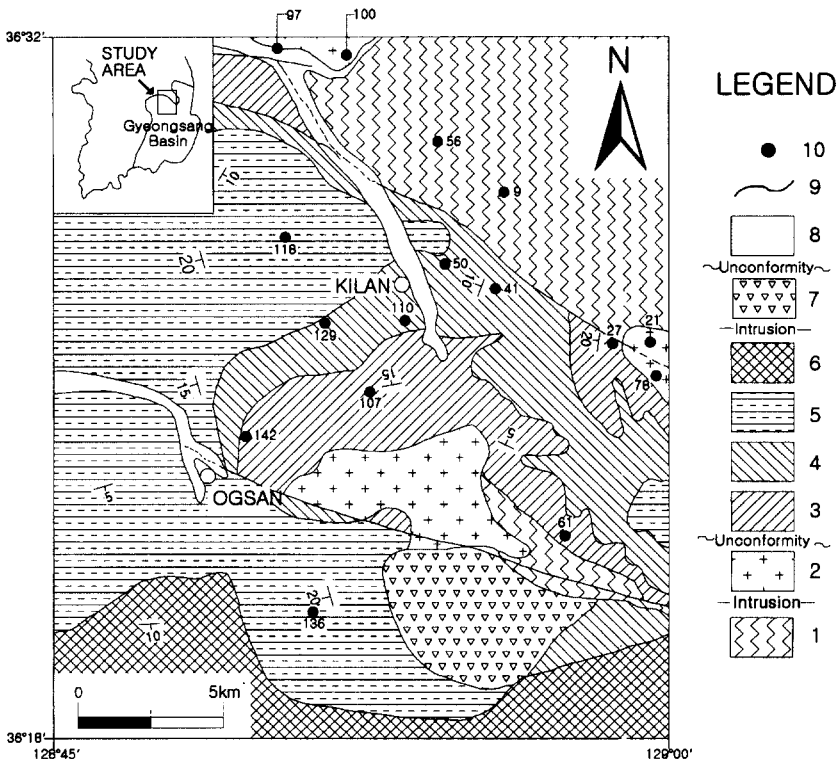


Fig. 1. Geological map of the study area(modified from Kim *et al.*, 1970; Chang *et al.*, 1977; Chang *et al.*, 1978).  
 1: Precambrian basement rocks(Granite gneiss, Biotite banded gneiss), 2: Jurassic basement rocks(Andong granite, Cheongsong granite), 3-6: Cretaceous sedimentary strata(3: Iljig Formation, 4: Hupyeongdong Formation, 5: Jeomgog Formation, 6: Sagog Formation), 7: Cretaceous quartz porphyry, 8: Quaternary alluvium, 9: Fault, 10: Sampling locality.

## 선캠브리아기 변성암류

### 화강편마암

본암은 본역의 남동부에 소규모로, 그리고 본역 북동단부의 반변천 남부지역에 넓게 분포한다(장기홍 외, 1978). 혼성암화작용(migmatization)과 변성분화작용에 의하여 다양한 암상을 보이거나 대개 조립질이고 화강암질인 것이 특징이다. 부분적으로 유색광물이 대상으로 취합된 멜라노솜(melanosome)부분을 보여주고, 페그마타이트질 내지 화강암질 부분이 우세한 류코솜(leucosome)부분이 뚜렷하여 전형적인 편마암조직을 보이기도 한다.

경하관찰에 의하면, 주구성광물은 석영, 정장석, 미사장석이고, 부성분광물은 사장석, 흑운모, 각섬석, 불투명광물이며 미사장석은 퍼사이트(perthite)를 이루고, 정장석중에 석영이 문상조직을 보여주기도 한다. 석영과 K-장석의 함량은 대략 같은 비이다.

### 흑운모 호상 편마암

본암은 본역의 북동부에 광범위한 분포를 보이며 남동부에 소규모로 분포한다. 뚜렷한 편마암상 구조를 띠고 있어, 규질대와 유색대가 호상을 보이고 있다. 주구성광물은 석영, 정장석, 흑운모이고, 부성분광물로는 미사장석, 사장석, 각섬석, 저어콘, 백운모 등이다. 석영은 파쇄소광을 하며, K-장석이 사장석보다 단연 많다. 운모류는 흔히 녹니석으로 변질되어있고, 정장석내에는 밀메카이트조직(myrmekite texture)을 보이는 것도 있다.

### 쥬라기 화강암류

#### 안동화강암

본암은 본역의 북동부, 중북단 등지에 소규모로 노출되어 있으나, 복잡하는 중평동 도폭으로 넓게 연장된다(김남장 외, 1970). 본암은 외관상으로 거립인 것으로 특징지어지며 거정의 담백색 정장석류를 다량 포함한다. 본암은 대부분 흑운모화강암으로 이루어지나, 때로는 흑색광물이 희귀해지는 반면, 선상배열을 이루고 있어 편상구조를 보여주기도 한다. 국부적인 현상으로는 흑색광물(주로 흑운모)과 백색광물(주로 사장석)이 대상배열을 보여주며 편리를 따라 석영맥 또는 페그마타이트맥이 관입하므로 주입

편마암상(注入片麻岩狀) 내지 호상편마암상(縞狀片麻岩狀)을 형성하고 있다.

경하관찰 결과, 반상변정석리를 보이며 구성광물은 미사장석, 알바이트, 석영 및 흑운모이며 부성분광물은 스펀과 자철석이다. 미사장석이 반상변정을 이루고 있으며 장석들은 주변부가 용식되어 불합상을 이루고 있다. 석영은 압쇄구조를 보이며 재결정되어 한 방향으로 신장되었거나 세립으로 파쇄되었다. 흑운모는 집합상으로 나타나며 이부분에 스펀과 철광물이 수반되고, 부분적으로 녹니석화되었다.

