

## 저어콘 아입자분석을 위한 효율적인 광물분리 및 시료준비 방법

조 등 룡

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부, 305-350 대전 유성구 가정동 30

### Mineral Separation and Sample Preparation Methods Efficient for Subgrain Zircon Analyses

Deung-Lyong Cho

Division of Geology and Geoinformation, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,  
30 Gajeong-dong Yuseong-gu Daejeon 305-350 Korea

**요약:** 이 연구는 저어콘의 아입자분석을 위한 상세한 시료준비방법과 물을 비커에 계속 흘려 가벼운 광물을 범람시키는 간편한 광물분리기술을 제시한다. 이 방법은 윌플리테이블의 사용과 중액분리 과정이 필요하지 않아 기존의 분리법보다 빠르고 효율적이며, 특히 소량의 저어콘이 필요한 아입자분석을 위해 적합하다.

**핵심어:** 저어콘, 광물분리, 아입자분석

**Abstract:** This study provides detailed sample preparation methods for subgrain zircon analyses, and a simple mineral separation technique which overflows light mineral grains out of beaker using the running water from faucet. Excluding separation steps using of the Wilfley table and heavy liquid, this technique is faster and more efficient than conventional one, and remarkably suitable for collecting small amount of zircon for subgrain analyses.

**Key words:** Zircon, mineral separation, subgrain analysis

## 서 언

저어콘의 형태는 온도, 냉각속도, 모암의 산성도와 알칼리 활동도(Si, Na+K/Al) 등에 의해 달라지므로 (Speer, 1982) 암석 형성시의 물리화학적 조건을 유추할 수 있는 중요 지시자로 활용된다. 또한 저어콘 내부의 상속핵(inheritance core), 과성장(overgrowth), 융식구조, 변질구조의 양상과 특징적인 누대구조는 암석이 경험한 용융작용, 결정화작용, 변성작용, 변질작용, 퇴적작용 등을 추론하는데 중요한 수단으로 사용된다 (Piedgeon and Aftalion, 1972; Gebauer and Grunfelder, 1976; Piedgeon, 1992; Piedgeon and Compston, 1992; Sinha *et al.*, 1992; Vavra *et al.*, 1996, 1999; Williams, 2001). 한편 저어콘은 U-Pb계의 높은 폐쇄온도로 인해(750-900°C, Lee *et al.*, 1997; Williams, 2001) 고온의 지질사건의 시기를 잘 지시한다.

따라서 전통적인 열이온화질량분석(TIMs) 뿐만 아니라 이차이온현미질량분석(SIMS 혹은 SHRIMP), 전자현미분석기를 이용한 화학등시선법(CHIME), 레이저작마 유도쌍결합플라즈마질량분석(LA-ICP-MS)과 같은 입자 내부의 특정 부분을 수 내지 수 십  $\mu\text{m}$ 의 직경으로 분석하는 아입자(subgrain) 절대연대측정의 주요 대상이다.

이상의 저어콘 연구를 위해서는 먼저 필요한 만큼의 입자를 확보해야한다. 그러나 대부분의 암석에서 저어콘은 수 백  $\mu\text{m}$  이하의 작은 크기로 ppm 단위의 미량이 존재하므로 분리가 쉽지 않다. 수백 mg 혹은 gr 단위의 저어콘이 필요한 TIMs에서는 20~50 kg의 많은 시료를 분말로 제작하여 윌플리테이블(Wilfley Table), 중액처리, 자력선별, 수선별(hand picking)의 절차를 거친다(예: Mursky, 1987). 이는 많은 시간과 노력이 필요한 작업으로 수백~수천 입자의 저어콘이면 충분한

\*Corresponding author: Tel: 82-42-868-3040, E-mail: dlcho@kigam.re.kr

아입자분석을 위해서는 적절하지 않다.

아입자분석에서는 시료의 내부구조를 파악하는 것이 필수적이다. 특히 여러 지질학적 사건이 한 입자에 기록될 수 있는 저어콘의 경우 누대구조를 잘 이해하지 못하면 분석자료의 정확한 해석이 불가능하다. 따라서 이를 위한 구체적이고 자세한 기술적 지침이 요구된다.

이 연구의 목적은 아입자분석을 위해 다양한 종류의 시료 수백 개를 광물분리하며 저자가 터득한 보다 간편하고 효율적인 저어콘분리법을 제시하는데 있다. 아울러 시료채취에서 고려할 사항과 저어콘의 내부구조 연구를 위한 자세한 시료준비법에 대해 기술한다.

