

부산 금정산 지역 화강암류의 저어콘에 대한 형태학적 연구

이윤종 · 윤성호¹ · 김삼욱² · 고인석² · 황상구³ · 정원우⁴ · 김종욱⁵
이철락⁶ · 하야시 마사오⁷

경북대학교 지구과학교육과, ¹부산대학교 지구과학교육과, ²경북대학교 지질학과,
³인동대학교 지질학과, ⁴경북대학교 과학연구소, ⁵대구교육대학교 과학교육과,
⁶경북대학교 사범대학 부속고등학교, ⁷日本 九州産業大學校

요 약 : 부산 금정산 지역 화강암류로부터 분리된 저어콘 결정들에 대하여 형태학적 연구를 하였다. 본 역에는 백악기말의 불국사 화강암류로 화강섬록암, 각섬석화강암 및 흑운모화강암과 소위 불국사 후기~고제3기 화강암(구, 마산암류)인 토날라이트, 아다멜라이트 및 미문상화강암이 연구의 대상이다. 일반적으로, 화강암류에 있어서 저어콘의 형태학적 총 평균 데이터를 참고하면 이들 화강암류의 저어콘 결정들은 모두 단주상~중주상에 해당되고, 저어콘의 주변 발달상태는 {110}<{100}형이고 추면 발달상태는 {101}>{211}형으로, 암체내에서는 비슷한 양상을 보여 주고 있다. 그러나 PPEF도와 추면지수에 의하여 암체내의 각 암형에 따라 약간의 차이점이 인지되고 있다. 즉 화강섬록암, 각섬석화강암 및 흑운모화강암내의 저어콘 결정들이, 토날라이트, 아다멜라이트 및 미문상화강암내의 저어콘 결정들에 비하여 추면지수가 높다. 이는 화강섬록암, 각섬석화강암 및 흑운모화강암내의 저어콘 결정들이 비교적 높은 온도 범위(820~780 °C)에서 정출되었으며, 토날라이트, 아다멜라이트 및 미문상화강암내의 것들은 이것보다 낮은 온도 범위(800~770 °C)에서 정출되었다. 금정산화강암체의 최종 분화산물인 미문상화강암은 주로 중간형의 저어콘 ({110}={100}) 결정을 가지고 있다. 분화가 진행됨에 따라서 화강암류의 저어콘은 단주상에서 중주상으로 되는 특징을 보인다.

핵심어 : 금정산, 화강암류, 저어콘, 형태학

서 언

화성암 내에는 저어콘이 부수광물로 산출되고 있다. 화성암에 있어서 저어콘의 결정 형태는 모암의 암형에 따라 광범위한 변동성을 보여주고 있으므로 많은 지구과학자들의 관심의 대상이 되어왔다(Poldervaart, 1956; Larsen and Poldervaart, 1957; Byerly *et al.*, 1975). 한편 저어콘의 결정 형태가 화강암질 마그마의 온도와 화학조성에 밀접한 연관성을 가지고 있다는 것을 지적하였다(Pupin, 1980). 그러나 상술한 저어콘 형태에 대한 기재는 정성적인 것이었다.

최근 다양한 저어콘의 결정형을 정량적으로 기술하는 방법이 제안되고 있고, 지구과학에의 응용은 물론 화성암 성인론에의 적용에 관심이 모아지고 있다. 화성암에 포함되어 있는 저어콘은 마그마의 온도, 냉각속도, 모암의 화학조성 등에 따라서

결정 형태의 다양성을 보여준다. 즉 저온에서는 {110}, 고온에서는 {100}의 추면이 발달하고(Pupin, 1980), 마그마의 결정 분화 작용의 초기에는 단주상, 후기로 갈수록 장주상의 저어콘이 발달한다(Hayashi, 1990).

또한 REE가 풍부한 마그마 용체내에서는 {101} 추면이 {211} 추면 보다 더욱 발달하며 특히 결정의 정출 분화 작용이 진행되는 동안 주위 암석과 혼화된 경우는 이질적인 저어콘 결정(accidental zircon)이 혼재되어 나타난다(Hayashi *et al.*, 1990; Zen *et al.*, 1991). 함양·거창지역의 선캄브리아기 편마암 복합체와 중생대 심성암류의 화성작용에 대하여 저어콘 형태와 연관하여 논의되었다(Lee *et al.*, 1994). 일본의 화강암류에 유사한 저어콘 결정 형태의 다양성이 한국의 중생대 심성암류에서 인지된바 있다(Lee *et al.*, 1994). 대구부근의 팔공산 화강암체와 최정산 인접지역 화강암류의 저어콘에 대하여 형태학적 연구를 통하여 성인적 환경이 밝혀진바 있다(이윤종과 이철락, 1993; 이윤종 외, 1995). 한국 동남부와 바다를 사이에 두고 인접해

1) 이 논문은 '97학년도 한국대학교육협의회 대학교수 국내 교류 연구비 및 1998년도 경북대학교 공모과제 연구비 지원에 의한 것이다.

있는 일본 北九州 백악기 화강암류에 대한 저어콘의 형태학적 연구로 화강암류의 암형에 따른 저어콘의 다양성이 밝혀진 바 있다(Lee and Hayashi, 1995; Ishihara, 1977; Ishihara *et al.*, 1979). 또한 큐슈 중부 지역의 화산암류의 저어콘 형태에 대해서도 논의된 바 있다(Hayashi, 1993).