### 청송화강암

본암은 임봉산을 중심으로해서 본역의 중앙부에 광범하게 분포되었고, 중동단부 지경동부근에 소규모로 노출되어있다(장기홍 외, 1978). 본 화강암체는 일지층에 의하여 부정합적으로 피복되고 있어 쥬라기 관입암체로 사료되며, 중립 내지 조립질로서 흑운모-각섬석화강암이다. 본암은 일반적으로 담홍색의 풍화면을 가지며, 편마암과 접촉부 부근에서는 반상화강암의 양상을 띠나, 임봉산 서쪽에서는 거정화강암의 양상을 보여주고 있다.

지경동부근의 시료를 경하관찰 결과, 주구성광물은 정장석, 사장석, 미사장석, 석영이고 유색광물로 흑운모, 각섬석 등이고, 부성분광물로는 스펀, 백운모 그리고 불투명광물이 포함된다. K-장석이 약40% 정도로 우세하고 사장석은 라브라도라이트계열의 것이 많고 대부분 견운모화 되어있다.

### 백악기 퇴적암류(하양층군)

#### 일지층(백자동층)

본층은 본역에서는 청송화강암위에 부정합적으로 놓이며 임봉산을 둘러싸고 궁상(弓狀)으로 분포한다(장기홍 외, 1978). 청송용기부 주변지역(청송도폭역)을 거쳐 영양소본지대로 연장한다(Chang et al., 1988). 본층의 총후는 약 700 m이며, 3개의 암대로 나눌 수 있다.

기저역암대(300 m)는 역암 및 역질사암으로 구성된다. 본대 하부는 주로 역암으로 구성되며, 역들은 원마도가 양호하고, 대개가 장경 30 cm 크기이다. 본대 기저에는 직경 1m가 넘는 거력(boulder)도 포함된다. 본대의 세설물 입도는 위로 갈수록 점차 세립화한다. 그러나 본대와 중부의 함력대의 경계는 갑작스런 입도변화를 보인다.

중부(중하부, 중상부)의 함력대(250 m)는 사암, 역암 및 셰일로 구성된다. 역의 크기는 장경 10 cm내외 및 그 이하이다. 조립사암은 백색이나 이질암은 회적색(灰赤色)이다.

본층 상부의 세립암대(150 m)는 그하부에 백색조립 사암, 녹회색 사암 및 셰일이 있으며, 그 상부에는 석회질 단괴를 흔히 가지는 적색 셰일이 있다.

고란동부근 본층 하부 및 상부 사암의 경하관찰 결과는 다음과 같다. 상하부 사암들의 구성광물의 종류는 대동소이하다. 평균함량은 석영 37.9%, 처트 2.5%, 정장석 20.7%, 사장석 15.0%, 암편 3.9%, 입간 물질 17.0%, 기타 1.1%이다. 처트는 하부보다는 상부의 함량이 약간 높고, 하부의 처트가 대부분이 복결정질의 것인데 비하여 상부는 비정질이며 경하에서 회색을 띤다. 입간물질은 대부분이 점토광물로서 상부에서는 응회암질인 것도 발견된다. 관찰된 사암들은 Folk(1974) 분류안에 따르면 모두 알코즈 사암이며 광물의 성숙도는 하부가 1.22, 상부가 1.07이다.

### 후평동층

본층은 신기동-천지동 및 길안-청송 도로변 양측에 분포되어 있고, 천지동에서 대규모로 북동방향으로 환상(環狀)으로 발달하여 중평동 도폭으로 연장된다(김남장 외, 1970; 장기홍 외, 1978). 본층은 일직층 위에 정합적으로 놓이며, 그 층후는 길안-만음동간에서 700 m이다.

본층의 하부는 일반적으로 적색셰일, 사암 및 역암으로 구성된다. 역암은 전형적인 경우, 적색 및 잡색의 처트, 세립화산암 및 기타 성분의 역을 가진다. 본층 중부(중하부, 중상부) 및 상부는 적색 이질암과 백색 내지 적색, 중립 내지 세립사암의 호층이라 볼 수 있으며, 상부로 갈수록 녹회색 이질암과 세립사암이 협재된다. 본층 상부에 녹색 조립 응회암층이 협재된다. 천지동부근 사암의 경하관찰 결과, 석영 38.5%, 처트 8.0%, 정장석 22.5%, 사장석 6.0%, 암편 4.3%, 입간물질 17.8%, 기타 1.0%이다. 하위의 일직층에 비하여 사장석의 양이 감소하고, 처트의 양이 증가하고 있다. Folk(1974)의 분류안에 따르면 사암형은 알코즈사암에 속한다. 광물의 성숙도는 하부가 1.17, 상부가 1.48이다.

### 점곡층

본층은 본역의 서반부의 대부분을 점하며 광범하

게 분포하고 있다(장기홍 외, 1978). 본층은 후평동층을 정합적으로 피복하고, 사곡층에 의하여 정합적으로 덮이며 층후는 950 m이다. 본층은 주로 사암과 셰일로 구성되며 세력암과 응회암을 협재한다. 암색은 회색 내지 녹회색이 위주이나 약간의 적색층도 협재된다.

본층의 하부는 회색대로서 사암 및 셰일로 구성되며, 암색은 중회색 내지 암회색이다.

본층의 중부는 중암록회색(medium dark greenish gray 5GY 5/1) 사암과 이질암인데, 흔히 응회암질이다.

본층 상부는 회색대로서 본역의 서남부에 반월형으로 분포하며, 사암과 이질암이 위주이고 세력암층(두께 20 cm)이 협재된다. 일반적인 암색은 회색 내지 짙은 회색이 특징이다.

