

보도자료



서울대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보도일시	배포 즉시 보도
	2024. 8. 16.(금)
문의	연구책임자 지구환경과학부 이현우 교수(02-880-6732) / 교신저자
	연구단 김희준 연구원(02-880-6732) / 제1저자

■ 제목/부제

제목	연약권 맨틀의 상승으로 인한 한반도 하부의 잠재적 마그마 활동 <i>Latent magmatism beneath the Korean Peninsula caused by asthenosphere upwelling</i>
부제	한반도에서 단층을 통해 이동하는 유체 내에서 맨틀기원의 휘발성 성분 배출 <i>Volatiles of mantle origin are discharged from fault-related fluids on the Korean Peninsula</i>

■ 요약

연구 필요성	본 연구는 한반도에서 발생했던 신생대 화산활동과 현재의 활성단층 등의 분포의 상관관계를 규명하기 위하여 맨틀의 활동이 지표에 영향을 미치는지 살펴보고자 하였다. 지구과학 분야에서 휘발성 성분의 가스 분석을 통한 맨틀의 영향, 화산활동, 지진, 단층 활동의 규명에 대한 연구가 많이 이루어지지 않았기 때문에 이 연구를 통해 한반도 전체적인 지질학적으로 배출되는 가스를 시스템적으로 보고하고자 하였다.
연구성과/ 기대효과	제주도, 울릉도, 독도 뿐만 아니라 한반도 내륙에는 한탄강, 백령도, 경주, 포항 등에서 신생대 화산암의 분출이 있었다. 또한, 초정약수, 오색약수, 달기약수 등 국내에 다양한 지역에서 탄산 약수가 배출되는데, 이에 대한 기원이 신생대 현무암과 마찬가지로 같은 맨틀로부터 했다는 것을 규명하였다. 이를 통하여 한반도 내륙에는 아직도 잠재적으로 화산활동을 야기될 수 있다는 것을 제시한다. 또한, 국내 전 지역에서 자연적으로 배출되는 가스의 특성을 보고하여 각종 천연가스 탐사를 위한 기본적인 배경을 제공할 수 있다고 판단한다.
Abstract	<i>Volatiles such as helium and carbon dioxide provide insights into geological processes spanning from the Earth's deep interior to its surface. Integration with geophysical data providing enhanced vertical resolution with a wider horizontal range better elucidates the mantle dynamics and its interactions with the crust. Here we present geochemistry of volatiles dissolved in fluid samples from fault-related springs, thermal spa waters, and groundwaters across the Korean Peninsula. These were examined in conjunction with existing geophysical information. Remarkably, there is a strong spatial correlation between helium isotopes and S-wave velocity, suggesting the influence of mantle upwelling on both geochemical and geophysical parameters. Furthermore, the computed helium flux is comparable to that of volcanic regions, implying partial melting induced by mantle upwelling due to edge-driven convection beneath the Korean Peninsula. Therefore, these findings suggest that mantle-derived volatiles can be released diffusely over large areas through faults in the modern Earth's intraplate environment.</i>
Journal Link	https://www.nature.com/articles/s43247-024-01592-4

■ 본문

□ 한반도 단층에서 맨틀 기원의 휘발성 성분이 배출된다.

○ 한반도에는 최근 지진의 발생이 빈번하고 보고되고 있으며 이는 대부분 활성단층을 따라 발생한다. 이러한 단층의 특징은 주변 암석에 비해 투과율이 높다는 것인데 이를 통해 주로 지하수 기원의 유체가 이동할 수 있는 통로로써 이용된다. 단층 유체의 연구는 과거 미국의 *샌안드레아스 단층에서 맨틀 기원의 헬륨이 유체 내에서 보고된 사례가 있다. 이는 단층이 최대 맨틀의 상부까지 통로 역할을 한다는 것을 지시한다.

*Kennedy, B. M. et al. Mantle fluids in the san andreas fault system, California. Science (80-) 278, 1278-1281 (1997).

○ 국내의 경우 2016년에 발생했던 경주지진 및 2017년에 발생했던 포항지진 발생 위치 인근에 분포

하는 *양산단층 및 **포항 지역의 여러 단층 지역에서 맨틀 기원의 헬륨이 보고되었다. 이를 통해, 한반도 지역은 지진이 발생하는 활성단층 같은 경우 최대 맨틀의 상부까지 연결이 되어있다는 것으로 제시되었다.

