선광팬을 이용한 효과적인 저어콘 분리법

정원석^{1,2*} · 조문섭¹ · 김윤섭²

¹서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부, ²충북대학교 자연과학대학 지구환경과학과

An Efficient Method for Zircon Separation Using the Gold Pan

Wonseok Cheong^{1,2*}, Moonsep Cho¹, and Yoonsup Kim²

¹School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-747, Korea

²Department of Earth and Environmental Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

요 약: 우리는 선광팬, 일회용 체, 수돗물을 이용해 효과적이고 간편하게 저어콘을 분리하는 방법을 보고한다. 먼저 230 μm 이하로 분말화 한 시료를 약 10° 정도 기울인 선광팬에 넣고 물을 흘려보낸다. 밀도가 낮은 입자들과 더불어 선광팬으로부터 넘쳐흐른 물을 망간격이 ~70 μm 인 체로 걸러낸다. 물의 공급량이 초당 0.1 리터이고 수도꼭지의 높이가 수면으로부터 20-25 cm일 때 가장 효율적으로 저어콘이 분리되었다. 수돗물을 공급한지 20-30분 정도 지나면 다음 작업인 자력 분리(필요시 중액 분리) 또는 저어콘 수선별을 진행할 수 있을 만큼 중광물들이 팬에 모인다. 이 방법은 중액을 사용하는 고전적 방법에 비해 안전하며, 저어콘 뿐만 아니라 모나자이트와 같은 다른 중광물의 분리에도 사용될 수 있다.

핵심어: 선광팬, 물, 저어콘, 중광물 분리

Abstract: We report an easy and efficient method for separating zircon grains using a gold pan and disposable sieve together with the tap water. Samples powdered to less than 230 μm in grain size are placed on the water-filled pan tilted at about 10°. The outflowing water flooded with low-density particles is screened by a ~70 μm sieve. The most efficient rate of water outflow is estimated to be 0.1 L/sec, when the distance between the tap and the surface of water-filled pan is kept at 20-25 cm. After 20-30 minutes of water outflow, heavy mineral fractions are ready for zircon collection using a hand magnet (and heavy liquid when necessary) or simply hand-picking. This procedure is most likely applicable for the separation of other heavy minerals including monazite.

Key words: gold pan, water, zircon, heavy mineral separation.

서 론

이차이온질량분석기(SIMS)나 레이저 삭박-유도결합 플라즈마-질량분석기(LA-ICP-MS)를 이용한 저어콘의 U-Pb 동위원소 측정은 지질학적으로 매우 유용한 여러 정보와 함께, 새로운 지체구조 해석에 필요한 다양한 자료들을 제공한다(Cawood *et al.*, 2012; Gehrels, 2012). 저어콘 U-Pb 연대측정이 이전에 비해 수월해지고 활발하게 수행됨에 따라, 저어콘을 포

함한 중광물의 분리법도 발전하고 있다. 특히 2009년 우리나라에도 기초과학지원연구원에 고분해능이차이온질량분석기(SHRIMP)가 도입되어 많은 연구자들이 다량의 저어콘 및 모나자이트를 분리하여 연대측정을 시도하고 그에 따른 다양한 연구 결과들을 발표하였다(Cho *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2011; Yi *et al.*, 2012; Cho *et al.*, 2013). 중광물 분리법에 대해서는 외국의 일부 연구자들이 구체적으로 기술한 바 있다(Ijlst, 1973; Hauff and Airey, 1980; Callahan, 1987; Krukowski, 1988; Soderlund and Johansson, 2002). 하지만, 국내 연구 중에서는 Cho (2004)의 연구가 유일하다. 중광물 분리는 방법

*Corresponding author
Tel: 010-4653-6968
E-mail: metasedi@gmail.com

도 중요하지만 분리자의 경험과 숙련도 또한 매우 중요하다. 따라서 중광물 분리를 처음 시도하고자 하는 연구자들이 참고문헌이나 가이드북에 근거해 성공적으로 수행하기에는 상당한 어려움이 있다. 그 이유중의 하나는 아마도 저어콘 분리방법이 정량적으로 기술되어 있지 못한 점일 것이다. 따라서 우리는 그동안 200여 개의 화성암, 변성암과 퇴적암으로부터 저어콘과 모나자이트의 분리를 시도하면서 축적한 경험적이고 구체적인 분리방법을 제시하고자 한다. 특히 수돗물만을 이용해 비교적 쉽게 중광물을 분리할 수 있는 방법에 대해 집중적으로 기술한다.