## 시료채취

시료채취에 앞서 연구지역의 구성암석, 층서, 지질구조를 확실하게 파악하고, 연구 목적에 적합한 암체를 결정하는 것이 무엇보다 중요하다. 또한 야외에 나가기 전에 문헌 또는 관계기관을 통해 채석장, 토목건설 현장 등 시료채취가 용이한 곳을 미리 알아두는 것이 좋다.

일반적인 지화학분석의 경우처럼 모든 시료는 풍화, 변질, 변형, 파쇄, 전단작용 등의 영향을 가장 적게 받은 신선한 것이어야 한다. 또한 유체 및 열적 영향을 줄 수 있는 화성암 관입체로부터 자유로워야 한다. 이러한 시료에서 분석에 가장 적합한 결정도가 좋고 투명하며 미세균열이 없는 신선한 저어콘을 회수할 확률이 높다. 비록 저어콘이 기계 및 화학적 풍화에 강해 퇴적암에서도 신선한 입자가 흔히 발견되지만, 일반적으로 신선한 암석의 저어콘 상태가 보다 양호하다. 암석의 분말을 쉽게 만들기 위해 상당히 풍화된 시료를 일부러 채취하는 경우도 있으나 이는 바람직하지 않다.

화성암의 시료채취에서는 먼저 암석의 산성도를 고려한다. 초염기성암과 염기암에서는 마그마의 Si 활동도가 부족하여 저어콘( $ZrSiO_4$ ) 대신 바텔리아이트( $ZrO_2$ )가 결정화되며, 분화작용의 최후기 암체에서는 분별결정작용으로 저어콘이 상당히 빠져나간다. 따라서 안산암, 화강섬록암, 토날라이트 등 중성암에 일반적으로 저어콘이 가장 많다. 동원포유암(autolith) 혹은 염기성 세립질 포유암(mafic microgranular enclave)을 수반하는 화성암의 경우 마그마의 혼화 및 급냉에 의해 침상의 저어콘이 많이 형성될 수 있다(Elburg, 1996). 한편 화성암이 관입접촉부 근처에 위치하거나 포획암을 가질 경우 외래결정(xenocryst)의 저어콘이 유입될 확률이 높고, 마그마 동화에 수반되는 유체에 의해 저어콘이 변질될 가능성이 있다.

퇴적암의 시료채취에서는 저어콘을 포함한 중광물이 많이 농집될 가능성을 고려한다. 일반적으로 이암, 세일 등 미립질 암석에는 저어콘이 존재하기 어려우며, 세립질 사암보다는 중립 내지 조립질 사암에 더 입도가 큰 저어콘이 포함된다. 또한 사층리와 점이층리를 보일 경우 층리면 하부에 저어콘이 더 집중될 것이다. 퇴적암 저어콘의 중요 연구목적 중 하나는 가장 젊은 쇄설성저어콘 연령으로 퇴적시기를 제한하는 것이다. 쇄설성저어콘 중에서 일반적으로 자형의 입자가 원마도가 양호한 입자에 비해 젊은 암석에서 유래했을 가능성이 크다. 그러나 해빈퇴적물처럼 성숙도가 너무 높으면 모든 저어콘 입자가 원상 혹은 아원상으로 삭박되어 연령에 따른 원마도의 특징을 나타내지 않는다. 따라서 보다 성숙도가 낮은 시료가 연구에 더 유리할 수 있다. 한편 분급도가 낮은 퇴적암에서는 근원암 연령분포의 대표성을 얻기 어렵다.

변성암의 경우는 변성작용을 받기 전 원암의 특징을 고려한다. 즉 염기성 화성암을 모암으로 하는 각섬암에는 저어콘이 존재하기 어렵고, 모암이 미립질인 변성퇴적암에서는 저어콘이 없거나 미립의 입자들이 존재한다. 한편 변성작용의 시기를 정확하게 구하기 위해서는 과성장 저어콘을 포함하는 시료를 채취해야 한다. 열수변질작용이 없을 경우 저어콘은 일반적으로 저온-중온에서 반응을 하지 않으며, 부분용융이 일어나기 직전인 상부 각섬암상 이상부터 과성장이 시작된다(Vavra *et al.*, 1999; Williams, 2001). 또한 사질암보다는 유체가 많을 수 있는 이질암에서 반응이 보다 원활하게 일어나는 경향을 보인다(Williams, 2001).