*Lee, H. et al. Mantle degassing along strike-slip faults in the Southeastern Korean Peninsula. *Sci. Rep.* 9, 15334 (2019).

**Kim, H. et al. Mantle-Derived Helium Emission near the Pohang EGS Site, South Korea: Implications for Active Fault Distribution. *Geofluids* 2020, (2020).

□ 한반도에서 잠재적인 마그마 저장소가 지하에 분포

○ 맨틀 기원의 헬륨뿐만 아니라 다른 주요 휘발성 성분인 이산화탄소가 한반도의 단층들에서 유체 및 *토양을 통해 배출된다. 이산화탄소의 탄소동위원소 분석을 통해 한반도에서 배출되는 이산화탄소는 주로 맨틀로부터 기원했다는 것이 규명되었으며, 맨틀 기원의 탄소는 대부분 마그마를 통해 지표로 배출된다고 알려져 있다.

○ 한반도 하부의 S파 지진파의 분포를 통해 강원, 경북, 충청 지방의 하부에 저속도 영역이 나타나며, 60 km 구간에서 지표에서 나타나는 맨틀 기원의 헬륨의 분포와 매우 일치하게 관측된다. 우리나라의 지각의 두께는 평균 30~35 km로 나타나며 60 km의 깊이는 한반도 하부의 판의 두께를 지지하는 암석권 두께를 지시한다. 이를 통해 한반도의 판의 하부에는 연약권 맨틀이 최소 60 km 깊이까지 상승하여 분포하며 이는 현재 지표에서 맨틀 기원의 휘발성 성분인 헬륨과 이산화탄소의 배출로 확인된다는 것이 이번 연구결과를 통해 최초로 제시되었다.

○ 또한, 지진파 저속도 층의 분포와 맨틀기원의 휘발성 성분의 배출 영역이 한반도 신생대에 분출했던 한탄강, 경주, 포항, 평택 등의 현무암 산출 지역과도 매우 일치하게 나타난다. 이는, 현재까지 한반도 하부의 암석권과 연약권 사이에 잠재적으로 분포하는 심부 마그마 저장소가 존재할 수 있으며 언제든지 내륙에 화산활동을 초래할 수 있다는 것을 지시한다.

○ 전 세계적으로 판 내부에서 화산활동이 일어나는 **동아프리카 열곡대, ***리오그란테 열곡대와 같은 지역에서 맨틀 기원의 휘발성 성분이 단층대에서 보고된 적이 있으며, 한반도 역시 잠재적으로 대륙 열곡대의 발달에 대한 가능성을 열어놓고 추후 연구들이 진행되어야 할 것이다.

*Hong, J. et al. Fault-related basins as carbon reservoirs: Soil CO₂ emissions in the SE Korean Peninsula. *CATENA* 231, 107300 (2023).

**Lee, H. et al. Massive and prolonged deep carbon emissions associated with continental rifting. *Nature Geoscience*, 9.2: 145-149 (2016).

***Karlstrom, K. E. et al. Mantle ³He and CO₂ degassing in carbonic and geothermal springs of Colorado and implications for neotectonics of the Rocky Mountains. *Geology* 41, 495-498 (2013).

□ 연구결과

Latent magmatism beneath the Korean Peninsula
caused by asthenosphere upwelling

Heejun Kim, *Hyunwoo Lee, Jung-Hun Song, Wonhee Lee, Jungpyo Hong,
Takanori Kagoshima, Naoto Takahata, Yuji Sano & Tobias P. Fischer

단층 관련 유체의 휘발성 성분을 3차원 지진파 자료와 결합한 지구화학적 데이터에 따르면 맨틀 상승에 의한 마그마 활동의 지구화학적 특징은 한반도 지하수에서 관찰할 수 있습니다. 이 연구는 서울대학교 SRC 선도연구센터 '지구심부-지표 상호작용 연구센터' 및 한국지질자원연구원 화산연구단 기본 사업의 지원으로 수행되었습니다.