우리 나라의 후기 중생대에는 화산암류와 화강암류로 특징 지워지는 대규모의 화성활동이 있었다. 이 화성활동에 의해서 백악기 화강암류가 형성되었으며, 한반도 동남부의 부산지역에는 금정산 화강암체(차문성, 1976; 손치무 외, 1978; Lee, 1980)가 북북동-남남서 방향의 양산 단층과 동래 단층 사이에 관입 정치 되었다. 금정산 화강암체의 전암 K-Ar 연대는 74Ma, 71Ma(김옥준, 1971)와 77Ma(Lee, 1980)로 알려져 있으며 백악기 말에 해당된다. 금번 연구는 금정산 지역에 분포되어 있는

화강암류의 저어콘에 대한 형태학적 연구이다.

이 논문에서는 저어콘의 결정형태로부터 얻은 자료를 해석하여 본 역내 심성암체의 특징을 파악함으로써 암형별 마그마 환경을 유추하고자 한다.

지질개요 및 암석기재

본 역은 한반도 동남부에 위치하고 있으며, 1:50,000 동래도폭의 중서부 지역을 점하고 있다(Fig. 1). 본 역의 지질은 경상누층군의 퇴적암류를 관입 또는 분출한 화산암류와 이들을 관입한 화성 심성암류로 구성되어 있다(손치무 외, 1978; Lee, 1982).

본 연구의 대상인 화성 심성암류는 1:50,000 동래도폭에서, 분화상이 서로 다른 것으로 기재해 놓은, 초기의 불국사 화강암류와 그 후기의 마산암류이다(손치무 외, 1978). 불국사화강암류는 화강섬록

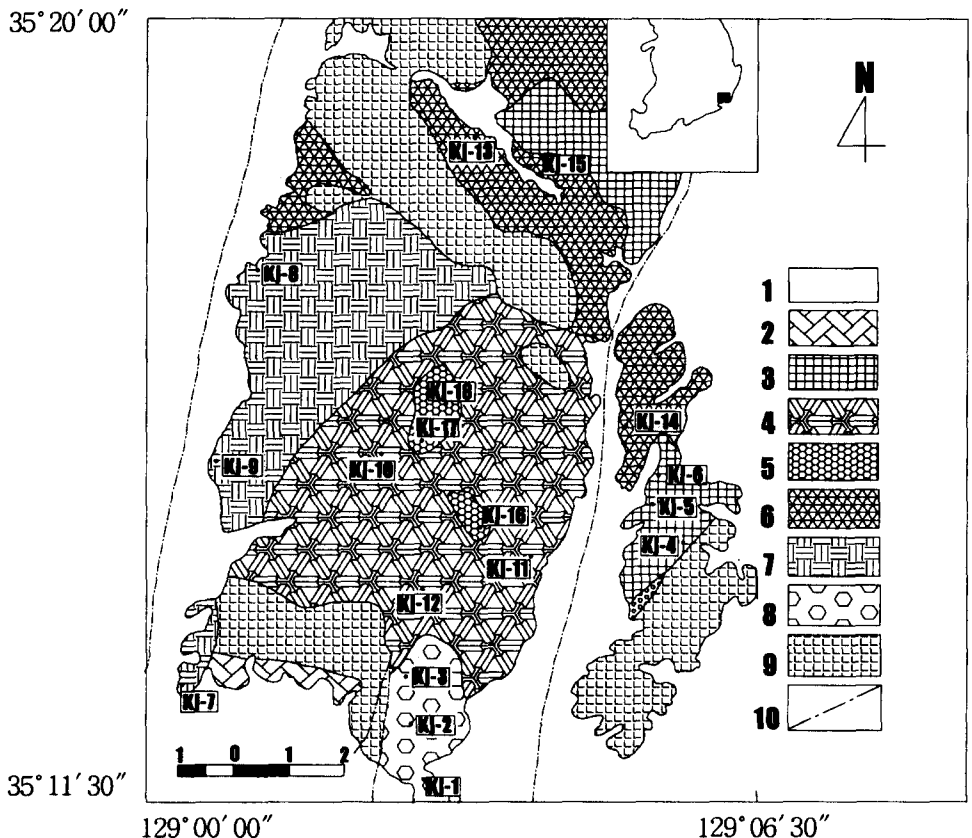


Fig. 1. Geologic map of the study area modified from Son *et al.* (1978). Numbers in the map are the sampling localities. Legends (1: Alluvium, 2: Felsite, 3: Micrographic granite, 4: Adamellite, 5: Tonalite, 6: Biotite granite, 7: Hornblende granite, 8: Granodiorite 9: Pre-existing sedimentary and volcanic rocks, 10: Fault (dashed line: inferred fault)). The solid rectangle indicates the location of the study area.

암, 각섬석화강암 및 흑운모화강암으로, 마산암류는 토날라이트, 아다멜라이트 및 미문상화강암으로 분류해 놓았으나, 본 연구에서는 각 화강암류를 동일암체내에서의 일련의 분화산물로 가정하여(차문성, 1976), 화강섬록암, 각섬석화강암, 흑운모화강암, 토날라이트, 아다멜라이트 및 미문상화강암의 순으로 고찰하고자 한다.

화강섬록암

본 암은 금정산화강암체의 남부 사직동 일원에 분포한다. 암회색 세립질이나 길이 2 mm 정도의 사장석 반정을 가지기도 하며, 직경 2 cm 정도의 염기성포획체(basic clots)를 포함한다. 구성광물은 석영, 칼리장석, 사장석, 흑운모, 각섬석이다.

