한국광물학회지 제 24 권 제 4 호 (2011년 12월)
J. Miner. Soc. Korea, 24(4), 321-325 (December, 2011)

단 보

화강암류 석영의 광여기루미네선스 특성

Optically Stimulated Luminescence Characteristics of Granitoid Quartz

정 기 영(Gi Young Jeong)[1] · 최 정 헌(Jeong-Heon Choi)[2,*]

[1]안동대학교 지구환경과학과
(Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea)
[2]한국기초과학지원연구원 오창센터 환경과학연구부
(Division of Earth and Environmental Sciences, Ochang Center, Korea Basic Science Institute, 804-1 Yangcheong, Ochang, Cheongwon, Chungbuk 363-883, Korea)

서 언

석영의 광여기루미네선스(optically stimulated luminescence, OSL)신호를 이용한 연대측정가능성이 Huntley *et al*. (1985)에 의하여 처음으로 제기된 이 후, OSL 연대측정법은 제4기 후기, 특히 플라이스토세 후기(Late Pleistocene)에 해당하는 지질매체의 연대측정에 활발히 적용되고 있다(Aitken, 1998; Wagner, 1998; Murray and Olley, 2002; Duller, 2004). OSL 신호 측정 대상은 주로 하천퇴적물(fluvial deposit), 사면붕적층(colluvial deposit), 풍성퇴적물(loess) 등의 미고결 퇴적물이다. 그러나 연대측정 대상광물로 가장 널리 사용되고 있는 석영입자가 여타 다른 광물들에 비하여 화학적/광물학적으로 가장 간단함에도 불구하고, 석영이 채취된 지역에 따라, 혹은 동일한 장소에서 채취되었다 하더라도, 석영 개별입자마다 다양한 OSL 신호특성이 관찰되고 있으며, 이는 석영이 기원한 지역의 암석학적/지질학적 특성에서 비롯되었을 가능성이 제기되고 있다(예: Preusser *et al*., 2006; Steffen *et al*., 2009). Jeong and Choi (2011)는 퇴적물의 석영이 제4기 연대측정에 적합한 fast OSL component 신호를 갖기 위해서는 화강암류 및 변성암류 지역의 경우, 최소한 수 km 정도 이동되면서 반복적으로 햇빛과 자연방사선에 노출되어야 하지만, 퇴적암의 석영은 이와는 달리 반복적인 퇴적과정을 겪지 않더라도 원래 fast OSL component를 갖고 있음을 관찰한 바 있다. 또한 석영입자가 퇴적암기원일지라도 재결정 작용이나 접촉열변성 작용과정에서 fast OSL component가 사라질 수 있음을 관찰하였다. 즉 석영의 OSL 신호를 수백 만년 이상 오래된 지질학적 연대 측정에는 이용할 수 없더라도 퇴적물의 연대 측정시에 종종 발견되는 석영의 다양한 OSL 신호특성의 해석이나, 석영을 함유한 암석이 생성된 후 겪은 지질학적 사건에 관한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 이와 같이 석영 OSL신호의 지질학적 응용 연구는 현재 OSL 학계에서 거의 시도되고 있지 않다. 본 단보에서는 유사한 암종에서 OSL 신호 특성의 차이가 있는지를 알아보기 위하여 주로 우리나라에 분포하는 화강암류와 일부 해외 화강암류 시료를 대상으로 OSL 신호 특성 분석을 실시한 결과를 보고한다. 퇴적암이나 변성암에 비하여 화강암류는 화학적, 광물학적, 암상적 불균질성이 적기 때문에 OSL 신호특성 비교에 유리하다.

시료 및 실험

중생대 쥬라기 화강암류 8개, 중생대 백악기-신생대 화강암류 12개 암석 시료의 석영을 OSL 신호특성 측정 대상으로 선정하였다(표 1). 쥬라기

