

옥동단층대 석영편암의 K-Ar 연령에 대한 검토: 장산층의 선캠브리아기 퇴적에 대한 확실한 증거로 활용 가능한가?

김명정 · 박계현*

부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부

A review on the K-Ar Ages of Quartz Schist in the Okdong Fault Zone: Robust Enough for the Evidence for the Precambrian Deposition of the Jangsan Formation?

Myoung Jung Kim and Kye-Hun Park*

Division of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University

요 약: 옥동단층대를 따라 발달한 하부 장산층내 견운모 석영 편암의 K-Ar 연령이 옥동단층의 활동시기와 옥동단층이 자르고 있는 장산층의 퇴적시기를 한정하는데 활용할 수 있어 다시 주목 받고 있다. 보고된 3개의 K-Ar 연령 중에서 가장 오래된 연령(562±2 Ma)은 조선누층군 최하부층인 장산층의 퇴적시기가 신원생대 말기라는 주장의 중요한 근거로 제시되고 있다. 이와 같은 해석은 퇴적분지의 생성과 진화를 포함한 한반도의 지구조적 진화에 매우 중요한 의미를 갖기 때문에 보고된 연령 분석자료(Yun, 1983)의 신뢰도와 지질학적 의미에 대하여 다시 고찰하였다. 그 결과 분석된 암석표본에 함유된 석영은 상당량의 과잉 Ar을 포함하는 것으로 추정되기 때문에 장산층의 연령을 한정하는 근거로 활용하는 것은 적합하지 않으며, 이 암석표본이 나타내는 압쇄운동의 시기는 약 170 Ma로 판단된다.

핵심어: 장산층, 옥동단층, K-Ar 연령, 조선누층군

Abstract: The K-Ar ages of a sericite quartz schist in the lower Jangsan Formation along the Okdong fault zone reported by Yun (1983) have attracted attention again because of their potential to constrain the depositional timing of the Jangsan Formation. The oldest age of 562 ± 2 Ma among three reported K-Ar ages in the schist led to the claim that the depositional period of the lowermost Jangsan Formation in the Joseon Supergroup is late Neoproterozoic. Its depositional age is important for understanding the tectonic evolution of the Korean Peninsula including the formation and evolution histories of its sedimentary basins. Thus, the reliability and geological meaning of three K-Ar ages in the original paper (Yun, 1983) were revisited in the review. Quartz grains in the analyzed sample contain a considerable amount of excess Ar, and therefore it is inappropriate to use the ages as a basis for a depositional age constraint of the Jangsan Formation. The timing of mylonitization in the schist is recalculated as ~170 Ma.

Keywords: Jangsan Formation, Okdong Fault, K-Ar age, Joseon Supergroup

서 언

최근 조선누층군 최하부층인 장산층(장산규암)의 퇴적시기가 선캠브리아기라는 주장과 이를 반박하는 논

의가 있었다(Lee *et al.*, 2016a, 2016b; Chough *et al.*, 2016). Lee *et al.*(2016a)가 장산층이 선캠브리아기 퇴적층이라고 주장한 중요한 근거는 Yun(1983)의 K-Ar 연령자료이다. 이 연령자료는 1:50,000 지질도 옥동도폭(Son and Lee, 1966)내 장산층의 하부에 위치한 견운모 석영 편암 시료에서 측정되었으며, Kim *et al.*(1989)에 의하여 옥동단층대의 표본으로 해석되

*Corresponding author
Tel: +82-51-629-6629
E-mail: khpark@pknu.ac.kr

었다. Yun(1983)은 견운모 석영 편암 시료로부터 235 ± 5 Ma, 266 ± 5 Ma, 그리고 562 ± 5 Ma의 3개 K-Ar 연령을 보고하였다. 이 중 가장 오래된 562 Ma의 연령이 옥동단층의 활동시기를 대표한다면 옥동단층이 장산층을 절단하고 있기 때문에 Lee *et al.*(2016a)이 제시한 장산층의 퇴적시기가 선캠브리아기라는 해석은 정당하다. 하지만 이러한 해석은 장산층의 퇴적시기가 캄브리아기라는 지금까지의 전통적인 관점과는 다르기 때문에 그 근거로 제시된 연령측정 자료에 대하여 그 신뢰도를 검증하는 작업이 선행되어야 한다. 특히 K-Ar 연대측정의 경우 과잉 Ar을 함유하여 원래의 연령보다 더 오래된 연령이 산출될 가능성이 존재하기 때문에(예, Rama *et al.*, 1965; Kelley *et al.*, 1986; Kelley, 2002) 연대측정 결과의 신뢰도에 대하여 고찰해볼 필요성이 더욱 크다.