경하에서, 사장석의 반정이 발달한 반상조직을 보이는 본 암의 석기는 반자형 입상조직을 보여 준다. 주 구성광물은 석영, 사장석, 정장석, 흑운모 등으로 되어 있고 부성분광물로서 각섬석, 녹니석, 자철석은 본 암의 약 20%를 차지하며 타형으로 나타나고 정장석과 공생하여 미문상조직을 보여주기도 한다. 사장석은 본 암의 약 35%로 정장석보다 더 많이 함유되어 있다. 알바이트쌍정을 보이며 누대구조를 나타내기도 한다. 사장석의 성분은 올리고클레이스(An 13~20)에 해당하여 부분적으로 견운모화 되어 있다. 녹니석, 각섬석, 스펀 등과 같은 미립의 광물을 포유하고 있어서 포이키리틱조직을 흔히 보여 주기도 한다. 흑운모는 다색성이 강하고(X=담갈색, Z=적갈색), 벽개에 연해서 녹리석화했다. 각섬석은 흑운모와 밀접히 수반되어 나타나며, 다색성이 강하다(X=담녹색, Y=연녹색, Z=황녹색).

각섬석 화강암

본 암은 금정산 화강암체의 북서부에서 서단을 접하여 분포하며, 매우 균질하고 중립질이며 칼리장석이 특히 다량으로 함유되어 있으며, 유색광물로는 녹색의 각섬석이 함유되는 것이 특징이다.

경하에서 반자형 입상조직을 보여 준다. 주 구성광물로는 석영, 정장석, 사장석, 각섬석 및 흑운모 등이며 부 성분광물로는 스펀, 인회석, 저어콘, 녹니석, 백운모 및 자철석 등이 나타난다. 정장석은 대개 퍼어사이트로 나타나며 부분적으로 석영과의 접촉부에 미문상조직을 발달시키기도 한다. 흑운모는 다색성이 현저하다(X=적갈색, Y=담황색). 각섬석은 녹색 또는 담녹색으로 다색성이 있고 주상의

큰 결정으로 나타나거나 미립의 집합체를 이루기도 한다. 저어콘은 흑운모 또는 각섬석 중에 내포물로 들어 있다.

흑운모 화강암

본 암은 금정산 화강암체의 동북부 일원을 접하여 분포하며, 일반적으로 중립질의 입상조직을 보여 주며 석영, 장석 및 흑운모 등이 육안으로 식별된다. 안산암 또는 혼펠스의 포획암을 가지는 경우가 흔히 나타난다.

경하에서, 석영, 정장석, 퍼어사이트, 사장석 및 흑운모 등으로 주 구성되고 녹니석, 스펀, 견운모, 저어콘 및 인회석 등이 수반광물로서 나타난다. 반자형 입상조직을 보이며 부분적으로는 반상조직을 띄기도 한다. 석영은 본 암의 약 20%로 타형이고 0.8 mm 정도인 것이 보통이다. 부분적으로 모자이크조직을 보여 주기도 하며 장석 중에 포획물로도 함유되어 있다. 정장석은 견운모화작용에 의해서 약간 오염되어 있지만 뚜렷한 칼스바드쌍정은 볼 수 있으며 보통 퍼어사이트조직을 보여 준다. 정장석과 접하고 있는 석영은 그 주변부에 가끔 미문상조직이 발달해 있고 엘바이트화작용을 받아 표백되어 있기도 하다. 흑운모는 본 암의 약 6%를 차지하며 적갈색을 띠고 다색성이 현저하다(X=적갈색, Y=담황색).

토날라이트

본 암을 금정산 화강암체의 중심부의 금정산 정상부 일원에 소규모로 분포하며, 세립질의 암상을 나타낸다.

경하에서, 주로 사장석, 석영 및 각섬석으로 되어있고 녹니석, 흑운모, 스펀, 티탄철석, 자철석 및 저어콘 등이 나타난다. 사장석은 알바이트쌍정을 보이거나 누대구조를 보여 주는 것이 보통이며 약간 오염되어 있는 것이 보통이다. 사장석의 성분은 올리고클레이스에 해당한다. 석영은 다른 암석에 비해 소량이며 사장석 중에 함유되어 있기도 한다. 각섬석은 주상 또는 침상으로 나타나며 부분적으로 녹니석화 되어 있다.

아다멜라이트

본 암은 금정산 화강암체의 주체를 이루어 분포하며, 신선한 것은 회색중립질이나 암체의 주변부

에서는 담홍색 반상조직을 갖는다. 반정의 크기는 3~5 mm이고, 석기는 석영, 정장석, 사장석, 흑운모로 구성된다. 간혹 마이아로리틱조직을 보이기도 한다.

경하에서 반자형 입상조직을 보여주며 국부적으로는 파쇄되어 있어 불규칙적인 깨어짐이나 석영의 불규칙 소광현상 등을 관찰할 수 있다. 본 암은 주로 석영, 정장석, 사장석 및 흑운모 등으로 구성되고 수반광물로서는 견운모, 녹니석, 각섬석, 자철석, 적철석 및 저어콘 등이 나타난다. 석영은 본암의 25%가량 차지하며 모자이크상 또는 정장석과 인터그로스로 나타나며 장석 입자들의 간극을 채우기도 한다. 정장석은 약 38%로서 대체로 팻취 혹은 맥상의 피어사이트로 나타나는 것이 보통이고 사장석의 작은 결정도 포함하기도 한다. 사장석은 누대구조를 보이는 것이 많고, 그 성분은 알바이트 내지 올리고클레이스(An 7~15)이다. 사장석과 정장석은 본 암중에 함유되어 있는 양이 대체로 대등하며 둘 다 어느 정도 심한 견운모화작용 내지 카오린화작용을 받았다. 흑운모는 약 5%가량 함유되어 있으며 황갈색이고 다색성이 현저하다(X=갈색, Y=Z=갈색)

미문상화강암

본 암을 금정산 화강암체의 동연부 회동수원지와 두구동 일원에 분포하며, 담홍색 세립질화강암이며, 부분적으로 마이아로리틱조직을 보여 주기도 한다.

