



2021. 7. 14.(수) / 즉시

문의 : 담당자 연락처(02-880-9288)  
연구단장/연구책임자 박정우 교수(02-880-9288) / 교신 및 제1저자  
연구단/연구진 Hongda Hao 연구원 / 공동저자

## 반암형 구리광상 형성에 영향을 미치는 지각-마그마 프로세스에 대한 새로운 통합 모델 제시

### □ 내용

- 구리와 금은 현대사회의 근간이 되는 다양한 분야의 산업에 활용되고 있으며 특히 친환경 에너지 산업의 발달에 따라 향후 수요가 급증할 것으로 예측된다.
- 반암형 구리광상은 전세계 구리의 75%, 금의 20% 이상을 공급하는 주요 광상 타입이다.
- 본 연구에서는 최근 10년간 새롭게 축적된 암석지구화학 글로벌 데이터, 실험암석학 및 수치계산 연구결과에 근거하여 지구상에서 형성되는 반암형 구리광상의 형성에 영향을 미치는 지각-마그마 프로세스에 대한 새로운 통합 모델을 제시하였다.
- 제시된 통합모델에서는 지각의 두께가 마그마 분화의 전반적인 기작에 영향을 미치기 때문에 지각의 두께에 따라 반암형 구리광상의 크기와 형태가 달라지고 금 함량도 달라질 수 있다는 점을 새롭게 제시하였다.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명

## 연구결과

### Crustal magmatic controls on the formation of porphyry copper deposit

Jung-Woo Park\*, Ian H. Campbell, Massimo Chiaradia, Hongda Hao and  
Cin-Ty Lee

(Nature Reviews Earth & Environment, published online)

섭입대 마그마에 대한 글로벌 지구화학 데이터 분석결과에 따르면 지각의 두께에 따라서 마그마의 조성변화에 큰 차이가 있는 것으로 밝혀졌다. 지각이 두꺼운 섭입대(>40km)에서는 철 함량이 마그마 분화 초기에 감소하기 시작하여 전형적인 칼크-알칼리 계열의 마그마 분화 경향을 보이며 일반적으로 마그마의 Sr/Y 및 La/Yb 비가 높은 반면에 지각의 두께가 얇은(<40 km)환경에서는 분화과정에서 마그마의 철 감소가 상대적으로 완만하고 낮은 Sr/Y 및 La/Yb 비가 관찰된다.

이 같은 지구화학적 차이는 마그마가 지각에서 경험하는 진화과정의 차이에서 비롯된다. 두꺼운 지각에서는 섭입대 맨틀에서 형성된 현무암질 마그마가 깊은 맨틀-지각 경계부에 정치하고 하부지각의 마그마 방을 형성하는데, 주변암의 온도가 높기 때문에 마그마의 냉각속도가 느리고 오랜 시간(백만년 이상)에 걸쳐서 마그마 주입(recharge)과 방출(evacuation) 및 분별결정(fractional crystallization)을 겪을 수 있는 환경이 조성된다.

이 과정에서 마그마의 물과 같은 비호정성 성분의 함량이 급격하게 증가하게 되고 마그마는 중성암질로 진화한다. 높은 압력조건과 물 함량은 진화하는 규산염질 마그마에서 함철광물인 각섬석 및 석류석의 안정도를 증가시키는 반면에 사장석의 안정도는 감소시키게 되어 마그마의 철 함량을 감소시키고 Sr/Y 및 La/Yb 비를 증가시킨다. 반대로 지각이 얇은 섭입대에서는 맨틀-지각 경계부의 주변암의 온도가 비교적 낮기 때문에 하부지각 마그마 방이 오래 지속되기 어려워서 마그마의 물 함량을 충분히 높이지 못한다. 상대적으로 낮은 함수율과 압력은 마그마의 분화과정에서 사장석을 주로하는 결정 작용을 유발하여 두꺼운 지각의 마그마에 비하여 철 함량이 비교적 완만하게 감소하며 상대적으로 Sr/Y 및 La/Yb 비도 낮다. 지

각의 두께에 따른 마그마 분화 경향의 차이는 친동성 원소의 변화에도 영향을 미친다. 얇은(<40 km) 섭입대에서는 현무암질 모마그마에서 중성질 마그마로 진화하면서 구리 함량이 증가하다가 최고점에 도달하고 유문암질 마그마로 진화가 진행되며 구리의 함량이 감소하는 추세를 보인다.

반면 두꺼운(>40km) 섭입대의 경우 마그마 진화과정 초기부터 구리의 감소가 시작되어 유문암질 마그마까지 진화하는 과정에서 계속 구리의 함량이 낮아진다. 결국, 대부분의 반암형 동광상에서 황화유체로 포화가 발생하는 석영안산암질 또는 유문암질 마그마의 동 함량은 지각이 두꺼운 섭입대보다 지각이 얇은 섭입대에서 상대적으로 낮다. 이는 두꺼운 지각에서 얇은 지각보다 상대적으로 황화물 포화 및 분별이 용이하기 때문으로 생각된다.

두꺼운 지각에서는 마그마 분화 초기에 철 함량이 감소할 뿐만 아니라 압력이 높기 때문에 상대적으로 규산염질 마그마의 황화물 용해도가 낮아지며 황화물 포화를 유도한다. 두꺼운 지각에서 발생하는 마그마 분화 초기의 황화물 포화 현상은 반암형 구리광상 형성에는 별다른 영향을 미치지 않지만 금 품위에는 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 금의 황화물에 대한 분배계수가 구리보다 수백에서 수천 배 높기 때문이다. 그 결과 두꺼운 지각의 섭입대에서는 오랜 화성활동의 영향으로 규모는 크지만 금품위가 낮은 반암형 구리 광상이 형성되는 반면에 지각이 얇은 섭입대에서는 규모는 상대적으로 작지만 금품위가 높은 반암형 구리 광상이 형성된다.