Lee *et al.*(2016a)과 Kim *et al.*(1989)는 Yun(1983)이 보고한 3개의 연령을 각각 옥동단층이 활동한 별개의 시기로 해석하였다. 옥동단층의 활동시기는 한반도 지각의 지구조적 진화를 해석하는데 있어서 상당히 중요한 의미를 갖기 때문에 이렇게 별개의 단층 활동시기로 해석하는 것이 타당한지에 대한 검토가 또한 필요하다. 따라서, 견운모 석영 편암 표품에 대한 K-Ar 연령자료를 보고한 원저자(Yun, 1983)의 원래 의견을 연대측정 전문가가 아니더라도 보다 쉽게 이해하고 판단할 수 있도록 다시 살펴봄과 동시에 이 표품의 K-Ar 연대 신뢰도와 그 해석에 대해 검토해 보고자 한다.

옥동단층대 견운모 석영 편암 표품의 K-Ar 연령 검토

분석표품

Yun(1983)이 보고한 옥동도폭 장산층 하부의 견운모 석영 편암에 대한 K-Ar 연령을 논의하기에 앞서 분석된 표품의 채취 위치와 이 암석이 어떤 지질단위에 속하는지에 대하여 살펴볼 필요가 있다. Yun(1983)은 선캠브리아 기저 위에 캄브리아기 장산층이 부정합관계로 놓여있으며, 두 단위들이 약 10 m 두께의 견운모 석영 편암에 의하여 분리되어 있다고 표품을 채취한 지역에 대해 기술하였다(Fig. 1). 해당지역인 1:50,000 옥동도폭(Son and Lee, 1966)에서도 조선누층군 최하부 장산층의 하위와 그 부근에 10 m 내외 두께로 녹니석, 견운모 또는 활석을 수반하는 편암질

암석으로 구성된 변질대의 존재를 보고하였으며, 이 변질대는 하부의 선캠브리아 암석이 변질된 것도 일부 있으나 조선누층군의 장산규암이 변질된 것이 가장 뚜렷하고 지속성있게 나타나기 때문에 “지질도에는 장산규암의 변질부만을 표시하였다”고 하였다(Fig. 1의 지질도 참조). 한편 Yun(1983)은 기저 캄브리아기 견운모 석영 편암(“basal Cambrian sericite quartz schist”)으로부터 농집시킨 견운모에 대하여 연구하였다고 기술하였다. 이는 Yun(1983)이 K-Ar 연령을 분석한 견운모 석영 편암을 장산층의 일부로 간주하였음을 나타낸다. 이 논평에서는 Yun(1983)의 기술을 근거로 분석된 석영 편암이 선캠브리아기 모암이 아니라 장산층으로부터 단층활동에 의해 만들어진 것이라는 전제하에 논의를 진행한다.

한편 Kim *et al.*(1989)은 Yun(1983)이 견운모 석영 편암 표품을 채취한 지역을 옥동단층대에 속하는 것으로 보았다. Kim *et al.*(1989)는 “옥동단층은 선캠브리아기의 기반암류인 편마암 및 화강암질암과 그 상위의 고생대 장산규암층의 접촉부를 따라서 발달하고 있다”고 하였으며, 연성전단대의 형태를 가지는 옥동단층 전단대에 대한 기술에서 “압쇄암은 장산규암층과 기반암에서 유래되었다”고 하였다. 따라서 Yun(1983)이 분석한 견운모 석영 편암이 장산층과 선캠브리아기 기반암 사이에 발달한 옥동단층대의 활동으로 만들어진 압쇄암으로 보는 것은 별 문제가 없을 것으로 생각되며, 이 표품의 K-Ar 연령이 옥동단층의 생성이나 활동시기에 대한 정보를 제공해줄 잠재적 가능성이 있다.