실험 방법

Cho (2004)는 저어콘 분리를 위한 시료의 선별 방법, 암석의 파쇄 및 분쇄 과정, 저어콘 분리 및 분석용 시료 제작에 대한 기본적인 절차에 대해서 매우 상세하게 기술한 바 있다. 이 연구에서 채택한 저어콘 분리를 위한 기본적인 절차는 Cho (2004)가 제시한 내용과 동일하다. 우리가 채택한 저어콘 분리과정을 요약하면 Fig. 1과 같다. 이번 보고에서는 선광판과 물을 이용한 저어콘 분리 부분에 대해서 집중적으로 기재하고, 나머지 사항에 대해서는 실제 이용한 도구와 방법 등을 간단히 언급하는데 그치기로 한다.

시료의 선택: 저어콘 분리를 위한 시료의 선택은 무엇보다 풍화나 변질을 덜 받은 신선한 시료 위주로 채집하는 게 중요하다. 물론 부득이한 경우 풍화나 변질을 많이 받은 시료로 저어콘 분리를 시도할 수 있으나, 대개 납 손실(Pb loss) 등의 문제가 발생할 수도 있기 때문에 분석 자료를 얻은 후 연대 해석에 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 최대한 풍화를 덜 받은 신선한 시료를 선택해 저어콘 분리작업에 들어간다. 시료의 양은 일반적으로 화강암과 같은 규장질암류일 경우엔 1-2 kg 내외를 파쇄 하였고, 저어콘 함량이 적은 것으로 알려진 고철질암류는 최대 10 kg까지도 파쇄 하였다(Cho, 2004). 경험에 의하면 후자의 경우 조립질일수록 저어콘을 발견할 확률이 높았다. 특히 최후까지 고화되지 않고 남아 있던 잔류 마그마로부터 정출된 거정질 반려암과 같은 고철질암류는 저어콘이 존재할 확률이 매우 높다. 퇴적암의 경우 일반적으로 가는 모래(fine-grained sand) 보다 큰 약 1 mm 이상의 입자크기를 갖는 사질암이 SHRIMP 분석에 적당한 저어콘을 많이 갖고 있다. 사질암류보다

Fig. 1. A schematic flow chart showing a series of steps for the zircon separation.

입자가 작은 이질암류에서도 저어콘이 발견될 확률이 있으나 그 확률은 상대적으로 매우 낮다. 예를 들어, 지금까지 보은·미원 지역의 옥천변성대에서 화석이 보고된(Lim *et al.*, 2007) 소위 창리층, 국사봉층, 구룡산층 등의 주구성암인 흑색 점판암에서 저어콘 분리를 시도하였지만, 처리된 10여 개의 시료에서 극소량의 저어콘만 회수했거나 전혀 찾을 수 없었다.

시료의 파쇄 및 분쇄: 시료를 광물입자 크기로 만드는 작업은 크게 큰 시료를 5 cm 이내의 작은 덩어리로 쪼개는 파쇄(crushing) 단계, 그리고 이들 덩어리를 구성광물의 입자크기로 부수는 분쇄(powdering) 단계로 구분한다. 파쇄는 암석용 망치를 이용하거나