본층의 사암을 경하에서 관찰하면, 골격입자(frame-work grain)는 석영과 장석이 대부분이다. 석영은 파동소광과 직소광을 띠는 것들이 대부분이고, 간혹 복결정질인 것도 발견된다. 하부에 34°의 소광각을 가진 사장석과 퇴적이후에 상당히 견운모화한 정장석을 함유하며, 염기성화산암편 및 석회질 셰일편의 암편도 드물게 관찰된다. 중부 사암은 기질이 석회질 이질물이며 단주상의 흑운모와 세편의 백운모가 미량으로 존재하며, 자생적인 황철석도 관찰된다. 상부 사암의 입간물질은 점토광물과 녹니석이다. 녹니석은 석영주위에 밀집되어 있기도 하고, 점토광물과 함께 뒤섞여 있기도 한다. 녹니석은 퇴적 변질의 산물이며, 암색이 녹회색을 띠는 것은 주로 녹니석 때문이다. 경하 관찰된 시료들의 구성성분의 평균함량은 석영 32.7%, 정장석 23.5%, 사장석 6.6%, 처트 5.7%, 암편 3.4%, 입간물질 19.4%, 기타 1.0%이다. 광물의 성숙도는 0.90내외로, Folk(1974)의 분류안에 따르면 모두 알코즈 사암에 속한다.

### 시료의 준비 및 실험

본역의 선백악기 변성암류와 심성암류 및 백악기 하양층군(일직층, 후평동층, 점곡층) 사암으로부터 저어콘 결정을 분리하였다. 각 암상에 있어서 암석 시료는 선캠브리아기의 화강편마암(LK-56)과 흑운모 호상편마암(LK-9)에서 각각 1개 그리고 주라기의 안동 화강암(LK-97, LK-100) 및 청송화강암(LK-78, LK-21)에서 각각 2개의 암석시료에서 저어콘을 분리하였다. 백악기의 하양층군 사암은 각 층별로 위치에 따라 3~4개로 분대하여 채취하였다. 즉 일

Table 1. Zircon morphology data of Hayang Group sandstones and pre-Cretaceous basement rocks.

| Age                          | SAMPLE           |           | W(mm)       | H(mm)       | PI          | PY        | EI        | FI         | ZI        |
|------------------------------|------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|-----------|
|                              | Name             | No.       |             |             |             |           |           |            |           |
| Cretaceous<br>(Hayang Group) | Jeomgog Fm       | U LK-136  | 0.064±0.007 | 0.138±0.030 | 0.52±0.12   | 0.41±0.06 | 0.34±0.09 | 0.81±0.13  | 5438(64)  |
|                              |                  | M LK-118  | 0.061±0.010 | 0.137±0.029 | 0.54±0.15   | 0.42±0.07 | 0.36±0.07 | 0.87±0.10  | 5449(61)  |
|                              |                  | L LK-113  | 0.066±0.012 | 0.142±0.046 | 0.53±0.13   | 0.40±0.05 | 0.33±0.09 | 0.85±0.11  | 5439(66)  |
|                              |                  | Average   | 0.063±0.010 | 0.139±0.035 | 0.53±0.13   | 0.41±0.06 | 0.34±0.08 | 0.84±0.11  | 5438(63)  |
|                              | Hupyongdong Fm   | U LK-50   | 0.059±0.013 | 0.128±0.036 | 0.60±0.13   | 0.34±0.04 | 0.37±0.05 | 0.79±0.11  | 6348(59)  |
|                              |                  | UM LK-41  | 0.067±0.010 | 0.155±0.027 | 0.60±0.16   | 0.37±0.07 | 0.37±0.08 | 0.83±0.13  | 6448(67)  |
|                              |                  | LM LK-129 | 0.058±0.017 | 0.147±0.051 | 0.64±0.13   | 0.36±0.06 | 0.41±0.08 | 0.79±0.12  | 6448(58)  |
|                              |                  | L LK-110  | 0.056±0.011 | 0.117±0.030 | 0.63±0.11   | 0.34±0.07 | 0.36±0.09 | 0.083±0.13 | 6348(56)  |
|                              |                  | Average   | 0.060±0.013 | 0.137±0.036 | 0.62±0.13   | 0.36±0.06 | 0.38±0.08 | 0.81±0.12  | 6448(60)  |
|                              | Iljig Fm         | U LK-142  | 0.066±0.016 | 0.160±0.030 | 0.60±0.15   | 0.41±0.04 | 0.39±0.12 | 0.85±0.05  | 6449(66)  |
|                              |                  | UM LK-107 | 0.061±0.007 | 0.141±0.030 | 0.61±0.15   | 0.39±0.07 | 0.39±0.08 | 0.78±0.13  | 6448(61)  |
|                              |                  | LM LK-27  | 0.063±0.014 | 0.158±0.041 | 0.57±0.12   | 0.40±0.07 | 0.40±0.07 | 0.83±0.12  | 6448(63)  |
|                              |                  | L Lk-61   | 0.066±0.016 | 0.151±0.038 | 0.61±0.13   | 0.41±0.09 | 0.36±0.08 | 0.85±0.10  | 6448(66)  |
|                              |                  | Average   | 0.064±0.013 | 0.153±0.034 | 0.60±0.15   | 0.40±0.07 | 0.36±0.09 | 0.83±0.10  | 6448(64)  |
|                              | Subtotal Average |           |             | 0.066±0.026 | 0.150±0.069 | 0.58±0.15 | 0.39±0.06 | 0.37±0.83  | 0.83±0.11 |
| Jurassic                     | Cheongsong gr    | LK-21     | 0.066±0.006 | 0.141±0.020 | 0.43±0.12   | 0.30±0.03 | 0.39±0.06 | 0.90±0.07  | 4349(66)  |
|                              |                  | LK-78     | 0.067±0.006 | 0.160±0.013 | 0.46±0.12   | 0.38±0.06 | 0.36±0.06 | 0.86±0.09  | 5449(67)  |
|                              |                  | Average   | 0.067±0.006 | 0.151±0.017 | 0.45±0.16   | 0.34±0.05 | 0.38±0.06 | 0.88±0.08  | 5349(67)  |
|                              | Andong gr        | LK-100    | 0.063±0.021 | 0.159±0.063 | 0.46±0.17   | 0.32±0.07 | 0.44±0.08 | 0.85±0.10  | 5349(63)  |
|                              |                  | LK-97     | 0.071±0.009 | 0.183±0.038 | 0.44±0.09   | 0.36±0.11 | 0.45±0.09 | 0.80±0.10  | 4458(71)  |
|                              |                  | Average   | 0.067±0.015 | 0.171±0.051 | 0.45±0.13   | 0.34±0.09 | 0.45±0.09 | 0.83±0.10  | 5459(67)  |
| Subtotal Average             |                  |           | 0.067±0.011 | 0.161±0.034 | 0.45±0.15   | 0.34±0.07 | 0.42±0.08 | 0.86±0.09  | 5459(67)  |
| Precambrian                  | bi-banded gn     | LK-9      | 0.060±0.008 | 0.134±0.017 | 0.55±0.12   | 0.44±0.06 | 0.38±0.06 | 0.73±0.10  | 6447(60)  |
|                              | gr gn            | LK-56     | 0.066±0.013 | 0.150±0.033 | 0.57±0.16   | 0.44±0.08 | 0.36±0.09 | 0.77±0.14  | 6448(66)  |
|                              | Subtotal Average |           |             | 0.063±0.011 | 0.142±0.025 | 0.56±0.14 | 0.44±0.07 | 0.37±0.08  | 0.75±0.12 |