저어콘 아입자분석을 위해 통상적으로 채취하는 시료의 양은 저어콘을 많이 포함하는 암석은 2 kg, 아주 적은 암석은 10 kg 이상이다. 다시 방문할 경우에 대비하여 모든 시료채취 지점의 정확한 좌표를 구하고, 사진으로 기록한다. 연구대상 암체가 목적에 맞는 저어콘을 포함하고 있는지 불분명한 경우에는 위치 및 암상에 따라 소량의 시료를 여러 개 채취한 후, 시험적인 광물분리를 거쳐 시료를 확정하는 것이 경제적이다.

## 저어콘 분리

### 암석분말 제작

쇠절구는 완벽한 청소가 가능하여 오염의 가능성을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 너무 많은 시간과 노력이 필요하므로 통상적으로 조쇄기(jaw crusher)와 미분기(pulverizer)를 사용한다. 시료를 먼저 햄머를 사용하여 조쇄기에 집어넣을 수 있는 크기인 두께 2

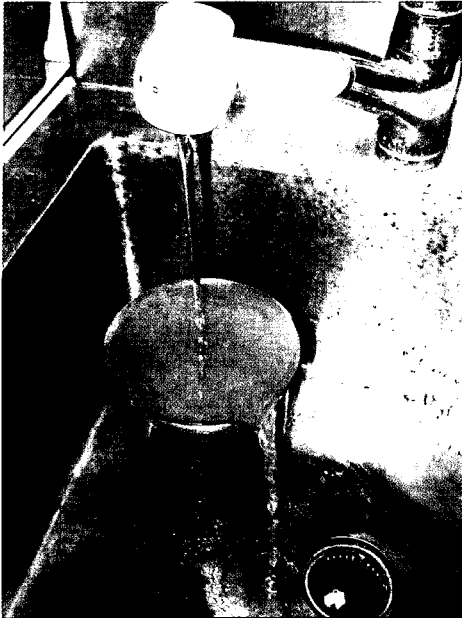


Fig. 1. A simple method of mineral separation. Note that running water from a faucet floats samples and selectively overflows light mineral grains out of beaker.

cm 이하의 압편으로 만들고, 압축공기로 먼지와 이물질을 제거한다. 이를 조쇄기에서 5 mm 정도로 분쇄한 후, 미분기에서 분말로 만든다. 암석분말에서 점토 크기의 입자가 많이 생기면 저어콘이 잘게 부서져 버릴 수 있다. 이를 방지하기 위해 미분기의 디스크 틈을 좁혀 암석분말의 입도를 점차 줄이면서 단계별로 체질을 통해 원하는 입도를 회수한다.

대부분 암석의 저어콘은 #60(250 μm) 내지 #80(180 μm)의 체를 통과하지만, 일부 알칼리계열 화성암의 저어콘은 보다 조립인 경우가 있다. 따라서 암석분말의 입도를 #60 이상, #60-#80, #80 이하로 구분하고, 각각 소량의 분말로 시험적인 광물분리를 해본 후 가장 적합한 입도를 결정한다.

### 중광물 분리

저어콘의 비중은 4.6-4.7로서 대부분의 조암광물에 비해 무겁다. 따라서 비중차이를 이용해 시료의 절대량을 차지하는 가벼운 광물을 빠르고 간편하게 제거하는 것이 효율적인 중광물 분리의 관건이다. 이를 위해 아래의 과정을 제안한다.

1) 가벼운 입자의 제거: 개수대에서 2 리터 비커에 물을 1/2 정도 채운 후 약 100 cc의 시료를 넣고 모든 암석분말이 물에 뜨도록 휘저은 다음, 이의 중심부에

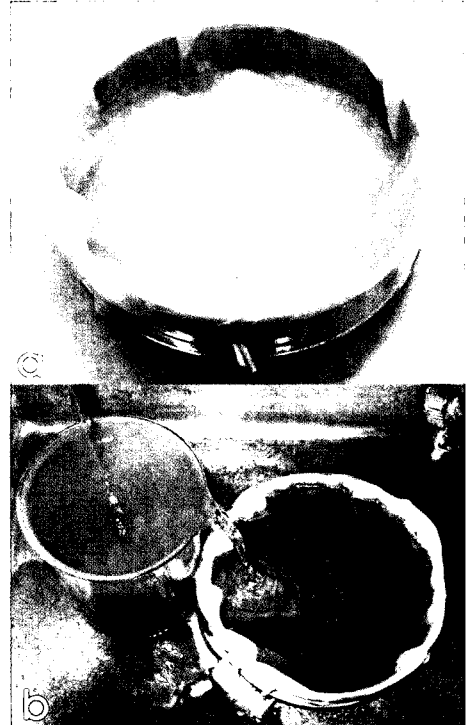


Fig. 2. A #40 sieve covered with close texture (a), and screening of light mineral grains rejected from the beaker by using the sieve (b).

