



연구책임자 자연대 이성근 교수(02-880-6729) / 교신저자

큰 규모의 지진 발생에 수반되는 단층면 마찰용융과정의 원자 단위 메커니즘 규명

- 서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부 이성근 교수 연구팀은 경상대 한래희 교수, 안동대 정기영 교수, 일본 해양연구개발기구의 히로세 박사와 공동으로, 거대지진의 발생에 수반되는 단층에서 마찰용융과정의 새로운 원자 단위 메커니즘을 규명하였다. 관련 논문이 'Nature Geoscience' 에 2017년 5월 15일(월) 24시 온라인판에 게재되었다 (<http://www.nature.com/ngeo/>).
 - 논문제목 : Quasi-equilibrium melting of quartzite upon extreme friction
 - 학술지 : Nature Geoscience
 - 저자 : 이성근(Lee, Sung Keun) 교수 (제1/교신저자), 김은정 연구원, 김훈 연구원, 서울대 지구환경과학부 e-mail: sungklee@snu.ac.kr/ 한래희 교수(경상대 지질학과)/ 정기영 교수(안동대 지구환경과학과), 타케히로 히로세 박사, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
 - 연구비 지원 프로그램 : 주로 한국 연구재단의 지원을 받았으며, 기상청, 일본과학재단의 지원으로 수행되었습니다.
- [붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 연구진 이력사항

연구 결과

- 지진발생시에는 단층면의 마찰에 의한 가열로 암석이 녹게 되며, 이를 마찰용융이라고 합니다. 마찰용융은 주로 규모가 7-8 이상인 거대지진의 발생과 관련이 있다고 알려져 있습니다.
- 그동안 학계에서는 단층면에서의 마찰과정에서, 온도가 급격하게 증가하면서, 상대적으로 녹는점이 낮은 광물들만 선별적으로 녹는다고 가정하는 “비평형용융”으로 단층면의 마찰용융과정을 설명하였습니다. 이 모델의 의하면, 지각구성 암석의 주요조암광물인 석영(화학식 SiO_2)은 녹는점이 1726°C 로 매우 높아, 거대지진 발생시 녹지 않는 것으로 알려져 있습니다.
- 서울대 이성근 교수 연구팀(이성근 교수, 김은정 연구원, 김 훈 연구원)은 경상대 한래희 교수, 안동대 정기영 교수, 일본의 해양 연구 개발기구 히로세 박사와 공동으로 99% 석영으로 구성되어 있는 암석인 규암의 고속 마찰 실험으로부터 석영이 기존에 알려진 녹는점보다 약 $200\text{-}350^\circ\text{C}$ 이상 낮은 온도에서 녹는 것을 관찰하였습니다. 따라서 지진발생과 수반하는 단층면의 석영은 일반적으로 알려진 녹는점이 아니라 훨씬 낮은 온도에서 용융되는 것을 최초로 규명하였습니다.
- 단층에 존재하는 물질의 분광분석을 통하여, 기존 암석에는 존재하지 않았던 고온석영(β -quartz)이 마찰용융과정에서 생성되는 것을 발견했습니다. 이는 단층면에서의 마찰에 수반된 온도가 증가하며 석영의 일부가 고온석영으로 전이하고, 고온석영이 $\sim 1400^\circ\text{C}$ 에서 선별적으로 용융되는 것을 지시합니다.

아울러 이러한 녹는점의 감소가 단층면에서 생성된 나노입자가 선별적으로 용융되는 것에도 기인하는 것을 확인하였습니다. 본 연구의 결과는 다양한 지각의 암석들이 기존에 알려진 용융 온도보다 더 낮은 온도에서 마찰용융 될 수 있음을 지시합니다. 이러한 용융기작을 기존의 비평형 용융모델과 차별화된 준평형 용융모델 (quasi-equilibrium melting)로 명명하여 지진발생과 수반된 마찰용융의 새로운 메커니즘으로 제안하였습니다.

의의

- 준평형 마찰용융으로 광물들이 낮은 온도에서도 녹게 되면, 생성된 용융체가 윤향작용을 하여 단층면이 보다 잘 미끄러지면서 거대 지진이 발생합니다. 따라서 기존의 비평형용융 모델에서 예측된 것보다, 상대적으로 거대지진이 빈도가 높은 것을 설명할 수 있습니다.
- 석영 외에도 다양한 암석의 구성광물들의 마찰용융에도 적용될 수 있으며, 따라서 규모가 큰 지진의 발생 메커니즘을 설명하는 새로운 모델입니다. 본 연구에서 제안한 준평형 마찰용융모델은 유사한 마찰작용을 겪는 화산작용과 칼데라의 형성을 설명하는데도 적용 가능하며, 기존의 비평형모델을 이용하여 추정된 과거의 지진의 규모 또한 재검토되어야 함을 지시합니다.