Mean and standard deviation for each terms from about 30 grains of zircon crystals for each rock sample. W: Crystal width, H: Crystal height, PI: Prism Index, Py: Pyramid Index, EI: Elongation Index, FI: Flatness Index, ZI: Zircon Index, L: Lower, LM: Lower Middle, UM: Upper Middle, U: Upper, M: Middle.

직층은 하부(LK-61); 중하부(LK-27, LK-85, LK-67); 중상부(LK-107, LK-104, LK-39); 상부(LK-142, LK-104, LK-109)로, 후평동층은 하부(LK-110, LK-111); 중하부(LK-129, LK-131, LK-128); 중상부(LK-41, LK-44, LK-125); 상부(LK-50, LK-51, LK-48, LK-44)로, 점곡층은 하부(LK-113, LK-12, LK-152); 중부(LK-118, LK-139, LK-122, LK-120); 상부(LK-136, LK-152)로 각각 분대하였다. 각 분대에서 밀줄 친 시료번호는 대표 시료 번호로서 Table 1에 나타나 있으며, 그 밖의 시료번호는 대표 시료에 포함시킴으로써 분대된 층별로 약 30개 입자의 저어콘을 측정하였다. 이렇게 1개의 층에서 4개

또는 3개로 분대한 이유는, 하나의 암석 시료에서 측정 가능한 형태를 갖춘 충분한 저어콘 입자를 얻기가 어려웠을 뿐만 아니라 분대를 함으로써 층의 하, 중, 상부에서 저어콘 결정형태의 변화거동을 알아보기 위해서였다.

각 암석 시료에서 500 g씩 취하여 조립파쇄기로 장경 2 cm정도 이하로 파쇄하고 디스크분쇄기(disc pulverizer)와 스탬프분쇄기(stamp mill)을 사용하여 분쇄한 후, 물로 씻어 80메쉬의 체를 통과한 광물 입자들을 취하여 막대자석을 사용하여 강자성 광물 및 상자성 광물을 분리시킨 다음, 팬닝으로 각 암석 시료당 약 30개 이상의 저어콘 결정을 분리하였