가는 물줄기가 떨어지게 수도를 튼다(Fig. 1). 수압에 의해 비커 내에 입자가 떠오르면서 대류가 시작되는데, 무거운 입자는 다시 가라앉고 가벼운 입자는 물과 함께 비커 밖으로 흘러 나간다. 이 때 수압을 적절하게 조절하여 저어콘 등 가장 무거운 중광물만 비커에 남기는 것이 핵심이다. 이를 위해 물줄기의 굵기를 미세하게 조절할 수 있는 수도꼭지가 필요하다.

처음에는 비커 내에 가벼운 입자가 많아 고밀도의 대류가 형성되므로 같은 수압에서도 더 무거운 입자가 흘러나간다. 따라서 광물분리가 진행됨에 따라 물줄기를 점차 굵게 조정한다. 약 15분 간격으로 수도꼭지에서 비커를 치우고 입자가 가라앉도록 기다린 후, 물을 2 cm 높이 정도 남기고 따라 버린 다음 손으로 비커를 휘둘러주면 가벼운 광물이 위로 떠올라 분리가 더 빨리된다. 비커에서 무색광물 입자가 거의 제거되면 약 100 cc의 시료를 계속 보충해 준다.

간격이 큰 #40 내외의 체에 틈이 조밀한 망사를 씌워(Fig. 2a) 비커로부터 흘러나오는 시료를 회수할 수 있으며(Fig. 2b), 이를 건조시킨 후 다시 광물분리에 사용할 수 있다. 또한 이는 암석분말로 인해 개수대가 막

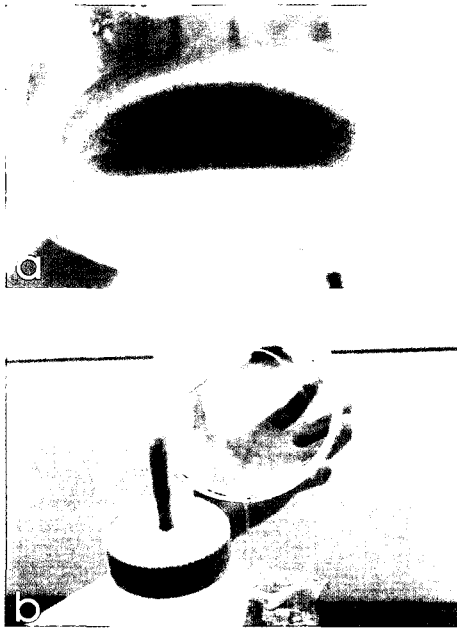


Fig. 3. Heavy mineral grains (dark color) concentrated to the bottom of beaker through the shaking of mineral separates in water (a), and removal of light mineral grains by using a wash bottle and the panning technique (b).

히는 것을 방지하는 효과도 있다.

시료에 자철석 등 철성분이 큰 광물이 다량 있으면 비커의 물을 반 정도 따라버리고 막대자석으로 휘저어 제거한다. 시료가 물에 오래 젖어 있으면 철분이 산화되어 입자가 서로 달라붙을 수 있는데 묽은 염산으로 처리하면 된다.

2) 자력선별: 먼저 시료를 묽은 염산에 담가 초음파 세척기로 20 분 처리한 다음, 여러 번 물로 행군다. 다시 시료를 증류수에 담가 초음파세척기에서 2회 처리한다. 이 과정을 통해 광물입자에 코팅된 산화막을 제거하고 같이 붙어 있는 광물들을 서로 떼어내 효과적인 자력선별을 할 수 있다.

시료를 80°C의 열판에서 건조시킨 다음, 자력선별기로 고자성광물을 제거한다. 자력선별기의 전류를 0.2 amp, 0.5 amp, 1.0 amp 등 단계적으로 높여가며 앞경사(forward slope) 30°에서 선별하는 것이 효율적이다. 1.5 amp 이상의 높은 전류에서 옆경사(side slope)를 미세하게 조절하며 저어콘과 공존하는 저자성광물을 분리할 수도 있으나, 자철석 혹은 자류철석을 포유하는 저어콘은 보다 낮은 전류에서도 고자성 쪽으로 떨어질 수 있으니 유의한다.

