

## Depth variation of coseismic stress drop explains bimodal earthquake magnitude-frequency distribution

O. Zielke and J. R. Arrowsmith

지진재해도 분석에서 지진의 재발주기와 발생확률 계산 시 이용되는 지진크기와 발생빈도 관계는 가장 기본이 되는 요소이다. 지진크기와 발생빈도 관계에서 가장 핵심적인 특징은 bimodal character를 가진다는 점이다. bimodal character는 미소지진에서 중규모 지진의 발생빈도가 Gutenberg-Richter(GR) 관계를 따르는 반면, 대규모의 지진인 경우 GR의 관계식에서 예상되는 빈도보다 자주 발생한다는 것으로, 단층 기하에 의해 제한되는 최대규모 부근에서 gaussian distribution을 따른다는 것이다.

일반적으로, rock type에서 실험결과를 통하여 온도와 암석의 이방성은 마찰계수  $\mu$ 값 변화량 ( $\Delta\mu$ )에 영향을 미친다. 따라서, 지각 내의 지열구배를 고려하면  $\Delta\mu$ 는 depth에 따라 변하며, 상부, 하부에 각각의 aseismic zone으로 속박된 seismogenic layer가 존재하게 된다. normal stress는 depth가 증가함에 따라 증가하는 반면,  $\Delta\mu$ 는 200°C에서 최대값을 가지게 되며 coseismic stress drop이 최대값을 가지는 깊이  $z_p$ 로 정의한다. 일반적으로 지열구배는 20°C/km 이므로  $z_p$ 는 11-12km 이다. 대규모의 지진에서는  $z_p$ 를 초과하는 지점까지 rupture가 진행되지만, 그보다 작은 규모에서는  $z_p$ 이상의 depth까지 파열이 진행되지 않는다.

이 논문에서는 slip이 진행되는 동안  $\Delta\mu$ 의 온도에 대한 의존성과 seismogenic zone에서 coseismic stress drop의 최대값이 단층에서의 지진학적 거동에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 'FlmozFric'라는 quasi-static numerical earthquake simulator를 이용하여 임의의 seismic catalog를 생성하였다.

생성된 각각의 지진 catalog와 combined 된 catalog의 분포로부터 미소지진에서 중규모 지진의 발생빈도는 Gutenberg-Richter relation을 따르지만, 규모 7.0 이상의 대규모 지진에서는 지진규모가 증가함에 따라 발생빈도가 오히려 증가하다가 감소하는 peak를 가지는 것을 알 수 있었으며, 이러한 특성이 지진규모-빈도 관계의 bimodal한 특성이다.

또한, 평균 coseismic stress drop( $\Delta\tau$ )과 earthquake rupture width(RW) 사이의 density 함수를 분석한 결과  $RW < 5\text{km}$  일때  $\Delta\tau$ 는 0.1-15Mpa의 분포를 가지며 1~2Mpa에서 최대값을 가지고,  $6\text{km} \leq RW \leq 12\text{km}$  일때는 RW와  $\Delta\tau$ 가 linear한 관계를 가진다.  $13\text{km} \leq RW \leq 18\text{km}$ 까지는 지진이 발생하지 않으며,  $18\text{km} \leq RW \leq 20\text{km}$  일 때는 약 5 Mpa의 static stress drop을 가진다.

다시 말하면, 작은 지진일 경우 RW와  $\Delta\tau$ 가 선형적인 관계를 가지는데 비하여 대규모의 지진일 경우 일정한  $\Delta\tau$  값을 가진다. 위와 같이 RW분포가 gap을 가진다는 점에서 지진의 rupture가  $z_p$ 를 초과하게 되면 rupture width는 급격하게 증가하다가 full seismogenic zone에서 활동하거나, lower aseismic zone으로 확장되면 characteristic event의 특징을 가진다는 것을 알 수 있다.