경하에서, 특징적인 미문상조직이 전체적으로 발달해 있으며, 미문상조직은 알카리 장석의 바탕에 타형의 미립인 석영이 상형 문자상 또는 국화꽃무늬같이 함유되어 있는 형태이다. 본 암의 거의 대부분은 이러한 카리장석과 석영이 인터그로우스된 형태로 구성되어 있지만 석영의 큰 입자가 단독으로 나타나기도 한다. 이 석영결정은 인접한 미문상 석리중의 석영 용정(熔晶)들과 결정학적인 방향이 일치되는 경우가 많다. 이외에 사장석, 견운모, 흑운모, 자철석 및 저어콘 등이 수반광물로서 함유되어 있다.

시료의 준비 및 실험

본 역의 화강암류로부터 저어콘 결정을 분리하였다. 즉, 화강섬록암, 각섬석 화강암, 흑운모 화강암, 토날라이트, 아다멜라이트, 미문상화강암 등 각

암상별로 3개씩 시료를 엄선하여 총 18개의 암석 시료를 선정하였다. 각 암석 시료에서 500 g씩 취하여 조립분쇄기(jaw crusher)로 직경 2 cm 정도 이하로 파쇄한 후 디스크분쇄기(disc crusher)와 스탬프분쇄기(stamp mill)을 사용하여 분쇄한 후 수세식으로 80메쉬의 체를 통과한 광물립들을 취하여 광물립들을 비커 또는 광물분리용기에 넣고 분자석을 사용하여 강자성 광물 및 상자성 광물을 분리 시킨 후 광물분리용기와 비커를 효율적으로 이용한 팬닝 기술로 각 암석 시료당 약 30개이상의 저어콘 결정을 분리하였다.

각 암석 시료에서 분리된 저어콘 결정들을 슬라이드 글라스 위에 흩어놓고 각 암석 시료당 30개의 저어콘 결정을 무작위로 선정한 후 한 결정씩 저어콘 결정의 크기에 따라 200~400배의 배율로 투과현미경에 부착된 CCTV를 이용하여 컴퓨터에 입력시켜 결정 형태를 프린트 한다. 프린트된 저어콘 결정을 디지털타이저 면상에 올려놓고 결정의 형태학적 지수들을 컴퓨터 지원 시스템(Daishi and Hayashi, 1989)을 이용하여 계산하고 X-Y plotter를 이용하여 PPEF도를 작성한다.

저어콘의 형태학적 지수

저어콘의 일반적인 결정면은 주면으로는 {100}과 {110}, 측면으로는 {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. 측면이 이루는 정각(頂角)중 가장 중요한 것은 100형에서는 주면의 정각 또는 {101}면의 정각이 96°, {110}형에서는 측면의 정각과 측면의 정각이 모두 116°이다. 양자를 식별 하는데 특히 유효한 점은 100형에서는 {101}의 정각이 96°이므로 직각에 가까운 값을 주는 반면 100형에서는 116°이므로 둔각임에 틀림없다는 값을 줌으로서 이들 양 결정을 식별할 수 있다.

저어콘의 결정 형태를 정량적으로 표시하기 위하여 Hayashi(1990)는 네 개의 지수들을 제안했으며, 이들은 모두 0~1.0 사이의 값을 갖는다. 저어콘의 형태학적 지수가 제안된 이래, 그 동안 여러 자료들이 축적되어 왔으며 축적된 자료들로부터 네 개의 지수들은 다음과 같이 세분화되었다.

주면지수(PI)는 저어콘 결정에서 {110}과 {100}의 두 주면이 상대적으로 발달한 정도으로써, {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(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(EI)는 추면이 C축을 따라 성장한 정도로서, 극단추상($EI < 0.2$); 단추상($0.2 < EI < 0.4$); 중추상($0.4 < EI < 0.6$); 장추상($0.6 < EI < 0.8$); 극장추상($0.8 < EI$)으로 세분된다.

편평지수(FI)는 저어콘 결정의 두께를 폭으로 나누는 것으로, 매우얇은 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 아형로 세분된다.

하나의 암석 속에 들어 있는 저어콘 결정들의 네 개의 지수 값을 PPEF도에 동시에 나타낼 수 있다 (Fig. 2). 한편 Hayashi(1993)는 이들 네 개의 지수 값에 10을 곱하여 소수점 이하를 반올림한 후 추면지수, 추면지수, 신장지수, 편평지수, 결정의 폭 순으로 배열시킨 후 결정의 폭은 괄호 속에 나타내는 소위 “저어콘 지수(zircon index)와 결정의 폭”을 제창하여 보다 간단하게 기재할 수 있도록 하였다. 이때 괄호 속의 결정의 폭 단위는 μm 이다.

결과 및 토의

본 역의 화강암류의 저어콘 결정의 형태학적 측정 결과를 Table 1과 Fig. 2의 PPEF도에 나타내었다. Table 1은 각 시료의 폭, 높이, 추면지수, 추면지수, 신장지수, 편평지수의 평균치와 표준편차 및 저어콘 지수와 결정의 폭을 보여주고 있다. 또한 암체별 평균값과 화강암류 전체의 평균값을 보여주고 있다.

PPEF도에서는 저어콘 결정들 중 동일결정의 \times 표와 \circ 표를 직선으로 연결하였다. \circ 표의 직경은 저어콘 결정의 폭에 비례하는데 지수의 0.1이 저어콘 결정의 폭 0.1 mm에 해당된다. PPEF도는 암석 시료당 약 30개 저어콘 결정의 평균값을 이용한 결정의 모형을 하나씩 그려 넣어 암석간 및 암형간의 비교를 쉽게 하였다.

본 역의 화강암류 전체에 포함된 저어콘 결정의 평균값(T. average)은 추면이 $\{110\} < \{100\}$ 형 (평균 $PI=0.62$)으로서 단추상(평균 $EI=0.39$)이다. 추

면은 $\{101\}$ 이 발달한 $\{101\} > \{211\}$ 형($PY=0.31$)이다. 평균적인 저어콘 지수는 6348(62)이다. PPEF도상에는 다발형(bundle-shape)이 지배적이다.