*교신저자: jhchoi@kbsi.re.kr

Table 1. Locations of samples for OSL measurements

Sample	Longitude	Latitude	Geographic name
	Jurassic granitoids		
AD2-1	E128° 42′ 17.1″	N36° 33′ 41.4″	Andong
AS1	E127° 22′ 53.0″	N37° 04′ 08.1″	Anseong
KC2	E128° 06′ 01.3″	N36° 04′ 44.4″	Kimcheon
KG2-2	E126° 55′ 05.7″	N35° 48′ 36.4″	Kimjae
NS1	E127° 09′ 03.5″	N36° 12′ 44.2″	Nonsan
YJ2-1	E128° 38′ 19.6″	N36° 49′ 50.9″	Youngju
KW403	E126° 35′ 45.9″	N34° 56′ 28.8″	Naju
KW400	E126° 45′ 17.0″	N35° 04′ 12.6″	Naju
	Cretaceous-Tertiary granitoids		
9420	E128° 39′ 02.8″	N36° 01′ 46.4″	Palgongsan
DY2-7	E127° 58′ 37.4″	N36° 40′ 20.1″	Daeyasan
IS2-1	E129° 20′ 48.2″	N35° 41′ 30.3″	Ipsil
KJ1	E129° 20′ 51.1″	N35° 46′ 52.0″	Kyoungju
MB4	E129° 20′ 34.5″	N35° 44′ 31.5″	Malbang
MY1	E128° 59′ 02.3″	N35° 35′ 56.5″	Milyang
SR1-1	E127° 49′ 27.4″	N36° 35′ 56.5″	Sokrisan
WC1	E126° 41′ 28.5″	N34° 45′ 17.5″	Wolchulsan
KH1	E128° 53′ 13.6″	N35° 17′ 40.8″	Kimhae
KJ504	E129° 30′ 49.5″	N35° 49′ 57.1″	Kyoungju
H1	W58° 45′ 39.1″	S62° 13′ 12.5″	King George Island
J5	W58° 45′ 35.0″	S62° 13′ 48.3″	King George Island

화강암류는 대보조산운동의 결과물로 알려져 있고, 백악기-신생대 화강암류는 경상분지의 화성활동과 관련된 화강암류이다. 이 중 2개 시료는 남극 세종기지의 신생대 화강섬록암 시료이다. 시료는 신선한 암석외에 풍화된 사프롤라이트(saprolite)시료도 포함되어 있으며, 사프롤라이트는 풍화된 후 그 자리에 잔류하여 햇빛에 노출되지 않았기 때문에 신선한 암석에서 분리한 석영과 마찬가지로 원래의 OSL 신호에 미치는 영향은 거의 없다. 암석 시료는 조크라셔로 5 mm 이하로 조분쇄하였으며, 사프롤라이트 시료는 원상태로 비이커에 넣고 물을 붇고 저어서 어느 정도 해체하였다. 분쇄 및 해체된 시료들은 습식 체질하여 90~250 μm 사이의 입자들을 분리하였다. 입도 분리한 시료는 10% HCl, 10% H_2O_2, 40% HF로 처리하여 OSL 측정을 위한 순수한 석영입자를 분리하였다(그림 1).

준비된 석영 시료에 대하여 CW (continuous wave) OSL 신호나 LM (linearly modulated) OSL 신호를 측정하였다. CW-OSL과 LM-OSL 신호에 대한 자세한 설명은 정기영 외(2010)에 간략하게 기술되어 있다. CW-OSL 신호는 OSL 신호를 방출시키기 위한 여기광원의 세기를 일정하게 유지하면서 측정한 OSL 신호이며, LM-OSL 신호는 여기광원의 세기를 선형적으로 증가시키면서 측정한 OSL 신호이다. CW-OSL 신호와 LM-OSL 신호측정은 한국기초과학지원연구원의 루미네선스 자동측정장비(Model: TL/OSL-DA-20)를 이용하여 수행되었다(그림 2). CW-OSL 신호는 ^{90}Sr 베타선원을 이용하여 ~50 Gy로 조사(irradiation)한 석영시료를 260℃에서 10초 동안 열전처리한 후, 청색광원(470 ± 30 nm)으로 40초 동안 여기시키며 측정하였다(count rate = cts/0.16s). LM-OSL 신호는

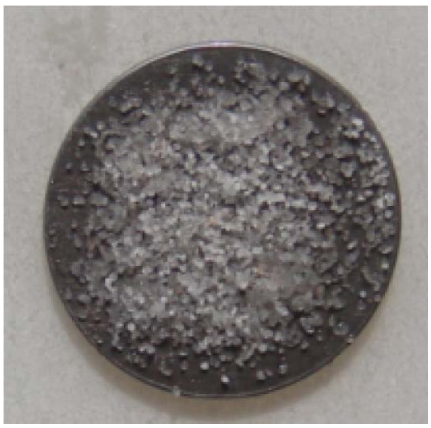

Fig. 1. Quartz sample loaded on stainless steel disk of 1 cm diameter. The sample consists of 2,000～3,000 quartz particles of 90~250 micrometer.

방사선조사 (～50 Gy)-열전처리(260℃에서 10초)한 석영시료들을 3,600초 동안 청색광원의 세기를 0～40 mW/cm^{2}까지 증가시키며 측정하였다(count rate = cts/4s).