Yun(1983)이 보고한 견운모 석영 편암에 대한 K-Ar 연령을 옥동단층의 활동시기와 연관시켜 해석할 때 제기될 수 있는 문제점들을 체계적으로 검토해보기 위해서는 다음과 같은 사항들에 대하여 살펴보는 것이 필요하다; (1) 분석된 3개의 연령자료는 각각 독립된 의미를 가지며 옥동단층을 따라 일어난 별개의 단층운동을 지시하는가? (2) 3개의 분석값은 지질학적으로 의미있는 연령을 나타내는가? 이 두 번째 사항을 좁혀서 기술한다면 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다. 분석표품에 포함된 석영은 과잉의 Ar을 가졌을 가능성과 이로 인하여 실제의 연령은 분석된 연령값보다 더 짧은 연령일 가능성이 없는가?

일반적으로는 연대측정 결과에 대한 논의에서 (2)번과 같이 분석값이 의미있는 연령을 나타내는가에 대한 논의가 우선적이라고 할 수 있다. 하지만 여기

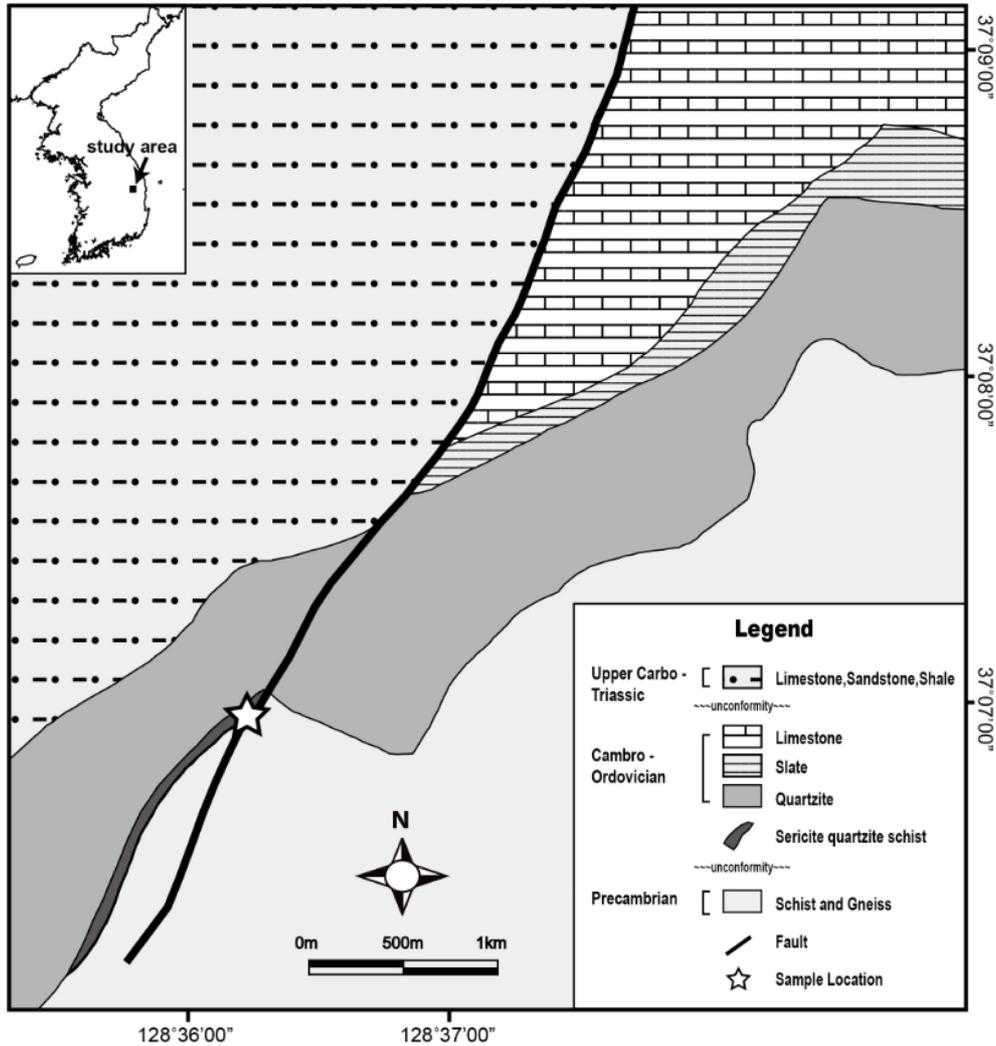


Fig. 1. Geological map showing the sericite quartz schist sample analyzed by Yun (1983) for the K-Ar age determination. Modified after Son and Lee (1966) and Yun (1983).