서울대학교 지구환경과학부에 있는 유압 압축기를 이용하였다. 분쇄 단계는 충북대학교 지구환경과학과에 보유중인 Retsch RM100 아게이트 밀(agate mill)과 Fritsch Pulverisette9 컵 셰이크 밀(cup shake mill)을 이용했다. 이 두 장비는 모두 청소가 용이하다는 장점을 갖고 있다. 다만 아게이트 밀은 모터 용량 및 용기의 크기가 작아 한 번에 대략 100 g 이상의 시료나 큰 알갱이의 시료를 처리하기가 어려웠다. 이에 비해 컵 셰이크 밀은 분쇄용기의 용량과 모터출력이 크기 때문에 많은 양의 시료를 한꺼번에 분쇄하는데 유리하다. 하지만 50 g 이내의 소량 시료를 다룰 때에는 용기 안의 링들이 서로 부딪혀 부서질 수 있기 때문에 주의를 요한다. 또한 과도한 분쇄로 인하여 저어콘 입자들이 파괴되지 않도록 유의해야 한다. 따라서 본격적인 분쇄작업 이전에 사용기기에 따른 적절한 분쇄강도와 시간을 경험적으로 찾는 것이 중요하다. 우리는 컵 셰이크 밀에서 분쇄강도와 분쇄시간을 각각 650과 50초로 맞추어 사용하였다.

체(sieve)를 이용한 입도 선별: 보통 망직경이 230-250 μm (~100 mesh)인 체를 이용하여 분쇄가 덜된 것과 망직경보다 작은 크기로 분쇄된 분말들을 분리한다. 시료에 따라 저어콘의 크기가 다르기 때문에 망직경이 다른 체를 사용하는 것도 필요하다(Cho, 2004). 500 μm 이상의 입자는 물을 이용한 저어콘 분리단계에서 대부분 선광팬에 남아 있기 때문에 저어콘 분리에 별로 도움이 되지 못한다. 따라서 일부 입자가 비교적 큰, 강이나 해안에서 채집한 모래 시료도 230 μm 의 체를 이용해서 분리해야 한다. 입도 선별시 이용한 체는 완벽한 세척이 어려워 여러 시료를 처리할 경우 이전 시료에 의한 오염 가능성이 높다. 따라서 시료가 바뀔 때마다 체망을 교환할 수 있는 일회용 체를 사용하는 게 바람직하다. 입도 작업을 진행하는 순서는 연구자에 따라 다를 수 있는데, 분쇄작업이 모두 끝난 후에 입도 선별을 하거나 분쇄작업과 입도 선별을 병행하여 진행하는 방식이 있다. 전자의 경우 분쇄 되지 않은 시료가 다량 남을 수 있기도 하며, 또한 필요 이상의 시료를 분쇄하는 경우도 발생하게 된다.

물을 이용한 저어콘 분리: 물을 사용한 중광물의 분리는 오래전부터 사금을 찾는 데 쓰였던 방법이다. 이 방법은 주변에서 쉽게 구할 수 있는 도구로도 충분히 수행할 수 있다는 장점을 갖고 있다. Cho (2004)은 물을 이용한 분리과정에서 2 리터의 비커에 분쇄된

암석분말을 넣고 약한 물줄기를 비커에 지속적으로 떨어뜨림으로써 가벼운 광물들이 물과 함께 흘러넘치게 하는 원리를 이용했다. 우리의 실험도 비슷한 원리인데, 비커 대신 선광팬(gold pan; 이하 팬으로 지칭함)을 사용하고 상대적으로 굵은 물줄기를 흘린다는 점이 다르다.

저어콘 분리에 이용한 팬은 윗부분이 넓은 사발형태이며, 한쪽 측면에는 비교적 섬세하게 중광물이 분리되는 계단식 요철이 있다(Fig. 2a). 팬의 윗지름, 바닥면, 높이는 각각 30, 17, 7 cm이며 바닥면과 옆면이 이루는 각도는 133°이다(Fig. 2b). 팬은 대한광업협동조합(<http://www.kmining.or.kr>)과 같은 곳에서 구입할 수 있다.