화강섬록암에 포함된 저어콘들은 추면이 $\{110\} < \{100\}$ 형 (평균 $PI=0.72$)으로서 본 역의 화강암류 중 가장 높은 추면지수를 보여 주고 있다. 추면은 $\{101\}$ 이 발달한 $\{101\} > \{211\}$ 형(평균 $PY=0.38$)이다. 단추상(평균 $EI=0.38$)이고 매우 두꺼운 형($FI=0.84$)이다. 본 암의 평균적인 저어콘 지수는 7448(55)이다. 3개의 PPEF도상에서 $\{100\}$ 형이 상당히 우세하고, 서로 유사한 양상을 보여 주고 있다.

각섬석 화강암에 포함된 저어콘들은 추면이 $\{110\} < \{100\}$ 형 (평균 $PI=0.66$)으로서 화강섬록암보다 낮은 추면지수를 보여주고 있다. 추면은 $\{101\}$ 이 발달한 $\{101\} > \{211\}$ 형의 저추상(평균 $PY=0.32$)으로서 화강섬록암의 추면지수($PY=0.39$)에 비하여 낮은 값을 보여준다. 단추상과 중추상 경계부($EI=0.40$)에 해당되고 매우 두꺼운 형($FI=0.85$)으로서 본 역의 암류 중 가장 높은 값을 보여 주고 있다. 본 암의 평균적인 저어콘 지수는 7348(69)이다. 3개의 PPEF도 상에서는 $\{100\}$ 형이 다소 우세하고 서로 유사한 양상을 보여 준다.

흑운모 화강암에 포함된 저어콘들은 추면이 $\{110\} = \{100\}$ 형 (평균 $PI=0.60$)으로서 각섬석 화강암보다 낮은 추면지수를 보여주고 있다. 추면은 $\{101\}$ 이 발달한 $\{101\} > \{211\}$ 형(평균 $PY=0.30$)으로서 화강섬록암의 추면지수($PY=0.32$)에 비하여 낮은 값을 보여 준다. 중추상($EI=0.41$)에 해당되고 매우 두꺼운 형($FI=0.82$)이다. 본 암의 평균적인 저어콘 지수는 6348(61)이다. 3개의 PPEF도 상에서는 $\{110\}$ 형과 $\{100\}$ 형의 중간형에 해당되는 서로 유사한 양상을 보여 주고 있다.

토날라이트에 포함된 저어콘들은 추면이 $\{110\} < \{100\}$ 형(평균 $PI=0.62$)으로서 흑운모 화강암보다 약간 높은 추면 지수를 보여주고 있다. 추면은 $\{101\}$ 이 발달한 $\{101\} > \{211\}$ 형(평균 $PY=0.32$)으로서 흑운모 화강암의 추면지수($PY=0.30$)보다 높은 값을 보여준다. 단추상($EI=0.38$)에 해당되고 매우 두꺼운 형($FI=0.84$)이다. 본 암의 평균적인 저어콘 지수는 6348(58)이다. 3개의 PPEF도 상에서는 $\{100\}$ 형이 다소 우세하고 서로 유사한 양상을 보여 주고 있다.

아다멜라이트에 포함된 저어콘들은 추면이 $\{110\} < \{100\}$ 형(평균 $PI=0.67$)으로서 토날라이트보다 높은 추면 지수를 보여주고 있다. 추면은 $\{101\}$ 이 발달한 $\{101\} > \{211\}$ 형의 저추상(평균 $PY=0.32$)으