용 어 설 명

1. 단층면의 미끄러짐과 마찰용융

- 규모가 큰 지진이 발생 시에는 단층면이 빠른 속도로 미끄러집니다. 이때 단층면에서 발생하는 마찰열에 의하여 구성 암석의 용융이 수반됩니다. 이러한 마찰 용융(frictional melting)을 통하여 단층면이 윤희되고 미끄러짐이 용이하게 됩니다. 이러한 단층면에서의 마찰용융은 거대 지진발생의 하나의 메커니즘으로 고려되고 있습니다.

2. 비평형 용융모델

- 지각과 지구내부의 다양한 용융과정들 중에, 상대적으로 빠른 시간에, 급격한 온도변화를 동반한 다양한 지질학적 과정들 (예, 화산/지진과정)에 수반된 용융과정은 일반적으로 평형상태에 도달하지 않은 것으로 여겨지며, 이를 설명하기 위하여 비평형용융모델이 정립되어 있습니다. 비평형용융모델에 의하면, 마찰과정에서 온도가 급격하게 증가할 경우, 상대적으로 녹는점이 낮은 광물이 높은 광물에 비하여 더 먼저 용융되는 것으로 알려져 있으며, 따라서 녹는점이 높은 석영은 쉽게 용융되지 않는 것으로 알려져 있습니다.

3. 석영 (SiO₂)

- 석영은 지각의 암석을 구성하는 흔한 조암광물중에 하나로, 다양한 지구구성암석의 용융과정을 설명하는 실마리를 제공할 수 있습니다. 석영은 온도가 증가하면서, 낮은 온도에서부터 저온석영 (a-quartz), 고온석영 (b-quartz), 트리디마이트, 크리스토팔리이트라는 광물로 전이되며 (화학식은 동일하나 원자구조가 다릅니다), 최종적으로, 1기압에서 1726 °C에서 용융됩니다.

4. 단층면에서의 석영으로 구성된 암석의 마찰용융실험의 어려움

- 실험실에서의 마찰 미끄럼 실험을 통하여 다양한 지각구성암석의 용융실험이 수행되었습니다. 주로 석영으로 구성된 암석인 경우, 마찰초기과정에서 수반되는 시료의 파쇄과정때문에 마찰 용융의 구현이 어려움을 겪고 있었습니다. 본 연구에서는 경상대학교의 한래희 교수와 일본의 히로세박사 연구팀이 석영으로 구성된 암석의 마찰용융실험을 성공적으로 수행하였습니다.

5. 단층면에서의 비정질/결정질 지구물질 연구의 어려움

- 여러 실험적-기술적 어려움로 인하여 이러한 용융체의 원자 구조를 규명하는 것은 현대과학이 해결하지 못한 난제 중 하나입니다. 서울대 이성근 교수 연구팀에서는 다양한 분광분석방법을 이용하여 단층면에서 용융과정에 수반된 비정질/결정질 물질의 다양한 원자구조를 규명하였고 기존에 발견되지 않았던 고온석영(b-quartz)를 발견하였습니다.

6. 준안정 용융모델

- 본 용융모델은 기존의 비평형용융 모델을 더 일반화하여, 온도의 증가에 의하여 생성되는 준안정상의 용융을 최초로 고려하고, 마찰과정에서 파쇄되어 생성되는 나노입자의 녹는점이 입자의 크기가 큰 광물에 비하여 선별적으로 낮은 온도에서 용융되는 것을 고려한 모델로, 다양한 자연계의 용융현상을 설명할 수 있습니다.

* Nature Geoscience: Nature Geoscience는 지구과학 전 분야에서 혁신적인 연구결과를 소개하는 학술지입니다.

(자세한 사항은 다음의 학술지 홈페이지를 참조 바람: www.nature.com/ngeo)

연구자 이력사항

1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 지구환경과학부 부교수
- 전 화 : 02-880-6729
- E-mail : sungklee@snu.ac.kr

2. 학력

- 박사: 스탠포드대학교 지질환경학과 (부전공: 화학)
- 석사: 스탠포드대학교 화학공학과
- 석사: 서울대학교 지질학과
- 학사: 서울대학교 지질학과 (부전공: 재료공학)