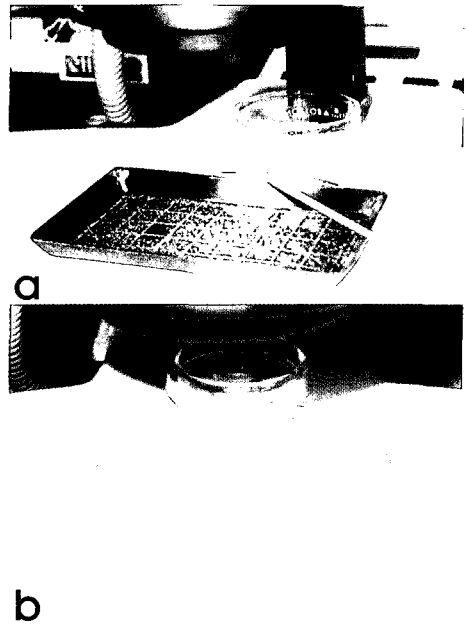


Fig. 4. Heavy mineral separates for the zircon picking, poured onto a small tray with grids (a) or a petri dish containing a mixture of water and alcohol (b).

3) 중광물 회수: 2 리터 비커에 시료와 소량의 물을 넣고 45° 기울여 계속 흔들면 가장 무거운 중광물들이 바닥으로 모인다(Fig. 3a). 비커를 반대 방향으로 기울이며 패닝(panning) 하듯이 조심스럽게 돌려주면 윗부분의 무색광물 입자들이 흘러내리는데, 세척병의 물줄기를 이용해 이들을 다른 비커로 옮긴다(Fig. 3b). 비커를 다시 원래 방향으로 하고 세척병으로 시료를 모아 처음부터 수회 반복하면 대부분의 무색광물들이 제거된다. 최종적으로 시료를 작은 비커로 옮겨 건조시킨다.

**수선별**

분리된 중광물에서의 저어콘 함량에 따라 수선별의 방법을 달리하면 효과적이다. 저어콘이 드문 경우(Fig. 4a), 1) 평편한 판위에 시료를 고르게 뿌린다(일정한 간격으로 칸이 나누어져 있는 미화석 선별용 접시가 편리하다). 2) 원하는 저어콘을 찾아 끝이 뾰족한 대나무 막대를 가볍게 대면 저어콘이 붙는다. 3) 대나무 막대를 물과 알코올의 1:1 혼합액이 담긴 직경 5 cm의 작은 유리 배양접시에 잠으면 저어콘이 떨어져 바닥으로 가라앉는다. 혼합액을 사용하는 이유는 물의 표면장력에 의해 저어콘이 가라앉지 않는 경우가 있기 때문이다.

저어콘이 많은 경우(Fig. 4b), 1) 직경 10 cm 정도의

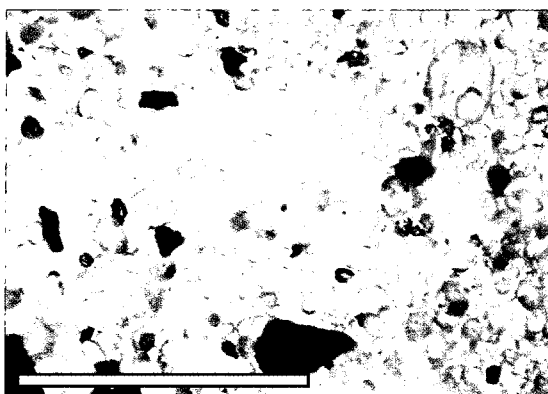


Fig. 5. A fraction of zircon and other heavy mineral grains concentrated through panning (scale bar, 1 cm).

유리 배양접시에 소량의 시료를 넣고 물과 알코올의 혼합액을 반쯤 채운 다음 빼닝하면 저어콘이 특정 부분으로 집중된다(Fig. 5). 2) 대나무 막대로 원하는 저어콘 입자들을 골라 한 곳으로 모은다. 3) 배양접시의 시료가 없는 가장자리에 화장지를 담가 혼합액을 빨아낸다. 4) 모아놓은 저어콘이 마르도록 기다린 후 대나무 막대로 작은 배양접시에 옮긴다. 이 방법은 많은 저어콘 입자를 빠르게 모을 수 있는 장점이 있다.

작은 배양접시에 담긴 저어콘을 실체현미경의 고배율로 자세히 관찰하면서 분석에 사용할 입자를 최종적으로 선택한다. 이 과정에서 저어콘의 형태, 색, 입도 등을 기재하고 대표적인 입자의 사진을 촬영한다. 연구목적에 따라 다르지만 저어콘 아입자분석의 경우 통상적으로 화성암은 300 입자 이상, 퇴적암과 변성암은 500 입자 이상이 필요하다. 아입자분석의 영역을 고려하여(SHRIMP, 직경 25  $\mu\text{m}$ ; LA-ICP-MS, 직경 30  $\mu\text{m}$  혹은 그 이상) 너무 작거나 포유물이 많은 입자는 선택에서 제외한다. 한 시료에서 저어콘의 색, 형태, 투명도 등이 다양할 경우 이를 기준으로 입자를 세분할 수도 있다.