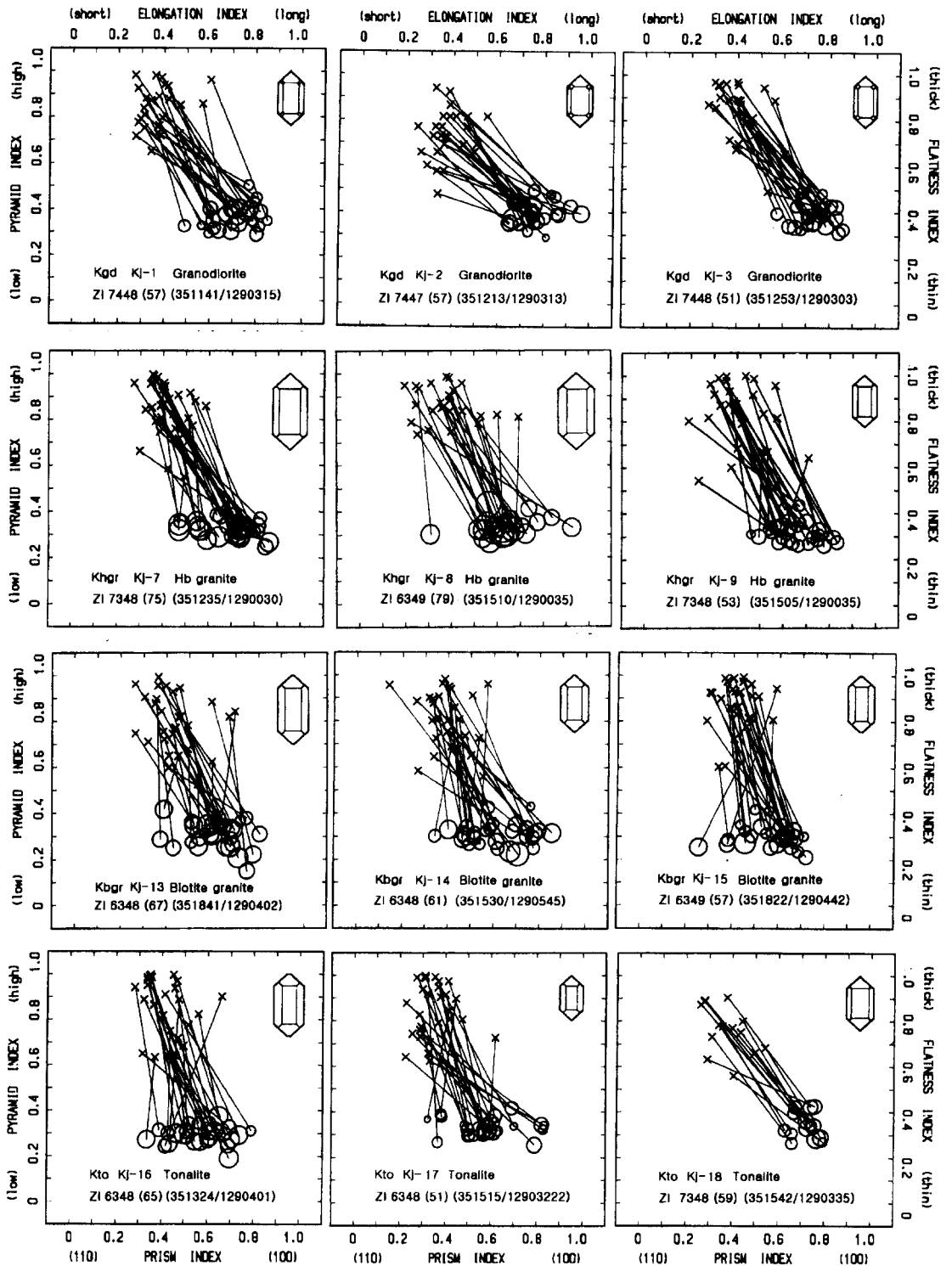


Fig. 2. PPEF diagrams for granodiorite (Kgd), hornblende granite (Khgr), biotite granite (Kbgr), tonalite (Kto), adamellite (Kada) and micrographic granite (Kmgr).

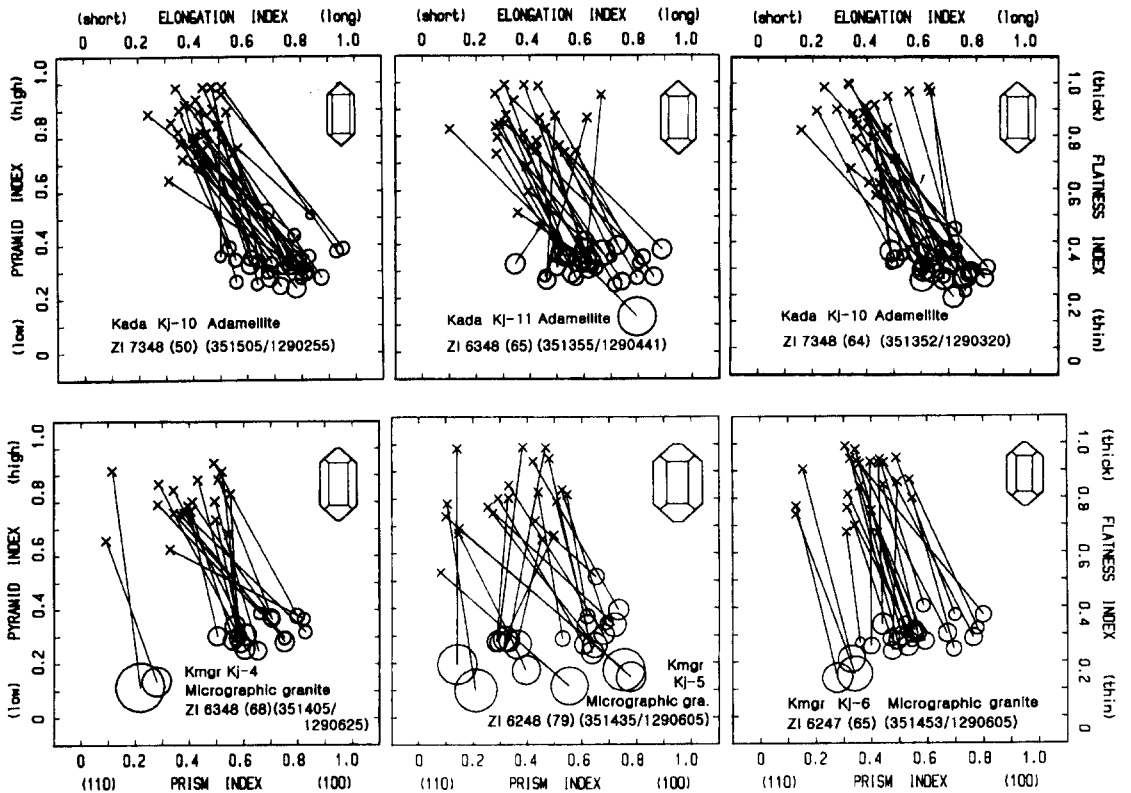


Fig. 2. Continued

로서 토날라이트의 주면지수와 같은 값을 보여주고 있다. 단주상과 중주상의 경계부(EI=0.40)에 해당되고 매우 두꺼운 형(FI=0.82)이다. 본 암의 평균적인 저어콘 지수는 7348(59)이다. 3개의 PPEF도 상에서는 {100}형이 다소 우세하고 서로 유사한 양상을 보여주고 있다.