결 과

CW-OSL 신호의 특성 파악에는 OSL 신호의 절대세기(absolute intensity)보다는 OSL 신호의 감쇠속도(decay rate)로 결정되어지는 OSL 신호형태가 중요하기 때문에, 시료로부터 측정된 모든 CW-OSL 신호의 첫번째 신호값(count rate)을 이용하여 규준화(normalization)하였다. 백악기-신생대 및 쥬라기 화강암류 석영의 CW-OSL 신호들은 전체적으로 강도가 약하였으며, 규준화한 신호들도 노이즈가 매우 심하며 전체적으로 감쇠율이 매우 낮다(그림 3a, 4a). 낮은 감쇠율은 OSL 신호에서 fast OSL components가 미약하거나 없음을 의미한다. Fast OSL component가 CW-OSL신호 중 가장 지배적인 신호라면, 정기영 외(2010)의 0011KS-1와 TNE9517의 CW-OSL 신호패턴처럼 감쇠율이 매우 커야 한다. 이와 같이 낮은 CW-OSL 신호강도와 낮은 감쇠율은 암석내의 석영이 생성된 후, 반복적으로 햇빛과 자연방사선에 노출될 수 있는 퇴적과정(OSL 신호의 측면에서 보면, 민감화과정)을 거치지 않았기 때문으로 판단된다(Pietsch *et al*., 2008). Fast OSL component가 미약하거나 없는 석영들은 일반적인 단일시료재현법(Single-Aliquot Regenerative-Dose, SAR; Murray and Wintle, 2000, 2003)을 사용한 OSL 연대 측정에 어려움이 있을 수 있다(예: Choi *et al*., 2003a, b). 하지만 풍화되어 퇴적물로 운반되는 과정에서 반복적으로 햇빛에 노출되어 빛에 대한 민감도가 증가(sensitization)되면 의미있는 수준의 fast OSL component가 나타나고 연대 측정에 보다 적합한 조건을 갖추게 된다(Jeong and Choi, 2011). 정기영 외(2010)의 0011KS-1와 TNE9517시료는 각각 해변 환경의 모래 시료로서 반복적인 퇴적과정을 통해 석영입자의 빛에 대한 민감도가 큰 경우이며, 작은 강 시료인 ER4 및 지표 빙하 퇴적물인 SC08은 아마도 Jeong and Choi (2011)가 관찰한 바와 같이 기원지에 가까워서 빛에 대한 민감도가 작은 예로 판단된다. 백악기-신생대 화강암류 시료(그림 3a)와 쥬라기 화강암류 시료(그림 4a)를 비교하면, 공통적으로 fast OSL component가 미약하다.

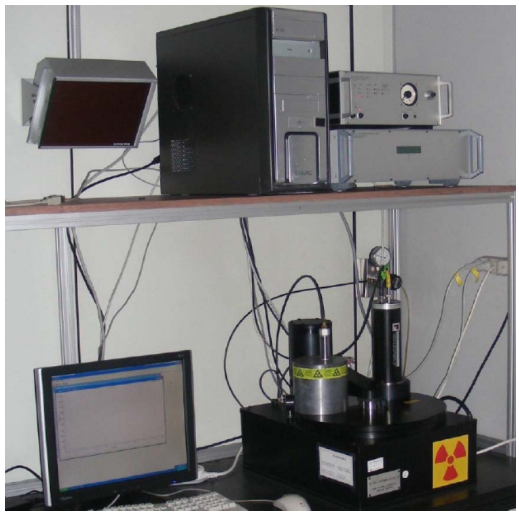

Fig. 2. Automatic OSL measurement system installed in Korea Basic Science Institute(model: Risφ TL/OSL-DA-20).

LM-OSL 신호는 두 화강암류 석영의 OSL 신호 특성의 차이를 보다 잘 드러내고 있다(그림 3b와 4b). 백악기-신생대 화강암류 시료 중 두 개의 시료 (KH1과 KJ504)를 제외하면, 두 화강암류의 대부분의 석영입자는 50초 부근(청색광원의 최대세기가 40 mW/cm^{2}이고, 3,600초 동안 측정된 경우)에서 최대값이 관찰되는 것으로 알려진 fast OSL component가 존재하지 않는다. 참고로 정기영 외(2010)에서 0011KS-1 및 TNE9517의 LM-OSL 곡선은 fast OSL component가 우세한 전형적인 예