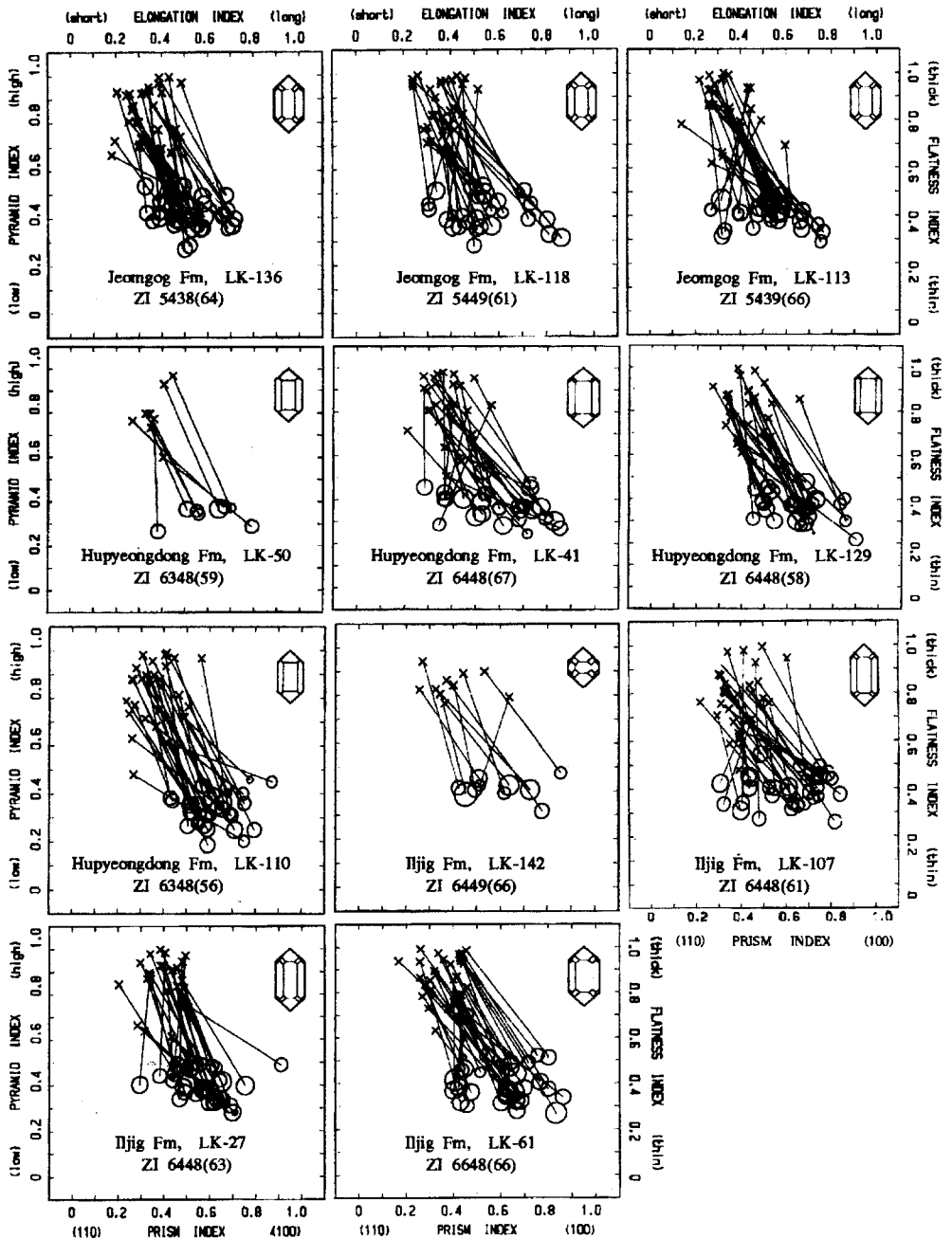


Fig. 2. PPEF diagrams for zircons from Hayang Group sandstones (Iljig, Hupyeongdong and Jeomgog Formations).

다. 그러나 변성암류, 심성암류에서는 각 암석 시료 당 약 30개 이상의 저어콘 결정분리가 가능하나 퇴적암류에서는 일직층 하부의 1개의 사암(LK-61)을 제외한 대부분의 사암 시료에서 기준량에 미치지 못하는 적은 양의 저어콘이 회수됨에 따라 일직층

과 후평동층은 각각 하부, 중하부, 중상부, 상부로, 그리고 점곡층은 하부, 중부, 상부로 분대하여 각 분대에서 2개~4개의 암석 시료로부터 분리된 저어콘 결정들을 합하여 약 30개 이상의 측정 가능한 저어콘 결정을 선별하여 측정하였다. Table 1 및

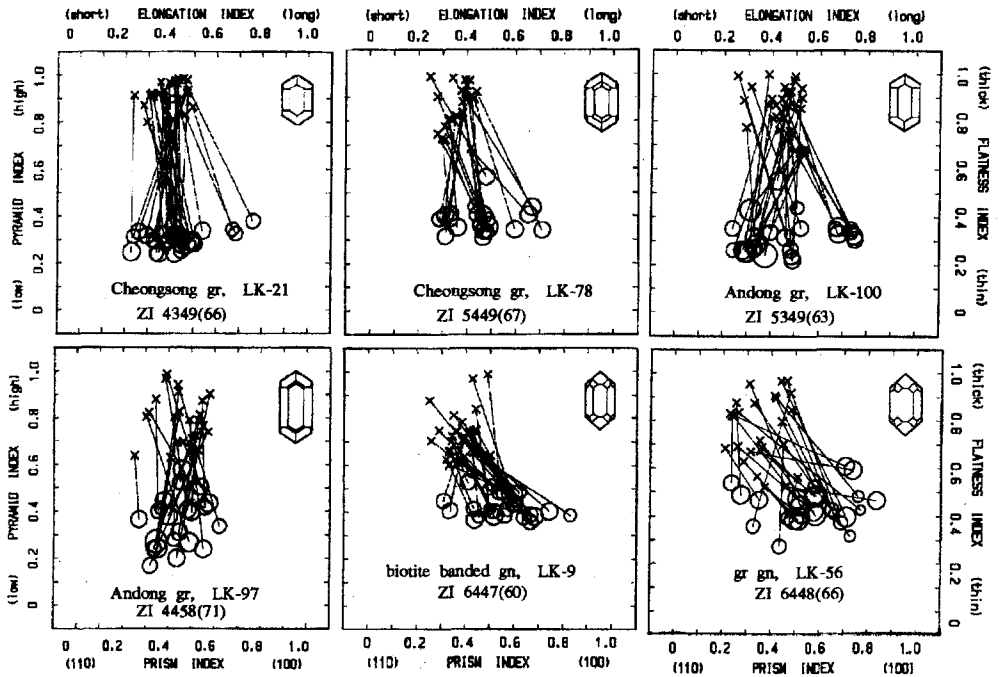


Fig. 3. PPEF diagrams for zircons from Precambrian gneisses(granite gneiss and biotite banded gneiss) and Jurassic granites(Andong granite and Cheongsong granite).

Fig. 2, Fig. 3의 퇴적암류의 시료번호는 각 분대별 대표시료번호이다.

### 저어콘의 형태학적 지수

저어콘의 일반적인 결정면은 주면으로는 {100}과 {110}, 추면으로는 {101}과 {211}이 나타난다. 그 외에 {112}, {301}, {321}, {001}도 나타날 수 있다.

각 결정면의 식별을 위해서는 {100}에 투영된 결정형을 100형, {110}에 투영된 결정형을 110형으로 부르고 있다. 추면이 이루는 정각(頂角)중 가장 중요한 것은 100형에서는 주면의 정각 또는 {101}면의 정각이 96°, {110}형에서는 주면의 정각과 추면의 정각이 모두 116°이다. 양자를 식별하는데 특히 유효한 점은 100형에서는 {101}의 정각이 96°이므로 직각에 가까운 느낌을 주는 반면, 100형에서는 116°이므로 둔각을 확실히 보여 주므로 이들 두 결정을 식별할 수 있다.

저어콘의 결정 형태를 정량적으로 표시하기 위하여 Hayashi(1990)는 네 개의 지수들을 제안했으며, 이들은 모두 0.0~1.0 사이의 값을 갖는다. 저어콘의 형태학적 지수가 제안된 이래, 그동안 여러 자료들이 축적되어 왔으며 축적된 자료들로부터 네

개의 지수들은 다음과 같이 세분되었다.