미문상 화강암에 포함된 저어콘들은 주면이 {110}={100}형(평균 PI=0.58)으로서 본역의 화강암류 중 가장 낮은 주면지수 값을 보여주고 있다. 추면은 {101}이 발달한 {101}>{211}형의 저추상(평균 PY=0.26)으로서 본 역의 화강암류 중 가장 낮은 값을 보여 주고 있다. 단주상(EI=0.38)에 해당되고 두꺼운 형(FI=0.76)으로 본 본역의 암류중 가장 낮은 값을 보여 주고 있다. 본 암의 평균적인 저어콘 지수는 6348(70)이다. 3개의 PPEF도 상에서는 {110}형과 {100}형의 중간형에 해당되고 각 지수들의 관계가 산발적으로 점시되어 불규칙한 분포 양상을 보여준다.

이상의 분석 결과를, 마그마 온도와 저어콘 결정 형태간의 관계에 대한 Pupin(1980)의 도표에서 중

합적으로 검토해 보면, 주면지수에서 화강섬록암질 마그마는 초기 광물의 정출온도(저어콘 정출온도)가 820 °C정도였다. 각섬석 화강암과 아다멜라이트는 화강섬록암으로부터 분화된 800 °C정도의 각섬석 화강암이 정지되었으며, 흑운모 화강암은 780 °C 정도의 상기 암류의 분화체로서 정지하였다. 미문상 화강암은 주면지수에서 770 °C 정도를 나타내어 이들 마그마로부터의 분화된 마그마가 비교적 천부에 관입하여 미문상 조직이 현저한 것으로 생각된다.

이들은 단주상의 화강섬록암(평균 EI=0.38)에서 각섬석 화강암과 아다멜라이트의 단주상과 중주상의 경계부(평균 EI=0.40)를 거쳐 흑운모 화강암의 중주상(평균 EI=0.41)으로 가는 양상과 더불어 일련의 마그마 분화산물이라는 암석학적 연구결과(차문성, 1976)와 잘 일치하고 있다.

토날라이트는 주면지수에서 790 °C의 정출온도를 보여 준다. 이는 정지 초기에 불안정된 환경과 외부 압력의 혼입으로 인한 영향이 있었을 것으로 생각된다.

Table 1. Morphological data of zircon crystals in granitoids of the sutdy area

SAMPLE		W(mm)	H(mm)	PI	PY	EI	FI	ZI
Name	No.							
Kmgr	KJ-06	0.065 ± 0.008	0.129 ± 0.026	0.59 ± 0.21	0.24 ± 0.03	0.36 ± 0.05	0.69 ± 0.08	6247(65)
	KJ-05	0.079 ± 0.016	0.13 ± 0.36	0.64 ± 0.13	0.31 ± 0.6	0.39 ± 0.10	0.81 ± 0.11	6348(62)
	KJ-04	0.068 ± 0.030	0.129 ± 0.033	0.62 ± 0.16	0.30 ± 0.07	0.39 ± 0.13	0.80 ± 0.09	6348(68)
Average		0.070 ± 0.018	0.137 ± 0.030	0.58 ± 0.20	0.26 ± 0.06	0.38 ± 0.09	0.76 ± 0.09	6348(70)
Kada	KJ-12	0.064 ± 0.015	0.135 ± 0.056	0.67 ± 0.10	0.31 ± 0.06	0.40 ± 0.11	0.83 ± 0.13	7348(64)
	KJ-11	0.065 ± 0.019	0.130 ± 0.037	0.63 ± 0.13	0.32 ± 0.06	0.39 ± 0.12	0.81 ± 0.13	6348(65)
	KJ-10	0.050 ± 0.009	0.118 ± 0.024	0.73 ± 0.11	0.34 ± 0.07	0.43 ± 0.08	0.84 ± 0.10	7348(50)
Average		0.059 ± 0.014	0.127 ± 0.039	0.67 ± 0.11	0.32 ± 0.06	0.40 ± 0.11	0.82 ± 0.12	7348(59)
Kto	KJ-18	0.059 ± 0.011	0.128 ± 0.033	0.72 ± 0.05	0.34 ± 0.06	0.37 ± 0.09	0.76 ± 0.10	7348(59)
	KJ-17	0.051 ± 0.012	0.106 ± 0.040	0.58 ± 0.13	0.33 ± 0.04	0.35 ± 0.08	0.84 ± 0.12	6348(51)
	KJ-16	0.065 ± 0.011	0.135 ± 0.043	0.57 ± 0.12	0.29 ± 0.04	0.42 ± 0.08	0.84 ± 0.14	6348(65)
Average		0.058 ± 0.011	0.123 ± 0.038	0.62 ± 0.10	0.32 ± 0.05	0.38 ± 0.08	0.81 ± 0.12	6348(58)
Kbgr	KJ-15	0.057 ± 0.013	0.125 ± 0.031	0.57 ± 0.11	0.30 ± 0.05	0.42 ± 0.07	0.86 ± 0.11	6349(57)
	KJ-14	0.061 ± 0.013	0.123 ± 0.026	0.61 ± 0.13	0.31 ± 0.05	0.39 ± 0.09	0.81 ± 0.12	6348(61)
	KJ-13	0.067 ± 0.012	0.152 ± 0.051	0.62 ± 0.11	0.31 ± 0.06	0.43 ± 0.11	0.80 ± 0.12	6348(67)
Average		0.061 ± 0.013	0.133 ± 0.036	0.60 ± 0.12	0.30 ± 0.05	0.41 ± 0.09	0.82 ± 0.12	6348(61)
Khgr	KJ-09	0.053 ± 0.007	0.117 ± 0.030	0.65 ± 0.10	0.32 ± 0.04	0.40 ± 0.11	0.84 ± 0.13	7348(53)
	KJ-08	0.079 ± 0.013	0.173 ± 0.052	0.64 ± 0.11	0.33 ± 0.04	0.39 ± 0.12	0.86 ± 0.07	6349(79)
	KJ-07	0.075 ± 0.012	0.165 ± 0.034	0.69 ± 0.11	0.33 ± 0.04	0.41 ± 0.07	0.84 ± 0.12	7348(75)
Average		0.069 ± 0.011	0.152 ± 0.039	0.66 ± 0.11	0.32 ± 0.04	0.40 ± 0.10	0.85 ± 0.11	7348(69)
Kgd	KJ-03	0.051 ± 0.013	0.121 ± 0.039	0.74 ± 0.07	0.39 ± 0.05	0.41 ± 0.08	0.85 ± 0.12	7448(51)
	KJ-02	0.057 ± 0.010	0.113 ± 0.024	0.73 ± 0.13	0.39 ± 0.05	0.36 ± 0.08	0.72 ± 0.11	7447(57)
	KJ-01	0.057 ± 0.012	0.123 ± 0.038	0.70 ± 0.09	0.37 ± 0.05	0.38 ± 0.09	0.82 ± 0.11	7448(57)
Average		0.055 ± 0.010	0.119 ± 0.033	0.72 ± 0.09	0.38 ± 0.05	0.38 ± 0.08	0.84 ± 0.11	7448(55)
T Average		0.062 ± 0.013	0.130 ± 0.360	0.64 ± 0.13	0.31 ± 0.60	0.39 ± 0.10	0.81 ± 0.11	6348(62)

