

Summary - Seongryong Kim

Strain accommodation by slow slip and dyking in a youthful continental rift, East Africa(Nature,V456,p783)
Calais et al.

2007년 7-8월 사이에 지진, 마그마활동(seismo-magmatic crisis)이 탄자니아의 Natron basin에서 발생했다. 이는 faulting과 magma intrusion이 continental rift의 발달에서 strain의 accommodation에 어떤 영향을 미치는지에 대해 연구할수 있는 드문 기회였다.

지진은 2007년 7월 12일에 처음 시작하여 7월 17일에 Mw=5.9의 지진이 났고 7월(32 Mb>3.8)에 이어 8월(21 Mb>3.9)에도 이어지다가 9월에는 잦아들었다. 적절한 BB station으로 인해 7월 17일 지진과 7월 12-31일 사이의 607개 지진을 location했고 그결과는 12일에서 17일 사이에 남쪽에서 북쪽으로 10km migration하는 모습을 여준다. 진원은 북서방향으로 dipping하는 단층면을 보여주고 주향은 N33E로 main event와 일치한다.

Field에서 미터에서 킬로미터 단위의 새롭게 형성된 en e'chelon fracture가 발견되었고 이는 2-3 km의 북북동남남서방향의 확장을 의미하고, 수직으로는 35cm의 수직 변위가 발견되었다. Gelai지역에는 마그마 분화가 없었다.

GPS와 InSAR를 통해 표면 변위가 측정되었다. interferogram은 main shock이전과 main shock과 그 이후로 나뉘어 구해졌고, 이전의 결과는 slip on a buried, northwest-dipping normal fault와 일치한다. 이후의 결과는 blade-shaped dyke의 상부에 발생할 수 있는 faulting과 그로 인한 지표의 변형을 보여준다.

fault slip정도와함께 dyke intrusion, magma chamber의 deflation을 포함하는 volume change를 추정하기 위해 fault의 slip과 elastic half-space아래의 point source의 부피변화에 따른 표면의 deformation을 모델링 하였다. 3 April- 17 July 기간과 17 July - 21 August 두 기간으로 나누어 모델링이 수행되었는데 앞의 기간동안의 best fit 결과를 보면 그림 3b에서와 같이 실제 seismicity와 잘 일치하는 정단층을 보여주었다, 전반기의 단층면은 지진학적인 방법으로 얻은 seismicity에 의해 추정된 하나의 단층면이고 후반기의 경우는 field와 SAR에서 얻은 자료의 discontinuity들을 바탕으로 graben의 경계를 이루는 단층면들을 추정했고, 전반기에서 사용한 하나의 단층면을 더 추가했다. dyke에 의한 수직방향 tensile dislocation을 모사하기 위해 graben중앙에 수직의 면을 추가 했다. 또한 그림 3c에서 관측되는 북서지역의 fringe lobe의 비 대칭성을 설명할 수 있는 방법으로 지역적인 침강을 모사하는 volume-change point source를 넣었다.

이렇게 설정된 후반기의 best-fit모델은 2~6km 깊이의 2m이하의 dyke에 의한 opening, dyke 양 옆의 0.6m이하의 slip를 가지는 얇은 정단층을 보여주었고, 이는 관측결과와 잘 일치한다. 또한 전반기에서 사용된 단층면에서는 4-5km깊이에서 slip이 있었고 여기서의 moment release는 Mw 5.95의 7월 17일 지진과 일치한다. 그림 3에서의 normal stress의 최대 negative 변화를 보이는 곳이 dyke와 일치하는 것으로 볼 때 전반기 slip에 의한 static stress 변화가 dyke opening을 야기했음을 생각할 수 있다. 부피변화를 위한 점원(Mogi source)는 0.06km^3 의 부피 변화로 추정되었고 이로부터 magma intrusion이 주변의 magma chamber를 source로 하고 있음을 유추할 수 있다.

Fault slip와 dyke intrusion으로 발생한 후반기의 moment release는 $4 \times 10^{18}\text{Nm}$ (geodetic data에서)로 이 기간 지진에 의한 cumulative seismic moment release인 1.4×10^{18} 보다 크고 이는 65%정도가 aseismic process에 의해 해소되었음을 나타낸다. 이 연구에서 2.6×10^{18} 의 모멘트가 dyke의 intrusion에 의해 발생한 것으로 모델링 되었기 때문에 moment의 차이는 바로

dyke에 의한 것으로 추정할 수 있다. 이러한 결과는 time-discrete 한 rifting event의 faulting과 magma intrusion에 대한 strain partitioning에 대한 좋은 예가 된다.

EARS의 eastern rift에서 이 연구와 같은 직접적인 관측들이 일반적이지는 않지만, magma intrusion이 지각과 상부맨틀의 구조를 modify하고 있으며 단층작용이 일어나는 곳에 일반적으로 관여하고 있음이 간접적인 증거를 통해 나타나고 있다. 또한 mantle xenolith는 metasomatism을 보여주고 있다. 또한 지진 자료들은 geodetic자료가 지금처럼 갖추어지기 이전에도 이 연구에서와 같은 swarm을 보여준다. (즉, 이 지역에서는 이 연구에서와 같은 모습들이 일반적이었다.)

Magma-assisted rifting model은 이러한 관측 결과들을 설명할 수 있다. melt의 부력으로 인해 dyke intrusion은 extensional yielding에 필요한 힘을 감소시킨다. 반복되는 rifting event에서 dyke intrusion에 의한 밀도차와 마그마 열에 의한 판의 힘의 감소는 이전에 dyke intrusion 지역에 strain을 localize한다.