물을 이용한 분리에서 물과 함께 팬에서 넘쳐 나오는 가벼운 입자들과 더불어 팬에 남지 못하고 넘어가는 저어콘을 회수하기 위해 일회용 체(망직경=72 μm 이하; ~350 mesh)가 추가로 필요하다. 72 μm 보다 작은 저어콘을 갖고 있는 시료를 처리할 때는 이보다 작은 망간격의 체를 이용하거나 체 대신에 옆면이 높은 그릇을 이용해도 된다. 팬과 체의 배열은 Fig. 2c와 d에 제시되어 있다. 팬은 수도꼭지 아래에 9-10° 정도 기울여 놓고 체는 팬에 물이 고였다가 흘러나가는 방향으로 놓는다(Fig. 2d). 물이 흘러 빠져나가는 쪽으로 팬의 요철이 없는 부분이 오도록 배열한다. 한 번에 처리하는 분말 시료의 양은 경험적으로 보아 200-400 g 정도가 저어콘 회수율이 좋았다. 수도꼭지로부터 나오는 물의 양은 초당 0.1 리터로 유지했다. 유량은 1 리터 비커에 물이 꽉 찰 때까지 걸린 시간을 측정했으며, 10회 반복 측정된 결과의 평균값으로 산출하였다. 수도꼭지로부터 팬까지의 거리는 팬에 물이 꽉 차 있을 때의 수면으로부터 높이가 20-25 cm 정도 되도록 하였다(Fig. 2d). 이 높이에서는 장시간 물을 흘려도 저어콘과 중광물들이 팬 내부에 끝까지 남아 있었다. 25 cm 보다 높게 유지하면 낙차에 의해 유속이 빨라져 중광물 분리 과정이 빨리 진행되긴 되는 반면에, 1시간이 지나면 모든 분말들이 체 쪽으로 넘어가버려 중광물 분리가 되지 않았다. 반대로 수도꼭지의 높이를 너무 낮게 하면 가벼운 입자들이 팬을 벗어나는데 너무 오랜 시간이 걸려 비효율적이다. 팬 위로 떨어지는 수도물의 위치는 물이 흘러넘치는 방향의 반대쪽으로 팬의 중심부로부터 3에서 5 cm 떨어진 곳에 두었다(Fig. 2d).

분리를 시작한 처음엔 강한 흙탕물이 발생하며

상당량의 시료가 체로 넘어가는 것처럼 보이지만 3분 정도 지나면 대부분의 시료가 팬의 바닥에 가라앉으면서 물이 맑아진다. 5~10분 정도 지나면 가벼운 입자들의 상당량이 체로 넘어간다(Fig. 2e). 작은 입자들은 팬의 물 흐름에 따라서 위로 뜨거나 팬 바닥의 벽면을 타고 올라가기도 하지만 상당히 오랜 시간 팬 바닥에 붙어있는 경우도 있는데, 깨끗한 막대기로 한

번 저어주면 바로 위로 뜬다. 일부 가벼운 광물들과 섞여 있는 중광물들은 팬의 벽면(바닥으로부터 1/3 지점)에서 물의 흐름에 따라 상하 운동을 하는 것처럼 보이며, 중광물들이 모여 있는 곳으로부터 가벼운 광물들은 팬의 벽면을 타고 흐르는 물과 함께 체로 천천히 넘어가는 모습을 볼 수 있다(Fig. 2e).

분리를 시작한지 약 20분에서 30분 정도 지나면

Fig. 2. (a) Gold pan used for our zircon separation. (b) A diagram showing a cross section of the pan across the line A-A' in (a). (c) An overview of our "water-based" system for the zircon separation. (d) A diagram showing the cross sectional view of our separation system. (e-g) Three photographs showing sequential steps of "water-based" zircon separation: (e, f) after 5 and 15 minutes of "water-based" separation, respectively; and (g) final stage displacing particles in the pan onto the filter paper.

대부분의 가벼운 입자들은 체로 넘어가고 중광물들만 모인다(Fig. 2f). 시료에 철 산화물과 같은 것이 상당량 포함되어 있다면 팬에 남아있는 입자들의 색깔은 상당히 어둡게 보일 수도 있다(Fig. 2f). 간혹 황철석이나 석류석이 다량 포함되어 있는 경우 중광물 입자들은 각각 누렇게나 붉게 보인다. 이는 중광물이 잘 분리되고 있다는 표시이며, 경우에 따라서 저어콘이 한 곳에 모이는 것도 관찰할 수 있다. 시료에 따라 물처리가 30분 이상이 소요되는 경우도 있다. 팬에 모여진 중광물들은 세척병과 거름종이를 이용하여 쉽고 안전하게 회수할 수 있다(Fig. 2g). 저어콘이 풍부한 시료는 위의 과정을 한번만 해도 충분한 양의 저어콘을 회수할 수 있다. 하지만 저어콘 양이 적은 시료에서는 다량의 분말 시료에 대해서 위의 과정을 수회 반복해야 한다. 체에 회수된 입자에도 상당량의 저어콘이 있기 때문에 1회 이상 위와 같은 물처리를 반복하면 저어콘을 추가로 회수할 수 있다. 물처리가 끝나면 남은 시료를 오븐 건조 또는 자연 건조 후에 보관하는 것이 바람직하다.