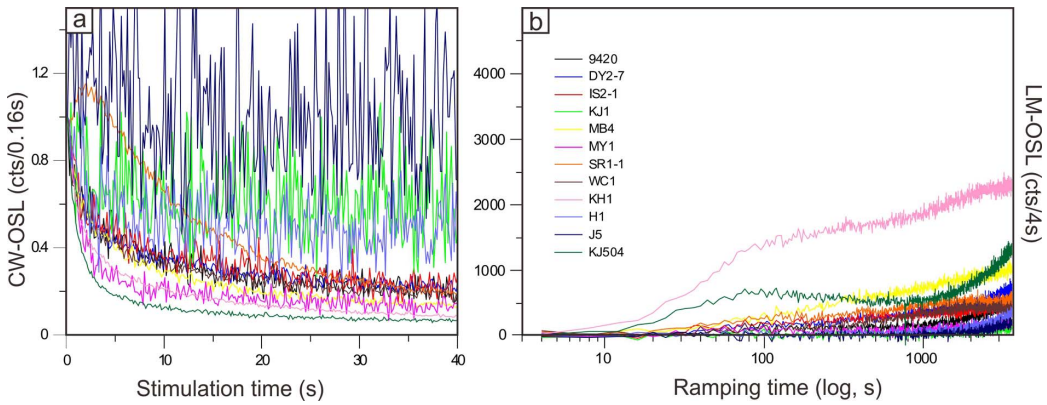

Fig. 3. OSL signals of quartz particles from Cretaceous-Tertiary granitoids. (a) CW-OSL signals. (b) LM-OSL signals.

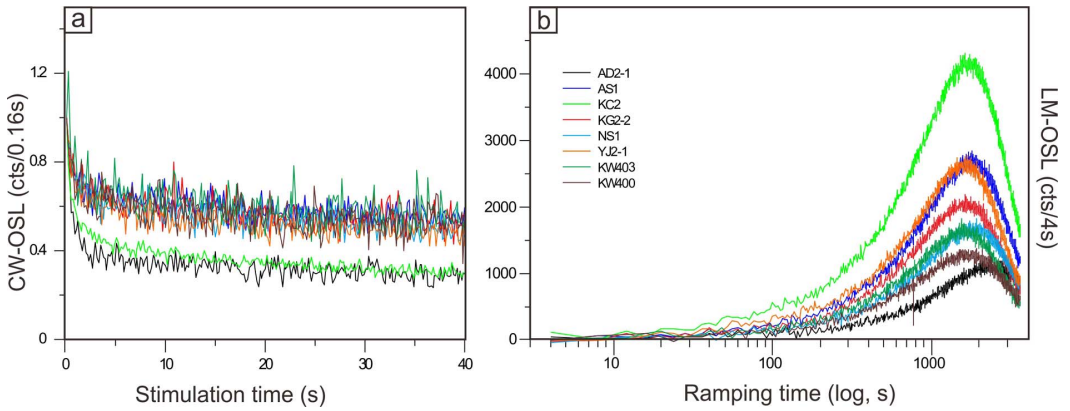

Fig. 4. OSL signals of quartz particles from Jurassic granitoids. (a) CW-OSL signals. (b) LM-OSL signals.

이며, 반면에 ER4 및 SC08 시료들은 fast OSL component가 매우 미약하거나 없는 예이다. 그러나 fast OSL component가 없음에도 두 화강암류 석영의 OSL 신호는 명백한 차이점이 있다. 특히 쥬라기 화강암류 석영은 1,000∼2,000초 사이에서 뚜렷한 피크를 보이는데, fast OSL component에 대비되는 slow OSL component라고 할 수 있다(그림 4b). 백악기-신생대 화강암류 석영의 LM-OSL 신호에서도 1,000∼2,000초 사이에서 미약한 피크가 관찰되나 쥬라기 화강암류의 신호만큼 뚜렷하진 않다(그림 3b).

토의 및 결론

석영의 OSL 신호들에 대한 연구는 대부분 제4기 퇴적물의 OSL 연대 측정의 신뢰도를 향상시키기 위한 목적으로 수행되었으며, 현재 OSL 신호의 열적 거동이나 각 신호성분(OSL signal components)들의 다양성에 대한 자료는 상당히 체계화되어 있다. 하지만 대체로 연대측정에 이용되는 fast OSL component의 거동에만 관심이 집중되고 있으며, 2000년대 초반 옥스포드 그룹에서 slow OSL component를 이용한 연대측정가능성에 대해 수행한 연구결과(예: Singarayer *et al*., 2000)를 제외하고는 slow OSL component들에 대하여는 연구가 미진한 상태이다. 본 연구에서는 화강암류의 석영들이 암체의 지질환경에 따라 slow OSL component들의 강도나 존재유무에 차이점이 있음을 확인하였다. 대체로 쥬라기 화강암류 석영들에서 slow OSL component 신호가 뚜렷하게 관찰되고 백악