선별된 저어콘은 알코올이 든 2ml 이하의 작은 유리병에 대나무 막대를 사용하여 옮겨 담은 후, 알코올을 증발시키면 입자의 손실 없이 안전하게 보관할 수 있다.

### 아입자 지화학분석을 위한 시료준비

#### 마운트 제작

저어콘을 에폭시계열 수지에 고정하고 입자의 중심부 단면이 노출되도록 연마하여 내부구조 관찰과 아입자분석에 이용한다. 내부구조관찰과 CHIME이 목적이

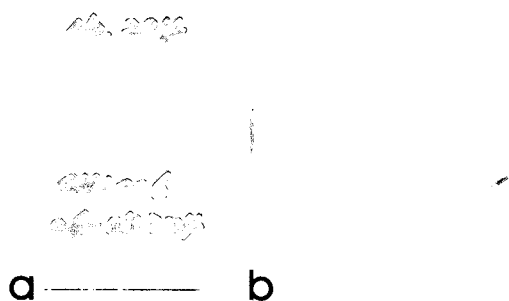


Fig. 6. Zircon grains mounted for subgrain analyses on a standard glass slide (a, 28×48 mm) or an epoxy disk (b, 1 inch×5 mm).

라면 저어콘을 28×48 mm 표준박편용 유리에 마운트(mount)하는 것이 좋다(Fig 6a). 빠르게 입자를 배열할 수 있고 현미경관찰에 편하기 때문이다. SHRIMP와 LA-ICP-MS에서는 일반적으로 직경 1인치 높이 약 5 mm 에폭시디스크를 선호하며(Fig 6b), 대부분 표준 저어콘과 분석할 저어콘을 같은 디스크에 마운트한다. 분석기관에 따라 사용하는 에폭시계열의 수지가 다르고, 이에 따라 동위원소 분석치가 영향을 받을 수 있으니 유의한다. 반면 박편유리에 마운트하는 경우 페트로포кси 154(petropoxy 154<sup>®</sup>)를 사용하는데, 상온에서 수일 이상 낮은 점성도를 유지하여 장시간 사용 가능하고, 열을 가해 완전히 고화시키면 경도가 커 연마가 용이한 장점이 있다.

박편유리에 저어콘을 마운트하는 과정은 다음과 같으며, 일부는 나고야대학교 CHIME 실험실의 방법을 적용한 것이다.

1) 마운트: 박편유리에 소량의 에폭시계열의 수지(페트로포кси 154)를 바르고, 여기에 완전히 건조된 저어콘을 옮겨 수지에 충분히 젖도록 한다. 다른 박편유리 중앙부에 수지를 아주 얇게 바른 후, 수지에 젖어있는 저어콘을 옮겨 실체현미경하에서 일정한 폭의 직선상으로 배열한다(Fig. 7). 박편유리 뒷면에 1×1 cm 모눈 종이를 테이프로 붙여 놓으면 작업이 용이하다. 두께의 차이가 큰 저어콘 입자들을 같은 박편유리에 마운트하면 이들 모두의 중심부 단면이 노출되도록 연마하는 것이 불가능하다. 따라서 두께가 유사한 입자끼리 서로 다른 박편유리에 마운트한다.

2) 접착제의 고화: 박편유리 뒷면의 모눈종이와 테이프를 떼고, 열판에서 150°C로 1시간 가열하여 수지를 고화시킨다. 박편유리를 열판에서 내려 약간 식힌 다음, 모든 저어콘 입자가 잠기도록 수지를 얇게 덧발



Fig. 7. An array of zircon grains mounted on a glass slide (photomicrograph under plane-polarized light; and scale bar is 1 mm).

라 열판에서 완전히 고화될 때까지 수 시간 가열한다.

3) 연마: 실체현미경 또는 반사현미경으로 관찰하면서 저어콘의 표면이 수지에서 드러나기 시작할 정도까지 #1200 SiC 분말로 갈아내고, #3,000 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말로 중심 단면이 드러날 때까지 더 연마한다. 최종적으로 1 μm과 0.25 μm의 다이아몬드페이스트로 저어콘의 표면을 연마한다.

에폭시디스크는 대부분의 실험실에서 아래의 방법으로 만든다.