주면지수(Prism Index: PI)는 저어콘 결정에서 {110}과 {100}의 두 주면이 상대적으로 발달한 정도로서, {110}형( $PI < 0.2$ ); {110}>{100}형( $0.2 < PI < 0.4$ ); {110}={100}형( $0.4 < PI < 0.6$ ); {110}<{100}형( $0.6 < PI < 0.8$ ); {100}형( $0.8 < PI$ )으로 세분된다.

추면지수(Pyramid Index: PY)는 대상 시료의 추면 높이와 {301} 추면이 있는 이상형 결정의 추면 높이를 비교한 것으로, 극저추상( $PY < 0.2$ ); 저추상( $0.2 < PY < 0.4$ ); 중추상( $0.4 < PY < 0.6$ ); 고추상( $0.6 < PY < 0.8$ ); 극고추상( $0.8 < PY$ )으로 세분한다.

신장지수(Elongation Index: EI)는 주면이 C축을 따라 성장한 정도로서, 극단주상( $EI < 0.2$ ); 단주상( $0.2 < EI < 0.4$ ); 중주상( $0.4 < EI < 0.6$ ); 장주상( $0.6 < EI < 0.8$ ); 극장주상( $0.8 < EI$ )으로 세분된다.

편평지수(Flatness Index: FI)는 저어콘 결정의 두께를 폭으로 나눈 값으로, 매우 얇은 형( $FI < 0.2$ ); 얇은 형( $0.2 < FI < 0.4$ ); 중간형( $0.4 < FI < 0.6$ ); 두꺼운 형( $0.6 < FI < 0.8$ ); 매우 두꺼운 형( $0.8 < FI$ )의 아형으로 세분된다.

하나의 암석 속에 들어 있는 저어콘 결정들의 네 개의 지수 값을 PPEF도에 동시에 나타낼 수 있다 (Fig. 2, 3). 한편 Hayashi(1993)는 이들 네 개의 지

수값에 10을 곱하여 소수점 이하를 반올림한 후 주면지수, 측면지수, 신장지수, 편평지수, 결정의 폭 순으로 배열시킨 후 결정의 폭은 팔호 속에 나타내는 소위 "저어론 지수(Zircon Index: ZI)와 결정의 폭"을 제안하여 보다 간단하게 기재할 수 있도록 하였다. 이때 팔호 속의 결정의 폭 단위는  $\mu\text{m}$ 이다.

### 결과 및 토의

본역의 암형별, 퇴적암의 층별 저어론 결정의 형태학적 측정 결과를 Table 1과 Fig. 2 및 Fig. 3의 PPEF도에서 보여주고 있다. Table 1은 각 시료의 폭(W), 높이(H), 주면지수(PI), 측면지수(PY), 신장지수(EI), 편평지수(FI)의 평균치와 표준편차 및 저어론 지수(ZI)와 ( )내에 결정의 폭( $\mu\text{m}$ )이 나타나 있다. 또한 암체별 또는 층별 평균값 그리고 선백악기의 변성암류 및 심성암류의 평균값과 하양층군 퇴적암류의 평균값을 보여주고 있다.

PPEF도에서는 저어론 결정들 중 동일 결정의  $\times$ 표와  $\circ$ 표를 직선으로 연결하였다.  $\circ$ 표의 직경은 저어론 결정의 폭에 비례하는데 지수의 0.1이 저어론 결정의 폭 0.1 mm에 해당된다. PPEF도는 암석 시료당 약 30개 저어론 결정의 평균값을 이용한 결정의 모형을 하나씩 그려 넣어 암석 간, 층별 및 층내에서도 하부, 중부, 상부 간의 비교를 쉽게 하였다.

일반적으로 선캠브리아기의 흑운모 호상편마암과 화강편마암의 저어론은 질은 자색을 띠는 것이 대부분이고, 저어론 결정의 능이나 측면이 약간 마모된 것과 극히 일부의 저어론은 비교적 예리한 능과 측면을 갖는 것으로 대별된다. 마모된 것들은 기원암이 퇴적암이었음을 지시하고, 화성매질부에서는 비교적 예리한 능과 측면을 갖는 저어론이 생성되었을 것이다.

안동화강암과 청송화강암의 저어론은 선캠브리아기의 저어론에 비하여 열은 자색, 질은 꿀색을 보여주는 것이 대부분이며, 비교적 예리한 능과 측면을 가진다.

하양층군의 사암내의 저어론은 분지로의 퇴적물 운반도중 마모되어 이원상 내지 원상인 것이 대부분이나 비교적 마모가 적은 저어론을 선택하여 원래의 결정 상태로 복원하여 저어론의 지수들을 측정하였다.

본역의 선캠브리아기 변성암류인 화강편마암(LK-56)과 흑운모 호상편마암(LK-9)의 저어론 결정은 서로 매우 유사한 결정형태학적 특징을 보여준다. 즉, 소계평균값(Subtotal average)은 주면이 {110}

={100}형 (PI=0.56)으로서 단주상(EI=0.37)이고 측면은 중추상(PY=0.44)이며 두꺼운형(FI=0.75)이다. 저어론지수는 6448(63)이다. 유라기 안동화강암과 청송화강암의 평균값(Average)을 보면 각각 주면(평균 PI=0.45)과 측면(평균 PY=0.34)이 같은 값을 보여줌으로써 {110}={100}형이나 변성암류에 비하여 낮은 주면지수를 보여 주면서 저추상에 해당된다. 모두 매우 두꺼운 형(평균 FI=0.83 및 0.88)에 해당된다. 평균 저어론 지수는 각각 5459(67) 및 5349(67)이다.

백악기 퇴적암류 저어론의 소계평균값(Subtotal average)을 보면 주면이 {110}={100}형(평균 PI=0.58)으로서 단주상(평균 EI=0.37)이다. 측면은 저추상(평균 PY=0.39)이며 매우 두꺼운형(평균 FI=0.83)이다. 평균 저어론 지수는 6448(66)이다.