## 용 어 설 명

### 1. 반암형 광상(Porphyry deposit)

- 반암형 광상은 지각의 천부에 관입한 화성암의 주위에 형성된 금속 황화물 광상으로 금속의 품위는 낮으나 매장량이 매우 큰 특징이 있다. 인류가 사용하는 대부분의 구리가 이 광상 타입에서 공급된다.

### 2. 마그마 분화(Magma differentiation)

- 맨틀 또는 지각에서 형성된 마그마가 온도가 감소하면서 성분이 변화하는 다양한 기작

### 3. 황화물 포화(Sulfide saturation)

- 분화하는 규산염질 마그마가 황화물로 포화 상태가 되어 황화물을 결정화하는 기작이다. 이 과정에서 유용한 금속인 구리와 금이 마그마에서 빠져나가서 광상을 형성하기 어려운 조건을 형성한다.

### 4. 섭입대

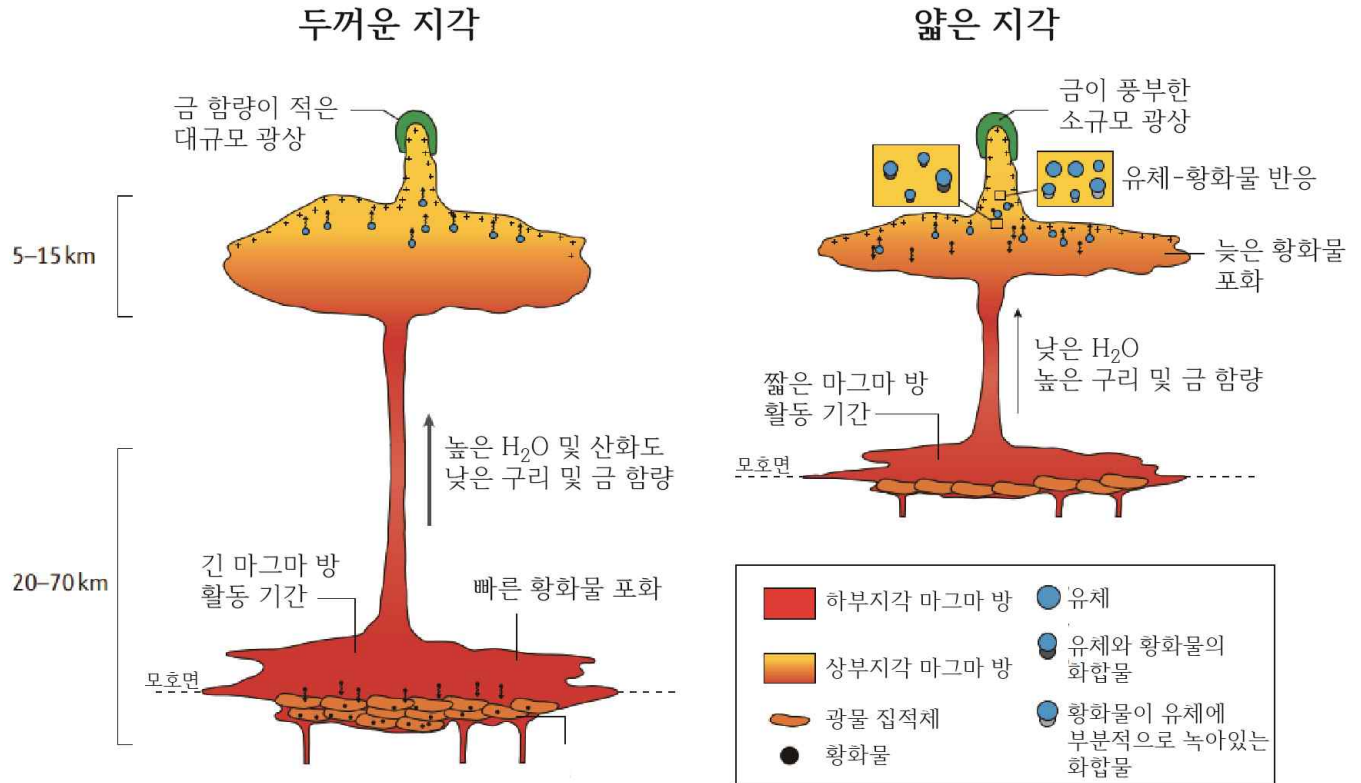
- 판구조론에서 해양판이 다른 판 하부로 들어가는 지역으로 환태평양 조산대가 섭입대에 해당한다.

### 5. 분별결정(Fractional crystallization)

- 마그마의 온도가 감소함에 따라서 일련의 광물 조합이 정출하여 마그마로부터 분리되는 현상

# 그림 설명

지각의 두께가 마그마 진화 및 반암형 구리광상의 형성에 미치는 영향



지각이 40km 이상 두꺼운 지역에서는 맨틀에서 형성된 마그마가 하부지각의 심부에서 마그마 분화를 겪으면서 황화물 포화를 겪는 과정에서 유용한 금속인 금을 대부분 잃지만 마그마 방의 활동기간이 길어져서 금 함량이 적은 대규모 구리광상이 형성된다. 지각이 40km 보다 얇은 지역에서는 얇은 깊이에 마그마 방이 형성되어 황화물 포화가 늦어지고 금과 구리가 풍부한 마그마가 생성되지만 마그마 방의 활동기간이 짧기 때문에 금이 풍부한 소규모 구리광상이 형성된다.