1) 마운트: 유리판에 직경 1인치와 0.7인치의 동심원 및 저어콘 배열에 기준이 될 선을 펜으로 그린다. 이때 유리판은 두께가 일정하고 평활도가 양호한 박편유리의 원판 등을 원하는 크기로 잘라 사용하면 된다. 유리판 위에 양면테이프를 붙이고, 실체현미경하에서 완전히 건조된 저어콘을 한 입자씩 옮겨 배열한다. 양면테이프는 두께가 얇은 것이 좋으며, 너무 접착력이 강한 것은 나중에 떼어내기 어려우므로 피하는 것이 좋다. SHRIMP 혹은 SIMS 분석을 위해 에폭시디스크를 홀더(holder)에 장착하면 분석 가능한 면적이 대부분 직경 0.7인치 이내가 되므로 그 밖으로 저어콘을 마운트하지 않아야 한다.

2) 성형과 연마: 내경 1인치 몰딩파이프(molding pipe) 안쪽에 바셀린(petrolatum)과 같은 왁스를 얇게 바른다. 왁스를 바르는 이유는 고화 후 에폭시디스크가 몰딩파이프로부터 쉽게 분리되도록 하기 위함이다. 몰딩파이프를 양면테이프 위에 완전히 밀착되도록 붙이고, 에폭시수지를 약 5 mm 높이로 채운 후, 열판에 올려 고화시킨다. 저어콘 입자가 완벽하게 에폭시수지에 잠길 수 있도록 진공펌프 등을 사용해 에폭시수지에서 공기방울을 완전히 제거한 다음 사용해야 한다. 에폭시수지가 완전히 고화되면 유리판과 양면테이프를 떼어내고, 몰딩파이프에서 에폭시디스크를 빼낸다. 금속 재질의 몰딩파이프는 에폭시수지에 비해 열팽창률이 크므로 고화 후 에폭시디스크를 몰딩파이프에서 빼내기 어려울 때가 있다. 따라서 저온 상태에서 장시간 고화시키고, 금속 대신 플라스틱 혹은 세라믹 재질의 몰딩파이프를 사용하는 것이 좋다. 에폭시디스크의 뒷면을 약 5 mm의 일정한 두께로 갈아내고, 박편유리에 마

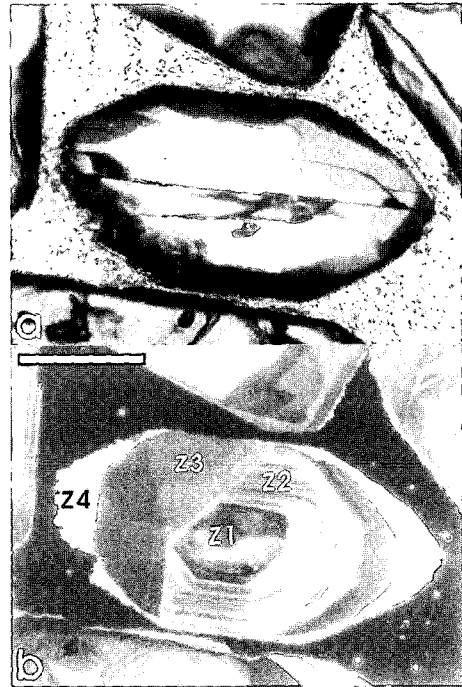


Fig. 8. Photomicrograph (a, plane-polarized light) and cathodoluminescence image (b) of a section through the zircon crystal (scale bar, 100 μm). Note that the cathodoluminescence imaging reveals complex internal structures of zircon which is not visible in (a). Possible interpretations are: z1, inherited core; z2, magmatic growth; and z3 and z4, metamorphic overgrowths at different stages (?).

운트한 경우와 같은 방법으로 저어콘을 연마한다.

### 내부구조 관찰과 분석위치 결정

주사전자현미경의 후방산란전자(backscattered electron) 혹은 음극발광(cathodoluminescence) 영상으로 저어콘의 내부구조를 관찰할 수 있다(예: Paterson *et al.*, 1992; Vavra *et al.*, 1999). 이 중 음극발광영상이 저어콘 내부구조의 특징을 가장 잘 나타내므로(예: Fig. 8) 대부분의 연구에서 이를 적용한다. 주사전자현미경 영상 관찰을 위해 시료의 표면을 증착하는데, CHIME에서는 일반적인 전자현미분석의 경우와 같이 25 nm 두

계의 탄소로 증착한다. 반면 SHRIMP에서는 금이 탄소에 비해 전기전도성이 좋고, 증착이 용이하며, 경우에 따라 저어콘의 안정동위원소도 분석할 수 있기 때문에 금 증착을 선호하며, 이때 두께는 20-40 nm이다. 탄소 혹은 금으로 증착하기 전에 표준저어콘과 분석할 모든 저어콘입자를 편광현미경 개방니콜과 반사현미경 사진으로 촬영해 놓아야 한다.