기-신생대 화강암류의 석영들에서는 관찰되지 않거나 미약하였다. 쥬라기 화강암류에서 관찰되는 비교적 뚜렷한 석영 slow OSL component가 이들이 단순히 백악기-신생대 화강암류보다 관입연대가 오래되었기 때문인지 혹은 다른 지질환경의 차이점에 기인하는 것인지는 불명확하다. 지질환경의 차이점으로 관입온도, 관입심도(압력), 미량원소함량, 관입후 변형 등의 차이를 고려할 수 있다. 현재로서는 몇몇 사례를 제외하고는 OSL연구가 지질 및 암석학적으로 연구되거나 응용된 예가 거의 없기 때문에, 지질연대나 암석학적 조건들이 석영 OSL 신호의 component에 미치는 미시적 메카니즘이 무엇인지 가늠하기 어렵다. 본 연구에서 관찰한 화강암류 석영 OSL신호의 암체별 다양성이 지질환경별로 좀더 체계화되고, 그 원인이 규명된다면 퇴적물 내 석영의 기원이나 화강암류의 암석성 인규명에 기여할 수 있을 것이다. 또 다른 예로서 퇴적암 석영의 fast OSL component가 화강암 접촉부의 열변성대에서 사라지는 현상이 최근 발견된 바 있다(Jeong and Choi, 2011). 이처럼 석영의 OSL 신호는 제4기 연대측정의 목적뿐만 아니라, 지질학적 및 암석학적 문제를 해결하기 위한 새로운 활용 가능성을 암시하고 있다.

사 사

본 연구는 한국연구재단 일반연구자지원사업(기본연구-구기초연구과제지원사업: KRF-2008-313-C00927)의 지원으로 되었다. 원고를 심사하여 주신 이승엽 박사님과 익명의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

정기영, 최정헌, 길영우 (2010) 퇴적물 내 석영의 광여기루미네선스 특성과 미량원소 조성. 한국광물학회지, 23, 357-365.

Aitken, M.J. (1998) An Introduction to Optical Dating. Oxford University Press, Oxford.

Choi, J.H., Murray, A.S., Jain, M., Cheong, C.S., and Chang, H.W. (2003a) Luminescence dating of well-sorted marine terrace sediments on the southeastern coast of Korea. Quaternary Science Review, 22, 407-421.

Choi, J.H., Murray, A.S., Cheong, C.S., Hong, D.G., and Chang, H.W. (2003b) The resolution of stratigraphic inconsistency in the luminescence ages of marine terrace sediments from Korea. Quaternary Science Reviews, 22, 1201-1206.

Duller, G.A.T. (2004) Luminescence dating of Quaternary sediments: recent advances. Journal of Quaternary Sciences, 19, 183-192.

Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I., and Thewalt, M.L. W. (1985) Optical dating of sediments. Nature, 313, 105-107.

Jeong, G.Y. and Choi, J.-H. (2011) Variations in quartz OSL components with lithology, weathering and transportation. Quaternary Geochronology. (In revision)

Murray, A.S. and Olley, J.M. (2002) Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimantary quartz: a status review. Geochronometria, 21, 1-16.

Murray, A.S. and Wintle, A.G. (2000) Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. Radiation Measurements, 32, 57-73.

Murray, A.S. and Wintle, A.G. (2003) The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. Radiation Measurements, 37, 377-381.

Pietsch, T.J., Olley, J.M., and Nanson, G.C. (2008) Fluvial transport as a natural luminescence sensitizer of quartz. Quaternary Geochronology, 3, 365-376.

Preusser, F., Ramseyer, K., and Schlüchter, C. (2006) Characterisation of low OSL intensity quartz from the New Zealand Alps. Radiation Measurements, 41, 871-877.

Singarayer, J.S., Bailey, R.M., and Rhodes, E.J. (2000) Potential of slow component of quartz OSL for age determination of sedimentary samples. Radiation Measurements, 32, 873-880.

Steffen, D., Preusser, F., and Schlunegger, F. (2009) OSL quartz age underestimation due to unstable signal components. Quaternary Geochronology, 4, 353-362.

Wagner, M.J. (1998) Age Determination of Young Rocks and Artifacts. Springer, Berlin.

접수일(2011년 12월 15일), 수정일(1차 : 2011년 12월 26일), 게재확정일(2011년 12월 26일)