퇴적암 중 최하위의 일직층 사암내의 저어론의 평균값을 보면 주면이 {110}={100}형 (평균 PI=0.60)으로서 단주상(평균 EI=0.36)이다. 측면은 저추상(평균 PY=0.40)이며 매우 두꺼운형(평균 FI=0.83)이다. 평균 저어론 지수는 6448(64)이다. 본층의 분대별 저어론의 지수값의 변동은 극히 작다. 퇴적암중 중위의 후평동층 사암내의 저어론의 평균값을 보면 주면이 {110}<{100}형 (평균 PI=0.62)이고 그외의 지수값은 일직층과 같은 범위내에 들어가는 유사한 값을 보여주며, 특히 저어론 지수는 6448(60)로서 같은 값을 보여 준다.

퇴적암중 상위의 점곡층 사암내의 저어론의 평균값을 보면, 주면이 {110}={100}형(평균 PI=0.53)이고 단주상(평균 EI=0.34)이다. 측면은 중추상(평균 PY=0.41)이며 매우 두꺼운형(평균 FI=0.84)이다. 평균저어론 지수는 5438(63)로서 일직층 및 후평동층과 다른 값을 보여 준다.

표 1의 각 암형별 및 층별 저어론 결정의 지수값과 그림 2 및 그림 3의 PPEF도를 고찰하여 보면, 선백악기 암류중 선캠브리아기의 화강편마암과 흑운모 호상편마암의 저어론 지수값이 백악기 일직층 및 후평동층 사암의 저어론 지수값에 매우 근접하고 있다. 한편 유라기 안동화강암 및 청송화강암의 저어론 지수값은 백악기 점곡층 사암의 저어론 지수값과 매우 근접하고 있다. 저어론 지수값이 매우 근접한 것은 동일 기원일 가능성이 매우 높음을 시사한다. 따라서 본역 일직층 및 후평동층의 기원암은 선캠브리아기의 화강편마암과 흑운모 호상편마암이며, 점곡층의 기원암은 유라기 안동화강암과 청송화강암이었을 것으로 결론 내릴 수 있다.

다음으로 고찰할 것은 기원암류의 위치이다. 본



역의 고수류자료(Chang, 1988; Koh *et al.*, 1996)를 검토해 보면, 일직층의 고수류 방향의 평균값은 316°이므로, 일직층이 퇴적될 때 퇴적물의 주 공급원은 본역 남동부에 위치하였던 선캠브리아기 편마암류에서 유래되었음을 알 수 있다. 후평동층의 고수류 방향의 평균값은 229°이므로 퇴적물의 주 공급원은 본역 북동부에 분포하였던 선캠브리아기 편마암류였다. 한편 점곡층의 고수류방향의 평균값은 274°이므로 퇴적물은 주로 퇴적분지의 동쪽으로부터 왔으며, 퇴적물의 주 공급원은 일직층 후평동층과는 달리, 본역 동부에 위치한 유라기 청송 화강암이었던 것으로 해석된다.

이상의 사실들을 종합하여 본역의 분지 발달사를 꾸미면, 후평동층이 퇴적을 완료할 즈음에는 선캠브리아기 편마암류로된 기원암은 상당히 삭박을 당하여 지형이 저평화 되면서 그 분포면적이 상대적으로 협소해지고, 그 후로는 편마암류를 관입한 유라기 화강암류가 지표에 노출되기 시작하였다. 퇴적분지 주변부가 저평화 되면서, 점곡층 퇴적기에는 퇴적분지는 비교적 빠른 속도로 동쪽으로 확장하면서 유라기 화강암류가 본격적으로 삭박당하기 시작하였던 것으로 해석된다.

이 사실은 분지 발달사의 입장에서 볼 때 매우 중요한 의미를 갖는다. 의성소분지에 있어서 퇴적암류는 일반적으로 하부에서 상부로 갈수록 지층의 경사가 완만해지며, 동쪽으로 갈수록 점진적으로 상부층이 퇴적되는데(Chang, 1988), 본역에서는 점곡층 퇴적기에 본격적으로 분지확장이 동쪽으로 이루어 졌다는 사실이 고수류 자료 및 금변 저어콘의 결정형태를 연구함으로써 명백해졌다.

## 감사의 글

이 논문에 대해 유익한 지적과 충고를 해 주신 한국자원연구소의 신성천 박사님과 연세대학교 권성택 교수님께 감사드립니다. 실내실험과 도면작성은 경북대학교 대학원 지질학과의 장용성석사와 경북대학교 지구과학과의 김승환, 송윤근, 손동일군 및 지질학과 정충봉군이 도와 주었다. 이에 깊은 사의를 표하고자 한다. 이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비(1998-015-D00277)에 의하여 지원되었다.

## 참고문헌

김남장, 강필중, 이홍규, 1970, 중평동(1:50,000) 지질

도폭 설명서, 1-19, 국립지질조사소.

이윤종, 이철락, 김상욱, 하야시 마사오, 1995, 유천소분지 서단부, 최정산 인접지역 화강암류의 저어콘에 대한 형태학적 연구. 한국지구과학학회지, 16, 462-468.

이윤종, 이철락, 1993, 팔공산 지역 화강암체의 저어콘에 대한 형태학적 연구. 한국지구과학학회지, 14(2), 193-100.

장기홍, 고인석, 이재영, 김상욱, 1977, 구산동(1:50,000) 지질도폭설명서, 1-25, 자원개발연구소.

장기홍, 고인석, 박희인, 지정만, 김항목, 1978, 천지(1:50,000) 지질도폭설명서, 1-19, 자원개발연구소.

Basu, A., and Molinaroli, E., 1989, Provenance characteristics of detrital opaque Fe-Ti oxide minerals, In Moron, A.C., Todd, S.P., and Haughton P.D.W.(eds.), Development in Sedimentary Provenance Studies: Geol. Soc. London, Special Publication, 57, 55-65.

Byerly, G. R., Mrakovich, J. V. and Malcuit, R. J., 1975, Use of four shape analysis in zircon petrogenetic studies. Geol. Soc. Am. Bull., 86, 956-958.