자성광물 분리: 자성광물을 분리하는 작업은 통상적으로 자력분리기(magnetic separator)를 이용한다(예: Oberteuffer, 1974). 보다 간편하게 물 처리 후 회수된 소량의 중광물 입자들에 대해서만 강한 휴대용 자석을 사용해 자성광물을 분리하는 방법이 있다. 우리는 물 처리 후 오븐에서 잘 건조시킨 시료를 대상으로, 일반 문구점에서 쉽게 구할 수 있는 3T 정도의 네오디뮴(neodymium) 자석을 이용하여 자성광물을 분리하였다(Fig. 3a). 이때 자철석은 물론이고, 각섬석, 흑운모, 석류석과 같은 철-마그네슘 규산염광물들도 네오디뮴 자석으로 분리할 수 있다. 황철석은 자석을 이용한 최종 단계에서도 분리가 되지 않는다. 다만 황철석의 특징인 노란색의 금속광택 때문에 실제 현미경 상에서 저어콘과 쉽게 구분된다. 저어콘은 비자성광물로 알려져 있지만 자석으로 분리한 자성광물들 중에도 일부 저어콘 입자들이 함께 딸려 가기도 한다(Fig. 3b). 그 이유는 자성광물이 너무 많을 경우 저어콘이 함께 휩쓸려 가는 경우와 저어콘 포유물중에 자성광물이 있을 경우이다. 한편, 모나자이트는 희토류 원소를 포함하고 있어서 자석에 붙을 가능성이 크기 때문에 모나자이트의 자성분리 시 많은 주의를 요한다.

중액을 이용한 중광물 분리: 자성광물의 분리를 마친 후 남은 비자성 광물들을 대상으로 중액을 이용한

저어콘 분리를 시도할 수 있다. 다만, 물을 이용한 선별 과정이 잘 수행되었다면 중액분리는 생략해도 무방하다. 중액 분리는 저어콘을 좀 더 손쉽게 확보할 수 있는 방법이긴 하지만 일부 중액은 독성이 있을 뿐 아니라 아세톤과 같은 화학물질을 다량 용제로 사용해야 한다(Hauff and Airey, 1980; Callahan, 1987). 따라서 후드 설비가 없는 실험실에서는 중액 분리 작업을 하지 않는 것이 바람직하다. 우리의 경험으로 보아 대부분의 규장질암과 사암에서는 중액 처리를 하지 않고도 충분한 양의 저어콘을 어렵지 않게 회수할 수 있었다. 참고로, 저어콘 분리에 이용되는 중액은 요오드화 메틸렌(diiodomethane; CH_2I_2 ; 비중 = 3.320)과 테트라브로모에탄(tetrabromoethane; $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$; 비중 = 2.967)이 있다(Hauff and Airey, 1980). 그 외에 가루를 물에 녹여 쓰는 SPT(sodium polytungstate)도 독성이 없기 때문에 많이 쓰인다(Hauff and Airey, 1980; Callahan, 1987; Krukowski, 1988). SPT는 물에 녹이는 양이 증가할수록 비중이 증가하므로 다양한 비중의 중액을 만들 수 있는 장점이 있다. 하지만, SPT 용액의 비중이 커질수록 점성도 증가하여 중광물이 가라앉는데 오랜 시간이 걸리는 불편함이 있다.