서는 (1)번과 관련된 논의가 보다 용이하게 결론을 내릴 수 있기 때문에 이에 대해 먼저 논의하도록 한다.

3개의 K-Ar 분석값이 각각 별개의 단층 활동시기를 나타내는가?

Yun(1983)이 옥동단층대의 견운모 석영 편암으로부터 보고한 3개의 K-Ar 연대측정 값(Fig. 2)에 대하여 Kim *et al.*(1989)와 Lee *et al.*(2016a)은 3회의 별개 단층운동시기를 나타내는 것으로 해석하였다. Kim *et al.*(1989)은 Yun(1983)의 연대측정 결과에

대하여 “옥동단층에 따라서 발달하고 있는 압쇄암내의 견운모의 생성시기가 세 번 있었다는 것으로, 이는 압쇄대가 형성된 후에도 두 번에 걸쳐서 단층운동이 있었을 가능성이 있으며, 마지막 운동이 트라이아스기 중엽일 가능성이 있다”고 하였으며, Lee *et al.*(2016a)은 “주목할 점은 가장 오래된 연대인 562 Ma로 이 연대는 신원생대의 최후기에 해당하는 것이며, ... 이 시기에 압쇄대가 형성된 후에도 두 번에 걸쳐 단층운동이 더 일어났음을 나타내는 것이다”라고 하였다.

Yun(1983)의 연대측정 결과가 Kim *et al.*(1989)와

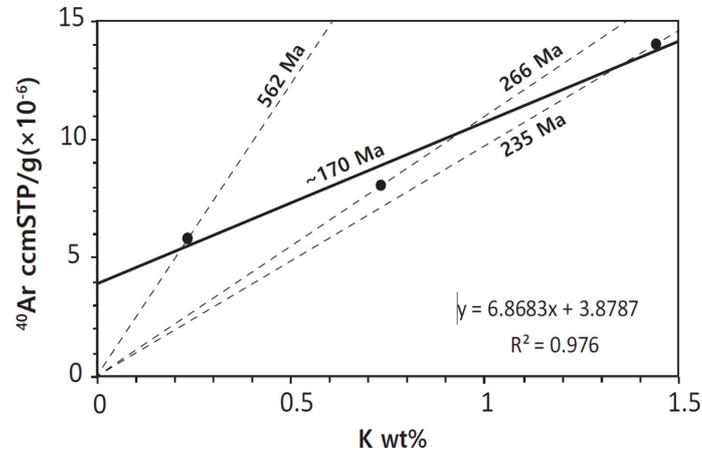


Fig. 2. K concentration versus Ar content diagram for the three fractions separated from the same sericite quartz schist sample (Q-1). Data from Yun (1983). Each dotted line passing through the origin indicates age of the corresponding fraction if it does not contain any excess argon. The regression line obtained from the three fractions can be interpreted as the isochron of this rock, representing an age of about 170 Ma. In this case, the intercept value on the y-axis represents the amount of excess argon. Ar concentrations are given in units of ccmSTP/g as in Yun (1983). “ccm” stands for cubic centimeter and is equal to Ccm, cm³ or cc.

Lee *et al.* (2016a)의 해석처럼 3회의 별개 압축운동을 가리키는 것이기 위해서는 각각의 연대측정 표품이 해당되는 단층활동 시기에 생성된 광물을 갖는 표품들이어야 한다. 그러나 Yun(1983)의 분석표품과 분석법에 대한 내용을 살펴보면 당시의 K-Ar 연대측정이 수행된 분석표품은 별개의 암석표품을 분석한 것이 아님을 알 수 있다. Yun(1983)은 K-Ar 연대측정을 위해 암석표품(Q-1)에서 각각 견운모와 석영을 분리하여 농집시킨 부분들(concentrates)이라고 기술하고 있으며, 견운모를 농집시키는 과정에서 견운모가 가장 높은 농도로 들어있는 부분과 견운모의 함량이 다소 적은 부분, 그리고 석영이 농집된 부분으로 나눈 것이다. 3개의 별개 암석표품에 대하여 분석을 수행한 것이 아니라 1개의 암석표품을 파쇄하여 이로부터 특정 광물의 순도를 높이는 과정을 거쳐 준비한 분석표품들이 최근 저자와의 개인통신에 의해서도 확인하였다. Yun(1983)의 기술에 의하면 “both sericite concentrates contain quartz”라고 두 개의 견운모 농집 부분에도 석영이 포함되어 있음을 분명히 기술하였다.