□ 용어설명

단층: 단층은 지구조운동으로 인해 지층이 어긋나 있는 것

활성단층: 단층 중 최근에도 지진이 발생하였고 미래에도 지진이 일어날 가능성이 높은 단층

휘발성 성분: 쉽게 기화될 수 있는 화학 원소 및 화합물의 그룹. 지구에서 '휘발성'이라는 용어는 종종 마그마의 휘발성 성분을 나타낸다.

헬륨: 화학 원소 중 끓는점이 가장 낮으며, 상압에서는 영점에너지로 인하여 절대영도에서도 액체로 존재할 수 있는 유일한 원소다.

암석권 맨틀: 지각과 반대로 맨틀 내의 암석권 부분이며, 단단하고 맨틀의 최상부이다. 암석권 맨틀은 아대륙 암석권 맨틀과 해양 암석권 맨틀로 세분된다.

연약권 맨틀: 암석권 맨틀 하부에 분포하며 대류가 일어나고 물성적으로 약하며 연성 변형이 일어나는 영역에 해당된다.

※ 연구 이야기

□ 연구를 시작한 계기

○ 이현우 교수는 화산학을 전공하고 2018년 3월 서울대학교에 임용되었습니다. 막상 임용 후에 우리나라에 활화산 연구가 거의 불가능한데 도대체 무슨 연구를 할 수 있을지 걱정이 너무 많았습니다. 다행스럽게 박사학위 연구 지역인 동아프리카의 케냐와 탄자니아 지역에 화산지역 주변에 단층들이 분포했고 그곳에서 배출되는 가스들이 있다는 것을 기억하였습니다. 또한, 최근 여러국가들이 화산 뿐만 아니라 지진의 모니터링을 위해서 단층에서 배출되는 가스 연구를

한다는 것을 접했는데, 우리나라 경주나 포항 지역을 아우르는 동남권에 활성단층의 분포가 보고되었고, 이러한 계기로 시작하게 되었습니다.

- 먼저 가장 유명한 양산단층과 그 주변 지역을 조사하였는데 미국의 샌안드레아스 단층처럼 단순히 맨틀기원의 헬륨이 나온다고 생각을 했었습니다. 2018년 9월에 입학한 김희준 연구원(2024년 2월 박사학위 취득, 현재 한국해양과학기술원 부산본원에서 박사 후 연구원 재직)이 우리나라 동남권 외에도 전국의 다양한 지역에서 탄산 약수가 나오거나 온천수들이 있다는 것에 주목하여, 보다 광범위 하게 샘플링을 하게 되었습니다. 덕분에 충분한 시료를 확보하여 좋은 결과를 얻을 수 있었습니다.

□ 연구과정 중 어려웠던 점

- 지하수 관정이나 온천에서 샘플링을 하는 경우가 많은데, 보통 개인이나 업체 소유인 경우가 많아 샘플 채취 허가를 구하는 것이 가장 어려웠습니다. 다행히도 대부분의 분들에게서 매우 협조적이셔서 충분히 샘플링을 할 수 있었습니다.
- 김희준 연구원이 울산 지역에 샘플링을 하던 중에 하천이 불어나서 조사 지역이 물에 잠겼던 경우도 있고, 늦은 시간까지 샘플링을 하다보니 다양한 야생동물을 만날 수 있었습니다. 또한, 여름에는 잡초와 벌레 때문에 힘들었고, 겨울에는 땅이나 물이 얼거나 혹은 강수량이 부족하여 샘플링 지역의 수위가 낮아서 어려움에 빠졌던 경우도 있었던 것 같습니다.
- 2020년 여름부터 시작해서 이러한 현장의 어려움과 및 시료 분석의 추가적인 시간 소모 덕분에 결과가 나올 때까지 무려 4년이 걸렸습니다.

□ 이전 연구와 차별화 포인트

- 단층에서 배출되는 맨틀 기원의 휘발성 성분을 전국적 규모로 최초로 규명하였으며 이를 지진파 저속도층과 함께 비교하였음
- 한반도 신생대 현무암 분출과 함께 고려하여 현재 지표에서 맨틀 기원의 휘발성 성분이 배출이 한반도 하부에 심부 마그마 저장소의 존재 가능성을 최초로 제시하였음
- 한반도 내륙지역에 잠재적으로 화산활동이 발생할 수 있다는 것은 이 연구를 통해 최초로 제기