Chang, K. H., 1988, Cretaceous stratigraphy and paleo-current analysis of Kyeongsang Basin, Korea. J. Geol. Soc. Korea, 24, 194-205.

Folk, R. L., 1974, Petrology of Sedimentary rocks. Austin, Texas, Hemphill Publishing Company, 185p.

Hayashi, M., 1990, Zircon crystal morphology and its application to earth science. J. Geol. Soc. Japan, 96, 117-123.

Hayashi, M., Watanabe, K. and Watanabe, M., 1990, Crystal morphology of zircon in granitoids from the Fukuoka city area and its surroundings, northern Kyushu. Japan. J. Min. Petr. Econ. 85, 514-521(in Japanese).

Hayashi, M., 1993, Neogene volcanic activity in central Kyushu in relation to zircon morphology. Mem. Geol. Soc. Japan, 41, 62-74.

Ishihara, S., 1977, The magnetite series and ilmenite series granitic rocks. Mining Geol., 27, 293-305.

Ishihara, S., Karakida, Y. and Sato, K., 1979, Distribution of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids in the northern Kyushu-western Chugoku district-With emphasis on reevaluation of the Kokura-Tagawa fault zone. J. Geol. Soc. Japan, 85, 47-50 (in Japanese).

Koh, I. S., and Lee, Y. T., 1993, Sedimentary petrology of Cretaceous sandstones in the southern margin of Euseong Subbasin. J. Geol. Soc. Korea, 29, 225-245.

Koh, I. S., and Lee, Y. T., and Shin, Y. S., 1996, Paleocurrent analysis of the Cretaceous Hayang Group in the northeastern part of Euseong Subbasin. Southeast Korea. Korean Petrol. J. Geol., 4, 12-19.

Larsen, L. H. and Poldervaart, A., 1957, Measurement and distribution of zircon in some granitic rocks of magmatic origin. Min. Mag., 31, 554-564.

Lee, C. L., Lee, Y. J. and Hayashi, M., 1994, Crystal

- morphology of zircon in Precambrian gneiss complex and Mesozoic plutonic rocks from the Hamyang-Geochang area, South Korea. *Japan. J. Min. Petr. Econ. Geol.*, 89, 207-220.
- Lee, Y. J. and Hayashi M., 1995, Zircon morphology of Cretaceous Granitoids in northern Kyushu, Japan. *J. Geol. Soc. Korea*, 31, 622-636.
- Lee, Y. T., 1995, Sedimentology and Petrology of Cretaceous Sandstones in the Northeastern Part of Kyongsang Basin, Southeast Korea. Ph.D. thesis, Kyungpook National University, Taegu, 115-140.
- Lee, Y. T., Shin, Y. S., Kim, S. W., Lee, Y. J., and Koh, I. S., 1999, Heavy mineral analysis of the Cretaceous Hayang Group sandstones, northeastern Gyeongsang Basin. *J. Petrol. Soc. Korea*, 8, 14-23.
- Poldervaart, A., 1955: Zircon in rocks, Part 1: Sedimentary rocks, *Am. J. Sci.*, 253, 433-461.
- Poldervaart, A., 1956, Zircon in rocks. 2. Igneous rocks. *Am. J. Sci.*, 254, 521-544.
- Pupin, J. P., 1980, Zircon and granite petrology. *Contrib. Min. Pet.*, 73, 207-220.
- Zen, A., Raju, R. T. and Hayashi, M., 1991, Crystal morphology of zircon in Cretaceous granitoids from the Yukuhashi city area and its surroundings, northeastern Kyushu, Japan. *J. Min. Petr. Econ. Geol.* 86, 531-539 (in Japanese).

(책임편집 : 신성천)

(2000년 2월 15일 접수, 2000년 3월 10일 수리)

## Zircon morphology of the Pre-Cretaceous basement rocks and Cretaceous Hayang Group sandstones in the northeastern part of Gyeongsang Basin and its implication to provenance of the sandstones

Yoon Jong Lee<sup>1</sup>, Yong Tae Lee<sup>2</sup>, Sang Wook Kim<sup>2</sup>, Young Sik Shin<sup>2</sup>,  
Joong Wook Kim<sup>3</sup>, Masao Hayashi<sup>4</sup> and In Seok Koh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

<sup>3</sup>Department of Science Education, Taegu National University of Education, Taegu 705-715, Korea

<sup>4</sup>Kyushu Sangyo University, Fukuoka 813, Japan

**Abstract:** This study is aimed at elucidating the source rocks of the Hayang strata in the northeastern part of the Gyeongsang Basin. Zircon morphology was analyzed for sandstones from the Iljig, Hupyeongdong, and Jeomgog formations of the Hayang Group and Precambrian gneisses and Jurassic granites. Generally, the composite zircon crystals extracted from the basement rocks and the Hayang Group sandstones show short prismatic to middle prismatic shapes.  $\{110\} = \{100\}$  prism type is dominant and  $\{101\}$  pyramid is the average of the zircon morphology data. Zircon index (ZI) and the shape trend characteristics clearly show that the zircon crystal forms of the Iljig and Hupyeongdong sandstones are dominantly similar to those of the biotite banded gneiss and granite gneiss of Precambrian age. Zircon morphology of the Jeomgog sandstones is dominantly similar to those of the Jurassic granites. Referring to the reported paleocurrent result, the source rocks of the Iljig and Hupyeongdong formations are mainly the Precambrian gneisses distributed in the southeastern and northeastern parts, respectively. And Jeomgog sandstones were mainly derived from Cheongsong granite at Cheongsong uplift region in the eastern part. At the time of completion of the Hupyeongdong sedimentation, the Precambrian basement rocks were severely eroded and formed low topography. During the Jeomgog period, the Jurassic granites which intruded the Precambrian basement began to crop out on the surface. The basin widely extended toward the east and the exposed Jurassic granite of Cheongsong uplift region actively supplied the sediments to the basin.