저어콘 수선별(hand-picking): 실제 현미경에서의 저어콘 수선별은 여러 분리 작업 중에서 경험적인 요소가 가장 많이 영향을 미치는 과정이다. 특히, 여러 중광물들 사이에서 저어콘을 구분하는 것은 결정학 및 광물학적 지식 그리고 무엇보다 경험이 필요하다. 수선별에 사용하는 도구와 방법은 연구자에 따라 달라질 수 있다. 우리는 페트리 접시(petri dish)에 에탄올을 적당량 부은 후 비자성 중광물들을 넣고 핀셋으로 저어콘 입자를 하나하나 골라내는 방법을 썼다(Fig. 3c). 이 페트리 접시를 손으로 들어서 에탄올이 넘치지 않을 정도로 원을 그리며 계속 흔들어 주면, 광물 입자들이 가운데로 몰리게 된다. 상대적으로 무거운 입자들은 페트리 접시 바닥면으로 모이면서 움직임이 둔해지는 반면, 가벼운 입자들은 에탄올과 함께 활발하게 움직이므로 무거운 광물의 분리가 가능하게 된다(Fig. 3d). 저어콘 입자들은 보통 상대적으로 무거운 광물들이 모이는 바닥면에 많이 나타난다. 만약 저어콘 입자의 크기가 비교적 균질하다면 저어콘이 페트리 접시의 특정 부위에 집중적으로 모이므로 회수가 매우 용이하다(Fig. 3e). 이들 회수된 부분을 새로운 페트리 접시에 에탄올과 함께 넣고 저어콘

Fig. 3. (a) Separation of magnetic and non-magnetic fractions using a neodymium magnet. (b) Zircon grains separated from other minerals in a magnetic fraction. (c) A non-magnetic fraction soaked with ethanol in a petri dish. For the hand picking of zircon, a needle-sharp tweezer of style No. 5 is useful. (d) Photomicrograph of non-magnetic fraction enlarged from (c). Several hand movements swirling ethanol solution in the petri dish produce gradual separation between high- and low-density particles. Note that zircon grains are distinctly grouped together in the high-density fraction at the left bottom. (e) Photomicrograph showing the zircon-rich portion in (d). (f) Zircon grains after the hand-picking using a tweezer. Some mafic contaminants are also visible.

입자들을 충분히 확보할 때까지 핀셋으로 하나하나 옮겨 놓는다(Fig. 3f). 핀셋은 공구상가에서 구입할 수 있는 가장 가는 전자핀셋(No. 5)이다.

고찰 및 결론

지금까지 전반적인 저어콘 분리방법과 더불어 선풍

팬과 물을 이용한 새로운 저어콘 분리 방식에 대해 집중적으로 설명하였다. 우리가 저어콘 분리에 사용한 수치들은 모두 경험적인 자료에 기초한 값들이다. 따라서, 왜 특정 수치에서 중광물들이 잘 분리되는지 이론적으로 설명하기는 매우 어렵다. 뿐만 아니라 우리의 저어콘 분리 방식에는 세 가지 단점이 존재한다. 첫째, 물을 많이 소모하는 점이다. 초당 0.1 리터의 물을 사용하면 1분당 6 리터의 물이 소모된다. 물을 이용한 분리시간이 최소 20분임을 감안하면 물 소모량은 무시할 정도가 아니다. 이러한 단점은 물을 재사용할 수 있는 순환여과장치를 사용해 해결할 수 있을 것이다. 둘째, 물이 비교적 세게 흐르기 때문에 간혹 시료의 일부가 체에서 넘쳐 빠져 나가는 일이 발생한다. 다량의 분말 시료로부터 저어콘을 분리하는 경우 이러한 손실은 큰 문제가 되지 않는다. 하지만 분말 시료가 소량이고 매우 귀한 경우엔 위에 제시한 다량의 물을 사용한 분리 방법을 권장하지 않는다. 이와 같은 분말 시료의 경우 중액으로만 분리하는 것이 가장 효과적이다. 우리가 수행한 실험 중에서 20 g도 되지 않는 적은 양의 화강암 시료로부터 중액분리만 이용하여 10개 이상의 저어콘을 분리한 사례도 있다. 셋째, 앞에서 언급한 바와 같이 우리가 제안한 방법은 500 μm 이상의 큰 저어콘 분리에 적용하기 어렵다. 만일 입자 크기가 큰 저어콘을 갖는 시료에 대해 우리의 분리법을 적용하고 싶다면, 저어콘 입자를 230 μm 이하로 분쇄해야만 할 것이다. 따라서 저어콘 입자의 형태를 보존한 채 그대로 분리하기 원한다면 다른 분리법을 강구해야 할 것이다.