이처럼 동일 암석표품에서 분리한 다른 함량의 석영과 견운모를 갖는 부분들로부터 측정한 K-Ar 연대측정 결과가 별개의 단층활동 시기를 대표할 가능성은 거의 없다고 판단한다. 실사 가장 최초의 단층활동

동 시기에 이 암석에 포함된 석영의 K-Ar 시스템이 완전히 초기화되어 당시의 연령을 나타낼 수 있고, 견운모는 최후의 단층활동 시기에 생성되었다고 하더라도 분석된 연령값은 이러한 시기를 정확하게 나타내는 것으로 보기 어렵다. 그 이유는 각각의 분석표품에 들어있는 견운모와 석영의 순도가 문제가 되기 때문이다. 우선 견운모와 석영이 혼합되어있는 것으로 기재된 분석표품의 연령은 두 광물의 비율에 따라 연령이 달라질 수 밖에 없으며 별개의 단층운동을 나타내는 것으로 볼 수 없다. 한편 견운모 농집부분으로 기술된 분석표품의 경우 K 함량이 1.44%에 불과하다. 이는 K의 함량이 9.8% 부근으로 계산되는 순수한 견운모의 화학식(KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂)을 감안할 때 매우 낮은 값이며, Yun(1983)이 다른 암체들의 K-Ar 연대측정에서 보고한 다른 운모류 광물인 흑운모와 백운모의 K함량 7.1-8.8%와 비교해도 현저히 낮은 값이다. 이는 견운모를 농집시킨 부분에 견운모가 아닌 다른 광물이 상당량 포함되어 있음을 나타내며 암석 자체가 견운모 석영 편암이기 때문에 견운모 이외의 광물은 아마도 대부분 석영일 것으로 판단된다. 따라서 견운모에서 분석된 K-Ar 연령은 독립된 젊은 시기의 단층활동을 정확하게 나타내는 것으로 해석하기 어려우며 상대적으로 훨씬 오래된 연령을 나타내는 석영이 다량 함유됨에 따라 실제의 단층활동

동 시기는 이보다는 매우 젊은 시기일 것으로 추정된다.

이상을 종합하면 Yun(1983)이 견운모 석영 편암으로부터 보고한 3개의 K-Ar 연령은 3회의 별개 단층 활동시기를 나타내는 것으로 볼 수 없다. 만약 석영이 최초의 단층활동시기에 초기화된 K-Ar 시스템을 간직하고 있으며 이 시스템이 단층작용 또는 열변성작용 등에 의한 후기의 교란영향이 없었고, 견운모는 후기의 별개 단층운동시에 만들어진 광물이라면 2회의 단층활동에 대한 정보를 갖고 있다고 볼 수 있다. 하지만 이 경우 견운모를 농집시킨 분석표품에 다량의 석영이 포함되어 있기 때문에 후기의 단층운동 시기를 직접적으로 나타내는 것으로 볼 수 없으며, 석영의 함량을 계산하여 단층활동시기를 재계산 하여야만 한다. 또한 최초의 단층작용시 석영의 K-Ar 시스템이 초기화되었고, 이후의 교란이 없었다는 전제가 사실과 다르다면 석영의 K-Ar 연령은 아무런 의미가 없을 수 있다. 석영의 K-Ar 연령에 대해서는 다음 절에서 추가적으로 논의한다.

각 분석값은 의미있는 연령을 나타내는가?