Mean and standard deviation for each terms from 30 grains 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, Kgd: granodiorite, Khgr: hornblende granite, Kbgr: biotite granite, Kto: tonalite, Kada: adamellite, Kmgr: micrographic granite, T Average: total average.

감사의 글

본 연구는 97학년도 하반기 한국대학교육협의회의 대학교수 국내교류연구비(경북대 이윤종, 부산대 파견) 및 98년도 경북대학교 공모과제 연구비 지원에 의하여 수행되었다. 본 논문에 대하여 한국 자원연구소의 진명식 박사님과 연세대학교의 권성택 교수님께서 상세히 검토하여 주었다. 실내 실험과 도면 작성은 경북대학교 지구과학교육과의 김승환, 송윤근, 손동일 군이 도와주었다. 이에 심심한 사의를 표하고자 한다.

참고문헌

김옥준, 1971, 남한의 신기 화강암류의 관입 시기와 지각변동, 광산지질, 4, 1-9.

손치무, 이상만, 김영기, 김상욱, 김형식, 1978, 동래·월내(1:50,000) 지질도폭 설명서. 1-27, 한국 자원개발연구소.

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

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

차문성, 1976, 부산지역의 불국사 산성 화성암류의 암석학적 연구, 광산지질, 9, 85-106.

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

Daishi, M. and Hayashi, M., 1989, A new computer supporting system to describe zircon crystal forms. Geological Data Processing, 14B,

- 51-58 (in Japanese).
- Hayashi, M., 1990, Zircon crystal morphology and its application to earth science. *Jour. 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. Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, 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. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 85, 47-50 (in Japanese).
- 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. Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, 89, 207-220.
- Lee, Y.J., 1980, Granitic rocks from the Southern Gyeongsang Basin, Southeastern Korea, Part 1, General geology and K-Ar ages of granitic rocks. *Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, 75, 105-116 (in Japanese).
- Lee, Y.J., 1982, Granitic rocks from the Southern Gyeongsang Basin, Southeastern Korea, Part 2, Petrography and modal composition. *Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, 77, 171-180 (in Japanese).
- Lee, Y.J. and Hayashi M., 1995, Zircon morphology of Cretaceous granitoids in northern Kyushu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 31, 622-636.
- Poldervaart, A., 1956, Zircon in rocks. 2. Igneous rocks. *Amer. Jour. 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. *Jour. Min. Petr. Econ. Geol.* 86, 531-539 (in Japanese).

(책임편집 : 권성택)

(1999년 4월 5일 접수, 1999년 5월 30일 수리)

Crystal Morphology of Zircon in Granitoids from the Mt. Keumjeong District, Pusan, Korea

Yoon Jong Lee, Sung Hyo Yun¹, Sang Wook Kim², In Seok Koh²,
Sang Koo Hwang³, Won Woo Chung⁴, Joong Wook Kim⁵,
Cheol Lag Lee⁶ and Masao Hayashi⁷

Dept. of Earth Science, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

¹Dept. of Earth Science, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

²Dept. of Geology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

³Dept. of Geology, Andong National University, Andong 760-749, Korea

⁴Science Education Research Institute, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

⁵Dept. of Science Education, Taegu National University of Education, Taegu 705-715, Korea

⁶Kyungpook National University's Attached High School, Taegu 700-431, Korea

⁷Kyushu Sangyo University, Fukuoka 813, Japan

Abstract : We report zircon morphology of granitoids in the Mt. Keumjeong district, Pusan. There are a series of granitoids in the study area of the late Cretaceous: granodiorite, hornblende granite, adamellite, tonalite, biotite granite, and micrographic granite. Generally, the shapes of zircon crystals are short prismatic to middle prismatic and are dominant in {100} prism and {101} pyramid in total average morphological data of the granitoids. The crystal forms of zircon in the granitoids can be distinguished by the PPEF diagram and the prism index (PI). The prism index values of zircon crystal forms in granodiorite and hornblende granite are higher than those of tonalite and micrographic granite. The finishing temperature range (820~800 °C) for crystallization of zircon crystals in granodiorite and hornblende granite is higher than the temperature (790~770 °C) at which the zircon crystals are created in tonalite and micrographic granite. The last differentiates (biotite granite and micrographic granite) have mainly intermediate zircon ($\{110\}=\{100\}$) crystals, respectively. As differentiation proceeds, the zircons of granitoids become from short prismatic to middle prismatic in the each granitoid types.

Key words : Mt. Keumjeong, granitoids, zircon, morphology