위에 열거한 단점에도 불구하고, 우리가 제시한 선광팬을 이용한 저어콘 분리방법은 매우 중요한 장점들을 지니고 있다. 즉, 비교적 쉽게 구할 수 있는 도구들을 이용한다는 점, 그리고 유량과 도구들의 배열 위치를 정량적으로 제시하였기 때문에 누구나 쉽게 저어콘 분리를 시도할 수 있다는 점이다. 또한 물을 사용한 우리의 중광물 분리 방법은 중액을 사용하는 고전적 방법에 비해 안전하기 때문에 앞으로 저어콘 뿐만 아니라 모나자이트와 같은 다른 중광물의 분리에도 적용될 수 있으리라 기대된다.

사 사

본 연구에 건설적인 비평을 제공해주신 한국지질자원 연구원의 조등룡 박사와 익명의 심사자께 감사드립니다.

이 연구는 한국연구재단의 중견연구자지원사업(2012-046252) 및 일반연구자지원사업(2011-0014837)의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

- Callahan, J., 1987, A nontoxic heavy liquid and inexpensive filters for separation of mineral grains. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57, 765-766.
- Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J. and Dhuime, B., 2012, Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology*, doi:10.1130/G32945.1
- Cho, D.-L., 2004, Mineral separation and sample preparation methods efficient for subgrain zircon analyses. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 13, 126-132 (In Korean with English abstract).
- Cho, M., Na, J. and Yi, K., 2010, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasediments of the Taean Formation, western Gyeonggi massif, Korea. *Geosciences Journal*, 14, 99-109.
- Cho, M., Cheong, W., Ernst, W.G., Yi, K. and Kim, J., 2013, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasedimentary rocks of the central Ogcheon fold-thrust belt, Korea: Evidence for tectonic assembly of Paleozoic sedimentary protoliths. *Journal of Asian Earth Sciences*, 63, 234-249.
- Gehrels, G., 2012, Detrital zircon U-Pb geochronology: current methods and new opportunities. Chapter 2. In: Busby, C. and Azor, A. (Eds.), *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*. Wiley-Blackwell, pp. 47-62.
- Hauff, P.L. and Airey, J., 1980, The handling, hazards, and maintenance of heavy liquids in the geologic laboratory. *Geological Survey Circular 827*, USGS, pp. 24.
- Ijst, L., 1973, A laboratory overflow-centrifuge for heavy liquid mineral separation. *American Mineralogist*, 58, 1088-1093.
- Kim, J., Yi, K., Cheong, Y. and Cheong, C.S., 2011, Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of Mesozoic high-K granitoids in the central Korean Peninsula. *Gondwana Research*, 20, 608-620.
- Krukowski, S.T., 1988, Sodium metatungstate: a new heavy-mineral separation medium for the extraction of conodonts from insoluble residues. *Journal of Paleontology*, 62, 314-316.
- Lim, S.-B., Chun, Y., Kim, Y.B., Lee, S.R., and Kee, W.-S., 2007, Geological ages and stratigraphy of the metasedimentary strata in Hoenam-Miwon area, NW Okcheon belt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 125-150 (In Korean with English abstract).
- Oberteuffer, J., 1974, Magnetic separation: a review of principles, devices, and applications. *Magnetics, IEEE Transactions*, 10, 223-238.

- Park, K.-H., Lee, T.-H., and Yi, K., 2011, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in the Daehyangsan Quartzite of the Okcheon Metamorphic Belt, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 423-431 (In Korean with English abstract).
- Soderlund, U. and Johansson, L., 2002, A simple way to extract baddeleyite (ZrO_2). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 3, 1014. doi:10.1029.2001GC00212.
- Yi, K., Cheong, C.-S., Kim, J., Kim, N., Jeong, Y.-J., and Cho, M., 2012, Late Paleozoic to Early Mesozoic arc-related magmatism in southeastern Korea: SHRIMP zircon geochronology and geochemistry. *Lithos*, 153, 129-141.

2012년 12월 15일 접수

2012년 12월 19일 심사개시

2013년 1월 23일 채택