Yun(1983)이 보고한 견운모 석영 편암의 3개 K-Ar 연령 해석에서 검토가 필요한 의문점은 (1) 석영의 연령값이 최초의 단층운동을 나타내는가, (2) 견운모 K-Ar 연령은 단층의 재활성 시기를 나타내는가, 그리고 (3) 한 표품에서 분리한 단지 석영과 견운모의 상대적 함량만 다른 분석시료들이 각각 다른 시기의 단층활동 연령을 나타낼 수 있는가 등이다. 이 중에서 가장 중요한 부분은 석영의 연령값이 최초의 단층운동을 나타내는가에 대한 것이며, 이 문제는 나머지의 의문점과도 연관되어 있다. 특히 Yun(1983)이 분석한 견운모 석영 편암중 석영 농집부분에서 보고한 562 Ma의 K-Ar 연령은 Lee *et al.*(2016a)이 현재까지의 일반적인 견해와는 달리 장산층이 캄브리아의 퇴적층이 아니라 선캠브리아기의 퇴적층이라는 주장의 중요한 근거중 하나이기 때문에 면밀한 검토가 필요하다.

석영으로부터 분석된 K-Ar 연령이 의미있는 값이 되려면 적어도 다음의 두 조건들을 만족시켜야만 한다. 우선 과잉의 Ar이 없어야 한다. 그리고 K-Ar 시스템이 작동하기 시작한 최초의 단층작용 이후에 일어난 단층작용 또는 열변성작용 등에 의하여 K-Ar

시스템이 심각하게 교란되지 않았어야 한다. 동일한 표품에서 분석된 견운모 함유 부분의 K-Ar 연령이 석영부분보다 훨씬 더 젊은 연령을 보이는 것이 Kim *et al.*(1983)이나 Lee *et al.*(2016a)의 견해처럼 보다 젊은 시기의 단층운동을 지시하는 것이라고 한다면 이러한 단층의 재활성시기에 석영내 K-Ar 시스템이 교란되었을 가능성을 배제할 수 없다. 이보다 더 심각한 문제는 석영 내에 상당한 과잉의 Ar이 존재하는 경우이다. 석영은 원래 K를 높은 농도로 갖는 광물이 아니기 때문에 비교적 적은 양의 과잉 Ar의 존재조차도 K-Ar 연령에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 실제로 여러 연구자들이 석영에 대한 K-Ar 연대측정에서 이러한 과잉의 Ar 존재에 대해 보고하였으며, 특히 석영에 들어있는 유체포유물 안에 종종 과잉 Ar이 함유되어 있다(예, Rama *et al.*, 1965; Kelley *et al.*, 1986; Kelley, 2002). 따라서 단층활동에 의해 압쇄암이 만들어질 때 그 이전에 존재하던 모든 Ar을 잃어버리고 K-Ar 시스템이 완전히 초기화되었다는 확신이 없는 경우에는 압쇄암내의 석영으로부터 측정된 K-Ar 연령을 단층작용의 시기로 해석하는 것은 잘못된 해석이 될 가능성이 상당히 높다. 이보다는 단층활동시기에 생성된 높은 K 함유량을 갖는 광물로부터 K-Ar 연대측정을 실시하여야만 할 것이다.

앞에서도 언급한 것처럼 Yun(1983)의 3개 분석표품들은 견운모 석영 편암의 한 표품에서 분리한 견운모와 석영의 농집 비율이 다르게 갖는다. 견운모와 석영이 혼합된 분석표품뿐만 아니라 견운모를 농집시킨 분석표품조차도 K 함유량이 상당히 낮기 때문에 상당량의 석영을 함유하고 있는 것으로 보인다. 따라서 각각의 분석표품에 함유된 석영의 양에 따라 각 분석표품의 K-Ar 분석결과가 영향을 받은 것으로 볼 수 있다. Fig. 2에 도시한 3개의 분석표품과 원점을 잇는 직선들은 각 표품에 과잉 Ar이 전혀 없는 경우의 연령을 나타낸다. 그러나 Fig. 2에 도시된 3개의 분석표품은 회귀직선의 R² 값이 0.976으로 비교적 잘 정의된 직선 위에 놓이는 것으로 볼 수 있다. 일반적으로 한 암석표품에서 이와 같은 상관관계가 나타나면 y축의 절편값은 K의 함량이 0일 때의 Ar 양을 나타낸다. 즉, 이 암석표품에는 상당량의 과잉 Ar이 존재했음을 지시하는 것으로 해석할 수 있다. 그리고 3개의 분석표품이 형성하는 직선은 실제의 연령을 나타내는 등시선으로 해석할 수 있으며, 이 경우 약

170 Ma에 해당한다. 견운모를 농집시킨 부분에조차 상당량의 석영이 함유되어 있기 때문에 약 235 Ma의 더 높은 연령을 갖는 것으로 보고되었지만 이 견운모 석영 편암의 K-Ar 연령은 약 170 Ma의 시기로 해석하는 것이 보다 타당할 것으로 생각한다.