음극발광영상에 의한 내부구조와 분석영역의 직경(전자, 이온 혹은 레이저 빔의 크기)을 고려하여 분석위치를 선정하고, 편광현미경 개방니콜 사진으로 미세균열과 포유물의 존재유무를, 반사현미경 사진으로 표면의 연마 상태를 각각 점검하여 저어콘 아입자분석의 최종위치를 결정한다.

## 결 론

이 연구에서 제시된 저어콘을 위한 증광물분리법은 전통적인 방법에서의 율폴리테이블과 증액분리의 과정이 필요하지 않다. 따라서 보다 신속하고 간편하게 저어콘을 얻을 수 있는 장점이 있으며, 특히 수백 혹은 수천 개의 저어콘만 있으면 충분한 아입자분석을 위해 적합하다. 저어콘이 아주 드문 경우를 제외하면 5 kg 미만의 암석분말 시료를 가지고 이 연구의 방법을 적용할 경우 2~3일이면 저어콘의 수선별까지 마칠 수 있다.

이 연구의 증광물분리법과 아입자분석의 시료준비법은 저어콘을 중심으로 기술되었으나 모나자이트, 제노타입, 인회석의 경우를 위해서도 그대로 적용할 수 있으며, 석류석, 스피넬, 각섬석, 운모류 등의 광물분리에 응용할 수 있다.

## 사 사

지난 수 년 동안 아입자 연대측정과 시료준비법에 대해 저자와 많은 토의를 나눈 나고야대학교 Kazuhiro Suzuki 교수와 호주국립대학교의 Richard Armstrong 박사, 전자현미경 음극발광영상 사진촬영을 도와준 신재봉 박사에게 감사드립니다. 심사를 통해 이 논문의 개선에 힘써주신 조문섭 교수와 송용선 교수께 사의를 표하며, 이 연구는 한국지질자원연구원의 기관고유사업 "한반도/동북아 중생대 지각진화연구"(사업번호 04-3111)에 의해 지원되었다.

## 참고문헌

- Elburg, M.A., 1996, U-Pb ages and morphologies of zircon in microgranitoid enclaves and peraluminous host granite: evidence for magma mingling, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 123, 177-189.
- Gebauer D. and Gr enfelder M., 1976, U-Pb zircon and Rb-Sr whole rock dating of low-grade metasediments - example Montagne Noire (South France). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 59, 13-32.
- Lee, J.K.W., Williams, I.S. and Ellis, D.J., 1997, Pb, U and Th diffusion in natural zircon. *Nature*, 390, 159-162.
- Mursky G., 1987, Flow chart for mineral separation from granitic rocks. *J. Geol. Edu.*, 35, 256-259.
- Paterson, B.A., Stephens, W.E., Rogers, S.G., Williams, I.S., Hinton, R.W. and Herd D.A., 1992, The nature of zircon inheritance in two granite plutons. The second Hutton symposium on the origin of granites and related rocks. *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, 83, 459-471.
- Pidgeon R.T. and Aftalion M., 1972, The geochronological significance of discordant U-Pb ages of oval shaped zircons from a Lewisian gneiss from Harris, Outer Hebrides. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 17, 267-274.
- Pidgeon, R.T., 1992, Recrystallisation of oscillatory zoned zircon - some geochronological and petrological implications. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 463-472.
- Pidgeon, R.T. and Compston, W., 1992, A SHRIMP ion microprobe study of inherited and magmatic zircons from four Scottish Caledonian granites. The second Hutton symposium on the origin of granites and related rocks. *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, 83, 473-483.
- Sinha, A.K., Wayne, D.M. and Hewitt D.A., 1992, The hydrothermal stability of zircon - preliminary experimental and isotopic studies. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 3551-3560.
- Speer, J.A., 1982, Zircon. In: *Orthosilicate* (ed. P.H. Ribbe), *Reviews in Mineralogy*, 5 (2nd ed.), *Min. Soc. Am.*, 67-112.
- Vavra, G., Gebauer, D., Schmid, R. and Compston W., 1996, Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): an ion microprobe (SHRIMP) study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122, 337-358.
- Vavra, G., Schmid, R. and Gebauer, D., 1999, Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircon: geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134, 380-404.
- Williams, I.S., 2001, Response of detrital zircon and monazite, and their U-Pb isotopic systems, to regional metamorphism and host-rock partial melting, Cooma Complex, southeastern Australia. *Austral. J. Earth Sci.*, 48, 557-580.