결 언

압쇄작용을 받아 형성된 장산층내 견운모 석영 편암으로부터 Yun(1983)이 분석한 3개의 K-Ar 연령은 한 암석으로부터 분리하여 견운모와 석영의 농집비율이 다른 표본들로부터 분석된 자료이기 때문에 서로 독립된 단층운동을 지시하는 것으로 볼 수 없다.

Yun(1983)이 옥동단층대의 견운모 석영 편암 표본에서 구한 K-Ar 연령 중 석영 농집부분이 나타내는 약 562 Ma의 연령은 Ar 과잉에 의한 연령일 가능성이 높다고 판단된다. Yun(1983)이 보고한 견운모 석영 편암에서 분리한 세 분석표본들은 이처럼 과잉의 Ar을 갖는 석영을 공통적으로 포함하여, 전체적으로는 약 170 Ma의 연령으로 계산되는 등시선을 형성하는 것으로 해석된다. 이 170 Ma의 연령은 이 암석이 만들어진 압쇄작용의 시기를 나타내는 것으로 볼 수 있으며, 이는 옥동단층이 생성 또는 재활성된 연령을 나타내는 것으로 해석된다.

결론적으로 Yun(1983)이 견운모 석영 편암으로부터 보고한 가장 오래된 석영 농집부분만의 K-Ar 연령을 옥동단층의 활동시기로 해석하거나, 이에 근거하여 옥동단층이 절단하는 장산층의 연령을 선캄브리아로 해석하는 것은 유보하여야 할 것으로 판단되며, 단층의 활동시기는 보다 확실한 연대측정을 통해 검증되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었다. 논문을 꼼꼼히 읽고 여러 조언을 해주신 김정민, 김윤섭 박사님께 감사드린다.

References

- Chough, S.K., Lee, D.J., Ree, J.-H., Choh, S.-J., and Woo, J., 2016, Comment on “Depositional age and petrological characteristics of the Jangsan Formation in the Taebaeksan Basin, Korea-revisited” by Lee, Y.I., Choi, T. and Lim, H.S., *Journal of the Geological Society of Korea*, 52 (2016), 67-77. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 961-967.
- Kelley, S., 2002, Excess argon in K-Ar and Ar-Ar geochronology. *Chemical Geology*, 188, 1-22.
- Kelley, S., Turner, G., Butterfield, A.W., and Shepherd, T.J., 1986, The source and significance of argon isotopes in fluid inclusions from areas of mineralization. *Earth and Planetary Science Letters*, 79, 303-318.
- Kim, J.H., Koh, H.J. and Kee, W.S., 1989, The Okdong Fault. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 22, 285-291.
- Lee, Y.I., Choi, and Lim, H. S., 2016a, Depositional age and petrological characteristics of the Jangsan Formation in the Taebaeksan Basin, Korea-revisited. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 67-77.
- Lee, Y.I., Choi, and Lim, H.S., 2016b, Reply to the comment on “Depositional age and petrological characteristics of the Jangsan Formation in the Taebaeksan Basin, Korea-revisited” by Lee, Y.I., Choi, T. and Lim, H.S., *Journal of the Geological Society of Korea*, 52 (2016), 67-77. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 969-973.
- Rama, S.N.I., Hart, S.R., and Roedder, E., 1965, Excess radiogenic argon in fluid inclusions. *Journal of Geophysical Research*, 70, 509-511.
- Son, C.M and Lee, D.S., 1966, Explanatory text of the Geological Map of Ogdong Sheet, Sheet-6925-III, scale 1:50,000. Geological Survey of Korea, 30p.
- Yun, H.-S., 1983, K/Ar ages of micas from Precambrian and Phanerozoic rocks in the northeastern part of the Republic of Korea. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen (Swiss Bulletin of Mineralogy and Petrology)*, 63, 295-300.

Received January 22, 2018

Review started January 28, 2018

Accepted February 24, 2018